

**ADECUACION Y PUESTA EN MARCHA DE LOS SERVICIOS DE AGUA,
VAPOR DIRECTO, NITROGENO Y SISTEMA DE VACIO PARA EL TREN DE
LOS BANCOS DE PRUEBAS PARA LOS REACTORES DEL LABORATORIO
DE INVESTIGACION Y DESARROLLO**

LUIS EDUARDO JAIMES GRANADOS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
BUCARAMANGA**

2009

**ADECUACION Y PUESTA EN MARCHA DE LOS SERVICIOS DE AGUA,
VAPOR DIRECTO, NITROGENO Y SISTEMA DE VACIO PARA EL TREN DE
LOS BANCOS DE PRUEBAS PARA LOS REACTORES DEL LABORATORIO
DE INVESTIGACION Y DESARROLLO**

LUIS EDUARDO JAIMES GRANADOS

**Proyecto de Grado como requisito para optar el título de:
Ingeniero Químico**

**DIRECTOR
MARTHA ELSI VELANDIA
JEFE DEL LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO
CARBOQUIMICA. S.A**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
BUCARAMANGA**

2009

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todo el personal de CARBOQUIMICA S.A. que contribuyo en la realización de este proyecto, al personal de laboratorio de investigación y desarrollo por su apoyo incondicional.

Al ingeniero Víctor Guzmán por su voto de confianza al permitirme desarrollar este proyecto.

Al ingeniero Orlando Serrano por su incondicional colaboración cuando la necesite, y por todo lo que me enseñó para ser un gran ingeniero.

Al ingeniero Yuri Rosero, por su paciencia y exigencia en el desarrollo de la pasantía

A la ingeniera Martha Velandia por su gestión y confianza durante mi estadía en CARBOQUIMICA S.A.

A mi querida UIS por su formación integra en estos años de estudio

A Lina y Martica colaboradoras fundamentales al igual que a toda la escuela de ingeniería química.

En general a todas las personas que pusieron su granito de arena en la realización de este proyecto.

DEDICATORIA

Primero que todo doy gracias a Dios por darme los talentos y toda su gracia para ser lo que soy ahora.

A mi querida Abuela Galita que en paz descanse por ser mi ángel protector y por realizarme tantos milagros desde el cielo.

A mis padres porque sin todo lo que ellos me enseñaron y me apoyaron no sería nadie, por mostrarme el camino del bien y guiarme incondicionalmente.

A mi hermana por ser el reemplazo de mi abuelita y porque me da motivos para seguir en la lucha.

A mi preciosa morena Karen por su amor, y apoyo total, gracias por todo lo que me brindas.

A toda mi familia en bogota en especial a mi Tío Toño, mi tía Martha y mi tía Luisa por brindarme un segundo hogar

A mi familia en Bucaramanga por sus oraciones.

A todos mis primos por estar conmigo en especial a camilo y John.

A mis amigos Andrés Jiménez, Juan Pablo Mendoza, Jorge Cristancho y Luis Aurelio por su amistad inigualable

A Constanza, Jolman, Diego P, por su amistad durante la pasantía.

A todas las personas que hicieron parte de este proyecto que mi Dios los colme de bendiciones

RESUMEN

TITULO

ADECUACION Y PUESTA EN MARCHA DE LOS SERVICIOS DE AGUA, VAPOR DIRECTO, NITROGENO Y SISTEMA DE VACIO PARA EL TREN DE LOS BANCOS DE PRUEBAS PARA LOS REACTORES DEL LABORATORIO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO**

AUTOR

JAIMES GRANADOS, Luis Eduardo**

PALABRAS CLAVES

BANCOS DE PRUEBA, ESTERIFICACION, INGENIERIA BASICA, INGENIERIA DE DETALLE, NEUTRALIZACION, DESTILACION, VALOR ACIDO, REFLUJO.

CONTENIDO

Nuevas investigaciones se han desarrollado en el laboratorio de investigación y desarrollo de CARBOQUIMICA S.A. para mejorar la calidad de los productos, y crear otros nuevos con menor costo de materia prima y operación para esto se necesita mejorar los procesos de esterificación mediante una optimización adecuada de las pruebas en el laboratorio lo cual implica una adecuación del tren de bancos de prueba y una mejor distribución de los servicios de agua, nitrógeno, vacío, vapor directo para los mismos , así mismo tomar como modelo el proceso de la fabricación del DOP según la patente ICI.

Como primera medida se diseñara un modelo de banco de prueba que esta a escala con la planta de producción, se rediseñaran los equipos y se diseñaran nuevos equipos para los bancos.

Se diseñara un tanque agitado para la adición del agente básico en la etapa de neutralización.

Para el sistema de vapor directo se diseñara un distribuidor de vapor tipo flauta en los reactores de los bancos, y un recalentador de vapor para garantizar que el vapor proveniente de la planta permanezca seco.

Se hace necesaria la construcción de una olla para almacenar todo el alcohol recuperado durante el proceso.

Se diseñaran los planos P&ID, de elevaciones, 3D, de tuberías y estructuras para los bancos y además se elaboraran los protocolos y manuales de limpieza, operación, seguridad y mantenimiento.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingeniería Físico químicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Dr. Ramiro Martínez Rey

ABSTRACT

TITLE

FITNESS AND COMMISSIONING OF SERVICES FOR WATER, DIRECT STEAM, NITROGEN AND VACUUM SYSTEM FOR THE TRAIN OF BANKS TESTING FOR THE REACTORS OF LABORATORY RESEARCH AND DEVELOPMENT*

AUTHOR

JAIMES GRANADOS, Luis Eduardo**

KEYWORDS

TEST BANKS, ESTERIFICATION, BASIC ENGINEERING, DETAIL ENGINEERING, NEUTRALIZATION, DISTILLATION, VALUE ACID, REFLUX.

DESCRIPTION

New investigations have been developed in laboratory research and development of Carboquímica SA to improve product quality, and create new ones with lower cost of raw material and operation for this we need to be improved esterification processes through proper optimization of the tests in the laboratory which involves an adequacy of train test benches and a better distribution of water services, nitrogen, vacuum, steam directly to them, likewise be modeled manufacturing process of DOP according to the patent ICI.

The first step was to design a test bench model of this scale with the plant production were redesigned equipment and new equipment were designed for banks.

Then, in the second step we designed a stirred tank for the addition of basic agent in the neutralization stage.

For the direct steam system is to design a steam distributor type pipe in the reactor of banks, and a steam superheater to ensure that the steam from the plant will stay dry.

It is necessary to build a pot for storing all the alcohol recovered during the process.

Were designed P & ID drawings, elevations, 3D, piping and structures for banks and also develop protocols and manual cleaning, operation, safety and maintenance.

* Degree work

** Faculty of Physic Chemical Engineerings. School of Chemical Engineerings.
Director: Dr. Ramiro Martinez Rey

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	2
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVOS ESPECIFICOS	2
1. GENERALIDADES	3
1.1 PLASTIFICANTES	3
1.2 COMO ACTÚA EL PLASTIFICANTE	3
1.3 REQUISITOS DE LOS PLASTIFICANTES	5
1.4 SELECCIÓN DE PLASTIFICANTES	5
2. INGENIERIA BASICA CONCEPTUAL	7
2.1. BALANCE DE MASA	7
2.1.1 Reacción química condensada de la obtención del DOP	7
2.1.2 Calculo estequiométrico	8
2.2. DISEÑO CONCEPTUAL DE EQUIPOS	8
2.2.1 Tanque Agitado	8
2.2.2 Sistema de recalentamiento de vapor	15
2.2.3 Distribuidor de vapor	20
Fuente: Autor del proyecto	21
2.2.4 Botella separadora en continuo	21
2.2.5 Olla de alcohol recuperado	26
CONCLUSIONES	28
REFERENCIAS	29
ANEXOS	30

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Datos Generales de los reactivos y productos	7
Tabla 2. Datos del tanque 1 en estado inicial de la figura 4	18
Tabla 3. Datos del tanque 1 en estado final de la figura 4	19
Tabla 4. Nomenclatura figura 6	23

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diseño Tanque agitado para solución de Carbonato de sodio	12
Figura 2. Diseño del impulsor	13
Figura 3. Grafica Número de Reynolds VS Numero de potencia	14
Figura 4. Plano del sistema de recalentamiento de vapor	16
Figura 5. Diseño distribuidor de vapor tipo flauta	21
Figura 6. Diseño sistema de separación continua	22

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. TABLA DE ESPECIFICACIONES DE FLUJO FINAL	31
Anexo B. Diagrama del proceso del DOP	35
Anexo C. Diagrama de bloques del proceso para la producción de DOP	37
Anexo D. Data Sheets de los equipos nuevos	44

INTRODUCCION

A pesar de los avances en las técnicas de Modelamiento y Simulación que disminuyen los gastos de experimentación, el desarrollo de un proceso requiere ensayos a nivel de Laboratorio, Banco y Planta Piloto con el fin de obtener la mayor cantidad de información sobre condiciones de operación (temperatura, presión, relación de reactantes, catalizadores, etc.) y su influencia sobre el rendimiento. La labor de un Ingeniero, se ha querido limitar a las operaciones en equipos de relativo gran tamaño, desconociendo la importancia de las operaciones a nivel de Laboratorio que permiten seleccionar entre varias materias primas, fijar unas condiciones de operación y destacar otras que teóricamente o de acuerdo con la literatura son factibles.

Otro aspecto a tener en cuenta, es la importancia de la confrontación de datos y resultados presentados en la literatura. Esta etapa es obligatoria cuando se inicia en la labor investigativa, permite además de corroborar la información, adquirir la habilidad y destreza que exige la experimentación y que garantiza la reproductibilidad de los resultados. Todo proceso no está totalmente definido, todos son factibles de mejoras o de innovaciones. Es el ingenio, el análisis o teorización y la experimentación lo que permite hacer desarrollos de procesos. Por consiguiente nuevas investigaciones se han desarrollado en el laboratorio de investigación y desarrollo de CARBOQUIMICA S.A. para mejorar la calidad de los productos, y crear otros nuevos con menor costo de materia prima y operación para esto se necesita mejorar los procesos de esterificación mediante un desarrollo adecuado de las pruebas en el laboratorio lo cual implica una adecuación del tren de bancos de prueba y una mejor distribución de los servicios de agua, nitrógeno, vacío, vapor directo para los mismos , así mismo tomar como modelo el proceso de la fabricación del DOP según la patente ICI.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Ingeniería básica, conceptual y de detalle para la adecuación y puesta en marcha de los servicios industriales para el tren de los bancos de pruebas para los reactores del laboratorio de investigación y desarrollo de CARBOQUIMICA S.A.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ❖ Descripción del proceso de fabricación de DOP basado en la patente ICI.
- ❖ Diseño de un modelo típico de banco de prueba basado en la patente ICI.
- ❖ Diseño conceptual de los nuevos equipos.
- ❖ Construcción de los planos P&ID, de elevaciones, 3D, de tuberías y estructuras.
- ❖ Elaboración de los protocolos, procedimientos y los manuales de operación, mantenimiento y seguridad.

1. GENERALIDADES

1.1 PLASTIFICANTES

Los plastificantes son primordialmente compuestos orgánicos del tipo éster, de estructura polar con alto peso molecular. Los plastificantes, como los solventes, son atraídos por los grupos polares sobre la cadena del polímero y reemplazan los enlaces polímero-polímero con enlaces polímero-plastificante.

Los plastificantes son esencialmente líquidos de baja volatilidad o sólidos de bajo punto de fusión, usados para modificar resinas sintéticas o naturales. Químicamente, los plastificantes son el resultado de la esterificación de ácidos y alcoholes. Los plastificantes imparten a las resinas excelentes propiedades como flexibilidad y facilidad de procesamiento, permitiendo de esta manera el uso de los plásticos.

Los polímeros que pueden plastificarse con más éxito son los que se hinchen marcadamente antes de la dispersión. El hecho de que una película se hincha en un disolvente o plastificante adecuado indica que está compuesta de moléculas suficientemente grandes para ser plastificadas.

1.2 COMO ACTÚA EL PLASTIFICANTE

Los plastificantes son líquidos orgánicos de alto punto de ebullición o sólidos de bajo punto de fusión que se añaden a resinas duras para flexibilizarlos. Los plastificantes tienen diferentes grados de acción de disolución sobre la resina. La diferencia principal entre los disolventes ordinarios y los plastificantes es la volatilidad.

Las resinas plásticas son polímeros, es decir, unidades idénticas unidas entre sí para producir estructuras de cadena larga y alto peso molecular. Cada cadena o polímero, está unida a cadenas similares por fuerzas físicas o enlaces secundarios (fuerza de Van der Waals). La resistencia del enlace de Van der Waals determina la rigidez o flexibilidad de un plástico en particular.

La acción de reblandecimiento de los plastificantes (plastificación) se atribuye generalmente a su capacidad para reducir las fuerzas de atracción intermoleculares del sistema polimérico. Esto puede realizarse de al menos dos maneras:

- ❖ Las fuerzas de atracción entre las moléculas de resina se reducen por anulación de las interacciones dipolo-dipolo en las moléculas del polímero. Los dipolos en las moléculas del polímero no pueden ya atraer moléculas adyacentes. Cuando la atracción entre el polímero y el plastificante es fuerte, se produce una verdadera acción de disolución y el plastificante se llama de tipo disolvente.
- ❖ El plastificante fuerza a las moléculas del polímero a separarse por un simple efecto de dilución. En este caso las fuerzas atractivas entre las moléculas del polímero se reducen al aumentar la separación. Como el plastificante se introduce bajo la influencia de calor, las fuerzas atractivas moleculares del polímero se recuperan cuando el compuesto vuelve a la temperatura ambiente, y en muchos casos será expulsado un plastificante no polar.

La composición resina-plastificante es un sistema dinámico en el cual las moléculas del plastificante tienen diferentes grados de movilidad dentro de la estructura de la resina. Los plastificantes generalmente no reaccionan

químicamente con las resinas, sino que las modifican a través de la reducción de las fuerzas de Van der Waals.

A causa de que las moléculas de plastificante son en su mayoría de gran tamaño, es frecuentemente necesario usar calor, presión, solventes o una combinación de estos, para ayudar al plastificante a incorporarse dentro de la estructura de la resina. El sistema plastificante-resina puede ser modificado para adaptarlo a usos específicos con la adición de pigmentos, ablandadores, estabilizadores, lubricantes, etc., que imparten nueva vida al compuesto final.

1.3 REQUISITOS DE LOS PLASTIFICANTES

Los requisitos de los plastificantes ideales incluyen compatibilidad, comportamiento, procesamiento, calidad, permanencia y eficacia.

Deberían ser inodoros, insípidos, no tóxicos y no inflamables. Deben ser estables al calor y contribuir a facilitar el tratamiento.

Ningún plastificante puede cumplir todos estos requisitos, de manera que se requieren mezclas de plastificantes y es necesario un compromiso o sacrificar algunas propiedades.

1.4 SELECCIÓN DE PLASTIFICANTES

El di (2-etil hexil) ftalato (DOP) ha sido durante muchos años el plastificante dominante en la industria. Además, se utiliza universalmente como norma para la comparación del comportamiento de otros plastificantes.

Los plastificantes de ftalatos, especialmente el DOP, obtuvieron su posición dominante como familia preferida de plastificantes para el PVC porque satisfacía muchas de las necesidades de la industria de los años 40 y a principios de los 50. Sin embargo, a medida que se volvieron más sofisticadas las demandas de los usuarios de productos de PVC, las propiedades requeridas empezaron a exceder la capacidad de los ftalatos.

Una de las demandas más importantes sobre compuestos para PVC, para interiores de automóviles es la baja volatilidad del plastificante a altas temperaturas. El interior de un coche puede alcanzar fácilmente 180°F en un día caluroso de verano con las ventanillas cerradas y un plastificante que sea volátil a esta temperatura producirá el empañamiento del parabrisas y de las superficies de las ventanillas.

A pesar de que se utilizan ésteres de ftalatos con un peso molecular, más alto que el del DOP en la mayoría de las aplicaciones para interiores de automóviles, se recomiendan trimelitados de triálquilos, porque presentan baja volatilidad combinada con buena capacidad del procesado, compatibilidad y baja extracción por H₂O de los monómeros típicos. Sin embargo, el precio ha prohibido su más amplia utilización en esta aplicación.

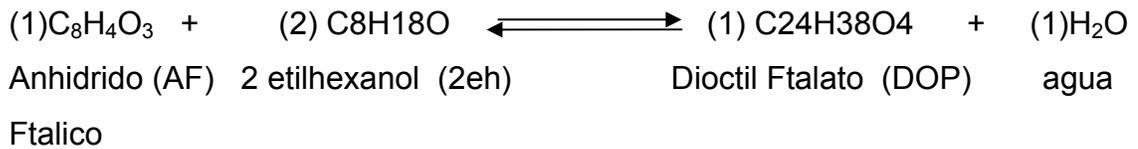
El segundo mercado más amplio para el PVC plastificado es el de aislamiento de hilos y cables. La elección del plastificante tienen poco o ningún efecto sobre las propiedades eléctricas del compuesto del PVC, siempre que el plastificante esté libre de impurezas.

La permanencia del plastificante para una larga vida de servicio en elaboraciones de hilos y cables a crecientes temperatura, y el retardo de la combustión son los criterios más críticos en la selección de un sistema plastificante.

2. INGENIERIA BASICA CONCEPTUAL

2.1. BALANCE DE MASA

2.1.1 Reacción química condensada de la obtención del DOP



Base de cálculo: 1 Kg AF

Tabla 1. Datos Generales de los reactivos y productos

Compuesto	Peso molecular (P.M)	Porcentaje de pureza	Densidad (Kg/m ³)
AF	148,11Kg/Kmol	99.5%	1530
2EH	130,92 Kg/Kmol	99%	834
DOP	390,5 Kg/Kmol	-	984
Agua	18 Kg/Kmol	-	1000

Fuente: Autor del proyecto

Por Balance estequiométrico calculamos cuanto alcohol necesitamos para producir determinada cantidad de DOP

2.1.2 Calculo estequiométrico

$$1000g AF * \frac{1mol AF}{148,11g AF} * \frac{2 moles 2EH}{1 mol AF} * \frac{130,2 g 2EH}{1 mol 2EH} * \frac{0,995 g AF}{1 g AF} * \frac{0,99 g 2EH}{1 g 2EH}$$

Cantidad de alcohol: 1,732 Kg 2EH

Cantidad de Exceso de 2EH: $1732 g 2EH * 13.6\% = 241 g 2EH$

De la misma manera se calcula la cantidad producida de DOP y agua

Cantidad de plastificante: 2,589 Kg DOP con una conversión del 98,7%

Cantidad de Agua: 0,121 Kg H₂O

2.2. DISEÑO CONCEPTUAL DE EQUIPOS

2.2.1 Tanque Agitado

Cantidad de carbonato de sodio para neutralizar el producto

Tomando como base la patente ICI para producción de DOP se utilizó un exceso de carbonato del 100%, y por equivalente ácido – base un mol de ácido es igual a un mol de la base, para nuestro caso se tiene que 56,11 mg KOH es igual a 53 mg Na_2CO_3 .

Por estequiometria un kilogramo de anhídrido Ftálico produce 2,589 kilogramos de plastificante, como nosotros necesitamos calcular la masa de reacción para 4,15 Kg se tiene lo siguiente

$$\frac{2589 \text{ g DOP}}{1 \text{ Kg AF}} * 4.15 \text{ Kg AF} = 10744.4 \text{ g DOP}$$

Ahora se multiplica la masa de reacción por el valor ácido y por la relación equivalente ácido-base

$$\frac{2 \text{ mg KOH}}{\text{g DOP}} * 10744.4 \text{ g DOP} * \frac{53 \text{ mg Na}_2\text{CO}_3}{56.11 \text{ mg KOH}} = 202977.4 \text{ mg Na}_2\text{CO}_3$$

Convirtiendo este resultado a kilogramos y multiplicando por el exceso, que es del 100%, obtenemos la cantidad de carbonato a utilizar en la neutralización

$$202977.4 \text{ mg Na}_2\text{CO}_3 * \frac{1 \text{ Kg}}{1000000 \text{ mg}} = 0.2029774 \text{ Kg Na}_2\text{CO}_3$$

$$0.2029774 \text{ Kg Na}_2\text{CO}_3 * 100\% \text{ exceso Na}_2\text{CO}_3 = 0.2029774 \text{ Kg Na}_2\text{CO}_3$$

$$0.2029774 \text{ Kg Na}_2\text{CO}_3$$

Se calculó la masa de agua con la siguiente ecuación

$$\% \frac{W}{W} = \frac{\text{masa soluto}}{\text{masa soluto} + \text{masa de agua}}$$

Despejando la masa de agua tenemos

$$\text{masa de agua} = \frac{\text{masa soluto} - \% \frac{W}{W} * \text{masa soluto}}{\% \frac{W}{W}}$$

La Masa de agua para la solución acuosa es 0.3654 Kg

0.406Kg de Solución acuosa de Na_2CO_3 al 10% se necesita en la etapa de neutralización

Se calculó el volumen de solución a partir de

$$V = \frac{m}{\rho}$$

La suma del volumen de agua mas la del volumen de carbonato, da como resultado el volumen de la solución

$$V_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = \frac{\text{masa Na}_2\text{CO}_3}{\rho_{\text{Na}_2\text{CO}_3}} = \frac{0.0406 \text{ Kg}}{\frac{2500 \text{ Kg}}{\text{m}^3}} = 0.000016 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\text{masa H}_2\text{O}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{0.365 \text{ Kg}}{\frac{1000 \text{ Kg}}{\text{m}^3}} = 0.000365 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{total}} = 0.000016 \text{ m}^3 + 0.000365 \text{ m}^3 = 0.000382 \text{ m}^3$$

Para calcular el volumen del tanque se multiplica el valor del volumen ocupado por la solución por un exceso de volumen del 100%

$$\text{Volumen real} = 0.000382 \text{ m}^3 * 2 = 0.001526 \text{ m}^3 = 1.5 \text{ litros}$$

Dimensiones del tanque

Se plantea el siguiente diseño, tomando como criterio de diseño un tanque para soluciones con suspensión de sólidos, tenemos que la relación $H/Dt=1$ según STANLEY M. WALAS, y además hacemos una suposición geométrica para el uso de la ecuación de volumen de un cilindro

$$V = \pi r^2 (H + H_{cl})$$

H= Profundidad del liquido

H_{cl}=altura sin liquido en el tanque

H*= altura del tanque

D_t= Diámetro del tanque

V=volumen del tanque

r = radio del tanque

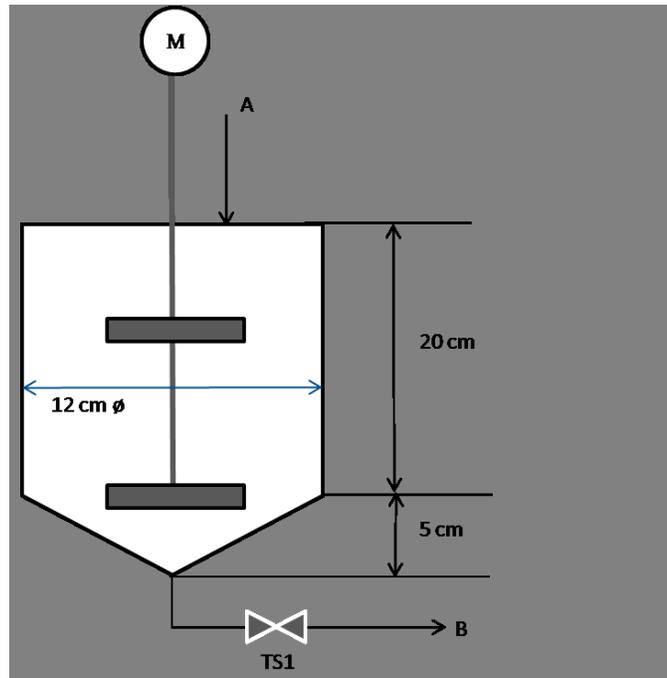
Se supone una altura del tanque de 20 cm en base a la relación que propone STANLEY M. WALAS y a la estructura actual del banco de prueba

A continuación se calculó el diámetro despejando el radio de la fórmula de volumen

$$r = \sqrt{\frac{V}{\pi * (H + H_{cl})}}$$

Luego este resultado lo multiplicamos por 2 para entonces obtener el diámetro del tanque que es **10 cm**

Figura 1. Diseño Tanque agitado para solución de Carbonato de sodio

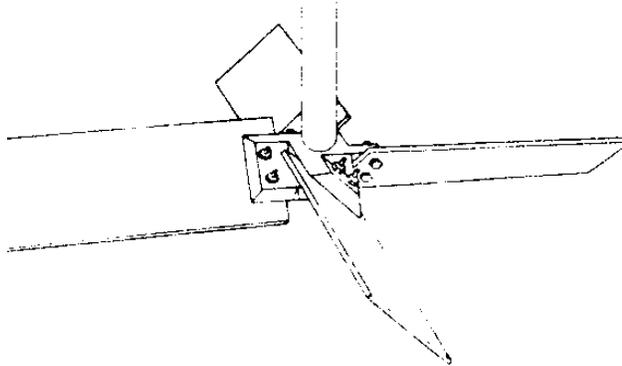


Fuente: Autor del proyecto

Agitación

Según STANLEY M. WALAS, en su libro Chemical Process Equipment, con el fin de obtener un fuerte flujo axial para la suspensión de sólidos se eligió una turbina con 4 placas con inclinación de 45° sin baffles, la cual nos genera un mezclado homogéneo

Figura 2. Diseño del impulsor



Fuente: Stanley m. Walas, Chemical Process Equipment.

Potencia requerida para la agitación

Para estimar la potencia que se requiere para hacer girar el rodete dado con una velocidad determinada, es preciso disponer de correlaciones empíricas de la potencia o del número de potencia en función de otras variables del sistema. Estas variables que intervienen en el análisis son las medidas del tanque y del rodete, la viscosidad, la densidad, la constante adimensional gc .

Se utiliza la metodología planteada por STANLEY M. WALAS para encontrar la potencia requerida en esta etapa.

Se utiliza primero una ecuación para definir el número de Reynolds que luego analizándolo en una tabla obtenemos el número de potencia, que finalmente nos sirve para estimar la potencia.

$$N_{re} = \frac{d^2 \cdot N \cdot \rho}{\mu}$$

d =diámetro del impulsor en (pies)

N =revoluciones por segundo

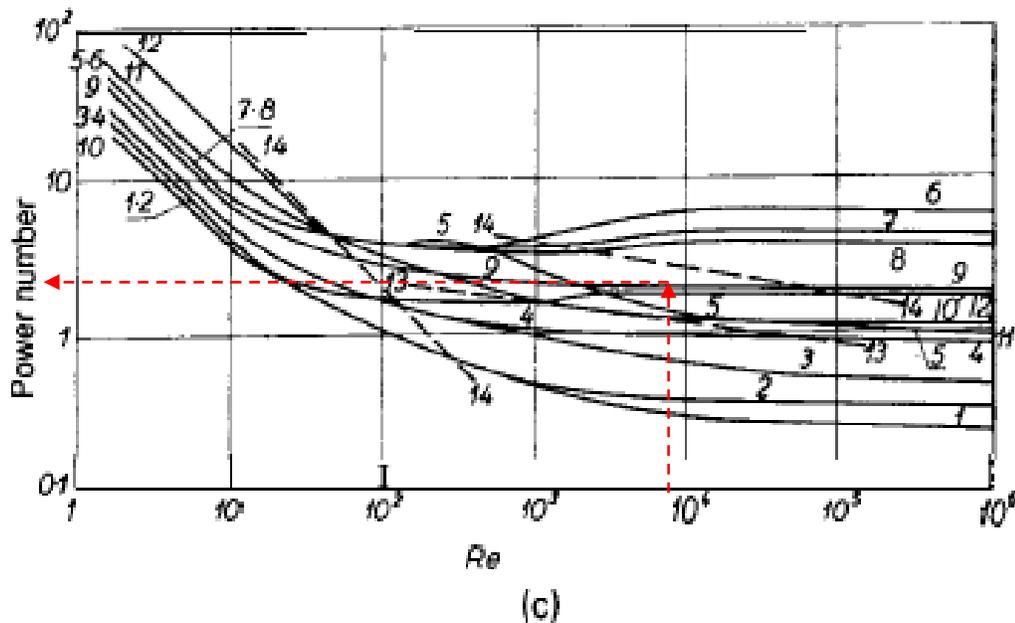
ρ =Densidad de la solución

μ = Viscosidad de la solución

Como referencia se toman 600 rpm los cuales equivalen a 5 rps, la densidad de la solución es 93.64 (Lb/Pie³) [1], por otra parte la viscosidad es 0,001(Lb/pie*s) [2].

El numero de Reynolds es igual a 21455 este valor lo ubicamos en el eje de las x en la siguiente grafica [3] para cortarlo con la curva n° 9 la cual es la indicada para nuestro tipo de agitador y así obtener un valor en el eje y que es el numero de potencia

Figura 3. Grafica Número de Reynolds VS Numero de potencia



Fuente: STANLEY M.WALAS, Chemical Process Equipment, Selection and Design, figura 10-5 (C)

Nos arroja un valor de $N_p = 4$, ahora con este dato y con la siguiente ecuación podremos estimar la potencia

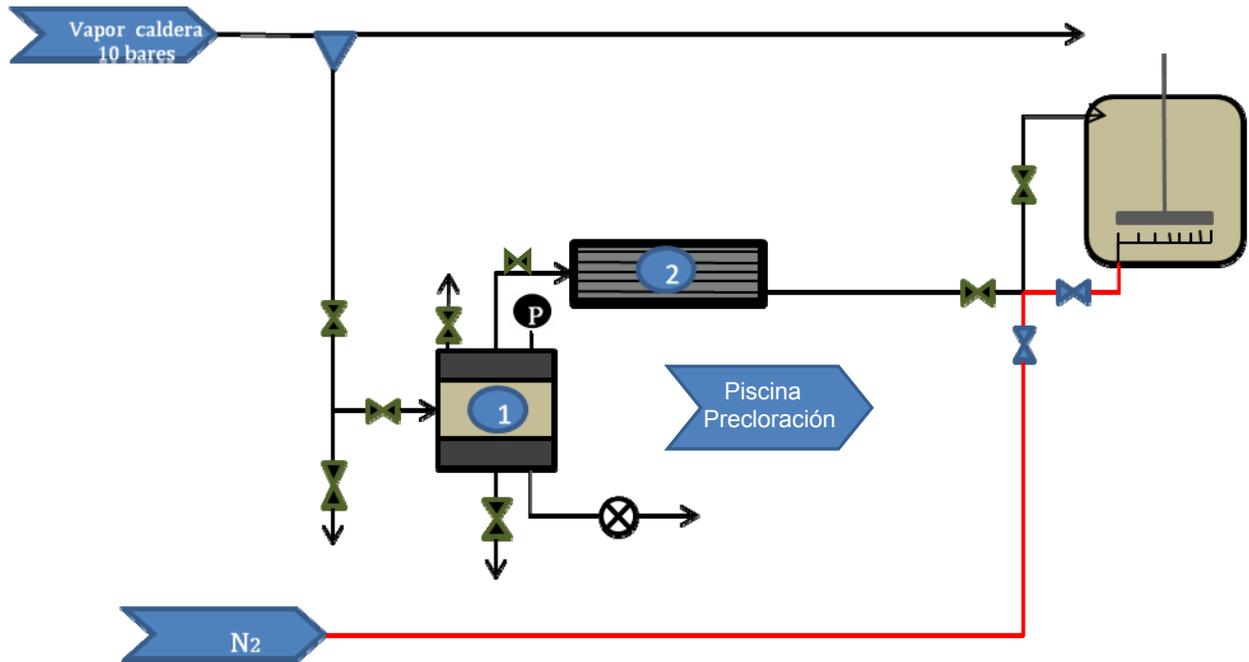
$$P = \frac{N_p * N^3 * d^5 * \rho}{g_c}$$

Con esto tenemos que la potencia requerida es aproximadamente 0,3 wattios

2.2.2 Sistema de recalentamiento de vapor

Se propone el siguiente diseño de recalentamiento de vapor para garantizar que el vapor que llega al laboratorio pase de vapor húmedo a vapor seco, ya que para los procesos a realizar necesitamos vapor 100% seco, y con presión de 10 bares, lo que queremos primero que todo es calentar el vapor y utilizar vacío para bajarle la presión y secar el vapor, enseguida lo pasamos a un recalentador para devolverle su temperatura y presión inicial, finalmente este vapor se pasa por un distribuidor cuando el proceso lo requiera.

Figura 4. Plano del sistema de recalentamiento de vapor



Fuente: Autor del proyecto

Todos los cálculos son con base en los realizados por SPIRAX SARCO para dimensionamiento de tuberías [4] y sus respectivas tablas de vapor [5].

Se tiene que para el diseño de la tubería teniendo en cuenta el diámetro, la velocidad del vapor y su presión podemos mirar en una tabla que valor de caudal másico pasa por esa tubería, entonces como el diámetro es $\frac{1}{2}$ ", la velocidad del vapor es 15m/s, y la presión un bar, el caudal másico es 0.01Kg [4].

Las dimensiones del tanque donde vamos a secar el vapor se asumen de 30 cm de altura x 20 cm de diámetro lo cual nos da un volumen de tanque igual a 0.07 m³ aplicando la ecuación de volumen de un cilindro

$$V = \pi * h * r^2$$

Asumo que lleno todo el tanque con el vapor húmedo y calculo cuanto calor necesito para convertir el vapor húmedo a vapor seco.

Aplicando balance de energía [6] tenemos

$$Q = \Delta(mH)_{\text{tanque}}$$

$$= (m_2 H_2 - m_1 H_1)_{\text{tanque}}$$

$$(m_1 H_1)_{\text{tanque}} = m_1^l H_1^l + m_1^v H_1^v$$

$$[(m)_2 * H_2]_{\text{tanque}} = m_2^L * H_2^L + m_2^V * H_2^V$$

Calculamos primero $[(m)_1 * H_1]_{\text{tanque}}$, en este estado inicial:

Tabla 2. Datos del tanque 1 en estado inicial de la figura 4

P1 Presión inicial (bar)	10
T1 Temperatura inicial (°C)	184
X Calidad del vapor	50%
Volumen específico líquido (m ³ /Kg)	0.001133
Volumen específico vapor (m ³ /Kg)	0.1776
Hf entalpia específica del agua (KJ/Kg)	781.6
Hg entalpia específica del vapor (KJ/Kg)	2781.7
Masa de vapor húmedo (Kg)	6.28
Masa inicial fase líquida (Kg)	3.14
Masa inicial fase vapor (Kg)	3.14

Fuente; SPIRAX SARCO, Tablas de vapor

* Valores encontrados en la tabla de vapor de SPIRAX SARCO

** Como la calidad es el 50% la masa de fase líquida es igual a la masa de fase de vapor, que es la mitad de la masa total de vapor húmedo.

$$[(m)_1 * H_1]_{Tanque} = m_1^L * H_1^L + m_1^V * H_1^V$$

$$[(m)_1 * H_1]_{Tanque} = 3.14 \text{ Kg} * 781.6 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} + 3.14 \text{ Kg} * 2781.7 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$[(m)_1 * H_1]_{Tanque} = 11194.5 \text{ KJ}$$

En el estado final:

Tabla 3. Datos del tanque 1 en estado final de la figura 4

P2 Presión Final (bar)	10
Masa de vapor húmedo (Kg)	6.28
Volumen específico líquido (m ³ /Kg)	0.001133
Volumen específico vapor (m ³ /Kg)	0.1776
Hf entalpia específica del agua (KJ/Kg)	781.6
Hg entalpia específica del vapor (KJ/Kg)	2781.7
Masa final fase líquida (Kg)	0
Masa final fase vapor (Kg)	6.28

FUENTE:

* Como lo que queremos secar es el vapor la masa de fase líquida es cero

$$[(m)_2 * H_2]_{Tanque} = m_2^L * H_2^L + m_2^V * H_2^V$$

$$[(m)_2 * H_2]_{Tanque} = 0 \text{ Kg} * 781.6 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} + 6.28 \text{ Kg} * 2781.7 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$[(m)_2 * H_2]_{Tanque} = 17478 \text{ KJ}$$

$$Q = [(m)_2 * H_2]_{Tanque} - [(m)_1 * H_1]_{Tanque}$$

$$Q = 17478 \text{ KJ} - 11194.5 \text{ KJ}$$

$$Q = 6283.5 \text{ KJ}$$

2.2.3 Distribuidor de vapor

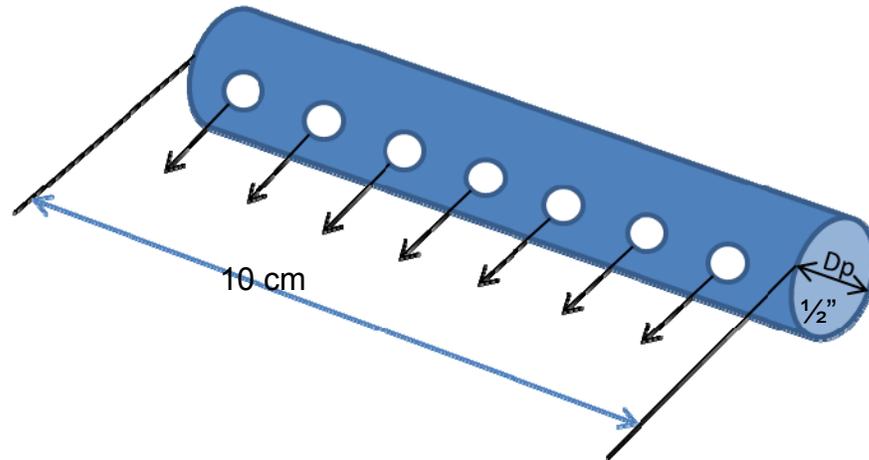
Para el diseño de este distribuidor de vapor se tuvo en cuenta los cálculos realizados en el libro Mc Graw – Hill, CALCULATION & SHORTCUT DESBOOK, publicado por CHEMICAL ENGINEERING.

Una norma básica es que cuando la longitud del distribuidor sobre su diámetro es menor que 150, se utiliza la siguiente ecuación

$$D_o \leq \frac{0.7 * D_p}{\sqrt{N}}$$

Se utiliza un tubo de ½” de diámetro y se quieren 10 orificios, tenemos que el diámetro de cada orificio es de 1/16” luego por medio del cálculo del área determinamos la longitud del distribuidor que para este caso es de 10 cm

Figura 5. Diseño distribuidor de vapor tipo flauta



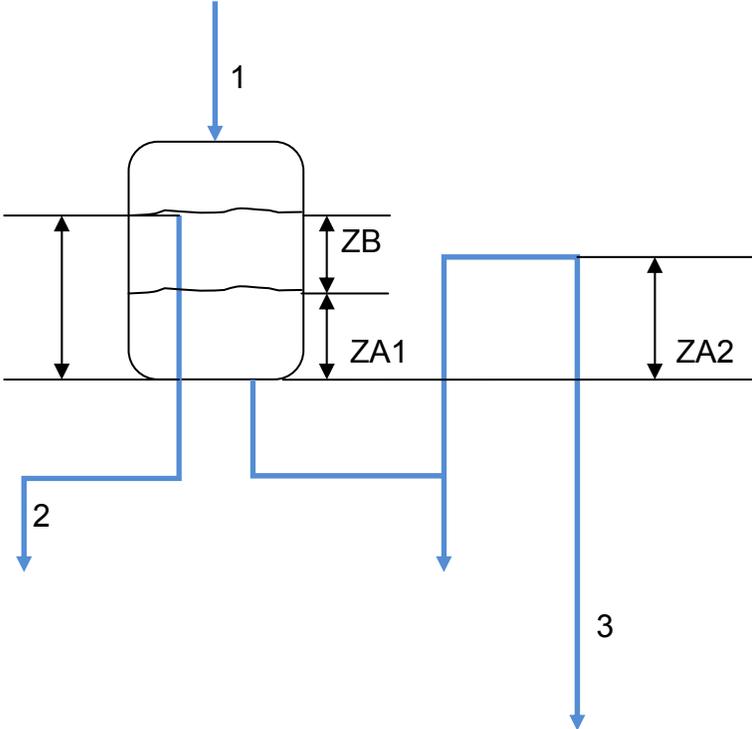
Fuente: Autor del proyecto

2.2.4 Botella separadora en continuo

SEPARADOR GRAVITATORIO CONTINUO

Se utiliza para la separación continua de dos líquidos no miscibles de densidades diferentes. La mezcla de alimentación entra por la parte superior del separador, dentro de un tubo que le quita energía cinética y hace que la mezcla entre tangencialmente al separador; los dos líquidos fluyen lentamente a través del tanque, se separan en dos capas, y se descargan por los rebosaderos del separador. Con tal de que los rebosaderos sean lo suficientemente grandes, para que la resistencia de fricción al flujo de líquidos pueda despreciarse, y la descarga se haga a la misma presión que existe en el espacio gaseoso situado sobre el líquido del tanque, el funcionamiento del separador puede estudiarse según los principios de la estática de fluidos. En la siguiente figura se muestra el separador:

Figura 6. Diseño sistema de separación continua



Fuente: Autor del proyecto

Tabla 4. Nomenclatura figura 6

1	Flujo de alimentación de la mezcla inmiscible
2	Reflujo de alcohol al reactor
3	Flujo de fase pesada
Zt	Altura total del líquido en el separador
ZA1	Altura de la capa de la fase pesada
ZA2	La descarga del líquido pesado se hace a través de un rebosadero conectado al fondo del tanque cuya altura sobre la base del mismo es ZA2
ZB	Altura de la capa de la fase liviana

FUENTE: Autor del proyecto

La resistencia de fricción al flujo es despreciable en las conducciones de descarga [7], la columna de líquido pesado, en el tubo por el que rebosa dicho líquido, tiene que equilibrar a la altura, ligeramente superior, de los dos líquidos del tanque. Mediante un balance hidrostático se llega a la ecuación

$$ZB \cdot \rho_B + ZA_1 \cdot \rho_A = ZA_2 \cdot \rho_A$$

Despejando ZA_1 tenemos

$$ZA_1 = ZA_2 - ZB \cdot \frac{\rho_B}{\rho_A}$$

Siendo $Zt = ZB + ZA1$ la altura total del líquido en el tanque tenemos

$$Z_{A_1} = \frac{Z_{A_2} - Z_t * \frac{\rho_B}{\rho_A}}{1 - \frac{\rho_B}{\rho_A}}$$

Esta ecuación indica que la posición de la interfase líquido-líquido en el separador depende de la relación de densidades de los dos líquidos y de las alturas de los rebosaderos. La ecuación indica además que cuando ρ_A y ρ_B son aproximadamente iguales, la posición de la interface se hace muy sensible a las variaciones de Z_{A_2} , altura de la columna de líquido pesado. Para líquidos que difieren considerablemente en su densidad esta altura no es muy crítica pero cuando los líquidos tienen aproximadamente la misma densidad es preciso operar con cuidado.

Tenemos que $Z_t = 7,5$ cm, y suponiendo que la interface está a igual distancia del fondo del tanque que de la superficie del líquido $Z_{A_1} = 3,75$ cm, se sabe que la densidad del 2 etil hexanol es 840 Kg/m^3 y la del agua es 1000 Kg/m^3 a 40°C , se despeja Z_{A_2} de la ecuación mencionada anteriormente tenemos que

$$Z_{A_2} = Z_{A_1} * 1 - \frac{\rho_B}{\rho_A} + Z_t * \frac{\rho_B}{\rho_A}$$

$$Z_{A_2} = 0.0375 \text{ m} * (1 - (834 \text{ Kg/m}^3 / 1000 \text{ Kg/m}^3)) + 0.075 * (834 \text{ Kg/m}^3 / 1000 \text{ Kg/m}^3)$$

$$Z_{A_2} = 0.0375 \text{ m} * (1 - 0.834) + 0.075 \text{ m} * 0.834$$

$$Z_{A_2} = 0.006225 \text{ m} + 0.06225 \text{ m} = 0.068775 \text{ m}$$

Luego la altura necesaria para una optima separación continua es 6,8775cm ≈ 7cm

Comparando este valor con el actual tenemos que debemos bajarle 1cm a esta altura.

El tamaño de un separador viene dado por el tiempo que se requiere para la separación, que a su vez depende de la diferencia entre las densidades de los dos líquidos y de la viscosidad de la fase continua. Con tal de que los líquidos sean claros y no formen emulsiones, el tiempo de separación puede estimarse a partir de la siguiente ecuación empírica [8]

$$t = \frac{6,24 * \mu}{\rho_A - \rho_B}$$

Donde:

t = tiempo de separación, horas

ρ_A , ρ_B = densidades de los líquidos A y B, lb/pe3

μ = viscosidad de la fase continua, cP

La Ecuación no es adimensional y han de utilizarse las unidades indicadas.

Para nuestro caso la viscosidad de la fase continua es la viscosidad del alcohol [9] la cual es 8,8 cP. Luego el tiempo de separación es 0,33 horas equivalente a aproximadamente 20 minutos

2.2.5 Olla de alcohol recuperado

Teniendo como base el diseño del tanque agitado, tenemos como base de cálculo 4,15 Kg de Anhídrido Ftálico lo cual por estequiometria nos dice que necesitamos 8,16 Kg de alcohol para producir DOP, este alcohol tiene un exceso del 13,6%.

El alcohol se consume todo en la reacción excepto el exceso de alcohol, el cual será enviado a la olla como alcohol recuperado, este valor según la estequiometria utilizada en el informe del diagrama de flujo del proceso de obtención de DOP es 1Kg aproximadamente,

Para tener los datos de las dimensiones de la olla, primero que todo se calculo el volumen que ocupa el alcohol

$$V = \frac{m}{\rho}$$

La densidad del alcohol en fase liquida en el rango de 20 a 50°C es 833 Kg/m³ según la BASF Hoja de seguridad, the chemical company, alojada en la base de datos de CARBOQUIMICA S.A.

Entonces el volumen de alcohol será igual a 0.0012 m³

Este valor se multiplica por un exceso de volumen del 100% lo cual da como resultado un volumen necesario de tanque de 0.0024 m³

Para tener las ollas recicladoras a la misma medida en la estructura del banco de prueba se toma que la altura del tanque es de 0,2 m, y seguidamente utilizando la

ecuación de volumen de un cilindro obtenemos el diámetro necesario para esta altura.

$$D = 2 * \sqrt{\frac{V}{\pi * (H)}}$$

Por lo tanto el diámetro es de 0.122 m

CONCLUSIONES

El área de transferencia necesaria para calentar los reactores hasta 220°C es de 0,01 m² y la potencia requerida son 500 watts esto quiere decir que los bancos de prueba cuentan con el área y potencia necesaria para llevar a cabo el proceso de calentamiento.

Comparando el área de transferencia actual en los condensadores con el calculado teóricamente se puede concluir que los condensadores actuales son muy grandes para lo que se quiere en cuanto al proceso de DOP.

Se debe diseñar el tanque agitado de 20 cm de altura y 12 cm de diámetro con agitador de turbina de 4 palas inclinadas a 45°, con ancho de 1 cm y diámetro de 5 cm, distancia desde el fondo hasta la pala de 3 cm y con un motor de 1,4 wattios de potencia.

La potencia ***P*** es sólo la impartida al líquido por el impulsor. No es la ocasionada por el motor, que incluye en forma adicional pérdidas en el motor y engranaje que reduce la velocidad. Estas pueden totalizar un 30 a 40% de ***P***.

Para tanques muy profundos y soluciones muy viscosas, generalmente se montan dos impulsores sobre un mismo eje, uno encima del otro. La potencia combinada de los dos será aproximadamente el doble que para una sola turbina.

Se determina entonces que al valor calculado de potencia se debe aumentar al doble debido a que hay dos impulsores y además se le aplica la eficiencia del motor, lo cual nos da una potencia real de 1,4 wattios.

REFERENCIAS

- [1] ROBERT PERRY, manual del ingeniero químico séptima edición, tabla 2-86 pág.105 Tomo 2
- [2] MPA, Robert J. Correia and Joseph Kestin, Viscosity and Density of Aqueous Na₂CO₃ and K₂CO₃ Solutions in the Temperature Range 20-90 °C and the Pressure Range 0-30, *Division of Engineering, Brown University, Providence, Rhode Island 029 12.*
- [3] STANLEY M.WALAS, Chemical Process Equipment, Selection and Design, figura 10-5 (C)
- [4] TDE-01, TABLAS DE VAPOR, SPIRAX SARCO, <http://www.termodinamica.cl/>
- [5] TDE-03, DIMENSIONAMIENTO TUBERIAS PARA LINEAS VAPOR, <http://www.termodinamica.cl/>
- [6] SMITH, VAN NESS, Introducción a la termodinámica en ingeniería química, quinta edición Capítulo 7 MC GRAW HILL.
- [7] WARREN L. MCCABE, Operaciones Unitarias en ingeniería Química, cuarta edición, Capítulo 2, Pág 33, mcgraw-hill
- [8] BARTON, R. L.: *Chem. Eng.*, 81(14):111 (1974).
- [9] BASF, The Chemical Company, hoja de seguridad, 2-etilhexanol.

ANEXOS

Anexo A. Tabla de especificaciones de flujo final

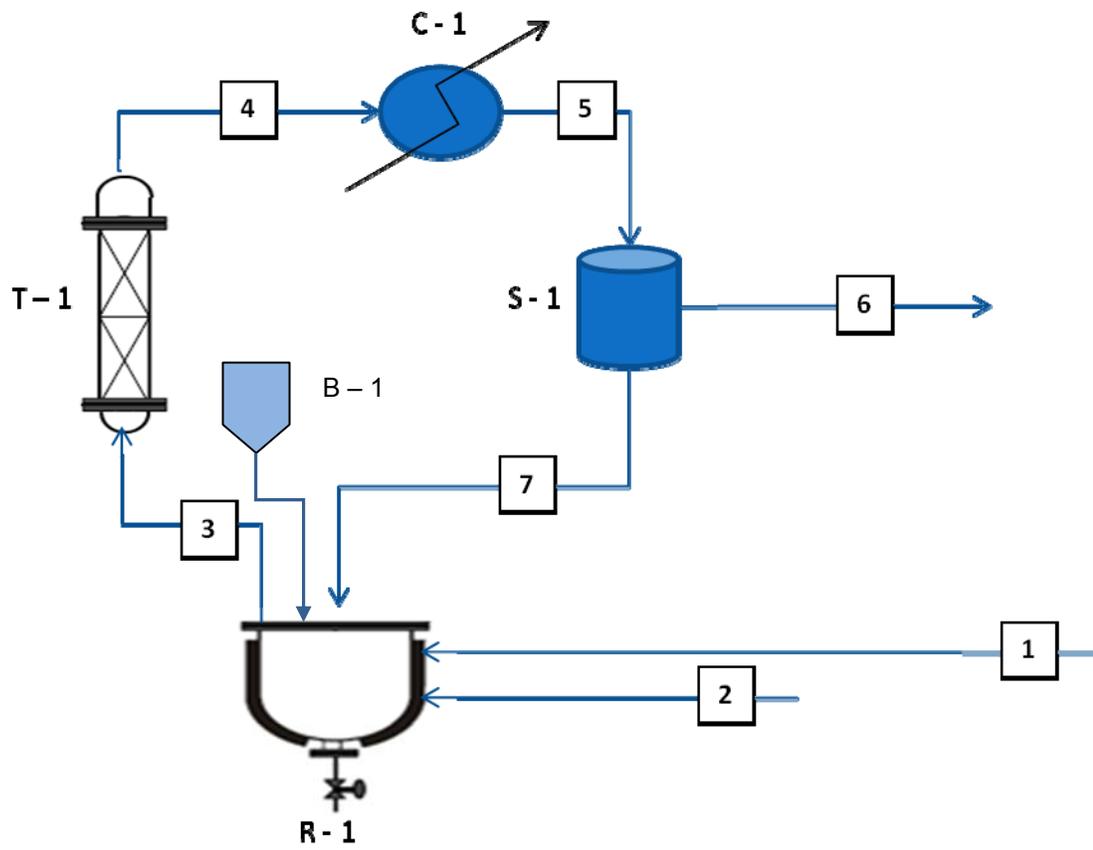
Equipo N°	1	2	3	4	5
Descripción	RECALENTADOR DE VAPOR	DISTRIBUIDOR DE VAPOR	REACTOR	TANQUE Na ₂ CO ₃	COLUMNA EMPACADA
Capacidad o carga de calor	1.5 KW	0.22 Lb/h	16 Litros	1.5 Litros	1.2 KW
Temperatura	120 - 180°C	120 - 215°C	25 - 215°C	30-40°C	25 - 215°C
Presión	Vacio total - 40 psig	Vacio total - 40 psig	Vacio total - 40 psig	Vacio total - 40 psig	Vacio total - 40 psig
Dimensiones aproximadas	Diámetro de la Tubería 1/2" Numero de tubos 7 Longitud de los tubos 24 cm	1/2" diámetro tubo 10 cm de longitud 1/16" diámetro orificio	36 cm altura 24 cm diámetro	25 cm Altura 12 cm diámetro	3 1/2" de diámetro 1,2 m de altura

Equipo N°	1	2	3	4	5
	Longitud de la trayectoria 1.68 m	10 orificios			
Materiales de construcción	acero inoxidable	acero inoxidable	acero inoxidable	acero inoxidable	acero inoxidable
Servicios	Vapor 10 bar, 180°C	Vapor 10 bar, 180°C	Agitador de 2 turbinas Calentamiento con resistencia eléctrica 4000 W	Agitador pequeño de 2 turbinas	resistencia eléctrica 1200 W Agua de enfriamiento 0.5 m ³ /hr

Equipo N°	6	7	8	9	10
Descripción	COLUMNA DIRECTA	CONDENSADOR	BOTELLA SEPARADORA	OLLA ALCOHOL	OLLA AGUA
Capacidad o carga de calor	1.4 KW	2050 J/s	10 Litros	2.35 Litros	8.5 litros
Temperatura	25 - 215°C	Vapores 200 - 30°C Agua Enf. 26 - 22°C	25 - 50°C	25 - 50°C	25 - 50°C
Presión	Vacio total - 40 psig	Vacio total - 40 psig	Vacio total - 40 psig	Vacio total - 40 psig	Vacio total - 40 psig
Dimensiones aproximadas	1.2 m altura 1" diámetro	70 cm altura 3½" diámetro	36 cm altura 20 cm diámetro	20 cm altura 12,2 cm diámetro	26,5 cm altura 21,5 cm diámetro

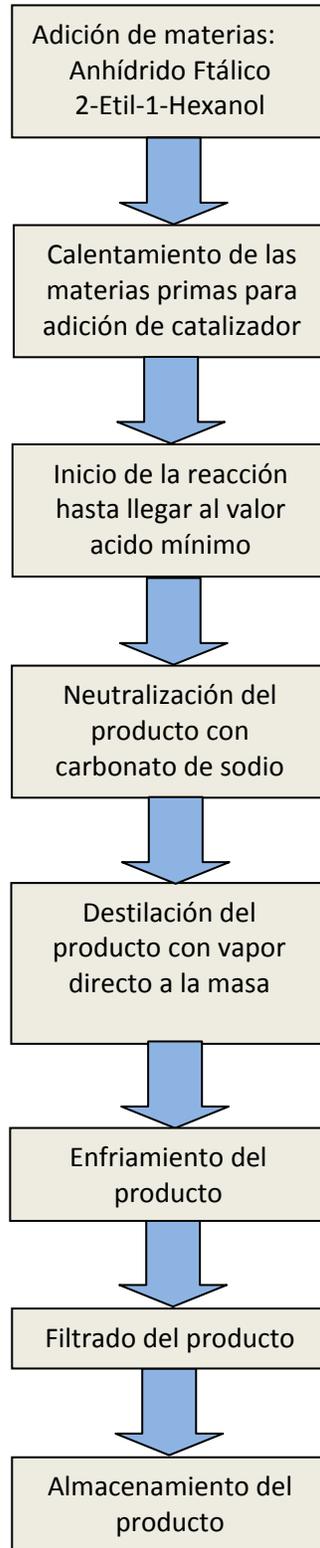
Equipo N°	6	7	8	9	10
Materiales de construcción	acero inoxidable	acero inoxidable	acero inoxidable	acero inoxidable	acero inoxidable
Servicios	Calentamiento con resistencia eléctrica 1.4 KW	Agua enfriamiento 0.5 m ³ /hr	-----	-----	-----

Anexo B. Diagrama del proceso del DOP



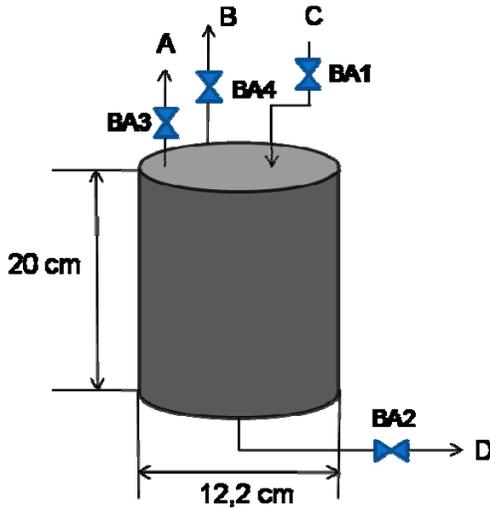
LISTA DE EQUIPOS		NOMBRE DE LA CORRIENTE	
CODIGO	NOMBRE	N°	NOMBRE
R – 1	Reactor Batch	1	Anhídrido ftálico
T – 1	Torre Empacada	2	2-Etil-Hexanol
C – 1	Condensador Total	3	Mezcla de vapores de agua y alcohol
S – 1	Botella Separadora	4	Mezcla de vapores de agua y alcohol
B – 1	Botella recolectora de agua	5	Condensados de agua y alcohol
B – 2	Botella de alcohol recuperado	6	Agua de reacción
B – 3	Tanque agitado para Na ₂ CO ₃	7	Reflujo de alcohol

Anexo C. Diagrama de bloques del proceso para la producción de DOP



Anexo D. Data Sheets de los Equipos nuevos

Data Sheet Olla de Alcohol recuperado



DETALLES DE LA OLLA

- A - 1/2" \varnothing ALIVIO DE PRESION
- B - 1/2" \varnothing ENTRADA DE ALCOHOL RECUPERADO
- C - 1/2" \varnothing VACIO
- D - 1/2" \varnothing DESCARGA DE ALCOHOL RECUPERADO

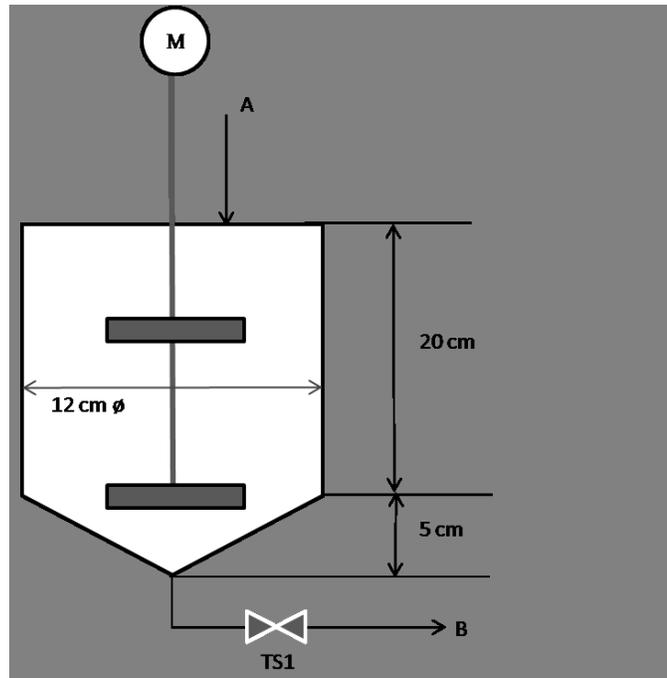
DETALLES DE LAS VALVULAS

- BA1 VALVULA PARA CONECTAR VACIO
- BA2 VALVULA DE DESCARGA, DRENAJE O PURGA
- BA3 VALVULA DE ALIVIO DE PRESION
- BA4 VALVULA DE ALIMENTO DEL ALCOHOL RECUPERADO

TIPOS DE VALVULA

VALVULA DE BOLA

Data Sheet Tanque Agitado



DETALLES DEL TANQUE

A - 12 cm ø TAPA MOVIL - ALIMENTO MATERIAS PRIMAS

B - 1½" ø DESCARGA DE LA SOLUCION ACUOSA

DETALLES DEL AGITADOR

NUMERO DE IMPULSORES	2
ANCHO DE LA PLACA	6 mm
LARGO DE LA PLACA	2.5 cm
NUMERO DE PLACAS POR IMPULSOR	4
LARGO DEL RODETE	40 cm
TIPO DE MATERIAL	Acero inoxidable
ANGULO DE INCLINACION DE LAS PLACAS	45°

DISTANCIA DESDE EL FONDO DEL TANQUE AL AGITADOR	3 cm
--	------

DISTANCIA ENTRE IMPULSORES	7.2 cm
----------------------------	--------

DETALLES DE LAS VALVULAS

VALVULA DE DESCARGA AL REACTOR	TS1
TIPO DE VALVULA	VALVULA DE BOLA

DETALLES DEL MOTOR

P	POTENCIA (W)	0.543
P*	POTENCIA PARA LOS DOS IMPULSORES(W)	1.03
η	EFICIENCIA DEL MOTOR	75%
P''	POTENCIA REAL (W)	1.4