

22
24.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

"ESTUDIO CINETICO Y DISEÑO DE UNA PLANTA
CONTINUA PARA PRODUCIR PLASTIFICANTES"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERA QUIMICA
P R E S E N T A :
CABALLERO MARTINEZ MARIA ISABEL



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

1997.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO

| | |
|----------------|---------------------------------------|
| Presidente. | Prof. FLORES RAMÍREZ HELIO |
| Vocal. | Prof. MEDINA OROPEZA JAIME |
| Secretario. | Prof. CRUZ GÓMEZ M. JAVIER |
| 1er. Suplente. | Prof. MONTIEL MALDONADO CELESTINO |
| 2do. Suplente. | Profra. KLIMOVA BERESTNEVA TATIANA E. |

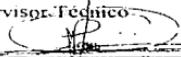
SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

Laboratorio E-212
Edificio E, Facultad de Química, UNAM.

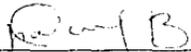
Asesor


Dr. Modesto Javier Cruz Gómez.

Supervisor Técnico


Juan Manuel Robledo Pérez.

Sustentante


María Isabel Caballero Martínez.

JURADO ASIGNADO

| | |
|----------------|---------------------------------------|
| Presidente. | Prof. FLORES RAMÍREZ HELIO |
| Vocal. | Prof. MEDINA OROPEZA JAIME |
| Secretario. | Prof. CRUZ GÓMEZ M. JAVIER |
| 1er. Suplente. | Prof. MONTIEL MALDONADO CELESTINO |
| 2do. Suplente. | Profra. KLIMOVA BERESTNEVA TATIANA E. |

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

Laboratorio E-212
Edificio E, Facultad de Química, UNAM.

Asesor


Dr. Modesto Javier Cruz Gómez.

Supervisor Técnico


Juan Manuel Robledo Pérez.

Sustentante


María Isabel Caballero Martínez.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Joel e Isabel:

Por enseñarme que el amor y el trabajo son los medios para alcanzar el éxito.

A Carmen y Rosario:

Por su cariño y apoyo incondicional en cada momento de mi vida.

A Eduardo, Omar y Ricardo:

Por cada sonrisa llena de ternura.

Al recuerdo de Carina.

Al Dr. Javier Cruz Gómez.

A todos mis amigos.

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPITULO I | |
| MARCO TEÓRICO | |
| 1.1 PLASTIFICANTES | 2 |
| 1.1.1 Historia | 2 |
| 1.1.2 Teoría de la Plastificación | 3 |
| 1.1.3 Procedimientos para incorporar el plastificante | 4 |
| 1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS PLASTIFICANTES | 5 |
| 1.2.1 Plastificantes de uso común | 6 |
| 1.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS PLASTIFICANTES | 8 |
| 1.4 EL PROCESO BATCH PARA LA PRODUCCIÓN DE DOS PLASTIFICANTES: DOP Y DOTP | 11 |
| 1.5 ASPECTOS ECONÓMICOS | 11 |
| 1.6 PROPIEDADES FÍSICAS Y ESPECIFICACIONES | 18 |
| 1.7 CINÉTICA QUÍMICA | 24 |
| 1.7.1 Efecto de la temperatura - Ecuación de Arrhenius | 26 |
| 1.7.2 Teorías de la cinética | 29 |
| 1.7.3 Influencia de la concentración del catalizador en la rapidez de reacción | 29 |
| 1.8 FUNDAMENTOS QUÍMICOS | 31 |
| 1.8.1 Mecanismos de la reacción de esterificación del anhídrido ftálico | 31 |
| 1.8.2 Mecanismos de la reacción de transesterificación del DMT | 32 |
| 1.8.3 Mecanismo propuesto utilizando TBT como catalizador | 33 |
| 1.8.3 Mecanismos secundarios | 34 |

**CAPITULO II
DESARROLLO EXPERIMENTAL**

| | |
|---|-----------|
| 2.1 EXPERIMENTACIÓN | 35 |
| 2.1.1 Método de fabricación a nivel laboratorio de DOTP y DOP | 35 |
| 2.1.2 Pruebas de calidad para el plastificante | 39 |
| 2.1.3 Técnica para las reacciones secundarias | 40 |

**CAPITULO III
ANÁLISIS DE RESULTADOS**

| | |
|--|-----------|
| 3.1 TEREFTALATO DE DIOCTILO | 42 |
| 3.1.1 Determinación del orden de la reacción y cálculo de las constantes cinéticas | 42 |
| 3.1.2 Efectos de la concentración del catalizador | 49 |
| 3.2 FTALATO DE DIOCTILO | 52 |
| 3.2.1 Determinación del orden de la reacción y cálculo de las constantes cinéticas | 52 |
| 3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA EL DOP Y DOTP | 58 |
| 3.4 REACCIÓN SECUNDARIA | 60 |
| 3.3 DISEÑO DEL REACTOR | 63 |

**CAPITULO IV
DISEÑO**

| | |
|---|-----------|
| 4.1 BASES DE DISEÑO | 67 |
| 4.1.1 Datos generales, localización de la planta y comunicaciones | 67 |
| 4.1.2 Sismicidad | 68 |
| 4.1.3 Datos meteorológicos | 68 |
| 4.1.4 Operación de la planta | 69 |
| 4.1.5 Servicios auxiliares | 70 |
| 4.1.6 Contaminación ambiental | 71 |

| | |
|---|------------|
| 4.2 DIAGRAMA DE PROCESO | 72 |
| 4.2.1 Balance de materia y energía | 72 |
| 4.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO | 72 |
| 4.4 LISTA DE EQUIPO | 74 |
| 4.4.1 Bombas | 74 |
| 4.4.2 Tanques y reactores | 75 |
| 4.4.3 Intercambiadores de calor | 75 |
| 4.4.4 Agitadores | 76 |
| 4.5 HOJAS DE DATOS | 77 |
| 4.5.1 Hoja de datos de recipientes | 78 |
| 4.5.2 Hoja de datos de columnas de separación | 89 |
| 4.5.3 Hoja de datos de intercambiadores de calor | 92 |
| 4.5.4 Hoja de datos de serpentines | 102 |
| 4.5.5 Hoja de datos de chaquetas de calentamiento | 104 |
| 4.5.6 Hoja de datos de agitadores | 107 |
| 4.5.7 Hoja de datos de bombas | 112 |
| 4.6 DIAGRAMAS | |
| 4.6.1 Diagrama de flujo de proceso | 114 |
| 4.6.1 Diagrama de tubería e instrumentación | 115 |
| 4.6.1 Diagrama de arreglo de equipo | 118 |
| CAPITULO V | |
| CONCLUSIONES | |
| 5.1 CONCLUSIONES | 119 |
| APÉNDICE A | 121 |
| APÉNDICE B | 131 |
| APÉNDICE C | 133 |
| BIBLIOGRAFÍA | 134 |

INTRODUCCIÓN

Hoy en día los plastificantes tienen una gran demanda, por lo que es necesario incrementar la producción, pero ésta se realiza de una forma discontinua y debido a ello se plantea la necesidad de producir a los plastificantes continuamente, por lo que este proyecto debe establecer los parámetros bajo los cuales una planta continua puede fabricar dos o más plastificantes, como son el tereftalato de dioctilo (DOTP) y el ftalato de dioctilo (DOP).

Es un proyecto que requiere de un equipo multidisciplinario, pues es necesario determinar la cinética de reacción para la producción de plastificantes, así como el cálculo de los diferentes equipos asociados con el proceso, simulación de procesos y elaboración de planos.

Objetivos .

Los objetivos planteados para el proyecto son

- Obtener y sistematizar la información necesaria para la producción y cinética de reacción de los plastificantes
- Elaborar el estudio de la cinética química de las reacciones de formación de Tereftalato de dioctilo y ftalato de dioctilo

Una vez logrado el objetivo anterior, proceder al diseño del reactor para la fabricación de los plastificantes, así como encontrar las condiciones de operación del mismo.

- Proponer un proceso para la producción continua de plastificantes.
- Realizar la ingeniería básica de una planta continua de producción de plastificantes, esto incluye los balances de materia y energía, el diseño de los equipos y sus especificaciones y los planos de la planta.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 PLASTIFICANTES

Los plastificantes - moléculas orgánicas pequeñas que actúan como lubricantes entre cadenas poliméricas- usualmente se agregan a los plásticos para evitar que estos se vuelvan quebradizos a temperatura ambiente. Los ftalatos de dialquilo son muy usados con este propósito.

Los plastificantes son líquidos con punto de ebullición relativamente alto o sólidos de bajo peso molecular con bajo punto de fusión, en comparación con los polímeros a los que se agregan, que se utilizan para mejorar algunas propiedades como son flexibilidad, extensibilidad y procesabilidad. Se emplean en muchas de las resinas pero son de especial importancia en términos de volumen, para el procesado de policloruro de vinilo. Aproximadamente el 70% de todos los plastificantes producidos comercialmente se usan en la industria del PVC.

1.1.1 Historia

La preparación de nitrato de celulosa en 1838, seguida por el desarrollo del método de nitración (mezcla ácido sulfúrico - ácido nítrico), marcó el comienzo de la preparación de polímeros comerciales. Por esos tiempos John y Isaiah Hyatt usaron alcanfor como plastificante de la nitrocelulosa en 1868, iniciando la existencia del celuloide marcando el comienzo de la industria de los plásticos y la de los plastificantes. Entre los años de 1870 y 1930, las características del alcanfor, como olor, volatilidad y su alto precio, motivaron a los japoneses a buscar otros plastificantes para el nitrato de celulosa y años después fue sustituido por el fosfato de trifenilo, y por otros fosfatos líquidos como el fosfato de tricresilo.

En los primeros años de los veinte se introdujeron los ftalatos, pero su demanda era pequeña y limitada por su dependencia con los plásticos de nitrato de celulosa, el ftalato di-2-etilhexílico se patentó como un plastificante en el año de 1933. En este mismo año el Dr. Waldo L. Semon trabajando en la Goodrich plastificó casualmente policloruro de vinilo. Su trabajo inicial se

expandió rápidamente en los siguientes años y hoy se conocen cientos de productos que trabajan como plastificantes del PVC¹.

Por muchos años el PVC y los plastificantes tuvieron crecimientos similares, pero desde 1958 los plastificantes crecieron con mayor rapidez que el PVC. La razón básica es el cambio en las formulaciones de vinilo. En 1950 los vinilos contenían como promedio un 47% de plastificantes, en 1964 fue del 42% y en 1965 del 40%.

Los vinilos que usan menos plastificante que el promedio y que están haciéndose más populares día con día son: los vinilos rígidos, que se utilizan para la construcción de tubos, perfiles; los pisos de vinilo y los recubrimientos protectores.

1.1.2 Teoría de la plastificación

Los plastificantes tienen la propiedad de reducir la temperatura de fusión, el módulo de elasticidad y la temperatura de transición vítrea del material, además de que permite regular la flexibilidad del polímero reduciendo las atracciones intermoleculares (fuerzas de cohesión de Van der Waals) y promueve así una mayor movilidad, específicamente en lo que se refiere a la rotación de los segmentos en cadena, la cual se facilita, por lo que el material se vuelve más flexible.

Las resinas termoplásticas están constituidas por uniones químicas en la dirección longitudinal, estas uniones solamente operan a lo largo de la cadena del polímero. Las fuerzas de unión entre cadenas son las fuerzas de Van der Waals. Al plastificar una resina termoplástica, lo que hacemos en realidad es una modificación controlada de las fuerzas de atracción entre las cadenas del polímero, éstas varían en magnitud y número con el tipo de resina.

Los plastificantes son atraídos por los grupos polares en la cadena del polímero y reemplazan uniones polímero-polímero con cadenas polímero-plastificante. A altas temperaturas el plastificante forma una fase continua en la cual las cadenas separadas pueden moverse.

Las moléculas polares de plastificantes actúan sobre los puntos de conexión de las cadenas de polímeros originados por las fuerzas intermoleculares existentes entre dipolos y reducen el

número de estas uniones polímero-polímero debilitando la estructura del panel que el conjunto no plastificado presentaba.

Los plastificantes se usan para aumentar la fluidez de la resina y así incrementar la procesabilidad de ella, impartiendo al mismo tiempo flexibilidad al producto final. Mecánicamente un plastificante reduce en algo la resistencia a la tensión e incrementa la elongación y elasticidad de la resina².

1.1.3 Procedimientos para incorporar el plastificante.

Las maneras de incorporar los plastificantes son³:

1 Mezclado en seco

Se adiciona el plastificante a una resina altamente absorbidora, esta se moja y absorbe el plastificante sobre la superficie de la partícula de resina. Con mezclado y calor moderado, el plastificante se absorbe totalmente para dar un polvo hinchado de plastificante. Después de enfriar el materia, éste se puede introducir a una extrusora, molino de rodillo o calandria.

Los plastificantes tipo solvente son más fácilmente absorbidos, pero los de alto peso molecular pueden usarse para obtener polvos secos después de la aplicación adicional de calor durante la mezcla.

2 Mezclado en caliente.

Involucra el mezclado del plastificante y la resina con estabilizadores, filtros, pigmentos y lubricantes a una temperatura aproximada de 150-170°C, se diferencia del mezclado en seco, en que la resina y el plastificante son mutuamente solvatados por aplicación de calor y energía para formar una masa viscosa. Equipos tales como mezcladoras Bambury o molinos de rodillos se usan en este proceso. Al equipo de formado final se introduce un compuesto totalmente fundido.

3. Plastisoles

Los plastisoles son estables, se preparan como dispersiones de una resina en el plastificantes, este humedece a la resina a temperatura ambiente, pero la penetra y solvata lentamente, se usan para ropa de algodón y metales además para la manufactura de juguetes.

Variaciones a este método son las de adicionar una pequeña cantidad de disolvente, el cual se evapora, para controlar la viscosidad. La desventaja que tiene este proceso es que se forman suspensiones que son más difíciles de mover.

4. Soluciones

El policloruro de vinilo se disuelve en una cantidad aceptable de disolvente, como la ciclohexanona, tetrahidrofurano o mezclas de cetonas e hidrocarburos. La solución puede ser mezclada con un plastificante y usarse para hacer películas.

5. Latices

Son suspensiones coloidales de partículas de polímero en agua, son usualmente preparadas por la polimerización de emulsiones monoméricas. Frecuentemente las partículas del polímero son plastificadas a temperatura ambiente por el mezclado de un plastificante, usualmente preemulsificado, dentro de un látex durante 48 horas.

1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS PLASTIFICANTES

Los plastificantes se clasifican en⁴

Primarios y secundarios

Los plastificantes primarios son aquellos que son altamente compatibles con el polímero o resina al que se agregan, tienen menor temperatura de transición vítrea T_g y aumentan la elongación y ablandamiento del polímero, mientras que los secundarios se usan comúnmente en combinación con los plastificantes primarios. Esta clasificación es vaga pues también depende del polímero usado, de la concentración deseada, y del ambiente y condiciones deseadas. La aparente compatibilidad de un plastificante con una resina o polímero puede estar influenciada por factores como presión, temperatura, humedad y luz.

Dentro de este grupo de plastificantes podemos mencionar a las oletinas, los residuos alquil-arilo y los ésteres de varios ácidos grasos

Por su composición química

Dependiendo de la composición química los plastificantes se pueden agrupar en ésteres y poliméricos.

Los ésteres suelen producirse partiendo de ácidos o de anhídridos y un alcohol, éstos se encuentran entre los compuestos más importantes y más difundidos en la naturaleza, en la industria química se usan para una amplia variedad de propósitos.

Los plastificantes poliméricos son ésteres de alcoholes polihídricos con ácidos dibásicos, por ejemplo, los ésteres de polipropilenglicol con los ácidos adipico, azelaico y sebáico

Miscibilidad en resinas de PVC

Un criterio más utilizado es la miscibilidad de los plastificantes en resinas de cloruro de polivinilo. Se ha observado que en los ésteres el grado de miscibilidad esta relacionado con el contenido de los grupos alifáticos (C_3H_7) que un plastificante contenga, las olefinas entre 4 y 8 carbonos son las más miscibles y si se les agrega un radical ácido más activo, por ejemplo un fosfato, se puede aumentar la cadena hasta 14 carbonos.

Los ésteres que presentan mayor miscibilidad para un grupo alquilo son en orden decreciente: fosfatos, ftalatos, trimelitados, adipatos, sebacatos y en menor grado los estearatos y los palmitatos

1.2.1 Plastificantes de uso común

Ésteres ftálicos¹

Los diésteres del anhídrido ftálico se producen comercialmente a partir de alcoholes C1-C13. El ftalato de di-n-butilo (DBP) y el ftalato de diisobutilo (DIBP) son usados en muchas formulaciones del PVC, principalmente para facilitar la gelación. Debido a su alta volatilidad, en comparación con otros ftalatos, se usan junto con ésteres de alto peso molecular. El ftalato de diisopentilo (DIPP) se usa de una manera similar, mientras que el ftalato de diisooheptilo, un éster basado en un alcohol iso-heptílico, muestra una buena acción plastificante con el PVC y con otros polímeros. El DOP es aceptado como un plastificante primario, debido a que sus propiedades son adecuadas para muchas aplicaciones industriales.

Las características de estos plastificantes son: Buena compatibilidad, solvatación, buena estabilidad térmica y luminosa (UV), excelentes propiedades a temperatura ambiente, transparencia y cristalinas, costos accesibles, cierta limitación a la tendencia hacia la inflamabilidad.

Los bencil ftalatos solos o, más frecuentemente, mezclados con ftalatos dialquílicos, se usan primordialmente para la plastificación y facilitan el proceso, además de mejorar la resistencia a la corrosión y resistencia a la extracción del disolvente en el PVC final.

Fosfatos orgánicos

Las principales ventajas de los fosfatos como el fósforo tricresílico, es la baja volatilidad y buena compatibilidad con el PVC, así como la resistencia a la flama, resistencia a la migración, bajo costo, y superioridad con respecto a los ftalatos en flexibilidad a bajas temperaturas.

Epoxi

Este tipo de plastificantes son derivados de aceites vegetales, particularmente del aceite epoxidado de soya y aceite de linaza, con pesos moleculares de 1000. Este tipo de plastificantes se usan comúnmente en pequeñas cantidades para estabilizar sistemas de PVC, son resistentes a la extracción y tienen baja volatilidad.

Trimelitaos

Los ésteres del anhídrido trimelítico (TMA) han tenido una gran aceptación en los últimos años debido a sus excelentes propiedades térmicas, baja volatilidad, buena resistencia a la oxidación y resistencia a la extracción, el trimelitato de tris-2-etilhexilo es el más ampliamente usado.

Hidrocarburos y derivados del petróleo.

Un hidrocarburo puede ser utilizado como plastificante secundario, para dar mejores propiedades eléctricas, los más usados son HB-40 (hidrogenación parcial del terfenilo), naftalenos y toluenos. Algunos cortes del petróleo, como tienen alto peso molecular y contienen oxígeno, azufre y nitrógeno se usan para extender las cadenas de los plastificantes secundarios.

Plastificantes para bajas temperaturas³

Adipatos, sebacatos y azelatos.

Los adipatos son ésteres que provienen del ácido adipico, tienen dos ventajas respecto a los ftalatos: su baja viscosidad intrínseca da una menor viscosidad al plastisol y una estabilidad para su almacenamiento y sus propiedades son más flexibles. Los ésteres de los ácidos azelóicos y sebacicos se usan en el PVC por las mismas razones que los adipatos, pero tienen la desventaja de que son más caros y tienen cierta incompatibilidad con el PVC.

Poliméricos

Poliésteres de glicoles y ácidos dicarboxílicos resultan plastificantes de alto peso molecular, lo que les da como ventaja una excepcional resistencia a la extracción, migración y baja volatilidad. Estos se basan en la condensación de productos del propano o butanodiolos con ácido adipico o anhídrido ftálico.

1.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS PLASTIFICANTES

En los plastificantes se observan las siguientes características⁷.

Eficiencia

La eficiencia en un plastificante se refiere a llevar a cabo el efecto deseado, y como medida de la eficiencia se usa la concentración requerida para producir un efecto específico en dureza, flexibilidad o módulo de elasticidad en el producto. Los plastificantes monoméricos obtenidos de alcoholes con 6 a 8 átomos de carbono generalmente son los más eficientes.

La regla de Leilich dice que entre más viscoso sea un plastificante menos eficiente es.

Flexibilidad a bajas temperaturas

La flexibilidad de un producto a bajas temperaturas está en función de la temperatura de transición vítrea (T_g) del plastificante y la resina. Los plastificantes de baja polaridad tienen baja T_g y en consecuencia, contribuyen mejor a la flexibilidad a temperaturas bajas, los alifáticos son los mejores pero son los más caros y lo mismo puede decirse de los plastificantes de cadena lineal. T_g es la temperatura a la que los materiales se vuelven rígidos.

Velocidades de gelación

Se mide la velocidad de gelación a una temperatura seleccionada o a la misma temperatura a la cual hay gelación. La gelación se considera al momento en que el compuesto formulado con plastificante adquiere una consistencia gelatinosa.

Permanencia

Es la tendencia del compuesto a perder plastificante, esta puede ocurrir por vaporización, extracción. Cuando aumenta el peso molecular, mayor al ftalato de dibutilo, la volatilidad disminuye.

El plastificante se puede extraer con agua, agua jabonosa, aceites y otros agentes. La resistencia a la extracción es muy importante cuando se utilizan en empaques para productos alimenticios.

Estabilidad térmica

La adición de un plastificante al PVC tiende a inhibir la degradación térmica durante el proceso. La oxidación es el factor que mas contribuye a la degradación produciendo pérdida de flexibilidad en el producto, mal olor, color y malas propiedades eléctricas en el producto. Por lo que muchas veces es necesario agregar una pequeña cantidad de antioxidante, por ejemplo el bisfenol es efectivo con DIOP

Estabilidad a la luz

La resistencia a la luz varia con la concentración del plastificante, algunas veces se agregan al plastificante pequeñas cantidades de fosfitos orgánicos para mejorar la estabilidad a la luz. La luz solar puede causar efectos de degradación

Manchado

Los productos de PVC plastificado pueden ser manchados por sustancias como el asfalto, lápiz labial, aceite, grasa y productos alimenticios, especialmente cuando estas sustancias son solubles en el plastificante, en tal caso habrá penetración de la mancha. El mayor problema es cuando la concentración del plastificante es alta, y cuando el plastificante y el polímero no son muy compatibles.

Flamabilidad

La flamabilidad del PVC depende del tipo y concentración del plastificante que contenga, plastificantes como los ftalatos, adipatos y poliésteres contribuyen a la flamabilidad, materiales como fosfatos triarílicos y alquilarícos inhiben la flamabilidad y pueden mezclarse con otros tipos de plastificantes para mejorar las propiedades físicas.

Resistencia a la corrosión

El PVC rígido se caracteriza por su excelente resistencia a la corrosión, pero la presencia de algunos plastificantes hacen que le afecte el agua y otros compuestos químicos.

Nebulosidad

La volatilidad de algunos plastificantes puede afectar la aceptación de compuestos de PVC plastificado usados para tapicería de automóviles pues se puede condensar por dentro de las ventanillas y parabrisas con la consiguiente crítica del usuario.

Exudación

El uso de plastificantes secundarios puede causar problemas de exudación se sobrepasan los niveles de compatibilidad frente a los primarios o hay condiciones críticas en la manufactura y transformación del compuesto o en el uso del artículo final. Entonces la exudación es la pérdida de líquidos del compuesto debida a las condiciones del proceso de transformación al que es sometido dicho compuesto.

TABLA 1.1
PROPIEDADES DE ALGUNOS PLASTIFICANTES

| Platificante | Volatilidad, %peso | Tf, °C | Extracción | | Dureza |
|---|-----------------------|--------|-------------|-----------------|--------|
| | | | Agua, %W | keroseno, %W | |
| adipato de bis (2-etilhexílico) | 13.9 | -66 | 0.10 | >70 | 65 |
| azelato de bis (2-etilhexílico) | 5.7 | -67.2 | 0.06 | 73 | 70 |
| epoxitalato de 2-etilhexílico | 1.5 | -58 | 0.13 | 81 | 64 |
| ftalato de bis (2-etilhexílico) (DOP) | 4.5 | -39 | 0.01 | 44.3 | 68 |
| tereftalato de bis (2-etilhexílico) (DOTP) | 1.9 | -41.8 | 0.09 | 71 | 76 |

1.4 EL PROCESO BATCH PARA LA PRODUCCION DE DOS PLASTIFICANTES: DOP Y DOTP

Materias primas: anhídrido ftálico o dimetil tereftalato, 2-etilhexanol, $TB1$ como catalizador, CO_2 , hidróxido de sodio y agua oxigenada

Como se menciona en la introducción para la producción de estos dos plastificantes a nivel industrial no se cuenta con un proceso continuo sino con uno discontinuo, formado por un tanque agitado donde se realizan las etapas de reacción y de purificación: la primera de ellas toma aproximadamente un tiempo de 18 horas y comienza con la carga de la materia prima a una temperatura de $70\text{ }^\circ\text{C}$, para después calentar hasta $115\text{ }^\circ\text{C}$, que es cuando comienza la reacción al agregar el catalizador; la temperatura máxima de reacción está entre los 235 y $240\text{ }^\circ\text{C}$. La reacción se da por finalizada cuando ya no sale del reactor más metanol o agua.

Posteriormente se deja enfriar para eliminar el 2-etilhexanol remanente mediante un flasheo a vacío, una vez que ha dejado de salir todo el alcohol se toma una muestra del producto para determinar el color, si es muy elevado se decolora con el agua oxigenada a $135\text{ }^\circ\text{C}$, se procede entonces a neutralizar la mezcla de reacción con sosa al 10% y a una temperatura de $85\text{ }^\circ\text{C}$, se chequea entonces la acidez, que debe estar dentro de los límites establecidos.

Una vez realizado lo anterior se lava el producto con agua y se deja reposar por media hora, de esta forma se permite la formación de dos fases: una orgánica que contiene al plastificante y otra que es acuosa, se elimina esta última para llegar al último paso del proceso que consiste en deshidratar el producto final.

1.5 ASPECTOS ECONÓMICOS

El ftalato de dioctilo (DOP) es considerado como un plastificante estándar debido a sus usos generales, y ocupa aproximadamente un cuarto de la producción total de plastificantes, hoy en día el dioctil tereftalato (DOTP) está aumentando su producción.

A continuación se muestra un breve estudio a nivel nacional acerca de las materias primas para la producción de plastificantes, así como la de los plastificantes^{5,6,7}.

2-Etilhexanol

El mayor uso para el 2-etilhexanol es en la manufactura de ésteres para la producción de plastificantes (98%) El DOP es uno de los plastificantes más ampliamente usados que se fabrica a partir del 2-etilhexanol, además de los que provienen del ácido adipico.

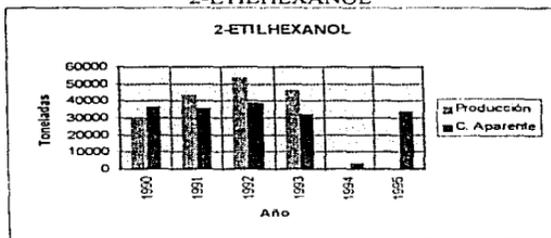
Los ésteres maleico y fumarico del 2-etilhexanol son monómeros activos usados en la copolimerización con acetato de vinilo para emulsiones y adhesivos. Este alcohol también se usa para la fabricación del acrilato 2-etilhexílico, un monomero funcional usado para recubrimientos, tintas y adhesivos. También se le ha encontrado un uso limitado como disolvente, agente espumante o dispersante (2%)

Distribuidores: Atlanta Química S. A. de C. V., BASF Mexicana, Celanese Mexicana S. A. de C. V., Egon Meyer S. A., Especialidades Industriales y Químicas S. A. de C. V., Grupo ICI México S. A. de C. V., Petroval Productos Químicos Orgánicos e Inorgánicos S. A. de C. V., Quimivan S. A. de C. V., Union Carbide Química y Plastificantes S. A. de C. V.

TABLA 1.2
2-ETILHEXANOL

| TONELADAS | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| PRODUCCIÓN | 30331 | 43698 | 53643 | 46291 | 0 | 0 |
| IMPORTACIÓN | 7171 | 3501 | 2880 | 1523 | 37957 | 33926 |
| EXPORTACIÓN | 566 | 11578 | 11544 | 15562 | 1292 | 8 |
| C. APARENTE | 36936 | 35621 | 38979 | 32255 | 3665 | 33918 |
| INCTO. C.A. % | -2.9 | -3.6 | 9.4 | -17.3 | 13.7 | -7.5 |
| CAP. INSTALADA | 70000 | 70000 | 60000 | 60000 | 0 | 0 |

GRÁFICA 1.1
2-ETILHEXANOL



DMT

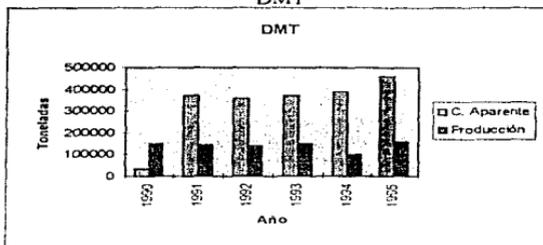
Se usa para la fabricación de películas y fibras poliéstericas

Productor: Petrocel, S. A. ubicado en Altamira, Tamaulipas.

TABLA 1.3
DMT

| TONELADAS | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| PRODUCCIÓN | 34068 | 370359 | 357188 | 373152 | 391333 | 459606 |
| IMPORTACIÓN | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| EXPORTACIÓN | 188040 | 223129 | 217248 | 221751 | 291307 | 302341 |
| C. APARENTE | 152640 | 147240 | 139940 | 151401 | 100026 | 157265 |
| INCTO. C.A. % | 7.2 | -3.5 | -5 | 8.2 | -33.9 | 57.2 |
| CAP. INSTALADA | 375000 | 420 | 420 | 420 | 420 | 420 |

GRÁFICA 1.2
DMT



Anhídrido Ftálico

El mayor uso para el anhídrido ftálico es en la manufactura de plastificantes, resinas alquídicas y poliésteres. Tiene otros usos de menor importancia como para la elaboración de pigmentos, tintes, perfumes, farmacéuticos, disolventes, repelentes de insectos y una variedad de intermediarios químicos.

Productores: Celanese Mexicana S. A. de C. V., Grupo Primex S. A. de C. V., Síntesis Orgánicas S. A. de C. V., Sumitomo Corporation México S. A.

Distribuidores: Atlanta Química S. A. de C. V., Especialidades Industriales y Químicas S. A. de C. V., Pretroval Productos Químicos Orgánicos e Inorgánicos S. A. de C. V.

TABLA 1.4
USOS PRINCIPALES DEL ANHÍDRIDO FTÁLICO

| Usos | % |
|----------------|----|
| Plastificantes | 32 |
| Resinas | 51 |
| Pigmentos | 3 |
| Pinturas | 12 |
| Otros | 12 |

GRÁFICA 1.3

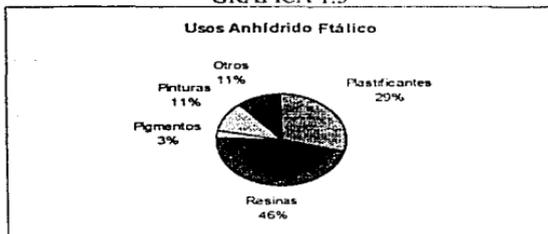
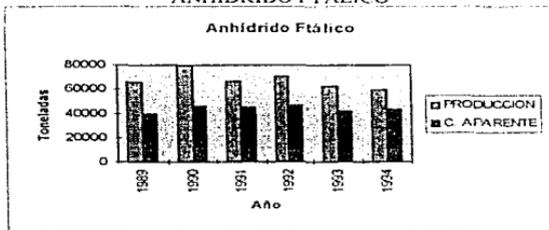


TABLE 1.5
ANHÍDRIDO FTÁLICO

| TONELADAS | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 |
|----------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| PRODUCCIÓN | 65709 | 79170 | 66893 | 70567 | 62461 | 59391 |
| IMPORTACIÓN | 0 | 70 | 62 | 41 | 655 | 92 |
| EXPORTACIÓN | 26410 | 32912 | 21671 | 23824 | 21509 | 16056 |
| C. APARENTE | 39299 | 46328 | 45284 | 46784 | 41907 | 43427 |
| INCTO. C.A. % | 20.4 | 17.9 | -2.3 | 3.3 | -10.4 | 3.6 |
| CAP. INSTALADA | 113500 | 113500 | 113500 | 95500 | 83500 | 83500 |

GRAFICA 1.4
ANHÍDRIDO FTÁLICO



DOP

Se utiliza en la industria farmacéutica y alimenticia por su bajo contenido de alcohol residual, teniendo como especificación importante un punto de flama superior a los 200°C, también se usa como plastificante primario para el PVC, al cual imparte flexibilidad a bajas temperaturas, durabilidad y retención de propiedades mecánicas.

Productores: Bayem, S. A. de C. V., Celanese Mexicana, S. A., Grupo Primex, S. A. de C. V., Pyn, S. A., Síntesis Orgánicas, S. A. de C. V., Resinas y Materiales S. A. de C. V., Especialidades Industriales y Químicas S. A. de C. V., Aldeva, S. A. de C. V.

TABLA 1 6
USOS DEL DOP

| Usos | % |
|----------------------|----|
| Tubería | 6 |
| Plastisoles/Juguetes | 7 |
| Compuestos PVC | 31 |
| Película | 15 |
| Piso y loseta | 2 |
| Calzado | 28 |
| Otros | 11 |

GRÁFICA 1 5

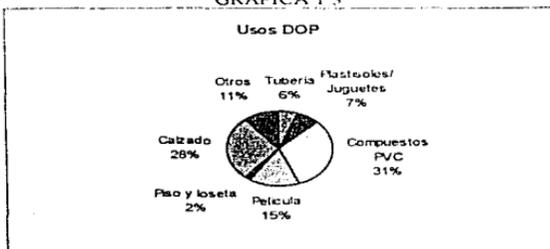
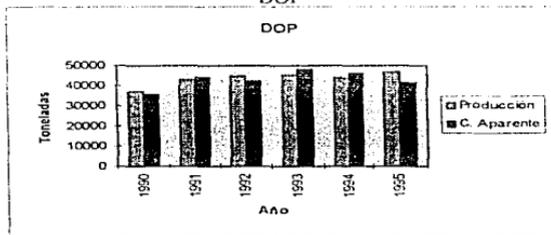


TABLA 1.7
DOP

| TONELADAS | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 |
|---------------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|
| PRODUCCIÓN | 37300 | 43000 | 44744 | 45361 | 43766 | 46766 |
| IMPORTACIÓN | 1788 | 2838 | 1695 | 4249 | 2638 | 381 |
| EXPORTACIÓN | 3211 | 1546 | -4099 | 1502 | 227 | 5786 |
| C. APARENTE | 35877 | 44289 | -42345 | -48108 | 46177 | 41361 |
| INCTO. C.A. % | 3.7 | 23.4 | -4.4 | 13.6 | -4 | -10.4 |
| CAP. INSTAL. | 90000 | 90000 | 90000 | 90000 | 90000 | 90000 |

GRÁFICA 1.6
DOP



H₂O₂

Distribuidores: Degussa México, S. A. de C. V., Electro Química México, J. T. Baker, S. A. de C. V., Productos Químicos Monterrey S. A. de C. V., Promotores y Catalizadores Orgánicos.

NaOH

Distribuidores: Celulosa y Derivados S. A. de C. V., Cloro de Tehuantepec S. A. de C. V., Mazer de México S. A. de C. V., Pennwalt S. A. de C. V.

1.6 PROPIEDADES FÍSICAS Y ESPECIFICACIONES COMERCIALES

Tereftalato de dimetilo (DMT)

Propiedades físicas

Sólido (en pastilla) de color blanco, insoluble en agua, y soluble en éter y alcohol caliente, tiene un punto de fusión de 140°C, sublima por arriba de los 300°C, con un punto de ebullición de 288°C de olor característico. Baja toxicidad al contacto con la piel, e inhalación, se debe evitar todo contacto con este material^{8,9}.

Primeros auxilios

1. Al contacto con la piel lavar con agua y una solución de carbonato de sodio.
2. Al contacto con los ojos, lavar con agua durante 15 minutos
3. En caso de inhalación, alejarse del lugar y respirar aire fresco.
4. En caso de ingestión tomar dos vasos de agua o leche, llamar al médico en casos urgentes.

Manejo y almacenaje

1. Producto de baja toxicidad por inhalación, y al contacto con la piel, ojos y ropa.
2. Se debe utilizar equipo de seguridad personal como son lentes, mascarilla para vapores orgánicos, guante de hule, casco y zapato de seguridad
3. No se debe mezclar este producto con ácidos, álcali fuerte y peróxido de hidrógeno.

Incendio

En caso de incendio se debe aislar la zona afectada, usar extintores tipo A, B, o C

Anhidrido ftálico

Propiedades físicas

Sólido blanco en escamas, con peso molecular de 148.11 g/mol, soluble en alcohol y agua caliente, tiene un punto de fusión de 131.16°C, punto de ebullición de 285°C, autoignición de 583°C, es combustible, tóxico por inhalación e irritante a la piel por lo que se debe evitar todo contacto. Tiene una tolerancia de 1 ppm en el aire^{8,9}.

TABLA 1.8
ESPECIFICACIONES COMERCIALES DEL ANHÍDRIDO FTÁLICO

| <i>Especificaciones</i> | <i>Valor</i> |
|--------------------------------|---------------|
| % de pureza | 99.5 (min.) |
| Color, APHA | 30 (max.) |
| Punto de solidificación | 131 °C (min.) |
| Contenido de anhídrido maléico | 0.15 % (max.) |
| Contenido de ácido ftálico | 0.5 % (max.) |

Primeros auxilios

1. Al contacto con la piel lavar con agua y una solución de carbonato de sodio.
2. Al contacto con los ojos, lavar con agua durante 15 minutos
3. En caso de inhalación, alejarse del lugar y respirar aire fresco
4. En caso de ingestión tomar dos vasos de agua o leche, llamar al médico en casos urgentes.

Manejo y almacenaje

1. Producto tóxico por ingestión e inhalación, evite contacto con la piel, ojos y ropa.
2. Se debe utilizar equipo de seguridad personal como son lentes, mascarilla para vapores orgánicos, guante de hule, casco y zapato de seguridad.
3. No se debe mezclar este producto con álcali fuerte y peróxido de hidrógeno
4. Se debe empaquetar en bolsas de 50 libras, y guardarse en un área fría, ventilada y sin peligro de flamas.

Incendio

En caso de incendio se debe aislar la zona afectada, usar extintores tipo A, B, o C.

2-Etilhexanol

Propiedades físicas

Líquido claro de peso molecular 130.2 g/mol, con olor característico, forma una mezcla transparente con otros alcoholes, éteres y líquidos orgánicos, ligeramente soluble en agua (0.07 % peso a 20°C); tiene un punto de flama de 81.1°C, y un punto de ebullición de 180°C, con una presión de vapor de 0.36 mm a 20°C, punto de fusión de -75°C, densidad de 0.8329 a 20°C, con una viscosidad de 9.8 mPa*s. Es combustible⁴⁹

TABLA 19
ESPECIFICACIONES COMERCIALES DEL 2-ETILHEXANOL

| <i>Especificaciones</i> | <i>Valor</i> |
|-------------------------------------|--------------|
| % de pureza | 9.5 (min.) |
| Color, APHA | 10 (max.) |
| Acidez (% de Ácido acético) 0.007 | (max) |
| Número de saponificación (mg KOH/g) | 1.0 (max.) |

Primeros auxilios

1. Al contacto con la piel lavar con agua y una solución de carbonato de sodio.
2. Al contacto con los ojos, lavar con agua durante 15 minutos.
3. En caso de inhalación, alejarse del lugar y respirar aire fresco.
4. En caso de ingestión tomar dos vasos de agua o leche, llamar al médico en casos urgentes.

Manejo y almacenaje

1. Producto tóxico por ingestión e inhalación, evite contacto con la piel, ojos y ropa.
2. Se debe utilizar equipo de seguridad personal como son lentes, mascarilla para vapores orgánicos, guante de hule, casco y zapato de seguridad.
3. No se debe mezclar este producto con álcali fuerte y peróxido de hidrógeno.
4. Transportar en carros tanque.

Incendio

En caso de incendio se debe aislar la zona afectada, usar extintores tipo A, B, o C.

Peróxido de Hidrógeno

Propiedades físicas

Líquido incoloro, pesado con sabor amargo, punto de fusión -0.4°C ; punto de ebullición 152°C ; miscible en agua, peso molecular 34 g/mol , OES período corto 2 ppm (3 mg/m^3); período largo 1 ppm (1.5 mg/m^3).

El peróxido de hidrógeno, especialmente en altas concentraciones, es irritante y cáustico para las membranas mucosas, ojos y piel. Si es ingerido, la rápida evolución del oxígeno puede causar daños por distensión aguda del estómago y puede causar náuseas, vómito y sangrado interno.

Las reacciones peligrosas desde la ignición hasta la explosión se registran con muchas sustancias^{8,9}

Primeros auxilios

1. Al contacto con la piel lavar inmediatamente con agua.
2. Al contacto con los ojos lavar con agua durante 15 minutos.
3. En caso de inhalación alejarse del lugar y respirar aire fresco.

En caso de ingestión tomar 2 vasos de agua o leche

Almacenamiento

1. Producto tóxico, corrosivo y oxidante al contacto con la piel, ojos y ropa.

Incendio

1. Utilizar spray de agua para extinguir los fuegos

Hidróxido de Sodio

Propiedades físicas

Hojuelas incoloras, bastones, polvo o pastillas, punto de fusión 318.4°C ; punto de ebullición 1390°C ; soluble en agua^{8,9}.

Efectos Tóxicos

El sólido y las soluciones fuertes son irritantes y corrosivos en todos los tejidos y pueden causar severas quemaduras en los ojos y en la piel. Si es ingerido puede causar severas irritaciones y daños internos. La inhalación del polvo puede causar irritación y daño en el tracto respiratorio.

Ocasiona reacciones exotérmicas con cantidades limitadas de agua; reacciona vigorosamente con cloroformo/metanol; se puede ocasionar una explosión cuando es calentado con circonio

Primeros auxilios

1. Al contacto con la piel lavar inmediatamente con agua y solución de carbonato de sodio.
2. Al contacto con los ojos lavar con agua durante 15 minutos.
3. En caso de inhalación alejarse del lugar y respirar aire fresco.
4. En caso de ingestión tomar 2 vasos de agua o leche.

Almacenamiento

1. Producto tóxico y corrosivo por ingestión e inhalación.
2. Evitar el contacto con piel, ojos y ropa.

Incendio

Se puede utilizar agua para extinguir los incendios en una área en donde el hidróxido de sodio es almacenado, siempre y cuando el agua no este en contacto con el material mismo.

Ftalato de dioctilo (DOP)

Propiedades físicas

El DOP es un líquido aceitoso, de fórmula $C_{26}H_{44}(COOC_8H_{17})_2$ con peso molecular de 390. Insoluble en agua y soluble en aceites minerales. Tiene una densidad a 25°C de 0.9850 g/cm³, un punto de ebullición a 5 mm Hg de 230 °C, punto de flasheo de 420°F, viscosidad a 25°C de 82 cP, con un índice de refracción de 1.485 a 25°C^{6,9}.

**TABLA 1.10
ESPECIFICACIONES COMERCIALES DEL DOP**

| Color | 30 máximo | Unidad | Método |
|--------------------------|-----------|-------------------------|--------|
| Acidez máxima | 0.007 | APHA | D-1045 |
| Humedad | 0.1 | % Ac. acético | D-1045 |
| Punto de inflam. | 190 | % máximo | D-1045 |
| Volátiles | 0.3 | °C, min | D-92 |
| Índice de refracción | 1.4855 | % max | D-2288 |
| Pureza | 99.6 | a 25°C | D-1045 |
| Resistividad volumétrica | 0.18 | % éster min | |
| | | Ohm-cm*10 ¹² | D-1169 |

Primeros auxilios

1. Al contacto con la piel lavar con agua y una solución de carbonato de sodio.
2. Al contacto con los ojos, lavar con agua durante 15 minutos.
3. En caso de inhalación, alejarse del lugar y respirar aire fresco.
4. En caso de ingestión tomar dos vasos de agua o leche, llamar al médico en casos urgentes.

Manejo y almacenaje

1. Producto tóxico por ingestión e inhalación, evite contacto con la piel, ojos y ropa.
2. Se debe utilizar equipo de seguridad personal como son lentes, mascarilla para vapores orgánicos, guante de hule, casco y zapato de seguridad.
3. Se debe almacenar en tambores de 55 galones de acero negro y transportar en carros tanque.

Tereftalato de dioctilo (DOTP)

Propiedades físicas

El DOTP es un líquido aceitoso, de fórmula $C_{26}H_{34}(COOC_8H_{17})_2$, con peso molecular de 390. Insoluble en agua y soluble en aceites minerales. Tiene una densidad a 25°C de 0.9840g/cm³, un punto de ebullición 383 °C a una atmósfera de presión^{6,9}.

**TABLA 1.11
ESPECIFICACIONES COMERCIALES DEL DOTP**

| Color | 25 máximo | Unidad | Método |
|--------------------------|-----------|-------------------------|--------|
| Acidez máxima | 0.007 | APHA | D-1045 |
| Humedad | 0.1 | % Ac. acético | D-1045 |
| Punto de inflam. | 190 | % máximo | D-1045 |
| Volátiles | 0.3 | °C, min | D-92 |
| Pureza | 99.6 | % max | D-2288 |
| Resistividad volumétrica | 0.18 | % éster min. | |
| | | Ohm-cm*10 ¹² | D-1169 |

1.7 CINÉTICA QUÍMICA

Las reacciones químicas pueden clasificarse como homogéneas, si solamente entra una fase o heterogéneas si entra más de una fase activa en la reacción, otra clasificación de las reacciones es isotérmicas, adiabáticas, a presión constante o a volumen constante.

En el curso de una reacción química, las concentraciones de todas las especies presentes varían con el tiempo, cambiando también las propiedades del sistema. La rapidez de la reacción se calcula midiendo el valor de cualquier propiedad adecuada que pueda relacionarse con la composición del sistema en función del tiempo. Existen muchos métodos para seguir una reacción con el tiempo, algunos son la presión, cambios en el pH, cambios en el índice de refracción, cambios en la conductividad térmica, cambios en el volumen.

La cinética química es el estudio de la velocidad y del mecanismo por medio de los cuales una especie química se transforma en otra. La rapidez es la masa, en moles, de un producto formado o de un reactante consumido por unidad de tiempo. El mecanismo es la secuencia de eventos químicos individuales cuyo resultado global produce la reacción observada.

Para obtener la cinética de la reacción es necesario:

1. Establece el mecanismo químico de la reacción.
2. Recolectar datos experimentales.
3. Compararlos con ecuaciones matemáticas.

Velocidad de reacción

La velocidad de una reacción homogénea se define como el cambio del número de moles (debido a la reacción) de un reactante o un producto, por unidad de tiempo y unidad de volumen de la mezcla reaccionante. Con las restricciones mencionadas en el párrafo anterior, la rapidez de producción de una especie i puede expresarse como¹⁰.

$$r_i = \frac{1}{V} \frac{dn_i}{dt} = \frac{dc_i}{dt} \quad (1.1)$$

donde n_i y C_i son el número de moles y la concentración de la especie química i , r_i será positiva para un producto y negativa para un reactivo.

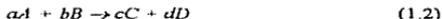
En general la expresión de rapidez para un componente i puede escribirse como¹¹:

$$r_i = f(C, T, P, m)$$

donde C significa la concentración, T la temperatura, P la presión total del sistema y m incluye otros parámetros que puedan ser tomados en consideración.

Orden de reacción

Los primeros investigadores de la cinética encontraron que existen relaciones simples entre las velocidades de reacción y las concentraciones de reactantes. Considere la reacción:



por lo que la rapidez de desaparición de A se puede expresar como

$$r_A = -\frac{dC_A}{dt} = k C_A^\alpha C_B^\beta \quad (1.3)$$

donde

C_A y C_B = concentraciones de los reactivos, moles/litros

k = constante de rapidez de reacción, independiente de la concentración de los reactivos

α y β = exponentes determinados empíricamente

El orden de la reacción es la suma de los exponentes en la ecuación (1.3), que se determina experimentalmente, entonces α es el orden de la reacción respecto a A, y β es el orden con respecto a B. Estos exponentes pueden ser enteros o fracciones, además de poder tener valores positivos o negativos y el valor de cero. En muchos casos los exponentes son independientes de la temperatura.

Cabe mencionar que el orden de la reacción no está relacionado con la estequiometría. Los órdenes individuales son cantidades que deben ser determinados experimentalmente.

La constante de rapidez de reacción

El valor de la constante de rapidez de reacción varía con la temperatura, el disolvente para la reacción y la concentración de algún catalizador que sea necesario para que la reacción se lleve a cabo, k es totalmente independiente de las concentraciones de reactivos y productos¹⁰.

Las unidades de la constante de rapidez dependen del orden global de la reacción:

$$k = \frac{r}{C^n} = \frac{\text{mol / vol} \cdot \text{tiempo}}{(\text{mol / vol})^n} \quad (1.4)$$

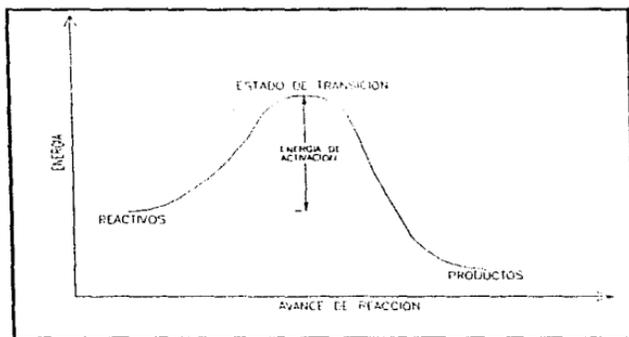
1.7.1 Efecto de la temperatura - Ecuación de Arrhenius

La velocidad de las reacciones químicas es influenciada notablemente por la temperatura. Arrhenius sugirió que en cada sistema existe un equilibrio entre las moléculas normales y las

moléculas activas y que estas últimas son las únicas que pueden tomar parte en una reacción química. Esto explica la marcada influencia de la temperatura sobre la velocidad de reacción, ya que una elevación de temperatura favorecerá la formación de moléculas activas.

Únicamente las moléculas que tienen energía en exceso sobre un determinado valor, a saber la energía de activación, resultan capaces de tomar parte en una reacción química. La magnitud de esa energía dependerá de la naturaleza del proceso. La probabilidad de que una molécula posea energía en exceso en una cantidad E por mol a la temperatura T esta relacionada con el factor de $e^{-E/RT}$, donde R es la constante molar de los gases.

Figura 1.1



Por otra parte la velocidad de reacción dependerá también de la frecuencia de los choques entre las moléculas, esto está representado por A denominado factor de frecuencia, el cual representa la frecuencia total de los choques independientemente de si poseen energía suficiente. La velocidad de reacción dependerá entonces del producto de la frecuencia de los choques por el factor de activación. Esto da origen a la ecuación de Arrhenius:

$$k = A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}} \quad (1.5)$$

donde A es el factor de frecuencia y tiene las mismas unidades de k , E es la energía de activación y fue definida por Arrhenius como la cantidad de energía en exceso del nivel promedio de energía que necesitan los reactantes para que la reacción se lleve a cabo. Esta también se ve influenciada por la presión y la presencia de un catalizador.

Combinando las ecuaciones (1.3) y (1.5) tenemos

$$-\frac{dC_A}{dt} = A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}} C_A^\alpha C_B^\beta \quad (1.6)$$

Esto proporciona una descripción de la velocidad en términos de variables que se pueden medir, es decir, la concentración y la temperatura.

Llevando la ecuación (1.5) a la forma logarítmica tenemos:

$$\ln k = \ln A - \frac{E}{RT} \quad (1.7)$$

la ecuación anterior se ajusta a una línea recta y es evidente que determinando el valor de k para varias temperaturas, la representación gráfica de $\ln k$ en función de $1/T$ dará como resultado la energía de activación a partir de la pendiente de la curva, y el factor de la frecuencia a partir de la ordenada en el origen.

$$y = m \cdot x + b$$

$$y = \ln k, \quad m = -\frac{E_a}{R}, \quad x = \frac{1}{T}, \quad y \quad b = \ln A$$

1.7.2 Teorías de la cinética

Si el factor de frecuencia A y la energía E pudieran evaluarse a partir de propiedades moleculares de las especies reaccionantes, se contaría con un método para predecir velocidades de reacción para las etapas elementales.

Una forma elemental de la teoría cinética de los gases inspiró la teoría de las colisiones. Bajo este punto de vista, la reacción se verifica cuando la colisión de las moléculas reaccionantes desprende suficiente energía para proporcionar la energía de activación necesaria, esto es, para superar el nivel de energía que se muestra en la Fig. 1. Esta idea condujo a una expresión de velocidad basada en la frecuencia de las colisiones moleculares y la fracción de colisiones que desprenden la energía mínima requerida¹⁰.

2.1.3 Influencia de la concentración del catalizador en la rapidez de reacción.

En 1835 Berzelius introdujo el término catálisis para describir la influencia de ciertas sustancias en la naturaleza de diversas sustancias, aparentemente estas sustancias no cambiaban en la reacción. En términos modernos la siguiente definición es la apropiada¹².

Un catalizador es una sustancia que afecta la velocidad o dirección de una reacción química, pero no se consume en el proceso.

Hay tres aspectos importantes en esta definición. Primero, un catalizador puede incrementar o disminuir la velocidad de reacción. Segundo, un catalizador puede influenciar en la dirección o selectividad de una reacción. Tercero, la cantidad de catalizador que se consume por la reacción es despreciable comparada con la de los reactivos.

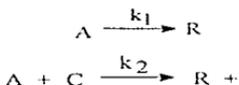
Las reacciones catalíticas se clasifican en homogéneas y heterogéneas. Una catálisis homogénea toma lugar cuando el catalizador y los reactivos se encuentran en una misma fase, mientras que las heterogéneas envuelven un catalizador sólido.

El catalizador en las reacciones homogéneas se combina con algunos de los reactivos para formar un compuesto intermedio, el cual reacciona a su vez para formar los productos de la reacción. La cantidad de catalizador deberá permanecer inalterada al final del proceso; por

consiguiente deberá continuar químicamente invariable, aunque frecuentemente sufra un cambio físico. Otra de las características de un catalizador es que no altera la posición de equilibrio en una reacción reversible. Una reacción catalizada requiere una menor cantidad de energía de activación y puede efectuarse con mayor facilidad¹³.

La velocidad de reacción catalizada está influenciada por el mismo tipo de variables que las reacciones no catalíticas tales como la concentración y la temperatura.

Si la velocidad de una reacción catalítica para un sistema catalizado homogéneo se supone formada por la suma de las reacciones catalizada y no catalizada:



La velocidad correspondiente sería:

$$\begin{array}{l}
 (r_A)_1 = k_1 C_A \\
 (r_A)_2 = k_2 C_A C_C
 \end{array}$$

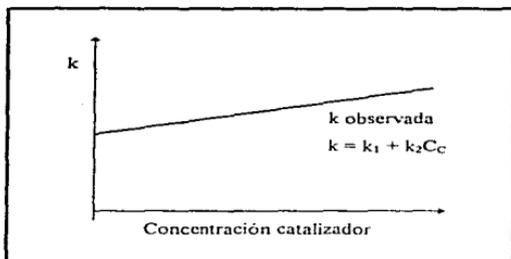
Esto significa que la reacción se efectuaría aún sin catalizador y que la velocidad de la reacción catalizada es directamente proporcional a la concentración de catalizador.

La velocidad de reacción total con respecto al componente A sería:

$$r_A = k_1 C_A + k_2 C_A C_C = (k_1 + k_2 C_C) C_A \quad (1.8)$$

Para obtener datos que fijen la manera en que interviene la concentración del catalizador en la velocidad de reacción se tienen que hacer una serie de pruebas variando la concentración del catalizador para obtener el valor de las constantes. Esto se lleva a cabo graficando los valores observados de k contra la concentración del catalizador como se muestra en la siguiente figura.

Figura 1.2



1.8 FUNDAMENTOS QUÍMICOS

1.8.1 Mecanismo de la reacción de esterificación del anhídrido ftálico

Los ésteres suelen producirse partiendo de ácidos carboxílicos o de anhídridos, existen muchos métodos para realizar esta transformación, incluyendo la S_N2 , reacción de sustitución nucleofílica en el acilo, entre un ácido carboxílico y un alcohol. En 1895, Fisher y Speir descubrieron que es posible obtener ésteres por el simple calentamiento de una solución de un ácido carboxílico en metanol o etanol que contenga una pequeña cantidad de un ácido mineral como catalizador. En la reacción de esterificación de Fischer se obtienen buenos rendimientos, pero se necesitan un exceso de alcohol como disolvente¹⁴.

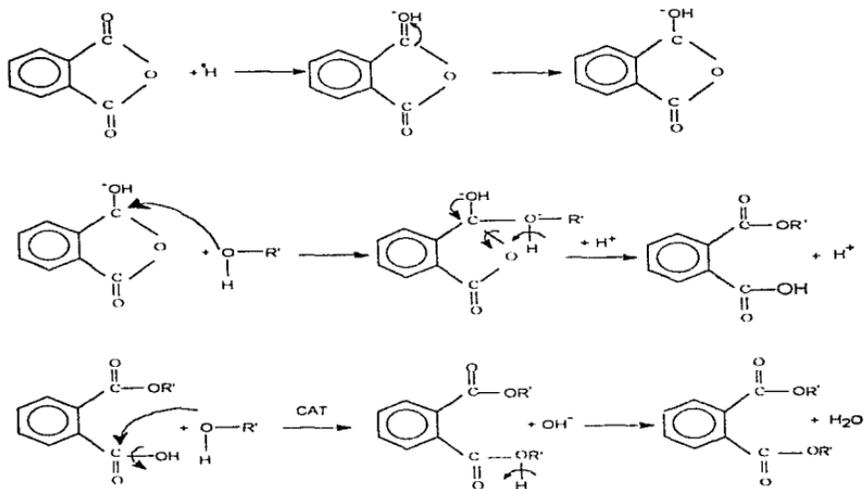
Aún cuando los ácidos carboxílicos no son lo suficientemente reactivos para ser atacados por la mayoría de los nucleófilos, pueden hacerse mucho más reactivas en presencia de un catalizador, ya que este actúa protonando el átomo de oxígeno del grupo carbonilo, con lo que le imparte carga positiva al ácido carboxílico y hace a éste mucho más reactivo hacia el ataque nucleofílico por alcohol. La pérdida posterior de agua forma el éster como producto.

El efecto neto de la esterificación de Fisher es la sustitución de un grupo $-OH$ por un $-OR'$. Todos los pasos son reversibles, y la reacción puede desplazarse en cualquier sentido eligiendo las condiciones de reacción apropiadas. La formación de éster se favorece cuando se usa un gran

exceso de alcohol como solvente, pero la formación del ácido carboxílico es favorecida cuando entra presente un gran exceso de agua.

Fig. 1.3

Mecanismo de la reacción de la esterificación del anhídrido ftálico en medio ácido



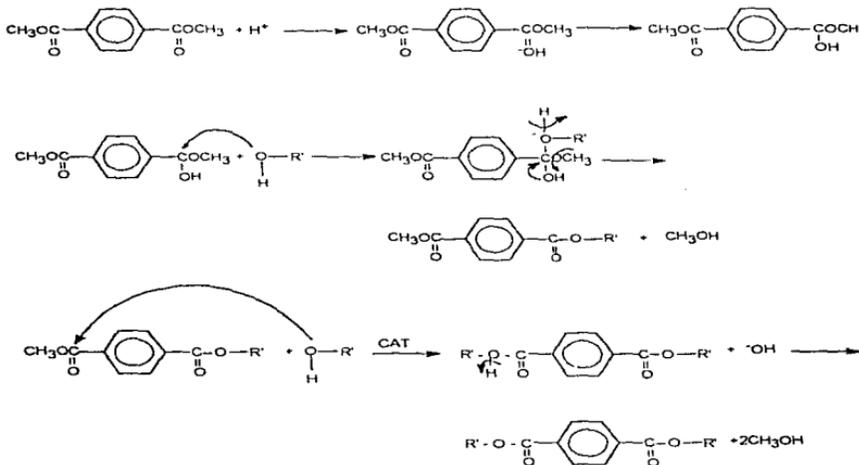
1.8.2 Mecanismo de la reacción de transesterificación del tereftalato de dimetil

Otro método para la producción de ésteres es la transesterificación, un alcohol actúa como reactivo nucleofílico en la esterificación de un ácido; en la hidrólisis de un éster un reactivo nucleofílico desplaza a un alcohol. Esta alcoholólisis, degradación por medio de un alcohol, de un éster se denomina transesterificación¹⁵

La transesterificación es catalizada por ácidos (H_2SO_4 o HCl seco) o bases (generalmente un ion alcóido). Esta es una reacción de equilibrio, para desplazarlo a la derecha es necesario emplear un exceso de alcohol cuyo éster queremos, o bien eliminar uno de los productos de la mezcla reaccionante.

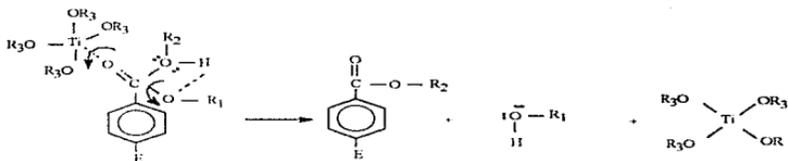
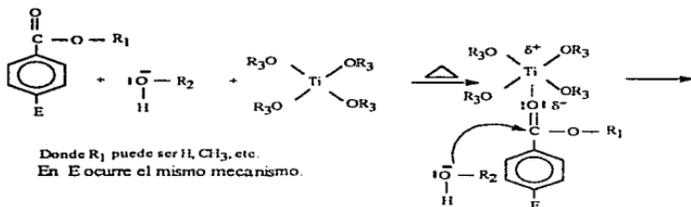
Fig. 2 4

Mecanismo de la reacción de la esterificación del tereftalato de dimetilo en medio ácido



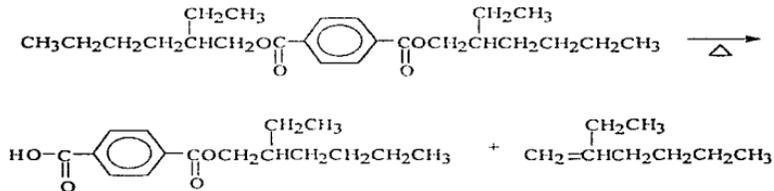
1.8.3 Mecanismo propuesto utilizando TBT como catalizador

Para realizar este tipo de reacciones utilizando titanato de terbutilo como catalizador se propone el siguiente mecanismo



1.8.4 Mecanismos secundarios

Se cree que al finalizar la reacción para producir el éster se puede formar el siguiente ácido y alqueno, debido a un tiempo de residencia grande en los reactores y al calentamiento.



CAPITULO II

DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1 EXPERIMENTACIÓN

2.1.1 Método de fabricación a nivel laboratorio de DOTP y DOP

Para la fabricación del DOTP y DOP a nivel laboratorio se necesita de lo siguiente:

Material

Tereftalato de dimetido, grado fibra
Anhídrido ftálico, 99.99% de pureza
2-Etilhexanol, 99.6 % de pureza
TBT, titanato de terbutilo, como catalizador
Tanque de nitrógeno

Equipo

Reactor cilíndrico de tres bocas fabricado de vidrio, con capacidad de 1 litro; consta de dos partes principales, cuerpo y tapa, estas se unen por medio de un empaque de teflón de 1/8 de plg. de espesor en forma de anillo y de un seguro metálico; el cuerpo tiene las siguientes características: diámetro interno de 10.2 cm, altura 13.9 cm, espesor 0.4 cm; mientras que la tapa tiene una altura total de 8.1 cm y espesor 0.4 cm., el diámetro de las bocas es de 1.6 cm y con una altura de 4.8 cm.

Por una de las bocas del reactor se introduce una corriente de nitrógeno, con mangueras de látex de ½ plg. de diámetro, en la segunda se coloca un termómetro y a la tercera una T, y a su vez un termómetro para medir la temperatura de los vapores

Agitador magnético, en forma de nuez.
Parrilla con agitación, thermolyne, tipo Stir Plate
Gato hidráulico

Reóstato con una capacidad de 120 Volts.
Mantilla de calentamiento
Condensador de vidrio, de una longitud de 18.8 cm.
Codo de vidrio
Colector de vidrio completamente limpio
Trampa de humedad
Bomba, 60 Hz y 0.5 A.

Procedimiento para la fabricación del producto

1. Se pesan las cantidades estequiométricas de tereftalato de dimetilo (DMT) o de anhídrido ftálico, según sea el caso, en un vaso de precipitados perfectamente limpio, en otro se pesa el 2-etilhexanol con un 20% en exceso.
2. Se coloca el agitador magnético dentro del cuerpo del reactor, y se vierten los reactantes, se coloca el empaque y se cierra estando seguro de que no exista alguna fuga.
3. Se coloca el reactor dentro de la mantilla de calentamiento, y esta sobre la parrilla agitadora, se coloca el termómetro en el termopozo, y se procede a armar el equipo como se muestra en la figura 2.1 en el caso del tereftalato de dioctilo y en la figura 2.2 para el ftalato de dioctilo, la trampa de agua debe estar llena con 2-etilhexanol para asegurar un reflujo constante.
4. Una vez asegurado que no existen fugas en el sistema, se abre la válvula de nitrógeno a un flujo constante, esto es para asegurar que existe una atmósfera inerte, pues el catalizador se descompone con la humedad.
5. Entonces se inicia la agitación magnética y un calentamiento controlado mediante el reóstato, con 90% del voltaje total.
6. Diez grados antes de alcanzar la temperatura deseada se disminuye la velocidad de calentamiento a 50 unidades, y una vez obtenida ésta se agrega el catalizador para iniciar la reacción.
7. De aquí en adelante y hasta que la reacción se de por terminada, la temperatura debe permanecer constante, esto se logra con el reóstato.

8. El metanol formado, en el caso del tereftalato de dimetilo, se va destilando durante el curso de la reacción, y se pesa la cantidad obtenida durante cada cinco minutos para determinar la cinética, también se toma nota de la temperatura de los vapores a condensar. En el caso del ftalato de dimetilo el agua formada se va destilando y colectando dentro del fondo de la trampa de agua, pues como es más densa que el 2-etilhexanol, cae hasta el fondo y el alcohol se mantiene a un reflujo constante.

Una vez se que ha dejado de salir metanol o agua, cuando se alcanza el equilibrio, se procede al acondicionamiento del producto

Fig. 2.1
Equipo para la elaboración de DOTP

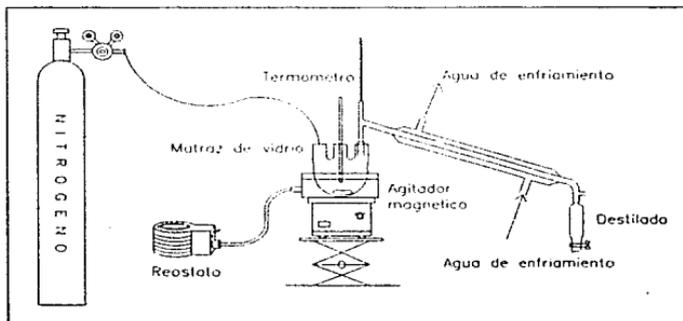
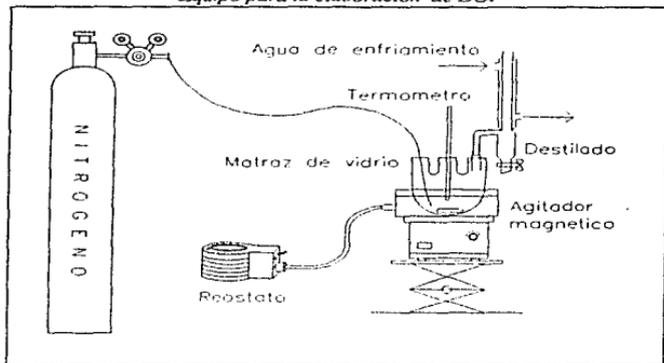


Fig. 2.2
Equipo para la elaboración de DOP



Acondicionamiento del producto.

1. Esperar a que se alcance una temperatura en el reactor de 130°C (en caso de ser necesario), se desconecta el nitrógeno y se conecta el vacío para eliminar el exceso de 2-etilhexanol, iniciar nuevamente el calentamiento hasta llegar a una temperatura de 220°C.
2. Una vez que se ha recobrado todo el alcohol y que se alcanzan 150°C se rompe el vacío.
3. Esperar a que se llegue a una temperatura de 130°C en el reactor y se adicionan de 5 ml de peróxido de hidrógeno al 70% y se espera a que la temperatura baje a 80°C, lo anterior es para decolorar el producto.
4. Cuando la temperatura este en 80°C se adicionan 20 ml de NaOH al 2% para neutralizar la mezcla.
5. El producto final se lava 3 veces con agua destilada a 80°C, para asegurarse que no existe la formación de una emulsión y por la tanto la separación de fases se efectúe rápidamente.

6. Una vez hechos los lavados se conecta el sistema de vacío para eliminar toda el agua que pudiera estar en el producto, esto se logra hasta llegar a una temperatura de 130°C.
7. El producto que resulte deberá tener las especificaciones comerciales.

Constantes de Arrhenius

Para determinar las constantes de Arrhenius, se siguió el procedimiento anterior a distintas temperaturas: 130, 140, 150 y 160°C, manteniendo la velocidad de agitación, el flujo de nitrógeno y la presión del sistema constante. La cantidad de catalizador utilizada es de 10 gotas

Efecto de la concentración del catalizador

La temperatura del sistema fue de 140°C y se mantuvo constante a lo largo de la reacción, al igual que las otras variables, lo que se varió fue la cantidad de catalizador, pues se realizaron distintos experimentos con 3, 6 y 12 gotas del mismo

Al finalizar la reacción, tanto para la determinación de las constantes de Arrhenius como el efecto de la concentración del catalizador, no se seguía el procedimiento para el acondicionamiento del producto, sino que se esperaba a que el sistema se enfriara y se medían el peso y el volumen final del reactor y del destilado. Cabe mencionar que en ambos casos se tomaron muestras de la mezcla de reacción y del destilado final, para tomarles un cromatograma y ver las purezas tanto de productos como reactivos

2.3.2 Pruebas de calidad para el plastificante

Una vez que se obtienen los plastificantes, se les debe de realizar ciertas pruebas para determinar la calidad del producto. Todas las pruebas están basadas en las normas ASTM. Las pruebas que se le deben de realizar al plastificante son las siguientes:

1. *Número de ácido* Se determina mediante la norma ASTM-D2849. Para este análisis el valor máximo permisible es de 0.07.

2. *Punto de flama o flash point.* Se determina bajo la norma ANSI-ASTM-D92-72. El rango de aceptabilidad para el DOTP es entre 230 y 238 °C.

3. *Color.* Se determina bajo la norma ASTM-D1045-86. El color APHA se determina mediante un equipo HELLIGE AQUA TESTER, Modelo 611-a. El valor máximo permisible para entrar dentro de valores de calidad es de 25

4. *Densidad.* Se determina bajo la norma ASTM-D4052. El valor de densidad permisible para el DOTP debe de estar dentro del rango de 0.980 y 0.985.

5. *Viscosidad.* Se determina bajo la norma ASTM-D2393-86. El rango de valores para el DOTP debe ser de 56 a 60 centipoise.

2.3.3 Técnica para las reacciones secundarias

Para determinar la cinética de la reacción secundaria es necesario contar con DOP de especificaciones comerciales, etanol, como disolvente; fenoltaleína para ser utilizada como indicador y sosa al 0.1N.

Lo que se hará es determinar el número de ácido, o acidez, cada 30 minutos, debido a que se esta formando un ácido y un alqueno en la reacción. La acidez es un parámetro ampliamente utilizado en reacciones que involucran ácidos, y esta definida como *mg de potasa o sosa necesarias para neutralizar un gramo de muestra:*

$$Acidez = \frac{N_1 \times V_1 \times 56.1}{Pm} \quad (2.1)$$

donde

N1 = normalidad de la sosa

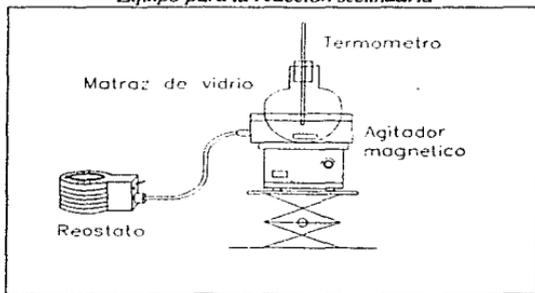
V1 = volumen de sosa (ml)

Pm = peso de la muestra (g)

Procedimiento

1. Pesar 50 g de DOP y ponerlo en el reactor junto con el agitador magnético.
2. Cerrar el reactor, estando seguro de que no exista ninguna fuga, y colocarlo en la parrilla de calentamiento.
3. Montar el equipo que se muestra en la figura 2.3
- 4.

Fig. 2.3
Equipo para la reacción secundaria



5. Iniciar el calentamiento hasta llegar a 150°C y mantener la temperatura constante.
6. Cada treinta minutos tomar una muestra de la reacción y proceder a determinar el número de ácido, según la norma A.S.T.M D2849.
7. Pesar la muestra, añadirle 10 ml de etanol y 3 gotas del indicador.
8. Proceder a titular con la sosa.
9. Repetir los pasos 6 y 7 hasta completar 5 horas
10. Una vez que se ha finalizado la reacción, dejar enfriar la mezcla.

CAPITULO III

ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 TEREFTALATO DE DIOCTILO

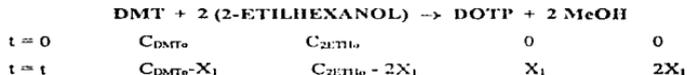
3.1.1 Determinación del orden de la reacción y cálculo de las constantes cinéticas

Como la velocidad de una reacción puede ser proporcional a diferentes potencias de las concentraciones de los diferentes reactivos, se necesita determinar la dependencia de la velocidad de cada una de las concentraciones. Si, por ejemplo, la velocidad es $kC_A^\alpha C_B^\beta$, se deben determinar los valores de α y β .

Para determinar el orden de la reacción se tomaron las siguientes consideraciones:

- Se toma en cuenta solamente una reacción principal, pues existe la formación de un subproducto pero su cantidad es despreciable.
- La reacción es irreversible, pues es catalizada.
- Las densidades de productos y de reactivos se determinaron utilizando en simulador ASPEN Plus.

El valor de la concentración de las especies involucradas, así como el avance de la reacción se calculó de la siguiente forma:



La ecuación de rapidez estaría dada por

$$\frac{dx_1}{dt} = k(C_{\text{DMT}o} - x_1)^\alpha (C_{2\text{ETIL}o} - 2x_1)^\beta \quad (3.1)$$

Se propusieron distintos valores a ambos exponentes, siendo $\alpha = \beta = 1$, los que mejor se adaptaban a los resultados obtenidos experimentalmente, de este modo la ecuación de rapidez queda como:

$$\frac{dx_1}{dt} = k(C_{DMT_0} - x_1)(C_{2ET_0} - 2x_1)^1 \quad (3.2)$$

Integrando la ecuación anterior entre los límites:

$$\begin{array}{ll} t = 0 & x_1 = 0 \\ t = t & x_1 = x_1 \end{array}$$

tenemos la siguiente expresión:

$$\ln\left(\frac{C_{2ET_0} - 2x_1}{C_{DMT_0} - x_1}\right) = (C_{2ET_0} - 2C_{DMT_0})kt + \ln\frac{C_{2ET_0}}{C_{DMT_0}} \quad (3.3)$$

donde

- x_1 = concentración de metanol en un momento dado
- C_{DMT_0} = concentración inicial de tereftalato de dimetilo
- C_{2ET_0} = concentración inicial de 2-etilhexanol
- t = tiempo
- k = constante de rapidez.

La ecuación anterior se ajusta al modelo de una línea recta,

$$y = mx + b$$

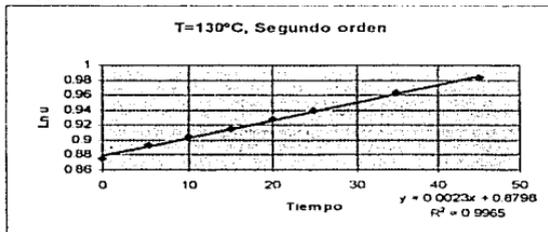
y para obtener el valor de la constante de reacción, sólo se tiene que dividir la pendiente por el factor $(C_{2ET_0} - 2C_{DMT_0})$.

a) Temperatura = 130°C

Tabla 3.1

| T reactor, °C | Tiempo, min | Reostato | T columna, °C | MeOH, g | MeOH, mol | ln u |
|---------------|-------------|----------|---------------|---------|-----------|----------|
| 130 | 0 | 40 | 26 | 0 | 0 | 0.87552 |
| 130 | 5 | 40 | 59 | 7.82033 | 0.244385 | 0.892834 |
| 130 | 10 | 40 | 59 | 12.5125 | 0.391016 | 0.904902 |
| 130 | 15 | 40 | 60 | 16.2288 | 0.50715 | 0.915551 |
| 131 | 20 | 40 | 60 | 20.062 | 0.626938 | 0.927725 |
| 130 | 25 | 50 | 60 | 23.2862 | 0.727694 | 0.939051 |
| 131 | 35 | 60 | 60 | 29.0738 | 0.908556 | 0.962406 |
| 139 | 45 | 40 | 60 | 33.3354 | 1.041731 | 0.982672 |
| 143 | 55 | 40 | 60 | 37.7881 | 1.180878 | 1.007415 |
| 150 | 65 | 40 | 59 | 40.6168 | 1.269275 | 1.025477 |
| 150 | 75 | 40 | 59 | 44.5235 | 1.391359 | 1.054171 |

Gráfica 3.1

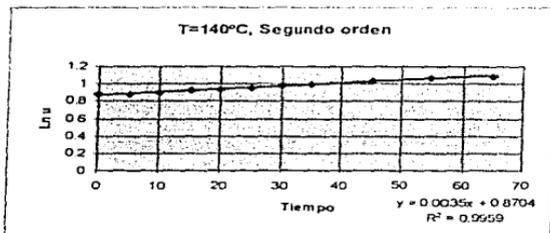


b) Temperatura 140°C.

Gráfica 3.2

| T reactor, °C | Tiempo, min | Reostato | T columna, °C | MeOH, g | MeOH, mol | ln u |
|---------------|-------------|----------|---------------|---------|-----------|----------|
| 140 | 0 | 50 | 22 | 0 | 0 | 0.87552 |
| 141 | 5 | 50 | 59 | 5.138 | 0.134873 | 0.884685 |
| 140 | 10 | 50 | 61 | 13.595 | 0.356869 | 0.901963 |
| 138 | 15 | 50 | 61 | 21.176 | 0.55587 | 0.920346 |
| 138 | 20 | 50 | 61 | 27.398 | 0.719198 | 0.938054 |
| 138 | 25 | 60 | 61 | 32.709 | 0.858611 | 0.955522 |
| 140 | 30 | 55 | 61 | 37.776 | 0.99162 | 0.974696 |
| 141 | 35 | 55 | 61 | 42.485 | 1.115231 | 0.995231 |
| 142 | 45 | 40 | 61 | 49.918 | 1.310348 | 1.034602 |
| 141 | 55 | 44 | 59 | 54.695 | 1.435744 | 1.065885 |
| 140 | 65 | 46 | 58 | 57.635 | 1.512919 | 1.088197 |
| 141 | 75 | 48 | 58 | 59.357 | 1.558121 | 1.102569 |

Gráfica 3.2

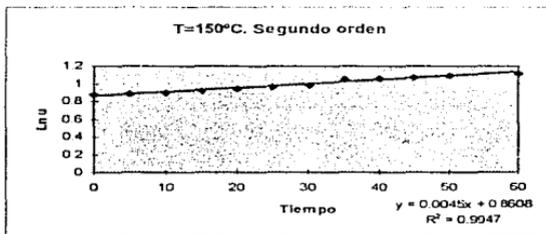


c) Temperatura 150°C

Tabla 3.3

| T reactor, °C | Tiempo, min | Reostato | T columna, °C | MeOH, g | MeOH, mol | ln u |
|---------------|-------------|----------|---------------|---------|------------|------------|
| 150 | 0 | 50 | 26 | 0.0000 | 0 | 0.87552047 |
| 149 | 5 | 50 | 59 | 4.2580 | 0.10871206 | 0.88283554 |
| 148 | 10 | 50 | 61 | 12.5200 | 0.31965125 | 0.89885099 |
| 150 | 15 | 40 | 61 | 22.3480 | 0.57057238 | 0.92183416 |
| 150 | 20 | 40 | 61 | 31.4600 | 0.72377663 | 0.93859057 |
| 150 | 25 | 50 | 61 | 39.0300 | 0.89793394 | 0.96091138 |
| 151 | 30 | 50 | 61 | 44.3480 | 1.02028118 | 0.97920312 |
| 153 | 35 | 40 | 61 | 43.7659 | 1.36768488 | 1.04822141 |
| 153 | 40 | 40 | 61 | 45.6447 | 1.42639761 | 1.0633548 |
| 150 | 45 | 40 | 60 | 46.9000 | 1.4656249 | 1.07421461 |
| 150 | 50 | 40 | 59 | 49.2472 | 1.538976 | 1.09635461 |
| 151 | 60 | 40 | 58 | 50.5948 | 1.58108684 | 1.11028515 |

Gráfica 3.3

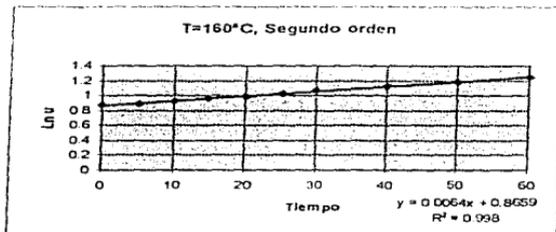


d) Temperatura = 160°C

Tabla 3.4

| T reactor, °C | Tiempo, min | Reostato | T columna, °C | MeOH, g | MeOH, mol | ln u |
|---------------|-------------|----------|---------------|---------|-----------|----------|
| 160 | 0 | 90 | 28 | 0 | 0 | 0.87552 |
| 161 | 5 | 90 | 59 | 7.208 | 0.22525 | 0.89136 |
| 163 | 10 | 70 | 61 | 18.591 | 0.580969 | 0.922898 |
| 163 | 15 | 50 | 61 | 28.087 | 0.877719 | 0.958113 |
| 160 | 20 | 50 | 61 | 35.265 | 1.102031 | 0.992896 |
| 160 | 25 | 60 | 61 | 40.64 | 1.27 | 1.025634 |
| 161 | 30 | 50 | 61 | 45.203 | 1.412594 | 1.059681 |
| 160 | 40 | 50 | 61 | 52.243 | 1.632594 | 1.128712 |
| 160 | 50 | 60 | 61 | 56.319 | 1.759969 | 1.182286 |
| 164 | 60 | 55 | 60 | 60.022 | 1.875688 | 1.244145 |
| 165 | 70 | 50 | 59 | 60.838 | 1.901188 | 1.259998 |
| 163 | 80 | 40 | 58 | 61.92 | 1.935 | 1.282524 |

Gráfica 3.4



Por lo tanto tenemos los siguientes resultados para las constantes de Arrhenius:

$$k = A \exp(-E_a/RT)$$

$$A_0 = 3.600E+05 \quad \text{m}^3/\text{kmol}\cdot\text{hr}$$

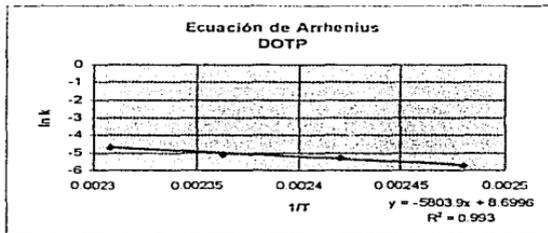
$$\ln k = \ln A - E_a/RT$$

$$E_a = 11532.3493 \quad \text{cal/mol}$$

Tabla 3.5

| T | 1/T | k'I | k1 | ln k1 |
|--------|-------------|--------|-------------|--------------|
| 403.15 | 0.002480466 | 0.0023 | 0.003283167 | -5.718946626 |
| 413.15 | 0.002420428 | 0.0035 | 0.004996124 | -5.29909278 |
| 423.15 | 0.002363228 | 0.0045 | 0.006423589 | -5.047778352 |
| 433.15 | 0.002308669 | 0.0064 | 0.00913577 | -4.695557758 |

Gráfica 3.5



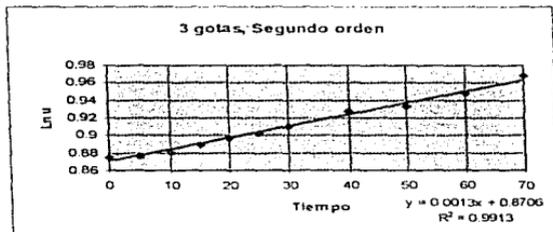
3.1.2 Efectos de la concentración del catalizador

a) Tres gotas de catalizador, $T = 140^{\circ}\text{C}$

Tabla 3.6

| T reactor, $^{\circ}\text{C}$ | Tiempo, min. | MeOH, g | MeOH, mol | Ln u |
|-------------------------------|--------------|----------|-----------|----------|
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0.87552 |
| 146 | 5 | 0.555 | 0.017344 | 0.876649 |
| 144 | 10 | 2.723 | 0.085094 | 0.881197 |
| 141 | 15 | 6.36 | 0.19875 | 0.889355 |
| 138 | 20 | 9.426 | 0.294563 | 0.896805 |
| 138 | 25 | 11.824 | 0.3695 | 0.90304 |
| 138 | 30 | 14.242 | 0.445063 | 0.909728 |
| 138 | 40 | 19.91275 | 0.622273 | 0.927226 |
| 142 | 50 | 21.78 | 0.680625 | 0.933626 |
| 144 | 60 | 25.601 | 0.800031 | 0.947886 |
| 139 | 70 | 30.283 | 0.946344 | 0.96786 |
| 143 | 80 | 35.619 | 1.113094 | 0.994851 |

Gráfica 3.6

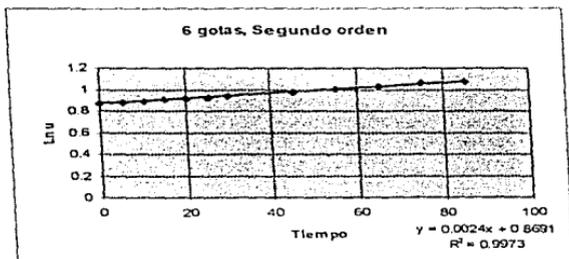


b) Seis gotas de catalizador, $T = 140^{\circ}\text{C}$

Tabla 3.7

| T reactor, $^{\circ}\text{C}$ | Tiempo, min. | MeOH, g | MeOH, mol | Ln u |
|-------------------------------|--------------|---------|-----------|----------|
| 140 | 0 | 0.0000 | 0 | 0.87552 |
| 150 | 5 | 2.3353 | 0.072977 | 0.880367 |
| 146 | 10 | 7.9939 | 0.249809 | 0.893256 |
| 143 | 15 | 12.2068 | 0.381464 | 0.904071 |
| 140 | 20 | 16.3440 | 0.51075 | 0.915899 |
| 140 | 25 | 19.8237 | 0.61949 | 0.926929 |
| 140 | 30 | 23.3432 | 0.729474 | 0.939261 |
| 140 | 45 | 32.9353 | 1.029227 | 0.98064 |
| 139 | 55 | 37.0506 | 1.157832 | 1.003026 |
| 143 | 65 | 41.7373 | 1.304289 | 1.033224 |
| 140 | 75 | 44.8304 | 1.400951 | 1.056639 |
| 139 | 85 | 46.6380 | 1.457438 | 1.071895 |

Gráfica 3.7

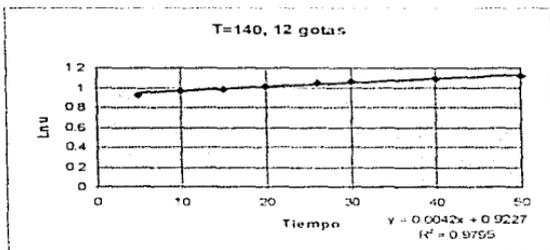


c) Doce gotas de catalizador, T = 140°C

Tabla 3.8

| T reactor, °C | Tiempo, min. | MeOH, g | MeOH, mol | Ln u |
|---------------|--------------|---------|-----------|----------|
| 143 | 10 | 36.6487 | 0.916218 | 0.963494 |
| 139 | 15 | 42.9639 | 1.074097 | 0.988071 |
| 138 | 20 | 48.0029 | 1.200073 | 1.011166 |
| 140 | 26 | 53.6876 | 1.342191 | 1.042033 |
| 142 | 30 | 56.7890 | 1.419724 | 1.061569 |
| 142 | 40 | 61.5244 | 1.53811 | 1.096078 |
| 140 | 50 | 64.4203 | 1.610509 | 1.120612 |
| 142 | 60 | 65.8518 | 1.646295 | 1.133895 |

Gráfica 3.8

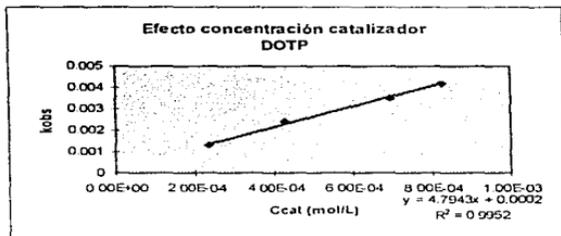


$$k_{obs} = k^0 + k_c C_{cat}$$

Tabla 3.9

| No. gotas | Peso gotas, g | Peso gotas, mol | Ccat, mol/L | kobs |
|-----------|---------------|-----------------|-------------|--------|
| 3 | 0.064 | 1.88E-04 | 2.35E-04 | 0.0013 |
| 6 | 0.116 | 3.41E-04 | 4.26E-04 | 0.0024 |
| 10 | 0.189 | 5.56E-04 | 6.95E-04 | 0.0035 |
| 12 | 0.224 | 6.59E-04 | 8.24E-04 | 0.0042 |

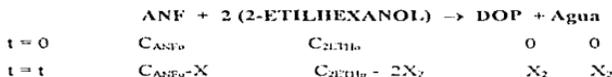
Gráfica 3.9



3.2 FTALATO DE DIOCTILO

3.2.1 Determinación del orden de la reacción y cálculo de las constantes cinéticas

Tenemos la siguiente reacción:



La ecuación de rapidez estaría dada por

$$\frac{dx_2}{dt} = k_2 (C_{ANF_0} - x_2)^\alpha (C_{2EH_0} - 2x_2)^\beta \quad (3.4)$$

Se probó con diferentes valores para α y β , siendo $\alpha = \beta = 1$ los que mejor se adaptaban a los resultados experimentales, de tal forma la ecuación de rapidez queda expresada como:

$$\frac{dx_2}{dt} = k_2 (C_{ANF_0} - x_2)^1 (C_{2EH_0} - 2x_2)^1 \quad (3.5)$$

Integrándola entre los límites:

$$\begin{aligned} t = 0 & & x_2 = 0 \\ t = t & & x_2 = x_2 \end{aligned}$$

tenemos la siguiente expresión:

$$\ln\left(\frac{C_{2ET0} - 2x_2}{C_{ANF0} - x_2}\right) = (C_{2ET0} - 2C_{ANF0})k_2t + \ln\frac{C_{2ET0}}{C_{ANF0}} \quad (3.6)$$

donde

- x_2 = concentración de agua al tiempo t
- C_{ANF0} = concentración inicial de anhídrido fólico
- C_{2ET0} = concentración inicial de 2-etilhexanol
- t = tiempo
- k_2 = constante de rapidez

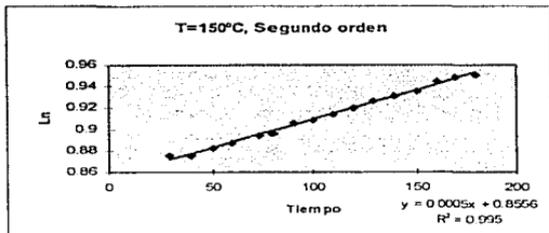
La ecuación anterior se ajusta también al modelo de una línea recta, y para obtener el valor de la constante de reacción sólo se tiene que dividir la pendiente por el factor $(C_{2ET0} - 2C_{ANF0})$

a) Temperatura 150°C

Tabla 3.10

| T reactor, °C | Tiempo, min | Reostato | Agua, g | Agua, mol | ln u |
|---------------|-------------|----------|---------|-----------|----------|
| 150 | 0 | 40 | 0 | 0 | 0.875463 |
| 150 | 30 | 50 | 0.003 | 0.000167 | 0.875483 |
| 149 | 40 | 70 | 0.003 | 0.000167 | 0.875483 |
| 150 | 50 | 60 | 0.992 | 0.055111 | 0.882524 |
| 150 | 60 | 55 | 1.593 | 0.0885 | 0.887075 |
| 150 | 74.4 | 55 | 2.498 | 0.13878 | 0.894358 |
| 150 | 80 | 65 | 2.732 | 0.151778 | 0.896331 |
| 150 | 90 | 50 | 3.822 | 0.212382 | 0.906068 |
| 148 | 100 | 50 | 4.136 | 0.229832 | 0.909048 |

Gráfica 3.10

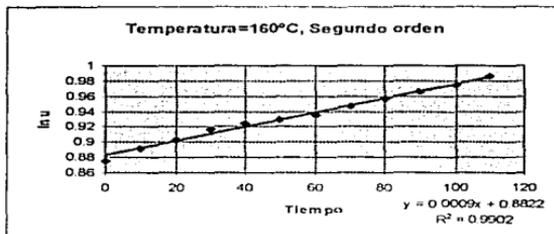


b) Temperatura 160°C

Tabla 3.11

| Treactor, °C | Tiempo, min | Reostato | Agua, g | Agua, mol | ln u |
|--------------|-------------|----------|---------|-----------|----------|
| 164 | 0 | 70 | 0 | 0 | 0.875463 |
| 163 | 10 | 70 | 2.146 | 0.119222 | 0.891461 |
| 164 | 20 | 65 | 3.462 | 0.192333 | 0.902745 |
| 163 | 30 | 60 | 4.909 | 0.272722 | 0.91674 |
| 163 | 40 | 60 | 5.632 | 0.312889 | 0.92446 |
| 162 | 50 | 70 | 6.044 | 0.335778 | 0.929104 |
| 162 | 60 | 70 | 6.618 | 0.367667 | 0.935895 |
| 164 | 70 | 60 | 7.453 | 0.414056 | 0.946506 |
| 164 | 80 | 60 | 8.249 | 0.458278 | 0.957528 |
| 164 | 90 | 60 | 8.787 | 0.488167 | 0.965541 |
| 164 | 100 | 60 | 9.358 | 0.519889 | 0.974597 |
| 164 | 110 | 60 | 10.044 | 0.558 | 0.986313 |

Gráfica 3.11

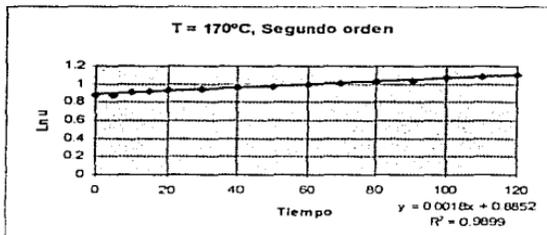


c) Temperatura 170°C

Tabla 3.12

| Treactor, °C | Tiempo, min | Reostato | Agua, g | Agua, mol | ln u |
|--------------|-------------|----------|---------|-----------|----------|
| 170 | 0 | 80 | 0 | 0 | 0.875463 |
| 173 | 5 | 55 | 0 | 0 | 0.875463 |
| 173 | 10 | 55 | 4.36 | 0.242222 | 0.911215 |
| 173 | 15 | 50 | 5.17 | 0.287222 | 0.919466 |
| 173 | 20 | 50 | 6.185 | 0.343611 | 0.930736 |
| 174 | 30 | 50 | 7.347 | 0.408167 | 0.945107 |
| 173 | 40 | 50 | 8.61 | 0.478333 | 0.962851 |
| 172 | 50 | 50 | 9.41 | 0.522778 | 0.975452 |
| 172 | 60 | 50 | 10.384 | 0.576889 | 0.992492 |
| 173 | 70 | 50 | 11.237 | 0.624278 | 1.009214 |
| 174 | 80 | 50 | 12.039 | 0.668833 | 1.026751 |
| 174 | 90 | 50 | 12.759 | 0.708833 | 1.044258 |
| 173 | 100 | 50 | 13.581 | 0.7545 | 1.066662 |
| 173 | 110 | 50 | 14.071 | 0.781722 | 1.081449 |
| 173 | 120 | 50 | 14.635 | 0.813056 | 1.100008 |

Gráfica 3.12

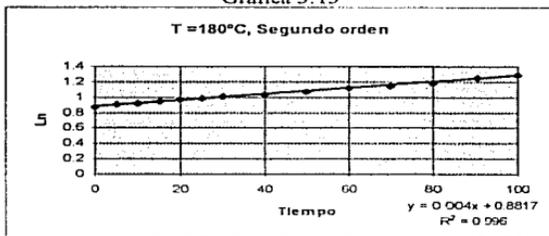


d) Temperatura 180°C

Tabla 3.13

| Treactor, °C | Tiempo, min | Reostato | Agua, g | Agua, mol | ln u |
|--------------|-------------|----------|---------|-----------|----------|
| 180 | 0 | 80 | 0 | 0 | 0.875463 |
| 180 | 5 | 80 | 3.541 | 0.196722 | 0.903463 |
| 178 | 10 | 80 | 5.587 | 0.310389 | 0.923964 |
| 180 | 15 | 70 | 7.407 | 0.4115 | 0.945897 |
| 181 | 20 | 60 | 9.014 | 0.500778 | 0.96907 |
| 181 | 25 | 50 | 10.122 | 0.562333 | 0.987708 |
| 181 | 30 | 45 | 11.076 | 0.615333 | 1.005915 |
| 179 | 40 | 50 | 12.238 | 0.679889 | 1.031411 |
| 179 | 50 | 50 | 13.765 | 0.764722 | 1.072079 |
| 181 | 60 | 50 | 15.166 | 0.842556 | 1.119205 |
| 180 | 70 | 50 | 16.001 | 0.888944 | 1.15342 |
| 180 | 80 | 50 | 16.681 | 0.926722 | 1.185716 |
| 180 | 90 | 50 | 17.809 | 0.989389 | 1.250893 |
| 180 | 100 | 50 | 18.4 | 1.022222 | 1.292662 |

Gráfica 3.13



Efecto de la Temperatura

$$k = A \exp(-E_a/RT)$$

$$\ln k = \ln A - E_a/RT$$

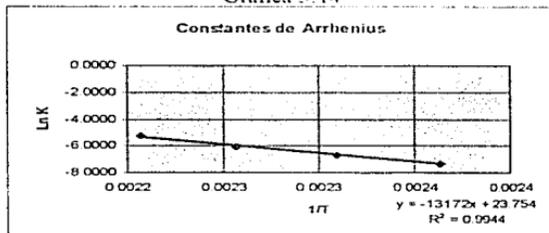
$$A_0 = 1.243E+12 \text{ m}^3/\text{kmol}\cdot\text{hr}$$

$$E_a = 26172.764 \text{ cal/mol}$$

Tabla 3.14

| T | 1/T | k1' | kt | ln kt |
|--------|--------|--------|--------|---------|
| 423.15 | 0.0024 | 0.0005 | 0.0007 | -7.3278 |
| 433.15 | 0.0023 | 0.0009 | 0.0012 | -6.6870 |
| 443.15 | 0.0023 | 0.0018 | 0.0024 | -6.0468 |
| 453.15 | 0.0022 | 0.0040 | 0.0053 | -5.2483 |

Gráfica 3.14



3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA EL DOP Y DOTP

Tanto para el tereftalato de dioctilo como para el ftalato de dioctilo se obtuvieron ecuaciones de rapidez de reacción de segundo orden, este resultado era de esperarse, debido a que ambas reacciones siguen el mismo mecanismo de reacción cuando se utiliza el TBT como catalizador, en el que intervienen un éster o anhídrido y un alcohol, la única diferencia es que en un caso se libera una mol de agua y en el otro dos moles de alcohol metílico

Como se puede observar en los resultados, a medida que la temperatura aumenta se incrementa la cantidad de producto formado, lo que nos quiere decir que la conversión del reactivo limitante aumenta y por lo tanto se obtienen mayores rendimientos; el estudio de la cinética de reacción no se pudo hacer a mayores temperaturas debido a que la temperatura normal de ebullición del 2-etilhexanol es 184°C y parte del calor suministrado se ocupaba para calentarlo; lo anterior se vio fuertemente marcado en la producción del DOTP, ya que al querer hacer la reacción a una $T = 170^{\circ}\text{C}$ la temperatura disminuía y hasta después de aproximadamente 40 minutos volvía a mantenerse constante

Tabla 3 15

| Tereftalato de dioctilo | | | | | |
|-------------------------|-------------|---------|-----------|----------|----------|
| T reactor, °C | Tiempo, min | MeOH, g | MeOH, mol | Ln u | Reostato |
| 170 | 0 | 0 | 0 | 0.87552 | 90 |
| 160 | 5 | 18.011 | 0.562844 | 0.92105 | 95 |
| 160 | 10 | 41.267 | 1.289594 | 1.029929 | 95 |
| 162 | 15 | 60.448 | 1.889 | 1.252306 | 50 |
| 165 | 20 | 65.739 | 2.054344 | 1.379331 | 50 |
| 165 | 25 | 68.488 | 2.14025 | 1.472471 | 40 |
| 168 | 30 | 70.048 | 2.189 | 1.538235 | 40 |
| 170 | 40 | 71.481 | 2.233781 | 1.609987 | 40 |

En el caso del DOP la temperatura crítica fue 190°C, obteniéndose resultados similares que para el DOTP, por tal motivo se tienen que extrapolar los resultados a temperaturas mayores.

Otro punto con el que se tuvo que tener mucho cuidado, fue con el control del flujo de nitrógeno, ya que al aumentar el burbujeo la cantidad de destilado aumentada, en un principio se pensó que a mayor cantidad de nitrógeno había un mayor rendimiento, pero después de realizarle un cromatograma al destilado se vio que se estaba arrastrando una cantidad apreciable de 2-etilhexanol, aproximadamente el 30% del destilado estaba formado por el alcohol; por tal motivo el flujo del gas siempre debió ser pequeño y constante.

Tabla 3.16

| Tereftalato de dioctilo | | | |
|-------------------------|-------------|-----------------------|-----------------------|
| Temp. °C | Tiempo, min | MeOH _A , g | MeOH _B , g |
| 150 | 0 | 0.000 | 0.000 |
| 148 | 5 | 4.594 | 3.216 |
| 148 | 10 | 12.383 | 8.668 |
| 148 | 15 | 19.651 | 13.756 |
| 146 | 20 | 26.220 | 18.354 |
| 146 | 25 | 31.904 | 22.333 |
| 148 | 30 | 37.781 | 26.446 |
| 148 | 35 | 41.760 | 29.232 |
| 149 | 40 | 45.878 | 32.114 |
| 149 | 50 | 51.541 | 36.079 |
| 150 | 60 | 54.982 | 38.487 |

^A Sin tomar en cuenta el cromatograma.

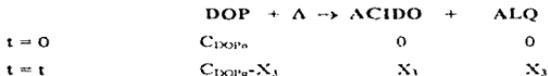
^B Tomando en cuenta el cromatograma, que dio un resultado de 70% metanol y 30% de 2-etilhexanol.

En el caso del DOTP que se hizo un estudio del efecto de la concentración del catalizador, se puede observar que con diez gotas del mismo se obtienen muy buenos rendimientos, ya que cuando se agregan tres la reacción se vuelve muy lenta y los rendimientos son bajos, pero cuando se ocupan doce aunque el rendimiento aumenta la reacción se vuelve un poco peligrosa, ya que

hay que tener un mayor cuidado con el control de la temperatura, pues esta tiende a aumentar y hace que el reactor tienda a vomitarse.

3.4 REACCION SECUNDARIA

Como se explicó anteriormente el DOP al estar en calentamiento se puede descomponer en un ácido y un alqueno, por lo que para determinar la cinética tomaremos la siguiente reacción:



La ecuación de rapidez estaría dada por

$$\frac{dx_3}{dt} = k(C_{DOP_0} - x_3)^a \quad (3.7)$$

donde

- x_3 = concentración de ácido en un momento dado
- C_{DOP_0} = concentración inicial de tereftalato de dimetilo
- t = tiempo
- k = constante de rapidez

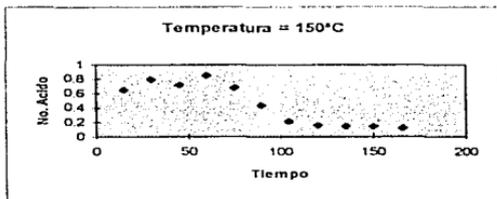
Resultados

- a) Cantidad de DOP = 100 ml
- Temperatura = 150°C
- No. ácido inicial = 0.4

Tabla 3.17

| Tiempo, min | Peso muestra, g | Sosa gastada, ml | No. ácido, mg KOH/g muestra |
|-------------|-----------------|------------------|-----------------------------|
| 15 | 0.245 | 0.3 | 0.659461 |
| 30 | 0.406 | 0.6 | 0.795901 |
| 45 | 0.374 | 0.5 | 0.72 |
| 75 | 0.314 | 0.4 | 0.686064 |
| 90 | 0.372 | 0.3 | 0.434323 |
| 105 | 0.769 | 0.3 | 0.210101 |
| 120 | 1.046 | 0.3 | 0.154463 |
| 135 | 1.126 | 0.3 | 0.143488 |
| 150 | 1.139 | 0.3 | 0.141851 |
| 165 | 0.862 | 0.2 | 0.124956 |

Gráfica 3.15



b) Cantidad de DOP = 50 ml

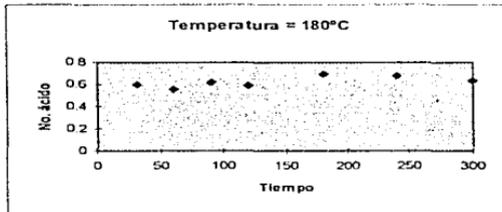
Temperatura = 180°C

No. ácido inicial = 0.4

Tabla 3.18

| Tiempo, min | Peso muestra, g | Sosa gastada, ml | No. ácido, mg KOH/g muestra |
|-------------|-----------------|------------------|-----------------------------|
| 30 | 0.903 | 0.1 | 0.596412 |
| 60 | 0.967 | 0.1 | 0.556939 |
| 90 | 0.873 | 0.1 | 0.616907 |
| 120 | 0.912 | 0.1 | 0.590526 |
| 180 | 0.778 | 0.1 | 0.692237 |
| 240 | 0.793 | 0.1 | 0.679142 |
| 300 | 2.958 | 0.35 | 0.637241 |

Gráfica 3.16



c) Cantidad de DOP = 50 ml

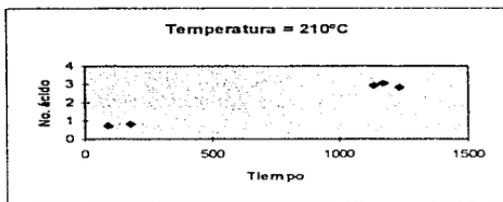
Temperatura = 180°C

No. ácido inicial = 0.034

Tabla 3.19

| Tiempo, min | Peso muestra, g | Sosa gastada, ml | No. ácido, mg KOH/g muestra |
|-------------|-----------------|------------------|-----------------------------|
| 90 | 0.754 | 0.1 | 0.714271 |
| 180 | 1.259 | 0.2 | 0.855536 |
| 1140 | 1.285 | 0.7 | 2.93379 |
| 1170 | 1.757 | 1 | 3.065225 |
| 1230 | 1.717 | 0.9 | 2.82297 |

Gráfica 3.17



Como se puede ver, en este último experimento, el número de ácido si cambia después de 20 horas, pero cabe mencionar que también el color cambio, debido a que el DOP inicialmente es de un color transparente y después del calentamiento se torna amarillo, se cree que este cambio en la coloración es debida a una oxidación del material, no a que éste se haya descompuesto como se propuso inicialmente. Se recomendaría que la reacción se efectuara en una atmósfera inerte.

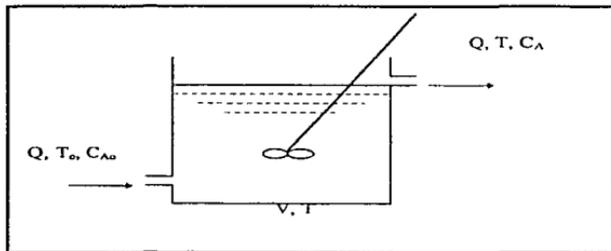
La reacción secundaria que se proponía está basada en las teorías de los ingenieros que operan una planta batch para producir DOP y DOTP, pero como se puede observar en los tres resultados anteriores, el número de ácido permanece prácticamente constante, por lo que se desecha la posibilidad de la ruptura térmica, y se piensa entonces que la reacción para obtener el ácido se debe al 2-etilhexanol, que reacciona con el DOP y/o DOTP, o que éste solo se descompone para dar números de ácido elevados, y no debida al tiempo de residencia y al calentamiento del producto.

3.5 DISEÑO DE UN REACTOR CONTINUO, EN BASE A LOS RESULTADOS ANTERIORES

Los reactores continuos agitados son ampliamente usados en los procesos de la industria química, muchas veces es usual emplear reactores de este tipo conectados en serie, son tanques dentro de los cuales los reactivos y productos se mezclan continuamente.

Los balances de materia y energía para este tipo de reactores son los siguientes^{10,12}

Fig. 3.1



$$x = \frac{rV}{C_{A0}Q} \quad (3.9)$$

x = Conversión de A

r = rapidez de la reacción

V = elemento de volumen considerado

C_{A0} = concentración molar de A a la entrada

Q = gasto volumétrico a la entrada

$$T - T_0 = \frac{V}{Q} \sum \frac{\nabla H_r}{C_p} - \frac{Q^*}{QC_p} \quad (3.10)$$

donde

x = Conversión de A

r = rapidez de la reacción

V = elemento de volumen considerado, L

C_{A0} = concentración molar de A a la entrada, mol/L

Q = gasto volumétrico a la entrada, L/hr

T = temperatura del reactor, K

- T_0 = temperatura a la entrada
 ΔH = entalpia de formación
 C_p = capacidad calorífica de la mezcla
 Q^* = calor de reacción

si utilizamos la ecuación (3.4) y conociendo los valores de las constantes de Arrhenius para sustituirla en (3.7) y sabiendo que el tiempo de residencia, θ , es

$$\theta = \frac{V}{Q}$$

y que la concentración de metanol, x_1 , en cualquier momento es

$$x_1 = xC_{DMTo}$$

tenemos que:

$$x = A \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) (1-x)(C_{2ETo} - 2C_{DMTo}x)\theta \quad (3.11)$$

esta es la ecuación para el diseño del reactor para una conversión total del tereftalato de dimetilo.

Ahora si se cuenta con una cantidad de 500 toneladas por mes de DMT y se trabajan 600 horas al mes tenemos los siguientes flujos molares: $DMTo = 4.295$ kmol/hr y $2ETo = 10.31$ kmol/hr, tomando el 20% en exceso. Además conocemos los valores de A y E_a por lo que se puede proceder al diseño del reactor.

Se encontró que el resultado óptimo para el reactor son tres reactores continuos conectados en serie, con una conversión total del 99.14% y con las siguientes características:

Tabla 3.20

| DMTo, kmol/hr | 2ETo, kmol/hr | Q, m ³ /hr | T, °C | x | V, m ³ |
|---------------|---------------|-----------------------|-------|-------|-------------------|
| 4.295 | 10.31 | 2.7014 | 170 | 0.7 | 1.986 |
| 1.2886 | 4.1674 | 2.4618 | 210 | 0.79 | 1.989 |
| 0.2706 | 2.0674 | 2.3922 | 240 | 0.863 | 2.138 |

Estos reactores se deben adecuar también para la producción de DOP a nivel industrial, por lo que para esta reacción el balance de materia sería:

$$x = A \exp\left(\frac{-Ea}{RT}\right) (1-x)(C_{2ETo} - 2C_{ANFo}x)\theta \quad (3.12)$$

con sus respectivas constantes para la ecuación de Arrhenius y una conversión total del anhídrido ftálico.

Ahora con el volumen establecido para cada reactor, se determina el flujo másico que podrá suministrarse a esos reactores.

Tabla 3.21

| V, m ³ | x | T, °C | ANFo, kmol/hr | 2ETo, kmol/hr | Q, m ³ /hr |
|-------------------|--------|-------|---------------|---------------|-----------------------|
| 1.986 | 0.7 | 180 | 1.013 | 2.4316 | 0.5020 |
| 1.989 | 0.8725 | 210 | 0.3039 | 1.013 | 0.5020 |
| 2.138 | 0.96 | 235 | 0.0387 | 0.4830 | 0.5020 |

De lo anterior resulta que la conversión final que se alcanza al pasar el material en proceso por los tres reactores es 99.84%. Lo anterior se puede expresar como 89.95 toneladas por mes de anhídrido ftálico.

Como se puede notar se requiere una menor cantidad de anhídrido ftálico, para que la planta diseñada para producir DOTP, pueda operar para elaborar DOP; este es un resultado lógico debido a que las constantes de rapidez de reacción son menores para éste último, lo que nos indica que los tiempos de residencia en los reactores deben ser mayores. Lo anterior trae como consecuencia que la planta operando a las mismas condiciones tenga una menor producción, pero además hay que tomar en cuenta que para el primer reactor se necesita un mayor suministro de calor pues la temperatura de operación se eleva 10°, mientras que en el tercero disminuye 5°.

CAPITULO IV
DISEÑO DE LA PLANTA

4.1 BASES DISEÑO

4.1.1 Datos generales, localización de la planta y comunicaciones⁶

Localización

| | |
|--------------------------------------|------------------|
| Pais | México |
| Estado | Querétaro |
| Ciudad | San Juan del Río |
| Municipio | Querétaro |
| Coordenadas | |
| Latitud | Norte: 20° 35' |
| Longitud | Oeste 100° 23' |
| Altura sobre el nivel del mar | 1853 msnm |
| Área de la propiedad | 10.0 ha. |

Vías de comunicación para el sitio:

| | |
|--------------------------------|---|
| Ferrocarril/Kilometraje | 3.0 km |
| Caminos | 10.0 km |
| Teléfono | Si existe |
| Radio | Si existe |
| Telex | Si existe |
| Correo | 1 agencia |
| Telégrafo | No |
| Puertos Próximos | El puerto más próximo esta ubicado en la Ciudad de Veracruz |
| Aeropuertos Próximos | Aeropuerto Nal Fernando Espinosa, Qro. A. Internacional Benito Juárez, D.F |

4.1.2 Sismicidad

Zona Sísmica
Factor

Peninsular
0.5

4.1.3 Datos meteorológicos

a. Temperatura

| | |
|--------------------------------|--------|
| Máxima extrema | 30 °C |
| Mínima extrema | 5.7 °C |
| Máxima promedio anual | 21 °C |
| Mínima promedio anual | 17 °C |
| Promedio anual | 19 °C |
| Promedio del mes más caliente | 22 °C |
| Promedio del mes más frío | 15 °C |
| De bulbo seco máximo anual | 23°C |
| De bulbo seco mínimo anual | 14°C |
| Gradiente máximo diario | 14°C |
| De bulbo seco en verano | 21.9°C |
| De bulbo seco en invierno | 14.6°C |
| De bulbo húmedo en verano | 19.2°C |
| De bulbo húmedo en invierno | 13.1°C |
| De bulbo húmedo de diseño | 14°C |
| De bulbo seco promedio anual | 22.3°C |
| De bulbo húmedo promedio anual | 18.9°C |

b. Humedad Relativa

| | |
|-------------------------|------|
| Máxima anual | 90% |
| Mínima anual | 52% |
| Medio anual | 65 % |
| Promedio mensual máxima | 95% |
| Promedio mensual mínima | 68% |

| | |
|------------------------|-----|
| Promedio mensual media | 78% |
| De diseño | 90% |

c. Precipitación Pluvial

| | |
|------------------------------|----------|
| En días por año | 6 mm |
| Meses de máxima | 124 mm |
| Máxima de 24 hrs. | 13 mm |
| Mínima de 24 hrs. | 2.4 mm |
| Máxima por hr. | 12 mm |
| Total anual | 550.9 mm |
| Intensidad para cálculo | 12 mm |
| Evaporación mensual promedio | 187 mm |

d. Atmósfera

| | |
|--------------------------------------|------------------------|
| Presión atmosférica media anual | 610 mm Hg |
| Presión barométrica máxima de diseño | 2.2 kg/cm ² |
| Presión barométrica mínima de diseño | 0.9 kg/cm ² |
| Presión barométrica máxima anual | 110 mm Hg |

e. Vientos

| | |
|--|----------------|
| Velocidad máxima registrada | 4 m/s |
| Velocidad media del viento | 2.1 m/s |
| Vientos reinantes (Velocidad y Dirección) | 3 m/s NE |
| Vientos dominantes (Velocidad y Dirección) | 1 m/s N,S y SO |
| Velocidad de diseño (A una altura de 10 m) | 20 m/s |

4.1.4 Operación de la planta¹⁶

| | |
|---------------------------------|-----------------|
| Capacidad y Rendimiento | 500 Ton/mes |
| Horas de operación por año | 7,200 horas/año |
| Calendario o factor de servicio | 0.91 |

Capacidad y rendimiento

| | | |
|-----------|-----|---------|
| a. Diseño | 500 | ton/mes |
| b. Normal | 500 | ton/mes |
| c. Mínimo | 400 | ton/mes |

4.1.5 Servicios auxiliares

a. Vapor

Tabla 4-1
CARACTERÍSTICAS DEL VAPOR

| Vapor de alta presión | Máxima | Normal | Mínimo |
|-------------------------------|-----------|--------|--------|
| Presión (kg/cm ²) | 31 | 28 | 25 |
| Temperatura (°C) | 254 | 231 | 208 |
| Calidad | 0.995 - 1 | | |
| Vapor de media presión | | | |
| Presión (kg/cm ²) | 11.5 | 10.5 | 9.5 |
| Temperatura (°C) | 204.5 | 185.5 | 167 |
| Calidad | 0.985 - 1 | | |
| Vapor de baja presión | | | |
| Presión (kg/cm ²) | 2.1 | 1.5 | 1 |
| Temperatura (°C) | 135 | 128 | 121 |
| Calidad | 1 | | |

b. Agua

Agua de enfriamiento

Sistema de enfriamiento

Torre de enfriamiento

Presión de entrada en L. B.

1 kg/cm²

Temperatura entrada en L. B.

20 °C

Presión de salida en L. B.

2.5 kg/cm²

Temperatura máx. de salida en L. B. 46 °C

Nota: L. B. es en límites de batería.

c. Inertes

| | |
|--------------------------|----------------------------------|
| Naturaleza | Bióxido de carbono para: Proceso |
| Composición | 99.9 % |
| Forma de entrega en L. B | Gaseoso |
| Presión en L. B. | 1 atm. |
| Temperatura en L. B: | 25° C |

4.1.6 Contaminación ambiental

- a. Actual del sitio Nivel de Contaminación y Ambiente Corrosivo
Alta
- b. Especificación de los efluentes Agua: NOM-PA-CCA-005/93¹⁷

T A B L A 4.2
MÁXIMAS CONCENTRACIONES PERMITIDAS DE CONTAMINANTES EN AGUAS
RESIDUALES INDUSTRIALES

| Concentración máxima ppm | Después del tratamiento del efluente |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| pH | 6 - 9 |
| Temperatura máxima | 35°C |
| Sólidos sedimentables | 1 mg/L |
| Grasas y aceites | 15 mg/L |
| Alcalinidad | 30 mg/mL |
| Acidez | 70 mg/L |
| Sólidos suspendidos totales | 70 mg/L |
| DQO | 200 mg/L |
| DBQ | 100 mg/L |
| Fenoles | 0.5 mg/L |
| Coliformes focales | (*) |

(*) 1000 como limite promedio diario y 1000 como limite instantáneo en las aguas residuales de los procesos industriales

4.2 DIAGRAMA DE PROCESO

4.2.1 Balance de Materia

Componentes

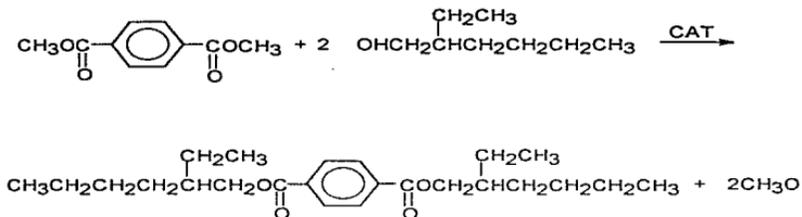
| CLAVE | TIPO | FORMULA | NOMBRE |
|-------|------|-------------|--------------------------|
| DOTP | C | C24H38O4-D2 | DIOCTIL TEREFALATO |
| MET | C | CH4O | METANOL |
| DMT | C | C10H10O4-D2 | DIMETIL TEREFALATO |
| EH | C | C8H18O-3 | 2-ETILHEXANOL |
| H2O2 | C | H2O2 | PEROXIDO DE HIDROGENO |
| H2O | C | H2O | AGUA |
| SOSA | C | NAOH | HIDROXIDO DE SODIO |

Los balances de materia y energía se obtuvieron del simulador Aspen Plus versión 9.1, con modelos como decantadores, reactores de tanque continuo agitado, tanques flash, bombas, intercambiadores de calor y tanques de mezclado. En las hojas de datos por equipo se podrá ver parte del balance de materia y energía de todos los equipos.

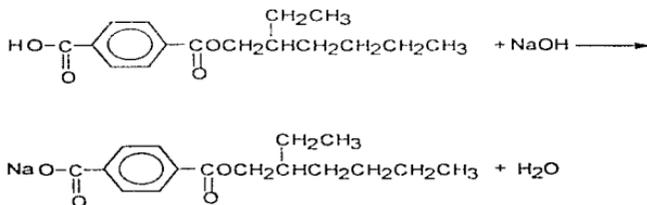
4.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El proceso consta de tres reactores de tanque continuo agitado y enchaquetados, conectados en serie, a los cuales se alimenta tereftalato de dimetilo junto con 2-etilhexanol al 20% en exceso, el primer reactor trabaja a una temperatura de 170° C y a una atmósfera de presión; el segundo trabaja a 210°C y el tercero a 240°, todos a la misma presión; lográndose una conversión total del 99.14%. Por las chaquetas circula vapor de calentamiento. La reacción debe ser catalizada con un compuesto organometálico que se descompone con la humedad, por lo que a los reactores también debe de entrar una corriente de bióxido de carbono para mantener una atmósfera inerte y que el catalizador no se descomponga.

El metanol que se forma en el transcurso de la reacción, pasa por una columna de destilación conectada a cada uno de los reactores, además de esta forma se puede separar el 2-etilhexanol que es arrastrado.



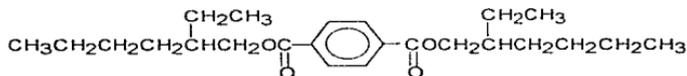
A la salida del tercer reactor la mezcla se enfría hasta una temperatura de 200°C para separar el 2-etilhexanol remanente, esto se logra con un tanque flash a T = 200°C y 10 mmHg de presión. El 2-etilhexanol flasheado se recupera para volver a utilizarse en el proceso, mientras que la fase líquida se enfría a 135°C para que sea blanqueada con peróxido de hidrógeno en el tanque agitado DC-101, el tiempo de residencia es de 3 minutos; posteriormente se procede a bajar el número de ácido con sosa al 10%, esto se realiza a una temperatura de 85°C y una atmósfera de presión en el tanque de lavado LV-101, se agita durante 3 minutos



Después de neutralizar, se adiciona el agua de lavado a una temperatura de 85°C, en el tanque LV-102, para eliminar las impurezas que contiene el producto, durante un periodo de 2 minutos

A continuación el producto se pasa a un decantador que tiene como finalidad formar dos fases: una orgánica que contiene al plastificante y una acuosa que contiene todas las impurezas como son el catalizador descompuesto, residuos de DMT y sales. En este equipo se tiene un tiempo de residencia de treinta minutos, opera a una temperatura de 50°C y una atmósfera de presión.

Al tirar la fase acuosa se debe tener la seguridad de mandarla a la cisterna de la planta de tratamiento. La fase orgánica se deshidrata en un segundo flash a 150°C y 50 mmHg, para obtener tereftalato de dimetilo con una pureza del 99.91%.



4.4 LISTA DE EQUIPO

4.4.1 Bombas

| CLAVE | REQUISICIÓN | DESCRIPCIÓN |
|---------|-------------|--|
| BC-101A | BC-1 | Bomba de alimentación al tanque DC-101 |
| MB-101A | BC-1 | Motor eléctrico accionado de BC-011A |
| BC-101B | BC-1 | Bomba de repuesto de BC-011A |
| MB-101B | BC-1 | Motor eléctrico accionado de BC-011B |
| BC-101A | BC-1 | Bomba de salida del FL-101 |
| MB-101A | BC-1 | Motor eléctrico accionado de BC-011A |
| BC-101B | BC-1 | Bomba de repuesto de BC-011A |
| MB-101B | BC-1 | Motor eléctrico accionado de BC-011B |

4.4.2 Tanques y reactores

Clase: R

| <i>CLAVE</i> | <i>REQUISICIÓN</i> | <i>DESCRIPCIÓN</i> |
|--------------|--------------------|--|
| RE-101 | R-1 | Primer reactor de transesterificación ,enchaquetado con vapor |
| RE-102 | R-1 | Segundo reactor de transesterificación ,enchaquetado con vapor |
| RE-103 | R-1 | Tercer reactor de transesterificación ,enchaquetado con vapor |
| CS-101 | R-1 | Columna de separación del reactor RE-101 |
| CS-102 | R-1 | Columna de separación del reactor RE-102 |
| CS-103 | R-1 | Columna de separación del reactor RE-103 |
| FL-101 | R-1 | Primer tanque flash para eliminar el 2-etilhexanol remanente |
| FL-102 | R-1 | Segundo tanque flash para eliminar el exceso de agua |
| TA-101 | R-1 | Tanque acumulador del FL-101 |
| TA-102 | R-1 | Tanque acumulador del FL-102 |
| DC-101 | R-1 | Tanque decolorador del producto |
| LV-101 | R-1 | Tanque neutralizador para bajar el número de ácido |
| LV-102 | R-1 | Tanque de lavado con agua |
| DN-101 | R-1 | Decantador para separar la fase acuosa de la fase orgánica |

4.4.3 Intercambiadores de calor

Clase: CC

| <i>CLAVE</i> | <i>REQUISICIÓN</i> | <i>DESCRIPCIÓN</i> |
|--------------|--------------------|---|
| EN-101 | CC-1 | Enfriador del efluente del reactor RE-103 |
| EN-102 | CC-1 | Enfriador del efluente del flash FL-101 |

| | | |
|--------|------|--|
| EN-103 | CC-1 | Enfriador del efluente del tanque DC-101 |
| EN-104 | CC-1 | Enfriador del efluente del tanque de lavado LV-102 |
| EN-105 | CC-1 | Enfriador del efluente del tanque flash FL-102 |
| CC-101 | CC-1 | Condensador de la columna CS-101 |
| CC-102 | CC-1 | Condensador de la columna CS-102 |
| CC-103 | CC-1 | Condensador de la columna CS-103 |
| CC-104 | CC-1 | Condensador del tanque flash FL-101 |
| CC-101 | CC-1 | Condensador del tanque flash FL-102 |
| CH-101 | CC-1 | Chaqueta de calentamiento del reactor RE-101 |
| CH-102 | CC-1 | Chaqueta de calentamiento del reactor RE-102 |
| CH-103 | CC-1 | Chaqueta de calentamiento del reactor RE-103 |
| SP-101 | CC-1 | Serpentín de calentamiento del FL-101 |
| SP-102 | CC-1 | Serpentín de calentamiento del FL-102 |

4.4.4 Agitadores

Clase:MX

| <i>CLAVE</i> | <i>REQUISICIÓN</i> | <i>DESCRIPCIÓN</i> |
|--------------|--------------------|--|
| AG-101 | MX-1 | Agitador del reactor de transesterificación RE-101 |
| MA-101 | MX-1 | Motor eléctrico accionador de MX-101 |
| AG-102 | MX-1 | Agitador del reactor de transesterificación RE-102 |
| MA-102 | MX-1 | Motor eléctrico accionador de MX-102 |
| AG-103 | MX-1 | Agitador del reactor de transesterificación RE-103 |
| MA-103 | MX-1 | Motor eléctrico accionador de MX-103 |
| AG-104 | MX-1 | Agitador del tanque decolorador DC-101 |
| MA-104 | MX-1 | Motor eléctrico accionador de MX-102 |
| AG-105 | MX-1 | Agitador del tanque neutralizador LV-101 |
| MA-105 | MX-1 | Motor eléctrico accionador de MX-103 |

4.5 HOJAS DE DATOS

4.5.1 Hoja de datos de recipientes

4.5.2 Hoja de datos de columnas de separación

4.5.3 Hoja de datos de intercambiadores de calor

4.5.4 Hoja de datos de serpentines

4.5.5 Hoja de datos de chaquetas de calentamiento

4.5.6 Hoja de datos de agitadores

4.5.7 Hoja de datos de bombas

4.6 DIAGRAMAS

4.6.1 Diagrama de flujo de proceso

4.6.1 Diagrama de tubería e instrumentación

4.6.1 Diagrama de arreglo de equipo

| | | |
|---------------------------------|--|--|
| Facultad de Química E-212 | HOJA DE DATOS DE RECIPIENTES A PRESIÓN. | |
| | | |

| | | | |
|--|-------------------------------------|-----------------------------|---|
| CLIENTE : FACULTAD DE QUÍMICA | | PROYECTO : 001 | |
| PLANTA : PLASTIFICANTES | | HOJA 1 DE 1 | |
| LOCALIZACIÓN : SAN JUAN DEL RÍO, QUERÉTARO | | N° DE UNIDADES UNA | |
| CLAVE DEL EQUIPO : RE-101 | | | |
| SERVICIO : Tanque de reacción | | POSICIÓN: Vertical | |
| TIPO DE FLUIDO | LIQUIDO 1: DMT, 2-ET, DÓTP, MET | FLUJO : 1967.35 kg/h | DENSIDAD : 799.1 kg/m ³ |
| Mezcla reacción | LIQUIDO 2 : | FLUJO | DENSIDAD : |
| TEMPERATURA. | OPERACIÓN: 170° C | DISEÑO: 200°C | |
| PRESIÓN | OPERACIÓN: 1.033 kg/cm ² | MÁXIMA man | DISEÑO: 2.8 kg/cm ² |
| DIMENSIONES APROXIMADAS | | | |
| LONGITUD: 4.5 m | FALDÓN: 1.0 m | DIÁMETRO: 1.5 m | CAPACIDAD: 10.125 m ³ |
| ESPESOR CUERPO: 7.0 mm | TAPAS: 4.0 mm | ALTURA DEL EMPAQUE | NO DE PLATOS. * |
| NIVEL DE OPERACIÓN: 3.0 m DESDE la base | | MINIMO DESDE LA BASE: 2.0 m | |
| MATERIALES (ASTM) | | DISEÑO Y FABRICACION | |
| | EXTERNOS | INTERNOS | RELEVO DE ESFUERZOS |
| CUERPO | LC | LC | RADIOGRAFÍA: Sin puntos |
| TAPAS | LC | LC | EFICIENCIA JUNTA/CUERPO: 85% TAPAS: 85% |
| PLACAS | LC | LC | CORR PERM (mm) |
| TUBERÍA | LC | LC | TAPAS 12 CUERPO 32 |

| TABLA DE BOQUILLAS | | | |
|--------------------|----|------|----------------------------|
| ID | NO | C | SERVICIO |
| A | 1 | 3/4" | ENTRADA DE REACTANTES |
| C | 1 | 1/8" | ENTRADA DE CALTAZADOR |
| D | 1 | 1/8" | ENTRADA DE CO ₂ |
| E | 1 | 3/4" | SALIDA DE MEZCLA REACCIÓN |
| H | 1 | 3/4" | CONTROL DE NIVEL |
| F | 1 | 3/4" | CONTROL DE TEMPERATURA |
| H | 1 | 3/4" | VALVULA DE SEGURIDAD |
| G | 1 | 3/4" | INSPECCIÓN |

| | |
|----------|------------------------------------|
| ELAB POR | Ing. Ma Isabel Caballero Martínez. |
| APROB. | Dr. Javier Cruz Gómez. |

| | |
|----------------------------------|--|
| Facultad de Química E-212 | HOJA DE DATOS DE RECIPIENTES A PRESIÓN. |
|----------------------------------|--|

| | | | |
|--|---|-----------------------------|---|
| CLIENTE : FACULTAD DE QUÍMICA | | PROYECTO : 001 | |
| PLANTA : PLASTIFICANTES | | HOJA : 1 DE 1 | |
| LOCALIZACIÓN : SAN JUAN DEL RÍO, QUERÉTARO | | N° DE UNIDADES : UNA | |
| CLAVE DEL EQUIPO : RE-102 | | | |
| SERVICIO : Tanque de reacción | | POSICIÓN : Vertical | |
| TIPO DE FLUIDO : | LIQUIDO 1 : DMT, 2-ET, DOTP, MET | FLUJO : 1893.76 kg/h | DENSIDAD : 791.6 kg/m ³ |
| Mezcla reacción | LIQUIDO 2 : | FLUJO : | DENSIDAD : |
| TEMPERATURA : | OPERACIÓN : 210° C | DISEÑO : 240° C | |
| PRESIÓN : | OPERACIÓN : 1.033 kg/cm ² | MÁXIMA man. : | DISEÑO : 2.8 kg/cm ² |
| DIMENSIONES APROXIMADAS | | | |
| LONGITUD : 4.5 m | FALDÓN : 1.0 m | DIÁMETRO : 1.5 m | CAPACIDAD : 10.125 m ³ |
| ESPOSOR CUERPO : 7.0 mm | TAPAS : 4.0 mm | ALTURA DEL EMPAQUE : | NO. DE PLATOS : |
| NIVEL DE OPERACIÓN : 3.0 m DESDE la base, MÍNIMO DESDE LA BASE: 2.0 m | | | |
| MATERIALES (ASTM) | | DISEÑO Y FABRICACIÓN | |
| CUERPO | EXTERNOS | INTERNOS | RELIEVO DE ESFUERZOS |
| | LC | LC | RADIOGRAFÍA : Sin puntos |
| TAPAS | LC | LC | EFICIENCIA JUNTA/CUERPO : 85% TAPAS : 85% |
| PLACAS | LC | LC | CORR. PERM (mm) |
| TUBERÍA | LC | LC | TAPAS : 3.2 CUERPO : 3.2 |

| TABLA DE BOQUILLAS | | | |
|---------------------------|----|------|-------------------------------|
| ID | Nº | Ø | SERVICIO |
| A | 1 | 3/4" | ENTRADA DE MEZCLA DE REACCIÓN |
| C | 1 | 1/8" | ENTRADA DE CATALIZADOR |
| D | 1 | 1/8" | ENTRADA DE CO ₂ |
| E | 1 | 3/4" | SALIDA DE MEZCLA REACCIÓN |
| B | 1 | 3/4" | CONTROL DE NIVEL |
| F | 1 | 3/4" | CONTROL DE TEMPERATURA |
| H | 1 | 3/4" | VALVULA DE SEGURIDAD |
| G | 1 | 3/4" | INSPECCIÓN |

| | |
|------------------|------------------------------------|
| ELAB. POR | Ing. Ma. Isabel Caballero Martínez |
| APROB. | Dr. Javier Cruz Gómez |

Facultad de
Química
E-212

HOJA DE DATOS DE
RECIPIENTES
A PRESIÓN.

| | | | |
|--|-------------------------------------|--------------------------------|--|
| CLIENTE : FACULTAD DE QUIMICA | | PROYECTO : 001 | |
| PLANTA : PLASTIFICANTES | | HOJA 1 DE 1 | |
| LOCALIZACIÓN : SAN JUAN DEL RÍO, QUERÉTARO | | Nº DE UNIDADES UNA | |
| CLAVE DEL EQUIPO : RE-103 | | | |
| SERVICIO : Tanque de reacción | | POSICIÓN: Vertical | |
| TIPO DE FLUIDO | LIQUIDO 1: DMT, 2-ET, DOTP, MET | FLUJO : 1872.55 kg/h | DENSIDAD : 778.2 kg/m ³ |
| Mezcla reacción | LIQUIDO 2 : | FLUJO : | DENSIDAD : |
| TEMPERATURA | OPERACIÓN: 240° C | DISEÑO: 270° C | |
| PRESIÓN | OPERACIÓN: 1 033 kp/cm ² | DISEÑO: 2.8 kg/cm ² | |
| DIMENSIONES APROXIMADAS | | | |
| LONGITUD: 4.5 m | FALDÓN: 1.0 m | DIÁMETRO: 1.5 m | CAPACIDAD: 10 125 m ³ |
| ESPESOR CUERPO: 7.0 mm | TAPAS: 4.0 mm | ALTURA DEL EMPAQUE | NO. DE PLATOS. |
| NIVEL DE OPERACIÓN: 3.0 m DESDE la base , MÍNIMO DESDE LA BASE 2.0 m | | | |
| MATERIALES (ASTM) | | DISEÑO Y FABRICACIÓN | |
| CUERPO | EXTERNOS LC | INTERNOS LC | RELEVO DE ESFUERZOS |
| TAPAS | LC | 1 C | RADIOGRAFIA Sin puntos |
| PLACAS | LC | LC | EFICIENCIA JUNTA/CUERPO 85% TAPAS: 85% |
| TUBERÍA | LC | LC | CORR PERM (mm) |
| | | | TAPAS 3.2 CUERPO 3.2 |

TABLA DE BOQUILLAS

| ID | NO. | Φ | SERVICIO |
|----|-----|------|----------------------------|
| A | 1 | 3/4" | ENTRADA DE REACTANTES |
| C | 1 | 1/8" | ENTRADA DE CATALIZADOR |
| D | 1 | 1/8" | ENTRADA DE CO ₂ |
| E | 1 | 3/4" | SALIDA DE MEZCLA REACCIÓN |
| B | 1 | 3/4" | CONTROL DE NIVEL |
| F | 1 | 3/4" | CONTROL DE TEMPERATURA |
| H | 1 | 3/4" | VALVULA DE SEGURIDAD |
| G | 1 | 3/4" | INSPECCIÓN |

| | |
|-----------|------------------------------------|
| ELAB. POR | Ing. Ma. Isabel Caballero Martínez |
| APROB. | Dr. Javier Cruz Gómez |

| | | |
|---------------------------------|--|--|
| Facultad de Química E-212 | HOJA DE DATOS DE RECIPIENTES A PRESIÓN. | |
| | | |

| | | | |
|--|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| CLIENTE : FACULTAD DE QUÍMICA | | PROYECTO : 001 | |
| PLANTA : PLASTIFICANTES | | HOJA 1 DE 1 | |
| LOCALIZACIÓN : SAN JUAN DEL RÍO, QUERÉTARO | | Nº DE UNIDADES UNA | |
| CLAVE DEL EQUIPO : FL-101 | | | |
| SERVICIO : Tanque flash para eliminar el 2-etilhexanol | | POSICIÓN : Vertical | |
| TIPO DE FLUIDO | LIQUIDO 1. DOP, OTROS | FLUJO : 1872.55 kg/h | DENSIDAD 822.8 kg/m ³ |
| Mezcla reacción | LIQUIDO 2 : 2-ET | FLUJO : | DENSIDAD : |
| TEMPERATURA | OPERACIÓN : 200° C | DISEÑO : 230° C | |
| PRESIÓN | OPERACIÓN : 0.014kg/cm ² | MAXIMA man | DISEÑO : 1.764 kg/cm ² |
| DIMENSIONES APROXIMADAS | | | |
| LONGITUD. 2.2 m | FALDÓN. 1.0 m | DIÁMETRO 1.0 m | CAPACIDAD 2.2 m ³ |
| ESPESOR CUERPO 6.0 mm TAPAS 3.0 mm | | ALTURA DEL EMPAQUE * NO DE PLATOS * | |
| NIVEL DE OPERACIÓN 1.5 m DESDE la base | | MINIMO DESDE LA BASE 0.3 m | |
| MATERIALES (ASTM) | | DISEÑO Y FABRICACION | |
| | EXTERNOS | INTERNOS | RELEVO DE ESFUERZOS |
| CUERPO | LC | LC | RADIOGRAFIA Sin puntos |
| TAPAS | LC | LC | EFICIENCIA JUNTA/CUERPO 85% TAPAS 85% |
| PLACAS | LC | LC | CORR PERM. (mm) |
| TUBERÍA | LC | LC | TAPAS 3.2 CUERPO 3.2 |

TABLA DE BOQUILLAS

| ID | NO | Ø | SERVICIO |
|----|----|-----|------------------------|
| A | 1 | 4" | ENTRADA DE LIQUIDO |
| C | 1 | 2" | SALIDA DE LIQUIDO |
| D | 1 | 12" | SALIDA DE VAPOR |
| E | 1 | 1" | CONTROL DE NIVEL |
| B | 1 | 1" | CONTROL DE TEMPERATURA |
| F | 1 | 1" | VALVULA DE SEGURIDAD |
| H | 1 | 1" | INSPECCION |
| | | | |
| | | | |

| | |
|-----------|------------------------------------|
| ELAB. POR | Ing. Ma. Isabel Caballero Martínez |
| APROB. | Dr. Javier Cruz Gómez |

Facultad de
Química
E-212

HOJA DE DATOS DE
RECIPIENTES
A PRESIÓN.

| | | | |
|--|--------------------------------------|---|---|
| CLIENTE : FACULTAD DE QUÍMICA | | PROYECTO : 001 | |
| PLANTA : PLASTIFICANTES | | HOJA : 1 DE 1 | |
| LOCALIZACIÓN : SAN JUAN DEL RÍO, QUERÉTARO | | N° DE UNIDADES UNA | |
| CLAVE DEL EQUIPO : FL-102 | | | |
| SERVICIO : Tanque flash para deshidratar | | POSICIÓN : Vertical | |
| TIPO DE FLUIDO | LIQUIDO 1. DOTP, DMT, OTROS | FLUJO : 1649.33 kg/h | DENSIDAD 949.5 kg/m ³ |
| Mezcla reacción | VAPOR : 2-ET | FLUJO : | DENSIDAD : |
| TEMPERATURA | OPERACIÓN : 155° C | DISEÑO : 185° C | |
| PRESIÓN | OPERACIÓN : 0.054 kg/cm ² | MÁXIMA man. | DISEÑO : 1.804 kg/cm ² |
| DIMENSIONES APROXIMADAS | | | |
| LONGITUD : 2.8 m | FALDON : 1.0 m | DIÁMETRO : 0.3 m | CAPACIDAD : 0.3m ³ |
| ESPESOR CUERPO 7.0 mm | TAPAS : 4.0 mm | ALTURA DEL EMPAQUE : * NO DE PLATOS : * | |
| NIVEL DE OPERACIÓN : 2.5 m DESDE la base | | MÍNIMO DESDE LA BASE: 2.2m | |
| MATERIALES (ASTM) | | DISEÑO Y FABRICACIÓN | |
| CUERPO | EXTERNOS L.C | INTERNOS L.C | RELIEVO DE ESFUERZOS RADIOGRAFIA Sin puntos |
| TAPAS | L.C | L.C | EFICIENCIA JUNTACUERPO 85% TAPAS 85% |
| PLAGAS | L.C | L.C | CORR. PERM (mm) |
| TUBERÍA | L.C | L.C | TAPAS 3.2 CUERPO 3.2 |

TABLA DE BOQUILLAS

| ID | NO | Ø | SERVICIO |
|----|----|--------|------------------------|
| A | 1 | 1 1/2" | ENTRADA DE LIQUIDO |
| C | 1 | 2" | SALIDA DE LIQUIDO |
| D | 1 | 6" | SALIDA DE VAPOR |
| E | 1 | 1" | CONTROL DE NIVEL |
| B | 1 | 1" | CONTROL DE TEMPERATURA |
| F | 1 | 1" | VALVULA DE SEGURIDAD |
| H | 1 | 1" | INSPECCIÓN |
| | | | |
| | | | |

| | |
|----------|------------------------------------|
| ELAB POR | Ing. Ma. Isabel Caballero Martínez |
| APROB. | Dr. Javier Cruz Gómez |

| | |
|--|--|
| Facultad de Química E-212 | HOJA DE DATOS DE RECIPIENTES A PRESIÓN. |
|--|--|

| | |
|-------------------------------|----------------|
| CLIENTE : FACULTAD DE QUIMICA | PROYECTO : 001 |
|-------------------------------|----------------|

| | |
|-------------------------|-------------|
| PLANTA : PLASTIFICANTES | HOJA 1 DE 1 |
|-------------------------|-------------|

| | |
|--|--------------------|
| LOCALIZACIÓN : SAN JUAN DEL RIO, QUERÉTARO | Nº DE UNIDADES UNA |
|--|--------------------|

| | |
|---------------------------|--|
| CLAVE DEL EQUIPO : DC-101 | |
|---------------------------|--|

| | |
|-------------------------------|---------------------|
| SERVICIO : Tanque decolorador | POSICIÓN : Vertical |
|-------------------------------|---------------------|

| | | | |
|----------------|------------------------|---------------------|------------------------------------|
| TIPO DE FLUIDO | LIQUIDO 1: DOTP, OTROS | FLUJO : 1640.2 kg/h | DENSIDAD : 901.7 kg/m ³ |
|----------------|------------------------|---------------------|------------------------------------|

| | | | |
|--------------|--|--------------------|-------------------------------------|
| DOS LIQUIDOS | LIQUIDO 2 : H ₂ O, H ₂ O | FLUJO : 10.15 kg/h | DENSIDAD : 1196.7 kg/m ³ |
|--------------|--|--------------------|-------------------------------------|

| | | | |
|-------------|--------------------|-----------------|--|
| TEMPERATURA | OPERACIÓN : 135° C | DISEÑO : 165° C | |
|-------------|--------------------|-----------------|--|

| | | | |
|---------|--------------------------------------|-------------|---------------------------------|
| PRESIÓN | OPERACIÓN : 1.033 kg/cm ² | MÁXIMA man. | DISEÑO : 2.8 kg/cm ² |
|---------|--------------------------------------|-------------|---------------------------------|

| | | | |
|--------------------------------|--|--|--|
| DIMENSIONES APROXIMADAS | | | |
|--------------------------------|--|--|--|

| | | | |
|-----------------|---------------|------------------|----------------------------------|
| LONGITUD: 1.5 m | FALDÓN: 0.5 m | DIÁMETRO : 0.5 m | CAPACIDAD : 0.375 m ³ |
|-----------------|---------------|------------------|----------------------------------|

| | | |
|------------------------|---------------|------------------------------------|
| ESPESOR CUERPO: 6.0 mm | TAPAS: 3.0 mm | ALTURA DEL EMPAQUE : NO DE PLATOS. |
|------------------------|---------------|------------------------------------|

| | | |
|----------------------------|---------------|-----------------------------|
| NIVEL DE OPERACIÓN : 0.5 m | DESDE la base | MÍNIMO DESDE LA BASE: 0.3 m |
|----------------------------|---------------|-----------------------------|

| | MATERIALES (ASTM) | | DISEÑO Y FABRICACIÓN |
|---------|-------------------|----------|--|
| | EXTERNOS | INTERNOS | |
| CUERPO | I.C | I.C | RELEVO DE ESFUERZOS |
| TAPAS | I.C | I.C | RADIOGRAFIA Sin puntos |
| PLACAS | I.C | I.C | EFICIENCIA JUNTAS/CUERPO 70% TAPAS 70% |
| TUBERÍA | I.C | I.C | CORR TERM (mm) |
| | | | TAPAS 3.2 CUERPO 3.2 |

| | | | |
|---------------------------|--|--|--|
| TABLA DE BOQUILLAS | | | |
|---------------------------|--|--|--|

| ID. | NO | Ø | SERVICIO |
|-----|----|------|----------------------------|
| A | 1 | 3/4" | ENTRADA DE MEZCLA REACCIÓN |
| C | 1 | 1/8" | ENTRADA DE DECOLORADOR |
| D | 1 | 3/4" | SALIDA DEL EFLUENTE |
| E | 1 | 3/4" | CONTROL DE NIVEL |
| B | 1 | 3/4" | CONTROL DE TEMPERATURA |
| F | 1 | 3/4" | VALVULA DE SEGURIDAD |
| H | 1 | 3/4" | INSPECCIÓN |
| | | | |
| | | | |

| | |
|-----------|------------------------------------|
| ELAB. POR | Ing. Ma. Isabel Caballero Martínez |
| APROB. | Dr. Javier Cruz Gómez |

Facultad de
Química
E-212

HOJA DE DATOS DE
RECIPIENTES
A PRESIÓN.

| | | | |
|---|----------------------|--|---|
| CLIENTE : FACULTAD DE QUÍMICA | | PROYECTO : 001 | |
| PLANTA : PLASTIFICANTES | | HOJA : 1 DE 1 | |
| LOCALIZACIÓN : SAN JUAN DEL RÍO, QUERÉTARO | | N° DE UNIDADES : UNA | |
| CLAVE DEL EQUIPO : LV-101 | | | |
| SERVICIO : Tanque de lavado con sosa | | POSICIÓN : Vertical | |
| TIPO DE FLUIDO : LIQUIDO 1: DOPP, H ₂ O, H ₂ O ₂ , Otros | FLUJO : 1650.35 kg/h | DENSIDAD : 925.2 kg/m ³ | |
| Mezcla reacción : LIQUIDO 2 : NaOH, H ₂ O | FLUJO : 5.53 kg/h | DENSIDAD : 922.02 kg/m ³ | |
| TEMPERATURA : OPERACIÓN : 85° C | DISEÑO : 115° C | | |
| PRESIÓN : OPERACIÓN : 1.033 kg/cm ² | MAXIMA man. | DISEÑO : 2.8 kg/cm ² | |
| DIMENSIONES APROXIMADAS | | | |
| LONGITUD : 1.5 m | FALDÓN : 0.5 m | DIAMÉTRICO : 0.5 m | CAPACIDAD : 0.375 m ³ |
| ESPESOR CUERPO : 6.0 mm | TAPAS : 3.0 mm | ALTURA DEL EMPAQUE : * NO. DE PLATOS : * | |
| NIVEL DE OPERACIÓN : 0.5 m DESDE la base , | | MÍNIMO DESDE LA BASE : 0.3 m | |
| MATERIALES (ASTM) | | DISEÑO Y FABRICACIÓN | |
| | EXTERNOS | INTERNOS | RELIEVO DE ESFUERZOS |
| CUERPO | LC | LC | RADIOGRAFÍA : Sin puntos |
| TAPAS | LC | LC | EFICIENCIA JUNTA/CUERPO : 70% TAPAS : 70% |
| PLACAS | LC | LC | CORR. PERM (mm) |
| TUBERÍA | LC | LC | TAPAS : 3.2 CUERPO : 3.2 |

TABLA DE BOQUILLAS

| ID | NO. | Ø | SERVICIO |
|----|-----|------|------------------------|
| A | 1 | 3/4" | ENTRADA DE DOPP |
| C | 1 | 1/8" | ENTRADA DE SOSA |
| D | 1 | 3/4" | SALIDA DEL EFLUENTE |
| E | 1 | 3/4" | CONTROL DE NIVEL |
| B | 1 | 3/4" | CONTROL DE TEMPERATURA |
| F | 1 | 3/4" | VALVULA DE SEGURIDAD |
| H | 1 | 3/4" | INSPECCIÓN |
| | | | |
| | | | |

ELAB. POR
APROB.

Ing. Ma. Isabel Caballero Martínez
Dr. Javier Cruz Gómez

Facultad de
Química
E-212

HOJA DE DATOS DE
RECIPIENTES
A PRESIÓN.

| | | | |
|---|--|--|---|
| CLIENTE : FACULTAD DE QUÍMICA | | PROYECTO : 001 | |
| PLANTA : PLASTIFICANTES | | HOJA 1 DE 1 | |
| LOCALIZACIÓN : SAN JUAN DEL RÍO, QUERETARO | | N° DE UNIDADES UNA | |
| CLAVE DEL EQUIPO : LV-102 | | | |
| SERVICIO : Tanque de lavado con agua | | POSICIÓN : Vertical | |
| TIPO DE FLUIDO | LIQUIDO 1: DOTP, H ₂ O ₂ , H ₂ O, Otros | FLUJO : 1655.88 kg/h | DENSIDAD : 922.0 kg/m ³ |
| Mezcla reacción | LIQUIDO 2 : H ₂ O | FLUJO : 166.82 kg/h | DENSIDAD : 948.9 kg/m ³ |
| TEMPERATURA | OPERACIÓN : 85°C | DISEÑO : 115°C | |
| PRESIÓN | OPERACIÓN : 1.033 kg/cm ² | MÁXIMA man | DISEÑO : 2.8 kg/cm ² |
| DIMENSIONES APROXIMADAS | | | |
| LONGITUD : 1.5 m | FALDÓN : 0.5 m | DIÁMETRO : 0.5 m | CAPACIDAD : 0.375 m ³ |
| ESPESOR CUERPO : 6.0 mm TAPAS : 3.0 mm | | ALTURA DEL EMPAQUE : * NO DE PLATOS. * | |
| NIVEL DE OPERACIÓN : 0.4 m DESDE la base MÍNIMO DESDE LA BASE : 0.3 m | | | |
| MATERIALES (ASTM) | | DISEÑO Y FABRICACIÓN | |
| | EXTERNOS | INTERNOS | RELEVO DE ESFUERZOS |
| CUERPO | LC | LC | RADIOGRAFÍA : Sin puntos |
| TAPAS | LC | LC | EFICIENCIA JUNTA/CUERPO : 70% TAPAS : 70% |
| PLACAS | LC | LC | CORR. PERM (mm) |
| TUBERÍA | LC | LC | TAPAS : 3.2 CUERPO : 3.2 |

TABLA DE BOQUILLAS

| ID | NO | Ø | SERVICIO |
|----|----|------|------------------------|
| A | 1 | 3/4" | ENTRADA DE DOTP |
| C | 1 | 1/8" | ENTRADA DE AGUA |
| D | 1 | 3/4" | SALIDA DEL EFLUENTE |
| E | 1 | 3/4" | CONTROL DE NIVEL |
| U | 1 | 3/4" | CONTROL DE TEMPERATURA |
| F | 1 | 3/4" | VALVULA DE SEGURIDAD |
| H | 1 | 3/4" | INSPECCION |
| | | | |
| | | | |

| | |
|-----------|------------------------------------|
| ELAB. POR | Ing. Ma. Isabel Caballero Martínez |
| APROB. | Dr. Javier Cruz Gómez |

Facultad de
Química
E-212

HOJA DE DATOS DE
RECIPIENTES
A PRESIÓN.

| | | | |
|---|--------------------------------------|------------------------------|--|
| CLIENTE : FACULTAD DE QUIMICA | | PROYECTO : 001 | |
| PLANTA : PLASTIFICANTES | | HOJA 1 DE 1 | |
| LOCALIZACIÓN : SAN JUAN DEL RÍO, QUERÉTARO | | Nº DE UNIDADES UNA | |
| CLAVE DEL EQUIPO : TA-101 | | | |
| SERVICIO : Tanque acumulador a la salida del flash FL-101 | | POSICIÓN : HORIZONTAL | |
| TIPO DE FLUIDO | LIQUIDO 1. DOTP, Otros | FLUJO : 1640 2 kg/h | DENSIDAD : 855 27 kg/m ³ |
| Mezcla reacción | LIQUIDO 2 : | FLUJO : | DENSIDAD : |
| TEMPERATURA | OPERACIÓN : 200° C | DISEÑO | 230° C |
| PRESIÓN | OPERACIÓN : 0.014 kg/cm ² | MAXIMA man | DISEÑO : 1.764 kg/cm ² |
| DIMENSIONES APROXIMADAS | | | |
| LONGITUD : 1.5 m | FALDÓN : 0.3 m | DIAMETRO : 0.5 m | CAPACIDAD : 0.375 m ³ |
| ESPESOR CUERPO : 6.0 mm | TAPAS : 3.0 mm | ALTURA DEL EMPAQUE : | * NO DE PLATOS : * |
| NIVEL DE OPERACIÓN : 0.4 m DESDE la base | | MINIMO DESDE LA BASE : 0.3 m | |
| MATERIALES (ASTM) | | DISEÑO Y FABRICACIÓN | |
| CUERPO | EXTERNOS LC | INTERNOS LC | RELEVO DE ESFUERZOS : RADIOGRAFIA Sin puntos |
| TAPAS | LC | LC | EFICIENCIA JUNTA/CUERPO : 70% TAPAS 70% |
| PLACAS | LC | LC | CORR PERM (mm) |
| TUBERÍA | LC | LC | TAPAS 3.2 CUERPO 3.2 |

TABLA DE BOQUILLAS

| ID | NO. | φ | SERVICIO |
|----|-----|------|----------------------|
| A | 1 | 3/4" | ENTRADA DE DOTP |
| C | 1 | 3/4" | SALIDA DEL EFLUENTE |
| D | 1 | 3/4" | CONTROL DE NIVEL |
| E | 1 | 3/4" | VALVULA DE SEGURIDAD |
| B | 1 | 3/4" | INSPECCIÓN |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

| | |
|-----------|------------------------------------|
| ELAB. POR | Ing. Ma. Isabel Caballero Martínez |
| APROB. | Dr. Javier Cruz Gómez |

| | |
|----------------------------------|--|
| Facultad de Química E-212 | HOJA DE DATOS DE RECIPIENTES A PRESIÓN. |
|----------------------------------|--|

| | |
|--|--------------------|
| CLIENTE : FACULTAD DE QUIMICA | PROYECTO : 001 |
| PLANTA : PLASTIFICANTES | HOJA 1 DE 1 |
| LOCALIZACIÓN : SAN JUAN DEL RÍO, QUERÉTARO | Nº DE UNIDADES UNA |

| | | |
|--|---|------------------------------------|
| CLAVE DEL EQUIPO : TA-102 | SERVICIO : Tanque acumulador del flash FL-102 | POSICIÓN : HORIZONTAL |
| TIPO DE FLUIDO : LIQUIDO 1: DOTP, Otros | FLUJO : 1634.22 kg/h | DENSIDAD : 888.6 kg/m ³ |
| Mezcla reacción LIQUIDO 2 : | FLUJO : | DENSIDAD : |
| TEMPERATURA OPERACIÓN : 155° C | DISEÑO : 185° C | |
| PRESIÓN OPERACIÓN : 0.054 kg/cm ² | MÁXIMA man | DISEÑO : 1.804 kg/cm ² |

| | | | |
|--------------------------------|---------------|-----------------------|---------------------------------|
| DIMENSIONES APROXIMADAS | | | |
| LONGITUD: 1.5 m | FALDÓN: 0.3 m | DIÁMETRO: 0.5 m | CAPACIDAD: 0.375 m ³ |
| ESPESOR CUERPO: 6.0 mm | TAPAS: 3.0 mm | ALTURA DEL EMPAQUE: • | NO. DE PLATOS • |

| | | | |
|---|-------------|-----------------------------|--|
| NIVEL DE OPERACIÓN: 0.4 m DESDE la base , MÍNIMO DESDE LA BASE: 0.3 m | | | |
| MATERIALES (ASTM) | | DISEÑO Y FABRICACIÓN | |
| CUERPO | EXTERNOS LC | INTERNOS LC | RELIEVO DE ESFUERZOS: RADIOGRAFÍA Sin puntos |
| TAPAS | LC | LC | EFICIENCIA JUNTA/CUERPO 70% TAPAS 70% |
| PLACAS | LC | LC | CORR. PERM (mm) |
| TUBERÍA | LC | LC | TAPAS 3.2 CUERPO 3.2 |

| TABLA DE BOQUILLAS | | | |
|--------------------|-----|------|----------------------|
| ID | NO. | Ø | SERVICIO |
| A | 1 | 3/4" | ENTRADA DE DOTP |
| C | 1 | 3/4" | SALIDA DEL EFLUENTE |
| D | 1 | 3/4" | CONTROL DE NIVEL |
| E | 1 | 3/4" | VALVULA DE SEGURIDAD |
| F | 1 | 3/4" | INSPECCIÓN |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

| | |
|-----------|------------------------------------|
| ELAB. POR | Ing. Ma. Isabel Caballero Martínez |
| APROB. | Dr. Javier Cruz Gómez |

| Facultad de Química E-212 | | HOJA DE DATOS DE RECIPIENTES A PRESIÓN. | | | |
|--|--|--|-----------------------------|---|-------------------------------------|
| CLIENTE : FACULTAD DE QUIMICA | | | PROYECTO : 001 | | |
| PLANTA : PLASTIFICANTES | | | HOJA 1 DE 1 | | |
| LOCALIZACIÓN : SAN JUAN DEL RÍO, QUERETARO | | | Nº DE UNIDADES UNA | | |
| CLAVE DEL EQUIPO : DN-101 | | | | | |
| SERVICIO : Decantador | | | POSICIÓN : Horizontal | | |
| TIPO DE FLUIDO | | LIQUIDO 1: DOTP, H ₂ O ₂ , Otros | | FLUJO : 1649.33 kg/h | DENSIDAD : 949.53 kg/m ³ |
| Mezcla de lavado | | LIQUIDO 2 : H ₂ O, Otros | | FLUJO : 173.37 kg/h | DENSIDAD : 977.5 kg/m ³ |
| TEMPERATURA : | | OPERACIÓN : 50° C | | DISEÑO : 80° C | |
| PRESIÓN : | | OPERACIÓN : 1.033 kg/cm ² MAXIMA man. | | DISEÑO : 2.8 kg/cm ² | |
| DIMENSIONES APROXIMADAS | | | | | |
| LONGITUD : 3.0 m | | FALDÓN : 0.5 m | | DIÁMETRO : 1.0 m | |
| ESPESOR CUERPO : 6.0 mm | | TAPAS : 3.0 mm | | CAPACIDAD : 3.0 m ³ | |
| NIVEL DE OPERACIÓN : 0.8 m | | DESDE la base , MINIMO DESDE LA BASE : 0.5 m | | | |
| MATERIALES (ASTM) | | | DISEÑO Y FABRICACIÓN | | |
| | | EXTERNOS | INTERNOS | RELIEVO DE ESFUERZOS : | |
| CUERPO | | LC | LC | RADIOGRAFIA : Sin puntos | |
| TAPAS | | LC | LC | EFICIENCIA JUNTA/CUERPO : 70% TAPAS : 70% | |
| PLACAS | | LC | LC | CORR PERM (mm) | |
| TUBERIA | | LC | LC | TAPAS 3.2 CUERPO 3.2 | |

| TABLA DE BOQUILLAS | | | | | |
|--------------------|----|------|------------------------|--|--|
| ID | Nº | Ø | SERVICIO | | |
| A | 1 | 3/4" | ENTRADA DE DOTP Y AGUA | | |
| C | 1 | 1/8" | SALIDA DE AGUA | | |
| D | 1 | 3/4" | SALIDA DE DOTP | | |
| E | 1 | 3/4" | CONTROL DE NIVEL | | |
| B | 1 | 3/4" | VALVULA DE SEGURIDAD | | |
| F | 1 | 3/4" | INSPECCION | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

| | |
|-----------|------------------------------------|
| ELAB. POR | Ing. Ma. Isabel Caballero Martínez |
| APROB. | Dr. Javier Cruz Gómez |

| | | |
|---|--|--------------------------|
| Facultad de Química E-212 | HOJA DE DATOS DE PROCESO PARA TORRES DE DESTILACIÓN | |
| | CLIENTE : Facultad de Química | PROYECTO No. 001 |
| | PLANTA : Plásticos | HOJA : 1 DE 1 |
| | LOCALIZACIÓN San Juan del Río, Querétaro | NÚMERO DE UNIDADES : Una |
| | CLAVE DE LA UNIDAD : CS-101 | |
| SERVICIO DE LA UNIDAD : TORRE DE DESTILACIÓN PARA EL REACTOR RE-101 | | |

| PERFIL DEL VAPOR | | | | PERFIL DEL LIQUIDO | | | | |
|------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------|--------------------|-------------------------------|-------------|----------------|-------------------------|
| FLUJO kg/Hr | DENSIDAD kg/m ³ | PRESIÓN kg/cm ² abs | TEMP. °C | FLUJO kg/Hr | DENSIDAD kg/m ³ | TEMP. °C | VISCOSID cP | TENSIÓN SUP Dinós/cm |
| 209.450 | 0.094 | 1.033 | 170 | 1967.35 | 799.14 | 170 | 0.64 | 18.2 |

| DATOS DE DISEÑO | |
|--|-----------------|
| DIÁMETRO INTERNO DE LA TORRE, m | 0.5 |
| No DE PLATOS | 17 |
| ESPACIAMIENTO ENTRE PLATOS, m | 0.3028 |
| No DE FASES LIQUIDAS | 1 |
| MAX. AP PLATOS (in H ₂ O) | 3.6 |
| ÁREA TOTAL DE LA TORRE, (m ²) | 0.19625 |
| TIPOS DE ELEMENTOS ACTIVOS (HOLE, VALVULAS) DIA. NOMINAL | orificios 3/16" |
| No DE ELEMENTOS ACTIVOS | 217 |
| TIPO DE DOWNCOMER | 1 Dos pasos |
| ÁREA SUPERIOR DEL DOWNCOMER (LATERAL, CENTRAL), m ² | 0.0245 |
| ÁREA INFERIOR DEL DOWNCOMER (LATERAL, CENTRAL), m ² | 0.0245 |
| LONGIT. DEL PASO DEL LIQUIDO, mm | 100 |
| ANCHO DEL PASO, mm | |
| LONGITUD DEL VERTEDERO, mm | 385 |
| ALTIMETRO DEL LIQ. EN EL PLATO, mm | 47 |
| PLATO DE ALIMENTACIÓN | 1 |
| MANHIOLES EN EL PLATO No. | 5 |
| VELOCIDAD DE INICIACIÓN m/s | 1.84 |
| TIEMPO DE RESIDENCIA EN EL DOWNCOMER, seg | 300 |
| AP SECO, in H ₂ O | 1.16 |
| AP EN EL DOWNCOMER, in H ₂ O | 0.00087 |
| AP POR PLATO, in H ₂ O | 2.66 |
| VELOCIDAD EN EL ORIFICIO, m ² /seg | 15.98 |
| DOWNCOMER BACKUP, in H ₂ O | 5.58 |
| VELOCIDAD DE WHIPPING, m/s | 5.782 |
| ALTURA DEL VERTEDERO, mm | 46 |
| ANCHO DEL DOWNCOMER (LATERAL, CENTRAL), mm | 110 |

| DATOS MECÁNICOS | | |
|--|-----|--|
| ESPESOR EN EL DECK, mm | 3.2 | MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN |
| SOPORTES ANCHO Y ESPESOR, mm | | DECK |
| ESPESOR DEL DOWNCOMER, mm | 3.2 | SOPORTES |
| ESPESOR DE LOS ELEMENTOS ACTIVOS (VALVULAS, CACHIUCHIAS), mm | 3.3 | ELEMENTOS ACTIVOS (VALVULA, CACHIUCHIAS) |
| | | DOWNCOMER |
| | | NUTS Y BOLTS |
| | | LC |
| | | LC |
| | | LC |

| | |
|------------|------------------------------------|
| ELAB. POR | Ing. Ma. Isabel Caballero Martínez |
| APROB. POR | Dr. Javier Cruz Gómez |

| | | | |
|---|--|--|--------|
| Facultad de Química E-212 | | HOJA DE DATOS DE PROCESO PARA TORRES DE DESTILACIÓN | |
| CLIENTE : Facultad de Química | | PROYECTO No. | 001 |
| PLANTA : Plásticos | | HOJA : 1 | DE : 1 |
| LOCALIZACIÓN San Juan del Río, Querétaro | | NÚMERO DE UNIDADES : Una | |
| CLAVE DE LA UNIDAD : CS-102 | | | |
| SERVICIO DE LA UNIDAD : TORRE DE DESTILACIÓN PARA EL REACTOR RE-102 | | | |

| PERFIL DEL VAPOR | | | | PERFIL DEL LIQUIDO | | | | |
|------------------|----------------------------|--------------------------------|---------|--------------------|----------------------------|---------|-------------|-----------------------|
| FLUJO kg/Hr | DENSIDAD kg/m ³ | PRESIÓN kg/cm ² abs | TEMP °C | FLUJO kg/Hr | DENSIDAD kg/m ³ | TEMP °C | VISCOSID cP | TENSIÓN SUP. Dinas/cm |
| 73.58 | 0.083 | 1.033 | 210 | 1893.77 | 791.6 | 210 | 0.52 | 16.5 |

| DATOS DE DISEÑO | | | |
|---|-----------------|--|---------|
| DIAMETRO INTERNO DE LA TORRE, m | 0.5 | ALTURA DEL LIQ. EN EL PLATO, mm | 47 |
| No DE PLATOS | 17 | PLATO DE ALIMENTACIÓN | 1 |
| ESPARCIMIENTO ENTRE PLATOS m | 0.3028 | MANIHOLES EN EL PLATO No | 5 |
| No DE FASES LIQUIDAS | 1 | ***** | |
| MAX. Nº PLATOS (in H ₂ O) | 3.8 | VELOCIDAD DE INUNDACIÓN m/s | 1.84 |
| AREA TOTAL DE LA TORRE (m ²) | 0.19625 | TIEMPO DE RESIDENCIA EN EL DOWNCOMER, seg | 300 |
| TIPOS DE ELEMENTOS ACTIVOS (HOLE, VÁLVULAS) DIA. NOMINAL | orificios 3/16" | AP SECO, in H ₂ O | 1.066 |
| No DE ELEMENTOS ACTIVOS | 222 | AP EN EL DOWNCOMER, in H ₂ O | 0.00012 |
| TIPO DE DOWNCOMER | Dos pasos | AP POR PLATO, in H ₂ O | 2.73 |
| AREA SUPERIOR DEL DOWNCOMER (LATERAL, CENTRAL), m ² | 0.0245 | VELOCIDAD EN EL ORIFICIO, m/seg | 16.2 |
| AREA INFERIOR DEL DOWNCOMER, (LATERAL, CENTRAL), m ² | 0.0245 | DOWNCOMER BACKUP in H ₂ O | 5.7 |
| LONGIT. DEL PASO DEL LIQUIDO, mm | 190 | VELOCIDAD DE WEEPING m/s | 5.6 |
| ANCHO DEL PASO, mm | | ALTURA DEL VERTEDERO, mm | 47 |
| LONGITUD DEL VERTEDERO, mm (LATERAL, CENTRAL) | 385 | ANCHO DEL DOWNCOMER, (LATERAL, CENTRAL) mm | 110 |

| DATOS MECANICOS | | | |
|--|-----|--|----|
| ESPESOR EN EL DECK, mm | 3.2 | MATERIALES DE CONSTRUCCION | |
| SOPORTES ANCHO Y ESPESOR, mm | | DECK | LC |
| ESPESOR DEL DOWNCOMER, mm | 3.2 | SOPORTES | LC |
| ESPESOR DE LOS ELEMENTOS ACTIVOS (VÁLVULAS, CACHUCHAS), mm | 3.3 | ELEMENTOS ACTIVOS (VÁLVULA, CACHUCHAS) | LC |
| | | DOWNCOMER | LC |
| | | NUTS Y BOLTS | LC |

| | |
|------------|-----------------------------------|
| ELAB. POR | Ing. Ma. Isabel Cañalero Martínez |
| APROB. POR | Dr. Javier Cruz Gómez |

| | | | |
|---|--|--------------|-----|
| Facultad de Química E-212 | HOJA DE DATOS DE PROCESO PARA TORRES DE DESTILACIÓN | | |
| | CLIENTE : Facultad de Química | PROYECTO No. | 001 |
| PLANTA : Plásticos | HOJA : 1 | DE | 1 |
| LOCALIZACIÓN : San Juan del Río, Querétaro | NUMERO DE UNIDADES : Una | | |
| CLAVE DE LA UNIDAD : CS-103 | | | |
| SERVICIO DE LA UNIDAD : TORRE DE DESTILACIÓN PARA EL REACTOR RE-103 | | | |

| PERFIL DEL VAPOR | | | | PERFIL DEL LIQUIDO | | | | |
|------------------|-------------------------------|-----------------------------------|------------|--------------------|-------------------------------|------------|-----------------|--------------------------|
| FLUJO kg/Hr | DENSIDAD kg/m ³ | PRESIÓN kg/cm ² abs | TEMP °C | FLUJO kg/Hr | DENSIDAD kg/m ³ | TEMP °C | VISCOSID. cP | TENSION SUP. Dinac/cm |
| 21.21 | 0.098 | 1.033 | 240 | 1872.55 | 778.2 | 240 | 0.38 | 15.7 |

| DATOS DE DISEÑO | | | |
|---|--------------------|---|-------|
| DIAMETRO INTERNO DE LA TORRE, m | 0.5 | ALTURA DEL LIQ. EN EL PLATO, mm | 46 |
| No DE PLATOS | 17 | PLATO DE ALIMENTACIÓN | 1 |
| ESPARCIMIENTO ENTRE PLATOS, m | 0.3028 | MANIHOLES EN EL PLATO No | 5 |
| No DE FASES LIQUIDAS | 1 | ***** | |
| MAX. AP PLATOS (m H ₂ O) | 3.8 | VELOCIDAD DE INUNDACION m/s | 1.84 |
| AREA TOTAL DE LA TORRE (m ²) | 0.19625 | TIEMPO DE RESIDENCIA EN EL DOWNCOMER, seg. | 300 |
| TIPOS DE ELEMENTOS ACTIVOS (HOLE, VALVULAS) DIA. NOMINAL | orificios 3/16" | Nº SECO, m H ₂ O | 1.045 |
| No DE ELEMENTOS ACTIVOS | 80 | Nº EN EL DOWNCOMER, m H ₂ O | 1.11 |
| TIPO DE DOWNCOMER | Dos pasos | AP POR PLATO, m H ₂ O | 2.73 |
| AREA SUPERIOR DEL DOWNCOMER, m ² (LATERAL, CENTRAL) | 0.0245 | VELOCIDAD EN EL ORIFICIO, m/sec | 15.98 |
| AREA INFERIOR DEL DOWNCOMER, m ² (LATERAL, CENTRAL) | 0.0245 | DOWNCOMER BACKUP, m H ₂ O | 5.64 |
| LONGIT. DEL PASO DEL LIQUIDO, mm | 190 | VELOCIDAD DE WEEPING m/s | 5.9 |
| ANCHO DEL PASO, mm | | ALTURA DEL VERTEDERO, mm | 46 |
| LONGITUD DEL VERTEDERO, mm (LATERAL, CENTRAL) | 385 | ANCHO DEL DOWNCOMER, (LATERAL, CENTRAL) mm | 110 |

| DATOS MECANICOS | | | |
|---|-----|---|----|
| ESPESOR EN EL DECK, mm | 3.2 | MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN | |
| SOPORTES ANCHO Y ESPESOR, mm | | DECK | LC |
| ESPESOR DEL DOWNCOMER, mm | 3.2 | SOPORTES | LC |
| ESPESOR DE LOS ELEMENTOS ACTIVOS (VALVULAS, CACHUCHAS), mm | 3.3 | ELEMENTOS ACTIVOS (VALVULA, CACHUCHAS) | LC |
| | | DOWNCOMER | LC |
| | | NUTS Y BOLTS | LC |

| | |
|------------|------------------------------------|
| ELAB. POR | Ing. Ma- Isabel Caballero Martínez |
| APROB. POR | Dr. Javier Cruz Gómez |

Facultad de
Química
E-212

HOJA DE DATOS
DE PROCESO PARA
CAMBIADORES DE CALOR

| | |
|---|---------------------------------|
| CLIENTE : Facultad de Química | PROYECTO No. 001 |
| PLANTA : Plásticos | HOJA : 1 DE : 1 |
| LOCALIZACIÓN : San Juan del Río, Querétaro | NUMERO DE UNIDADES : Una |
| SERVICIO DE LA UNIDAD : Enfrizador del efluente de RE-103 | POSICIÓN : Horizontal TIPO: AES |
| CLAVE DE LA UNIDAD : EN-101 | TAMAÑO (m) : 12" x 12" |

CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA LA UNIDAD

| | LADO ENVOLVENTE | LADO TUBOS |
|--------------------------------------|-----------------------------|------------|
| FLUJO MASICO | kg / h | 1872.56 |
| DENSIDAD | kg / m ³ | 778.2 |
| CONDUCTIVIDAD TÉRMICA | kcal m/hr °C | 0.0795 |
| CALOR ESPECÍFICO | cal/g K | 0.576 |
| VISCOSIDAD | cP | 0.384 |
| TEMPERATURA (ENTRADA/SALIDA) | °C | 240/195 |
| PRESIÓN (atm 656.6 mmHg = 0.864 atm) | kg / cm ² | 1.033 |
| NO PASOS | | 2 |
| CAIDA DE PRESIÓN | mmHg man | 214.61 |
| RESISTENCIA DE ENSUCIAMIENTO | h-ft ² °F/BTU | 0.002 |

CALOR INTERCAMBIADO (kcal/h) : 61601.03 LMTD (°C) : 166.5
 COEF. TOTAL DE TRANSF. DE CALOR (BTU/h² °F h) LIMPIO 5.0 DISEÑO 5.12

CONSTRUCCIÓN POR ENVOLVENTE

| | CORAZA | TUBOS |
|--|---|-----------------------|
| PRESIÓN DE DISEÑO | kg / cm ² | 2.783 |
| man | | 2.783 |
| TEMPERATURA DE DISEÑO | °C | 76 |
| CORROSION PERMITIDA | mm | 3.12 |
| TUBOS : LC No Tubos S2 BWG (prom) 16 DE (in) 3/4 LONG (ft) 12 PASO (m) 1.60" | | |
| ENVOLVENTE : LC | DIAM INT (m) 12 TUBO TIPO LISO ARREG TUBOS Triangular | |
| TAPA ENVOLV (mt/cm) LC | TAPA CAJEZAL FLOTANTE LC | |
| CANAL LC | TAPA CANAL LC PLACAS DE CHOQUE LC | |
| ESPEJO FJO LC | FLOTANTE LC | % CORTE DE MAMPARA 25 |
| MAMPARAS SOPORTE LC | No ESPACIAMIENTO 5/ 2.4 (m) TIPO Segmentada Vertical | |

| ID. | # | Ø | SERVICIO |
|-----|---|-----|--|
| A | 1 | 3/4 | Alimentación agua enfriamiento |
| B | 1 | 3/4 | Salida de agua de envolvente |
| C | 1 | 3/4 | Alimentación de canal de RE-101 a envolvente |
| D | 1 | 3/4 | Salida de canal a FL-101 |
| E | 1 | 1/2 | Drene |
| F | 2 | 1/2 | Instrumentos de nivel |

ELAB POR Ma. Isabel Caballero Martínez
 APROB POR Dr. Javier Cruz Gómez

| | |
|--|---|
| Facultad de Química E-212 | HOJA DE DATOS DE PROCESO PARA CAMBIADORES DE CALOR |
|--|---|

| | |
|--|--------------------------------|
| CLIENTE: Facultad de Química | PROYECTO No.: 001 |
| PLANTA: Plásticos | HOJA: 1 |
| LOCALIZACIÓN: San Juan del Río, Querétaro | NÚMERO DE UNIDADES: Una |
| SERVICIO DE LA UNIDAD: Enfríador del efluente de FL-101 | POSICIÓN: Horizontal |
| CLAVE DE LA UNIDAD: EN-102 | TAMANO (in): 12" x 12" |

CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA LA UNIDAD

| | LADO ENVOLVENTE | LADO TUBOS |
|--|--------------------------|------------|
| FLUJO MASICO | kg / h | 1640.2 |
| DENSIDAD | kg / m ³ | 853.27 |
| CONDUCTIVIDAD TÉRMICA | kcal m/hr °C | 0.0848 |
| CALOR ESPECIFICO | cal / g K | 0.5097 |
| VISCOSIDAD | cP | 1.08 |
| TEMPERATURA (ENTRADA/SALIDA) | °C | 200/135 |
| PRESIÓN (atm, 656.6 mmHg = 0.864 atm) | kg / cm ² | 1.033 |
| NO. PASOS | | 1 |
| CAÍDA DE PRESIÓN | mmHg man | 214.61 |
| RESISTENCIA DE ENSUCIAMIENTO | h-ft ² °F/BTU | 32.011 |

| | |
|---|--------------------------|
| CALOR INTERCAMBIADO (kcal/h): 51279.88 | LMTD (°C): 115.55 |
| COEF. TOTAL DE TRÁNSF. DE CALOR (BTU/h² °F h) LIMPIO: 5.0 | DISEÑO: 4.91 |

CONSTRUCCIÓN POR ENVOLVENTE

| | CORAZA | TUBOS |
|--|---|--|
| PRESIÓN DE DISEÑO kg/cm ² man | 2.781 | 2.783 |
| TEMPERATURA DE DISEÑO °C | 230 | 76 |
| CORROSIÓN PERMITIDA mm | 3.12 | 3.12 |
| TUBOS: LC No. Tubos: 92 BWG (prom.): 16 DE (in): 3/4 LONG (ft): 12 PASO (in): 1 60° | | |
| ENVOLVENTE: LC | DIAM. INT (in): 12 | TUBO TIPO: LISO ARREG. TUBOS: Triangular |
| TAPA ENVOLV. (in/ftrem): LC | TAPA CABEZAL FLOTANTE: LC | |
| CANAL: LC | TAPA CANAL: LC PLACAS DE CHOQUE: LC | |
| ESPEJO FIJO: LC | FLOTANTE: LC % CORTE DE MAMPARA: 25 | |
| MAMPARAS SOPORTE: LC | No. ASESACIAMIENTO: 5/ 2.4 (in) TIPO: Segmentada Vertical | |

| BOQUILLAS | | | SERVICIO |
|-----------|---|-----|--|
| ID. | # | Ø | |
| A | 1 | 3/4 | Alimentación agua enfriamiento |
| B | 1 | 3/4 | Salida de agua de envoltente |
| C | 1 | 3/4 | Alimentación de canal de FL-101 a envoltente |
| D | 1 | 3/4 | Salida de canal a BC-101 |
| E | 1 | 1/2 | Drene |
| F | 2 | 1/2 | Instrumentos de nivel |

| | |
|-------------------|-------------------------------|
| ELAB. POR | Ma. Isabel Caballero Martínez |
| APROB. POR | Dr. Javier Cruz Gómez |

| | |
|--|---|
| Facultad de Química E-212 | HOJA DE DATOS DE PROCESO PARA CAMBIADORES DE CALOR |
|--|---|

| | |
|--|----------------------------------|
| CLIENTE : Facultad de Química | PROYECTO No. 001 |
| PLANTA : Plastificantes | HOJA : 1 DE : 1 |
| LOCALIZACIÓN : San Juan del Río, Querétaro | NÚMERO DE UNIDADES : Una |
| SERVICIO DE LA UNIDAD : Enfríador del efluente de DC-101 | POSICIÓN : Horizontal TIPO : AES |
| CLAVE DE LA UNIDAD : EN-103 | TAMAÑO (in) : 15 1/4" * 12" |

CONDICIONES DE OPERACION PARA LA UNIDAD

| | | LADO ENVOLVENTE | LADO TUBOS |
|---------------------------------------|------------------------------|-----------------|------------|
| FLUJO MÁSICO | kg / h | 1650.354 | 1351.64 |
| DENSIDAD | kg / m ³ | 891.84 | 993.5 |
| CONDUCTIVIDAD TÉRMICA | keal m/hr °C | 0.093 | 0.0107 |
| CALOR ESPECÍFICO | cal / g K | 0.4534 | 0.9979 |
| VISCOSIDAD | cP | 2.906 | 0.18 |
| TEMPERATURA (ENTRADA/SALIDA) | °C | 135/85 | 20/46 |
| PRESIÓN (atm. 656.6 mmHg = 0.864 atm) | kg / cm ² | 1.033 | 1.033 |
| NO. PASOS | | 2 | 1 |
| CAIDA DE PRESIÓN | mmHg man | 230.84 | 21.22 |
| RESISTENCIA DE ENSUCIAMIENTO | h-R ² , °F/BTU | 0.002 | 0.001 |

| | | |
|---|--------------|-------------------|
| CALOR INTERCAMBIADO (keal/h) : | 35221.29 | LMTD (°C) : 58.54 |
| COEF. TOTAL DE TRANSF. DE CALOR (RTU/R ² °F h) | LIMPIO : 4.0 | DISEÑO : 4.10 |

CONSTRUCCION POR ENVOLVENTE

| | CORAZA | TUBOS |
|--|---------------------------------|--|
| PRESIÓN DE DISEÑO kg / cm ² man | 2.783 | 2.783 |
| TEMPERATURA DE DISEÑO °C | 165 | 76 |
| CORROSIÓN PERMITIDA mm | 3.12 | 3.12 |
| TUBOS : LC No. Tubos 138 BWG (prom.) 10 DE (in) 3/4 LONG (ft) 12 PASO (in) : 1 60° | | |
| ENVOLVENTE : LC | DIAM INT (in) : 15 1/4 | TUBO TIPO LISO ARRÉG. TUBOS : Triangular |
| TAPA ENVOLV (int/rem) LC | TAPA CABEZAL FLOTANTE : LC | |
| CANAL LC | TAPA CANAL LC | PLACAS DE CHOQUE : LC |
| ESPEJO FIJO : LC | FLOTANTE LC | % CORTE DE MAMPARA : 25 |
| MAMPARAS SOPORTE : LC | No. ESPACIAMIENTO : 5/ 305 (in) | TIPO : Segmentada Vertical |

| BOQUILLAS | | | SERVICIO |
|-----------|---|-----|--|
| ID | # | Ø | |
| A | 1 | 3/4 | Alimentación agua enfriamiento |
| B | 1 | 3/4 | Salida de agua de envolvente |
| C | 1 | 3/4 | Alimentación de canal de DC-101 a envolvente |
| D | 1 | 3/4 | Salida de canal a LV-101 |
| E | 1 | 1/2 | Dreng |
| F | 2 | 1/2 | Instrumentos de nivel |

| | |
|-----------|-------------------------------|
| ELAB POR | Ma. Isabel Caballero Martínez |
| APROB POR | Dr. Javier Cruz Gómez |

| | |
|---------------------------------|---|
| Facultad de Química E-212 | HOJA DE DATOS DE PROCESO PARA CAMBIADORES DE CALOR |
| | CLIENTE : Facultad de Química |

| | |
|--|----------------------------------|
| PLANTA : Plásticos | PROYECTO No. 001 |
| LOCALIZACIÓN : San Juan del Río, Querétaro | HOJA : 1 DE : 1 |
| SERVICIO DE LA UNIDAD : Enfriador del efluente de LV-102 | NUMERO DE UNIDADES : Una |
| CLAVE DE LA UNIDAD : EN-104 | POSICIÓN : Horizontal TIPO : AES |
| TAMAÑO (in) : 17 1/4" x 18" | |

CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA LA UNIDAD

| | | LADO ENVOLVENTE | LADO TUBOS |
|---|---------------------------|-----------------|------------|
| FLUJO MASICO | kg / h | 1822 70 | 1093.31 |
| DENSIDAD | kg / m ³ | 892 68 | 993 5 |
| CONDUCTIVIDAD TÉRMICA | kcal m/hr °C | 0 104 | 0 0107 |
| CALOR ESPECIFICO | cal / g K | 0 462 | 0 9979 |
| VISCOSIDAD | cP | 1 03 | 0 18 |
| TEMPERATURA (ENTRADA/SALIDA) | °C | 82/50 | 20/46 |
| PRESIÓN (a un. 656 6 mmHg = 0 864 atm) | kg / cm ² | 1 033 | 1 033 |
| NO. PASOS | | 4 | 1 |
| CAIDA DE PRESION | mmHg man | 232 58 | 13 96 |
| RESISTENCIA DE ENSUCIAMIENTO | h-ft ² ·°F/BTU | 0 002 | 0 001 |

| | | |
|--|-------------|-------------------|
| CALOR INTERCAMBIADO (kcal/h) : | 28489 23 | LMTD (°C) : 15 18 |
| COEF. TOTAL DE TRANSF. DE CALOR (BTU/h ² ·°F h) | LIMPIO 3 94 | DISEÑO : 3 95 |

CONSTRUCCIÓN POR ENVOLVENTE

| | CORAZA | TUBOS |
|---|--------------------------------|---------------------------------------|
| PRESIÓN DE DISEÑO kg/cm ² man | 2 783 | 2 783 |
| TEMPERATURA DE DISEÑO °C | 112 | 76 |
| CORROSION PERMITIDA mm | 3 12 | 3 12 |
| TUBOS LC No Tubos 178 BWG (prom) 16 DE (in) 3/4 LONG (ft) 18 PASEO (in) : 1 60° | | |
| ENVOLVENTE LC | DIAM INT (IN) 17 1/4 | TUBO TIPO LISO ARREG TUBOS Triangular |
| TAPA ENVOLV (m/rem) : LC | TAPA CABEZAL FLOTANTE LC | |
| CANAL : LC | TAPA CANAL LC | PLACAS DE CHOQUE : LC |
| ESPEJO FIJO : LC | FLOTANTE LC | % CORTE DE MAMPARA : 25 |
| MAMPARAS SOPORTE LC | No /ESPACIAMIENTO 5/ 3 45 (in) | TIPO Segmentada Vertical |

| BOQUILLAS | | | SERVICIO |
|-----------|---|-----|--|
| ID. | # | Φ | |
| A | 1 | 1/2 | Alimentación agua enfriamiento |
| B | 1 | 1/2 | Salida de agua de envolvente |
| C | 1 | 3/4 | Alimentación de canal de LV-102 a envolvente |
| D | 1 | 3/4 | Salida de canal a DN-101 |
| E | 1 | 1/2 | Drene |
| F | 2 | 1/2 | Instrumentos de nivel |

| | |
|------------|-------------------------------|
| ELAB. POR | Ma. Isabel Caballero Martínez |
| APROB. POR | Dr. Javier Cruz Gómez |

Facultad de
Química
E-212

HOJA DE DATOS
DE PROCESO PARA
CAMBIADORES DE CALOR

| | |
|---|---------------------------------|
| CLIENTE : Facultad de Química | PROYECTO No. 001 |
| PLANTA : Plásticos | HOJA : 1 DE : 1 |
| LOCALIZACIÓN : San Juan del Río, Querétaro | NÚMERO DE UNIDADES : Una |
| SERVICIO DE LA UNIDAD : Enfríador del efluente de F'L-102 | POSICIÓN : Horizontal TIPO: AES |
| CLAVE DE LA UNIDAD : EN-105 | TAMAÑO (in) : 15 1/4" * 18" |

CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA LA UNIDAD

| | | LADO ENVOLVENTE | LADO TUBOS |
|---------------------------------------|-------------------------|-----------------|------------|
| FLUJO MASICO | kg / h | 1634.22 | 2292.93 |
| DENSIDAD | kg / m ³ | 888.60 | 993.5 |
| CONDUCTIVIDAD TÉRMICA | kcal m/hr °C | 0.0904 | 0.0107 |
| CALOR ESPECIFICO | cal / g K | 0.469 | 0.9979 |
| VISCOSIDAD | cP | 2.408 | 0.18 |
| TEMPERATURA (ENTRADA/SALIDA) | °C | 155/70 | 20/46 |
| PRESIÓN (atm 656 6 mmHg = 0.864 atm) | kg / cm ² | 1.033 | 1.033 |
| NO. PASOS | | 4 | 1 |
| CAIDA DE PRESIÓN | mmHg man | 242.38 | 28.14 |
| RESISTENCIA DE ENSUCIAMIENTO | h-ft ² / BTU | 0.002 | 0.001 |

| | | | |
|--|-------------|-------------|-------|
| CALOR INTERCAMBIADO (kcal/h) : | 59748.59 | LMTD (°C) : | 57.88 |
| COEF TOTAL DE TRANSF DE CALOR (BTU/ft ² °F h) | LIMPIO 4.83 | DISEÑO : | 4.83 |

CONSTRUCCION POR ENVOLVENTE

| | CORAZA | TUBOS |
|--|--|-------|
| PRESIÓN DE DISEÑO kg / cm ² man | 2.783 | 2.783 |
| TEMPERATURA DE DISEÑO °C | 185 | 76 |
| CORROSION PERMITIDA mm | 3.12 | 3.12 |
| TUBOS : LC No Tubos 122 BWG (prom) 16 DE (in) 3/4 LONG (ft) 18 PASO (in) 1 60" | | |
| ENVOLVENTE LC | DIAM INT (in) : 15 1/4 TUBO TIPO LISO ARREG TUBOS Triangular | |
| TAPA ENVOLV (int/rem) LC | TAPA CABEZAL FLOTANTE LC | |
| CANAL LC | TAPA CANAL LC PLACAS DE CHOQUE LC | |
| ESPEJO FIJO LC | FLOTANTE LC % CORTE DE MAMPARA : 25 | |
| MAMPARAS SOPORTE LC | No / ESPACIAMIENTO 5/ 3.05 (in) TIPO Segmentada Vertical | |

BOQUILLAS

| ID | # | Ø | SERVICIO |
|----|---|-----|--|
| A | 1 | 3/4 | Alimentación agua enfriamiento |
| B | 1 | 3/4 | Salida de agua de envolvente |
| C | 1 | 3/4 | Alimentación de canal de RE-101 a envolvente |
| D | 1 | 3/4 | Salida de canal a BC-101 |
| E | 1 | 1/2 | Drene |
| F | 2 | 1/2 | Instrumentos de nivel |

| | |
|-----------|-------------------------------|
| ELAB POR | Ma. Isabel Caballero Martínez |
| APROB POR | Dr. Javier Cruz Gómez |

| | |
|--|---|
| Facultad de Química E-212 | HOJA DE DATOS DE PROCESO PARA CAMBIADORES DE CALOR |
|--|---|

| | |
|--|-------------------------------|
| CLIENTE : Facultad de Química | PROYECTO No. 001 |
| PLANTA : Plásticos | HOJA : I DE : I |
| LOCALIZACIÓN : San Juan del Río, Querétaro | NÚMERO DE UNIDADES : Una |
| SERVICIO DE LA UNIDAD : Condensador del efluente de CS-101 | POSICIÓN : Vertical TIPO: AES |
| CLAVE DE LA UNIDAD : CC-101 | TAMAÑO (in) : 10" * 10" |

| CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA LA UNIDAD | | | |
|---|-------------------------|-----------------|------------|
| | | LADO ENVOLVENTE | LADO TUBOS |
| FLUJO MASICO | kg / h | 209.45 | 4455.77 |
| DENSIDAD | kg / m ³ | 0.0937 | 993.5 |
| CONDUCTIVIDAD TÉRMICA | keal m/hr °C | 0.026 | 0.0107 |
| CALOR ESPECIFICO | cal / g K | 0.4191 | 0.9979 |
| VISCOSIDAD | cP | 0.014 | 0.18 |
| TEMPERATURA (ENTRADA/SALIDA) | °C | 170/70 | 20/35 |
| PRESIÓN (atm. 656.6 mmHg = 0.864 atm) | kg. / cm ² | 1.033 | 1.033 |
| NO. PASOS | | 1 | 4 |
| CAIDA DE PRESIÓN | mmHg man | 156.97 | 30.41 |
| RESISTENCIA DE ENSUCIAMIENTO | h-ft ² / FTU | 0.001 | 0.001 |

| | | |
|---|----------------|----------------|
| CALOR INTERCAMBIADO (keal/h) : | 70277.132 | LMTD (°C) : 30 |
| COEF. TOTAL DE TRANSF. DE CALOR (BTU/h ² °F h) | LIMPIO : 56.02 | DISEÑO : 50 |

| CONSTRUCCIÓN POR ENVOLVENTE | | | |
|--|---|-------------|--------------|
| | CORAZA | TUBOS | |
| PRESIÓN DE DISEÑO kg/cm ² man | 2.783 | 2.783 | |
| TEMPERATURA DE DISEÑO °C | 200 | 65 | |
| CORROSIÓN PERMITIDA mm | 3.12 | 3.12 | |
| TUBOS : LC No Tubos 22 BWG (prom.) | 16 | DE (in) 3/4 | LONG (ft) 10 |
| ENVOLVENTE LC | PASO (in) : 1 60° | | |
| TAPA ENVOLV. (int/rem) LC | DIAM INT (in) 10 TUBO TIPO : LISO ARREG. TUBOS : Triangular | | |
| CANAL : LC | TAPA CANAL : LC PLACAS DE CHOQUE : LC | | |
| ESPEJO FIJO : LC | FLOTANTE LC % CORTE DE MAMPARA : 25 | | |
| MAMPARAS SOPORTE : LC | No./ESPACIAMIENTO : 5/ 2.0 (in) TIPO : Segmentada Vertical | | |

| BOQUILLAS | | | |
|-----------|---|-------|--|
| ID. | # | ID | SERVICIO |
| A | 1 | 1 | Alimentación agua enfriamiento |
| B | 1 | 1 | Salida de agua de envolvente |
| C | 1 | 2 1/2 | Alimentación de canal de CS-101 a envolvente |
| D | 1 | 1/8 | Salida a limpies de bateria |
| E | 1 | 1/2 | Dreñe |
| F | 2 | 1/2 | Instrumentos de nivel |

| | |
|------------|--------------------------------|
| ELAB. POR | Ma. Isabel Caballero Martínez. |
| APROB. POR | Dr. Javier Cruz Gómez. |

Facultad de
Química
E-212

HOJA DE DATOS
DE PROCESO PARA
CAMBIADORES DE CALOR

CLIENTE : Facultad de Química
PLANTA : Plásticos
LOCALIZACIÓN : San Juan del Río, Querétaro
SERVICIO DE LA UNIDAD : Condensador del efluente de CS-102

PROYECTO No. 001
HOJA : 1 DE 1
NUMERO DE UNIDADES : Una
POSICIÓN : Vertical TIPO: AES

CLAVE DE LA UNIDAD : CC-102 TAMAÑO (in) : 8" x 8"

| CONDICIONES DE OPERACION PARA LA UNIDAD | | | |
|---|----------------------|-----------------|------------|
| | | LADO ENVOLVENTE | LADO TUBOS |
| FLUJO MASICO | kg / h | 73.58 | 1660.012 |
| DENSIDAD | kg / m ³ | 0.083 | 993.5 |
| CONDUCTIVIDAD TÉRMICA | kcal m/hr °C | 0.03 | 0.0107 |
| CALOR ESPECIFICO | cal / g K | 0.4472 | 0.9979 |
| VISCOSIDAD | cp | 0.015 | 0.18 |
| TEMPERATURA (ENTRADA/SALIDA) | °C | 210/70 | 20/35 |
| PRESIÓN (atm. 656.6 mmHg = 0.864 atm) | kg / cm ² | 1.033 | 1.033 |
| NO PASOS | | 1 | 6 |
| CAIDA DE PRESIÓN | mmHg man | 42.26 | 2.75 |
| RESISTENCIA DE ENSUCIAMIENTO | h-ft °F/BTU | 0.001 | 0.001 |

CALOR INTERCAMBIADO (kcal/h) : 26182.03 LMTD (°C) : 38
COEF. TOTAL DE TRANSF. DE CALOR (BTU/h² °F h) LIMPIO : 56.02 DISEÑO : 50

| CONSTRUCCION POR ENVOLVENTE | | | |
|-------------------------------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | | CORAZA | TUBOS |
| PRESIÓN DE DISEÑO | kg./cm ² man | 2.783 | 2.783 |
| TEMPERATURA DE DISEÑO | °C | 240 | 65 |
| CORROSION PERMITIDA | mm | 3.12 | 3.12 |
| TUBOS : LC No Tubos 14 BWG (prom) : | 16 | DE (in) : | 3/4 |
| ENVOLVENTE : LC | | LONG. (ft) : | 10 |
| TAPA ENVOLV (int/rem) LC | | PASO (in) : | 1 60" |
| CANAL LC | | DIAM. INT (in) : | 8 |
| ESPEJO FIJO LC | | TUBO TIPO : | LISO ARREG. TUBOS : Triangular |
| MAMPARAS SOPORTE : LC | | TAPA CAEZAL FLOTANTE : | LC |
| | | CANAL LC | PLACAS DE CHOQUE LC |
| | | FLOTANTE LC | % CORTE DE MAMPARA : 25 |
| | | No/ESPACIAMIENTO : 5/ 1 6 (in) | TIPO : Segmentada Vertical |

| BOQUILLAS | | | |
|-----------|---|-----|---|
| ID. | # | Φ | SERVICIO |
| A | 1 | 3/4 | Alimentación agua enfriamiento |
| B | 1 | 3/4 | Salida de agua de envolvente |
| C | 1 | 2 | Alimentación de canal de CS-102a envolvente |
| D | 1 | 1/8 | Salida a límites de batería |
| E | 1 | 1/2 | Drene |
| F | 2 | 1/2 | Instrumentos de nivel |

ELAB. POR : Ma. Isabel Caballero Martínez
APROB. POR : Dr. Javier Cruz Gómez

| | |
|--|---|
| Facultad de Química E-212 | HOJA DE DATOS DE PROCESO PARA CAMBIADORES DE CALOR |
|--|---|

| | | |
|--|--------------------------|-----------|
| CLIENTE : Facultad de Química | PROYECTO No. 001 | |
| PLANTA : Plásticos | HOJA : 1 | DE : 1 |
| LOCALIZACIÓN : San Juan del Río, Querétaro | NUMERO DE UNIDADES : Una | |
| SERVICIO DE LA UNIDAD : Condensador del efluente de CS-103 | POSICION : Vertical | TIPO: AES |
| CLAVE DE LA UNIDAD : CC-103 | TAMAÑO (in) : 8" * 8" | |

CONDICIONES DE OPERACION PARA LA UNIDAD

| | LADO ENVOLVENTE | LADO TUBOS |
|---|-------------------------|------------|
| FLUJO MASICO | kg / h | 21.21 |
| DENSIDAD | kg / m ³ | 0.098 |
| CONDUCTIVIDAD TERMICA | kcal in/hr °C | 0.032 |
| CALOR ESPECIFICO | cal / g K | 0.485 |
| VISCOSIDAD | cP | 0.016 |
| TEMPERATURA (ENTRADA/SALIDA) | °C | 240/70 |
| PRESION (a 1in 0.566 mmHg = 0.864 atm) | kg. / cm ² | 1.033 |
| NO. PASOS | | 1 |
| CAIDA DE PRESION | mmHg man | 7.50 |
| RESISTENCIA DE ENSUCIAMIENTO | h-ft ² / BTU | 0.001 |

| | | |
|---|----------------|------------------|
| CALOR INTERCAMBIADO (kcal/h) | 7948.55 | LMTD (°C) : 39.3 |
| COEF. TOTAL DE TRANSF. DE CALOR (BTU/m ² °F h) | LIMPIO : 56.02 | DISEÑO : 50 |

CONSTRUCCION POR ENVOLVENTE

| | CORAZA | TUBOS |
|-----------------------|-------------------------------|--|
| PRESION DE DISEÑO | kg / cm ² man | 2.783 |
| TEMPERATURA DE DISEÑO | °C | 270 |
| CORROSION PERMITIDA | mm | 3.12 |
| TUBOS | LC No Tubos 16 BWG (prom.) 16 | DE (in) 3/4 LONG (ft) 8 PASO (in) 1 60° |
| ENVOLVENTE | LC | DIAM INT (in) 8 TUBO TIPO LISO ARREG TUBOS Triangular |
| TAPA ENVOLV. | (in/ft) LC | TAPA CABEZAL FLOTANTE LC |
| CANAL | LC | TAPA CANAL LC PLACAS DE CHOQUE : LC |
| ESPEJO FIJO | LC | FLOTANTE LC % CORTE DE MAMPARA 25 |
| MAMPARAS SOPORTE | LC | No / ESPACIAMIENTO 8/ 16 (in) TIPO Segmentada Vertical |

| BOQUILLAS | | | SERVICIO |
|-----------|---|-----|--|
| ID | # | Ø | |
| A | 1 | 3/8 | Alimentación agua enfriamiento |
| B | 1 | 3/8 | Salida de agua de envolvente |
| C | 1 | 1 | Alimentación de canal de CS-103 a envolvente |
| D | 1 | 1/8 | Salida a límites de batería |
| E | 1 | 1/2 | Drene |
| F | 2 | 1/2 | Instrumentos de nivel |

| | |
|-----------|-------------------------------|
| ELAB POR | Ma. Isabel Caballero Martínez |
| APROB POR | Dr. Javier Cruz Gómez |

Facultad de
Química
E-212

HOJA DE DATOS
DE PROCESO PARA
CAMBIADORES DE CALOR

| | |
|--|--------------------------------|
| CLIENTE : Facultad de Química | PROYECTO No. 001 |
| PLANTA : Plásticos | HOJA : 1 DE : 1 |
| LOCALIZACION : San Juan del Río, Querétaro | NÚMERO DE UNIDADES : Una |
| SERVICIO DE LA UNIDAD : Condensador del efluente de FL-101 | POSICIÓN : Vertical TIPO : AES |

| | | |
|--------------------|--------|-----------------------|
| CLAVE DE LA UNIDAD | CC-104 | TAMANO (in) : 8" * 8" |
|--------------------|--------|-----------------------|

CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA LA UNIDAD

| | | LADO ENVOLVENTE | LADO TUBOS |
|--|--|-----------------|------------|
| FLUJO MASICO | kg / h | 232.35 | 2476.01 |
| DENSIDAD | kg / m ³ | 0.0048 | 993.5 |
| CONDUCTIVIDAD TÉRMICA | cal/m/hr °C | 0.02 | 0.0107 |
| CALOR ESPECIFICO | cal / g K | 0.514 | 0.9979 |
| VISCOSIDAD | cP | 0.009 | 0.18 |
| TEMPERATURA (ENTRADA/SALIDA) | °C | 200/70 | 20/35 |
| PRESIÓN (atm. 656.6 mmHg = 0.864 atm) | kg / cm ² | 1.033 | 1.033 |
| NO PASOS | | 1 | 4 |
| CAIDA DE PRESIÓN | mmHg man | 90.83 | 0.802 |
| RESISTENCIA DE ENSUCIAMIENTO | h ² -ft ⁴ / °F ² BTU | 0.001 | 0.001 |

| | | |
|---|-------------|-----------------|
| CALOR INTERCAMBIADO (kcal/h) | 39052.09 | LMTD (°C) : 108 |
| COEF. TOTAL DE TRANSF. DE CALOR (BTU/h ² °F h) | LIMPIO 20.9 | DISEÑO 20 |

CONSTRUCCIÓN POR ENVOLVENTE

| | CORAZA | TUBOS |
|--|--|-------|
| PRESIÓN DE DISEÑO kg/cm ² man | 1.764 | 2.783 |
| TEMPERATURA DE DISEÑO °C | 250 | 65 |
| CORROSIÓN PERMITIDA mm | 3.12 | 3.12 |
| TUBOS : LC No. Tubos 16 HWG (prom.) 16 DE (in) : 3/4 LONG (ft) 8 PASO (in) : 1 60° | | |
| ENVOLVENTE : LC | DIAM INT (in) 8 TUBO TIPO : LISO ARREG. TUBOS : Triangular | |
| TAPA ENVOLV (in/rem) : LC | TAPA CAJEZAL FLOTANTE : LC | |
| CANAL : LC | TAPA CANAL : LC PLACAS DE CHOQUE : LC | |
| ESPEJO FIJO LC | FLOTANTE : LC % CORTE DE MAMPARA : 25 | |
| MAMPARAS SOPORTE : LC | No RESACIAMIENTO 5/ 1.6 (in) TIPO : Segmentada Vertical | |

| BOQUILLAS | | |
|-----------|-------|--|
| ID. # | Φ | SERVICIO |
| A | 1 3/4 | Alimentación agua enfriamiento |
| B | 1 3/4 | Salida de agua de envolvente |
| C | 1 1/2 | Alimentación de canal de FL-101 a envolvente |
| D | 1 1/8 | Salida a límites de batería |
| E | 1 1/2 | Drene |
| F | 2 1/2 | Instrumentos de nivel |

| | |
|------------|-------------------------------|
| ELAB. POR | Ma. Isabel Caballero Martínez |
| APROB. POR | Dr. Javier Cruz Gómez |

Facultad de
Química
E-212

HOJA DE DATOS
DE PROCESO PARA
CAMBIADORES DE CALOR

| | |
|--|-------------------------------|
| CLIENTE : Facultad de Química | PROYECTO No. 001 |
| PLANTA : Plásticos | HOJA : 1 DE : 1 |
| LOCALIZACIÓN : San Juan del Río, Querétaro | NÚMERO DE UNIDADES : Una |
| SERVICIO DE LA UNIDAD : Condensador del efluente de FL-102 | POSICIÓN : Vertical TIPO: AES |

CLAVE DE LA UNIDAD : CC-105 TAMANO (in) : 8" * 8"

CONDICIONES DE OPERACION PARA LA UNIDAD

| | LADO ENVOLVENTE | LADO TUBOS |
|---------------------------------------|-----------------------------|------------|
| FLUJO MASICO | kg / h 15.11 | 508.86 |
| DENSIDAD | kg / m ³ 0.00273 | 993.5 |
| CONDUCTIVIDAD TÉRMICA | kcal m/hr °C 0.025 | 0.0107 |
| CALOR ESPECIFICO | cal / g K 0.456 | 0.9979 |
| VISCOSIDAD | cP 0.014 | 0.18 |
| TEMPERATURA (ENTRADA/SALIDA) | °C 155/70 | 20/35 |
| PRESION (atm. 656.6 mmHg = 0.864 atm) | kg / cm ² 1.033 | 1.033 |
| NO. PASOS | 1 | 4 |
| CAIDA DE PRESIÓN | mmHg man 3.17 | 1.90 |
| RESISTENCIA DE ENSUCIAMIENTO | h-ft-°F/DTU 0.001 | 0.001 |

CALOR INTÉRCAMBIADO (kcal/h) : 8025.76 LMTD (°C) : 61.4
COEF. TOTAL DE TRANSF. DE CALOR (BTU/R²°F h) LIMPIO 56.02 DISEÑO 50

CONSTRUCCION POR ENVOLVENTE

| | CORAZA | TUBOS |
|---|--|-------|
| PRESIÓN DE DISEÑO kg/cm ² man | 1.804 | 2.783 |
| TEMPERATURA DE DISEÑO °C | 185 | 65 |
| CORROSION PERMITIDA mm | 3.12 | 3.12 |
| TUBOS L.C No Tubos 16 BWG (prom) 16 DE (in) 3/4 LONG (ft) 8 PASO (in) 1.60" | | |
| ENVOLVENTE L.C | DIAM INT (in) 8 TUBO TIPO LISO ARREG TUBOS Triangular | |
| TAPA ENVOLV (int/rem) L.C | TAPA CABEZAL FLOTANTE L.C | |
| CANAL L.C | TAPA CANAL L.C PLACAS DE CHOQUE L.C | |
| ESPEJO FIJO L.C | FLOTANTE L.C % CORTE DE MAMPARA 25 | |
| MAMPARAS SOPORTE L.C | No./ESPACIAMIENTO 5/ 1.6 (in) TIPO Segmentada Vertical | |

BOQUILLAS

| ID. | # | Ø | SERVICIO |
|-----|---|-------|--|
| A | 1 | 3/4 | Alimentación agua enfriamiento |
| B | 1 | 3/4 | Salida de agua de envolvente |
| C | 1 | 1 1/4 | Alimentación de canal de RE-101 a envolvente |
| D | 1 | 1/8 | Salida a límites de batería |
| E | 1 | 1/2 | Drene |
| F | 2 | 1/2 | Instrumentos de nivel |

ELAB. POR Ma. Isabel Caballero Martínez
APROB. POR Dr. Javier Cruz Gómez

| | | | |
|--|--------------------|---|---|
| Facultad de Química E-212 | | HOJA DE DATOS DE PROCESO SERPENTIN | |
| CLIENTE: FACULTAD DE QUÍMICA | | PROYECTO No. 001 | |
| PLANTA: Plásticos | | HOJA 1 DE 1 | |
| LOCALIZACIÓN: San Juan del Río, QUERÉTARO | | | |
| CLAVE DE LA UNIDAD: SE-201 | | NÚMERO DE UNIDADES: UNA | |
| SERVICIO: CALENTAMIENTO DEL FL-101 | | TIPO: ESPIRAL SIMPLE | |
| TAMAÑO: DIAM. 2.54 cm Ccd. 80 | | ALTURA: 25 | SUPERFICIE DE TRANS. POR UNIDAD: 2.40 m ² /m |
| CONDICIONES DE OPERACION POR UNA UNIDAD | | | |
| | | LADO INTERNO | LADO EXTERNO |
| FLUIDO CIRCULADO | | VAPOR | |
| FLUJO TOTAL | kg/h | 74.92 | 1872.55 |
| DENSIDAD | g/cm ³ | 0.000998 | 0.822 |
| CONDUCTIVIDAD | W/m K | 0.0013 | 0.087 |
| TERMICA | | | |
| CALOR ESPECIFICO | J/kg K | | 0.52 |
| VISCOSIDAD | cP | 0.087 | 0.94 |
| CALOR LATENTE | kcal/kg | 232 | |
| PESO MOLECULAR | kg/kgmol | 18.0 | 320.19 |
| TEMPERATURA | °C | Vapor de baja | 200 |
| PRESION | kg/cm ² | Vapor de baja | 0.013 |
| VELOCIDAD | m / s | | |
| CAIDA DE PRESION | kg/cm ² | 0.02 | 0.025 |
| CARGA TERMICA cal/hr | 3.83e+7 | LIMTD CORREGIDA °C | 93.33 |
| COEF. TOTAL DE TRANSF. DE CALOR BTU / h m ² F | | LIMPIO: 30.87 | DISENO: 28.26 |
| SERPENTIN EN OPERACION: INMERSO | | | |
| CONSTRUCCION POR UNIDAD | | | |
| PRESION DE DISEÑO | kg/cm ² | 1.764 | |
| PRESION DE PRUEBA | kg/cm ² | 3.0 | |
| TEMPERATURA DE DISEÑO | °C | 230 | |
| MATERIAL LC | | | |
| TUBOS | DIAM. NÓM | 1.0 in | CEDULA: 80 |
| | | | LONGITUD EFECTIVA: 25 m |
| BRIDAS | TAMAÑO Y RANGO | TIPO Y CARA | CANTIDAD |
| NÓ. DE VUELTAS: 8 | | PERNOS | |
| CORROSION PERMISIBLE LADO TUBOS | | 3.12 mm | |
| CODIGOS REQUERIDOS: ASME VIII DIV. 1 | | ULTIMA EDICION Y AGENDAS | |
| PESO DEL SERPENTIN | kg | VACIO | OPERACION |
| | | | LENO DE AGUA |

| | |
|-----------|-----------------------------------|
| ELAB. POR | Ing. Ma Isabel Caballero Martínez |
| APROB. | Dr. Javier Cruz Gómez |

| | | | |
|---|--------------------|--|------------------|
| Facultad de Química E-212 | | HOJA DE DATOS DE PROCESO SERPENTIN | |
| CLIENTE: FACULTAD DE QUIMICA | | PROYECTO No. 001 | |
| PLANTA: Plásticos | | HOJA 1 DE 1 | |
| LOCALIZACIÓN: San Juan del Río, QUERÉTARO | | | |
| CLAVE DE LA UNIDAD: SE-201 | | NUMERO DE UNIDADES: UNA | |
| SERVICIO: CALENTAMIENTO DEL FL-102 | | TIPO: ESPIRAL SIMPLE | |
| TAMANO: DIAM. 2.54 cm Ced. 80 ALTURA 30.0m | | SUPERFICIE DE TRANS. POR UNIDAD: 3.0 m ² /m | |
| CONDICIONES DE OPERACION POR UNA UNIDAD | | | |
| | | LADO INTERNO | LADO EXTERNO |
| FLUIDO CIRCULADO | | VAPOR | MEDIO A CALENTAR |
| FLUJO TOTAL | kg/h | 74.92 | 1634.22 |
| DENSIDAD | g/cm ³ | 0.000998 | 0.888 |
| CONDUCTIVIDAD | W/m K | 0.0013 | 0.09 |
| TERMICA | | | |
| CALOR ESPECIFICO | J/kg K | | 0.039 |
| VISCOSIDAD | cP | 0.087 | 2.41 |
| CALOR LATENTE | keal/kg | 232 | |
| PESO MOLECULAR | kg/kmol | 18.0 | 386.9 |
| TEMPERATURA | °C | Vapor de baja | 155 |
| PRESION | kg/cm ² | Vapor de baja | 0.054 |
| VELOCIDAD | m / s | | |
| CAIDA DE PRESION | kg/cm ² | 0.02 | |
| CARGA TERMICA cal/hr | 8.12E+7 | LMTD CORREGIDA °C | 93.33 |
| COEF. TOTAL DE TRANSF. DE CALOR: 13TU / h m ² F | | LIMPIO: 59.8 | DISENO: 50.7 |
| SERPENTIN EN OPERACION INMERSO | | | |
| CONSTRUCCION POR UNIDAD | | | |
| PRESION DE DISEÑO kg/cm ² | | 1.801 | |
| PRESION DE PRUEBA kg/cm ² | | 3.0 | |
| TEMPERATURA DE DISEÑO °C | | 185 | |
| MATERIAL: I.C. | | | |
| TUBOS | DIAM NOM | 1.0 m | CEDULA: 80 |
| 30.0 m. | | LONGITUD EFECTIVA: | |
| BRIDAS | TAMANO Y RANGO | TIPO Y CARA | CANTIDAD |
| NO. DE VUELTAS: 10 | | PERNOS | |
| CORROSION PERMISIBLE: LADO TUBOS: 3.12 mm | | | |
| CODIGOS REQUERIDOS: ASME VIII DIV. I ULTIMA EDICION Y AGENDAS | | | |
| PESO DEL SERPENTIN kg | | VACIO | OPERACION |
| | | | LLENO DE AGUA |

| | |
|-----------|--|
| ELAB. POR | |
| APROB. | |

| Facultad de Química E-212 | | HOJA DE DATOS DE PROCESO CHAQUETA | |
|---|--------------------|--|------------------|
| CLIENTE: FACULTAD DE QUIMICA | | PROYECTO No. 001 | |
| PLANTA: Plásticos | | HOJA 1 DE 1 | |
| LOCALIZACIÓN: San Juan del Río, QUERÉTARO | | | |
| CLAVE DE LA UNIDAD: CH-101 | | NUMERO DE UNIDADES: UNA | |
| SERVICIO: CALENTAMIENTO DEL RE-101 | | TIPO: CHAQUETA PARA RECIPIENTE AGITADO | |
| VELOCIDAD DEL AGITADOR: 1750 RPM | | SUPERFICIE DE TRANS. POR UNIDAD: 0.57 m ² | |
| CONDICIONES DE OPERACION POR UNA UNIDAD | | | |
| FLUIDO CIRCULADO | | LADO INTERNO | LADO EXTERNO |
| | | VAPOR | MEDIO A CALENTAR |
| FLUJO TOTAL | kg/h | 38.42 | 1967.35 |
| DENSIDAD | g/cm ³ | 0.000998 | 0.799 |
| CONDUCTIVIDAD TERMICA | W/m K | 0.0013 | 0.091 |
| CALOR ESPECIFICO | J/kg K | | 0.54 |
| VISCOSIDAD | cP | 0.087 | 0.65 |
| CALOR LATENTE | kcal/kg | 232 | |
| PESO MOLECULAR | kg/kgmol | 18.0 | 232.45 |
| TEMPERATURA | °C | Vapor de baja | 170 |
| PRESION | kg/cm ² | Vapor de baja | 1.033 |
| CAIDA DE PRESION | kg/cm ² | 0.02 | 0.025 |
| CARGA TERMICA cal/hr | 19635.06 | 1.1MTD CORREGIDA °C | 27 |
| COEF. TOTAL DE TRANSF. DE CALOR: BTU / h m ² F | | LIMPIO 298.98 | DISENO: 157.62 |
| CHAQUETA EN OPERACION: EXTERNA | | | |
| CONSTRUCCION POR UNIDAD | | | |
| PRESION DE DISEÑO | kg/cm ² | 2.783 | |
| PRESION DE PRUEBA | kg/cm ² | 4.0 | |
| TEMPERATURA DE DISEÑO | °C | 200 | |
| MATERIAL: LC | | | |
| BRIDAS | TAMANO Y RANGO | TIPO Y CARA | CANTIDAD |
| ESPESOR: 0.12 m | | PERNOS | |
| CORROSION PERMISIBLE: LADO TUBOS: 3.12 mm | | | |
| CODIGOS REQUERIDOS: ASME VIII DIV. I ULTIMA EDICION Y AGENDAS | | | |
| PESO DEL SERPENTIN | kg | VACIO | OPERACION |
| | | | LLENO DE AGUA |

| | |
|-----------|------------------------------------|
| ELAB. POR | Ing. Ma. Isabel Caballero Martínez |
| APROB. | Dr. Javier Cruz Gómez |

| Facultad de Química E-212 | | HOJA DE DATOS DE PROCESO CHAQUETA | |
|---|--------------------|--|------------------|
| CLIENTE: FACULTAD DE QUÍMICA | | PROYECTO No. 001 | |
| PLANTA: Plásticos | | HOJA 1 DE 1 | |
| LOCALIZACIÓN: San Juan del Río, QUERÉTARO | | | |
| CLAVE DE LA UNIDAD: CH-102 | | NÚMERO DE UNIDADES: UNA | |
| SERVICIO: CALENTAMIENTO DEL RE-102 | | TIPO: CHAQUETA PARA RECIPIENTE AGITADO | |
| VELOCIDAD DEL AGITADOR: 1750 RPM | | SUPERFICIE DE TRANS. POR UNIDAD: 1.34 m ² | |
| CONDICIONES DE OPERACIÓN POR UNA UNIDAD | | | |
| FLUIDO CIRCULADO | | LADO INTERNO | LADO EXTERNO |
| | | VAPOR | MEDIO A CALENTAR |
| FLUJO TOTAL | kg/h | 84.64 | 1893.77 |
| DENSIDAD | g/cm ³ | 0.000998 | 0.791 |
| CONDUCTIVIDAD TÉRMICA | W/m K | 0.0013 | 0.083 |
| CALOR ESPECÍFICO | J/kg K | | 0.55 |
| VISCOSIDAD | cP | 0.087 | 0.52 |
| CALOR LATENTE | kcal/kg | 232 | |
| PESO MOLECULAR | kg/kgmol | 18.0 | 297.62 |
| TEMPERATURA | °C | Vapor de baja | 210 |
| PRESIÓN | kg/cm ² | Vapor de baja | 1.033 |
| CAIDA DE PRESIÓN | kg/cm ² | 0.02 | 0.025 |
| CARGA TÉRMICA cal/hr | 43257.6 | LÍMITE CORREGIDA °C | 50.0 |
| COEF. TOTAL DE TRANSF. DE CALOR: BTU / h m ² F | | LIMPIO: 267.92 | DISEÑO: 148.54 |
| CHAQUETA EN OPERACIÓN: EXTERNA | | | |
| CONSTRUCCIÓN POR UNIDAD | | | |
| PRESIÓN DE DISEÑO: kg/cm ² | | 2.783 | |
| PRESIÓN DE PRUEBA: kg/cm ² | | 4.0 | |
| TEMPERATURA DE DISEÑO: °C | | 240 | |
| MATERIAL: LC | | | |
| BRIDAS | TAMANO Y RANGO | TIPO Y CARA | CANTIDAD |
| ESPESOR: 0.65 m | | PERNOS | |
| CORROSIÓN PERMISIBLE: LADO TUBOS | | 3.12 mm | |
| CÓDIGOS REQUERIDOS: ASME VIII DIV 1 | | ÚLTIMA EDICIÓN Y AGENDAS | |
| PESO DEL SERPENTÍN: kg | VACÍO | OPERACIÓN | LLENO DE AGUA |

| | |
|-----------|------------------------------------|
| ELAB. POR | Ing. Ma. Isabel Caballero Martínez |
| APROB. | Dr. Javier Cruz Gómez |

| Facultad de Química E-212 | | HOJA DE DATOS DE PROCESO CHAQUETA | |
|---|--------------------|---|------------------|
| CLIENTE: FACULTAD DE QUIMICA | | PROYECTO No. 001 | |
| PLANTA: Plastificantes | | HOJA 1 DE 1 | |
| LOCALIZACIÓN: San Juan del Rio, QUERÉTARO | | | |
| CLAVE DE LA UNIDAD: CH-103 | | NUMERO DE UNIDADES: UNA | |
| SERVICIO: CALENTAMIENTO DEL RE-103 | | TIPO: CHAQUETA PARA RECIPIENTE AGITADO | |
| VELOCIDAD DEL AGITADOR: 1750 RPM | | SUPERFICIE DE TRANS. POR UNIDAD: 1.1 m ² | |
| CONDICIONES DE OPERACION POR UNA UNIDAD | | | |
| | | LADO INTERNO | LADO EXTERNO |
| FLUIDO CIRCULADO | | VAPOR | MEDIO A CALENTAR |
| FLUIDO TOTAL | kg/h | 66.08 | 1872.56 |
| DENSIDAD | g/cm ³ | 0.000998 | 0.778 |
| CONDUCTIVIDAD TERMICA | W/m K | 0.0013 | 0.079 |
| CALOR ESPECIFICO | J/kg K | | 0.576 |
| VISCOSIDAD | cP | 0.087 | 0.38 |
| CALOR LATENTE | kJ/kg | 232 | |
| PESO MOLECULAR | kg/kmol | 18.0 | 320.19 |
| TEMPERATURA | °C | Vapor de baja | 240 |
| PRESION | kg/cm ² | Vapor de baja | 1.033 |
| CAIDA DE PRESION | kg/cm ² | 0.02 | 0.025 |
| CARGA TERMICA cal/hr | 33728.6 | 1.1 MTU CORREGIDA °C | 40 |
| COEF. EN TRANSF. DE CALOR BTU / h m ² F | | LIMPIO: 240.2 | DISENO: 139.6 |
| CHAQUETA EN OPERACION: EXTERNA | | | |
| CONSTRUCCION POR UNIDAD | | | |
| PRESION DE DISEÑO | kg/cm ² | 2.783 | |
| PRESION DE PRUEBA | kg/cm ² | 4.0 | |
| TEMPERATURA DE DISEÑO | °C | 270 | |
| MATERIAL: LC | | | |
| BRIDAS | TAMANO Y RANGO | TIPO Y CARA | CANTIDAD |
| ESPESOR: 0.59 m | | PERNOS | |
| CORROSION PERMISIBLE LADO TUBOS: 3.12 mm | | | |
| CODIGOS REQUERIDOS: ASME VIII DIV. 1 ULTIMA EDICION Y AGENDAS | | | |
| PESO DEL SERPENTIN | kg | VACIO OPERACION | LLENO DE AGUA |

| | |
|-----------|------------------------------------|
| ELAB. POR | Ing. Ma. Isabel Caballero Martínez |
| APROB. | Dr. Javier Cruz Gómez |

| | | | |
|---|--------------------|-------------------------------|--------------------|
| Facultad de Química E-212 | | HOJA DE DATOS AGITADORES | |
| PLANTA: Plásticos | | PROYECTO No. 1 | HOJA 1 DE 1 |
| LOCALIZACIÓN: San Juan del Río, Qro. | | No. UNIDADES: 1 | |
| CLAVE: AG-101 | | | |
| SERVICIO POR UNIDAD: Agitador del reactor RE-101 | | | |
| MATERIAL MANEJADO: DMT, 2-ET, DOPP, MET, OTROS. | | TIPO 3 blade marine propeller | POSICIÓN: Vertical |
| NÚMERO DE HORAS CONSECUTIVAS DE OPERACIÓN REQUERIDAS 20 | | R.P.M. 1750 | |
| TIPO DE IMPULSORES | | No. DE IMPULSORES 1 | |
| CONDICIONES DE OPERACIÓN POR UNIDAD | | | |
| FLUIDO CIRCULADO | | Mezcla de reacción | |
| LIQUIDO | kg/h | 1967.35 | |
| GRAVEDAD ESPECIFICA | | 0.7991 | |
| VISCOSIDAD | cP | 0.6465 | |
| TEMPERATURA | °C | 170 | |
| PRESIÓN (ATM. LPCA) | kg/cm ² | 1.033 | |
| CONSTRUCCIÓN | | | |
| TANQUE DE OPERACIÓN | | ASTM-1-C | |
| MATERIALES LC | IMPULSORES LC | FLECHA LC | RECUBRIMIENTO LC |
| TIPO DE MOTOR | | RPM 1750 | HP 25.0 |
| CORROSIÓN PERMISIBLE: 3.2 mm | | | |
| CÓDIGOS REQUERIDOS: ASME VIII. DIV. I ÚLTIMA EDICIÓN. | | | |
| DIMENSIONES DEL AGITADOR | | | |
| Diámetro del agitador: 0.7 m | | Altura del líquido: 3.0 m | |
| Distancia entre el fondo del recipiente y el agitador: 1.15 m | | | |

| | |
|-----------|------------------------------------|
| ELAB. POR | Ing. Ma. Isabel Caballero Martínez |
| APROB. | Dr. Javier Cruz Gómez |

| Facultad de Química E-212 | | HOJA DE DATOS AGITADORES | |
|---|--|----------------------------------|--------------------|
| PLANTA: Plásticos | | PROYECTO No. 1 | HOJA 1 DE 1 |
| LOCALIZACIÓN: San Juan del Río, Qro | | | |
| CLAVE: AG-102 | | No UNIDADES 1 | |
| SERVICIO POR UNIDAD: Agitador del reactor RE-102 | | | |
| MATERIAL MANEJADO: DMT, 2-ET, DOTP, MET, OTROS. | | TIPO 3 blade marine propeller | POSICIÓN: Vertical |
| NÚMERO DE HORAS CONSECUTIVAS DE OPERACIÓN REQUERIDAS 20 | | R.P.M 1750 | |
| TIPO DE IMPULSORES | | No. DE IMPULSORES 1 | |
| CONDICIONES DE OPERACIÓN POR UNIDAD | | | |
| FLUIDO CIRCULADO | | Mezcla de reacción | |
| LIQUIDO | | kg/h 1893.77 | |
| GRAVEDAD ESPECÍFICA | | 0.7916 | |
| VISCOSIDAD | | cP 0.5172 | |
| TEMPERATURA | | °C 210 | |
| PRESIÓN (ATM: LPCA) | | kg/cm ² 1.033 | |
| CONSTRUCCIÓN | | | |
| TANQUE DE OPERACIÓN | | ASTM-LC | |
| MATERIALES LC | | IMPULSORES LC | FLECHA LC |
| TIPO DE MOTOR | | RPM 1750 | HP 25.0 |
| CORROSIÓN PERMISIBLE 3.2 mm | | | |
| CÓDIGOS REQUERIDOS: ASME VIII DIV. I ÚLTIMA EDICIÓN | | | |
| DIMENSIONES DEL AGITADOR | | | |
| Diámetro del agitador: 0.7 m | | Altura del líquido: 2.8 m | |
| Distancia entre el fondo del recipiente y el agitador: 1.15 m | | | |

| | |
|-----------|------------------------------------|
| ELAB. POR | Ing. Ma. Isabel Caballero Martínez |
| APROB. | Dr. Javier Cruz Gómez |

| | | | |
|---|--|--------------------|-------------------|
| Facultad de Química E-212 | HOJA DE DATOS AGITADORES | | |
| PLANTA: Plastificantes | PROYECTO No 1 | HOJA 1 DE 1 | |
| LOCALIZACIÓN: San Juan del Río, Qro. | No UNIDADES: 1 | | |
| CLAVE: AG-103 | SERVICIO POR UNIDAD: Agitador del reactor RE-103 | | |
| MATERIAL MANEJADO: DMT, 2-ET, DOTP, MET, OTROS | TIPO 3 blade marine propeller | POSICIÓN: Vertical | |
| NÚMERO DE HORAS CONSECUTIVAS DE OPERACIÓN REQUERIDAS 20 | No DE IMPULSORES 1 | | R.P.M. 1750 |
| TIPO DE IMPULSORES | CONDICIONES DE OPERACIÓN POR UNIDAD | | |
| FLUIDO CIRCULADO | Mezcla de reacción | | |
| LIQUIDO | kg/h | 1872.56 | |
| GRAVEDAD ESPECIFICA | | 0.7782 | |
| VISCOSIDAD | cp | 0.3842 | |
| TEMPERATURA | °C | 240 | |
| PRESIÓN (ATM: LPCA) | kg / cm ² | 1.033 | |
| CONSTRUCCIÓN | | | |
| TANQUE DE OPERACIÓN | ASTM-LC | | |
| MATERIALES: LC | IMPULSORES: LC | FLECHA: LC | RECUBRIMIENTO: LC |
| TIPO DE MOTOR: | RPM 1750 | HP 25.0 | |
| CORROSIÓN PERMISIBLE: 3.2 mm | | | |
| CÓDIGOS REQUERIDOS: ASME VIII DIV. I ÚLTIMA EDICIÓN | | | |
| DIMENSIONES DEL AGITADOR | | | |
| Diámetro del agitador: 0.7 m | Altura del líquido: 2.9 m | | |
| Distancia entre el fondo del recipiente y el agitador: 1.15 m | | | |

| | |
|-----------|------------------------------------|
| ELAB. POR | Ing. Ma. Isabel Caballero Martínez |
| APROB. | Dr. Javier Cruz Gómez |

| | | | |
|---|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------|
| Facultad de Química E-212 | | HOJA DE DATOS AGITADORES | |
| PLANTA: Plastificantes | | PROYECTO No. 1 | HOJA 1 DE 1 |
| LOCALIZACIÓN: San Juan del Río, Qro. | | No. UNIDADES: 1 | |
| SERVICIO POR UNIDAD: Agitador del tanque decolorador DC-101 | | | |
| MATERIAL MANEJADO: DOPP, H ₂ O ₂ , AGUA OTROS | TIPO 3 blade marine propeller | POSICIÓN Vertical | |
| NUMERO DE HORAS CONSECUTIVAS DE OPERACION REQUERIDAS 20 | | R.P.M. 1750 | |
| TIPO DE IMPULSORES | | No. DE IMPULSORES 1 | |
| CONDICIONES DE OPERACION POR UNIDAD | | | |
| FLUIDO CIRCULADO | Mezcla de reacción | | |
| LIQUIDO | kg/lit | 1650.35 | |
| GRAVEDAD ESPECIFICA | | 0.8918 | |
| VISCOSIDAD | cP | 2.91 | |
| TEMPERATURA | °C | 135 | |
| PRESSION (ATM. L.PCA) | kg / cm ² | 1.033 | |
| CONSTRUCCION | | | |
| TANQUE DE OPERACION | ASTM-LC | | |
| MATERIALES: LC | IMPULSORES: LC | FLECHA: LC | RECUBRIMIENTO: LC |
| TIPO DE MOTOR: | RPM 1750 | HP 25.0 | |
| CORROSION PERMISIBLE: 3.2 mm | | | |
| CÓDIGOS REQUERIDOS: ASME VIII, DIV. I ULTIMA EDICION | | | |
| DIMENSIONES DEL AGITADOR | | | |
| Diámetro del agitador: 0.2m | | Altura del líquido: 0.80 m | |
| Distancia entre el fondo del recipiente y el agitador: 0.3 m | | | |

| | |
|-----------|------------------------------------|
| ELAB. POR | Ing. Ma. Isabel Caballero Martínez |
| APROB. | Dr. Javier Cruz Gómez |

| Facultad de Química E-212 | | HOJA DE DATOS AGITADORES | |
|--|----------------------|----------------------------------|--------------------|
| PLANTA: Plásticos | | PROYECTO No. 1 | HOJA 1 DE 1 |
| LOCALIZACIÓN: San Juan del Río, Qro. | | | |
| CLAVE: AG-105 | | No. UNIDADES: 1 | |
| SERVICIO POR UNIDAD: Agitador del tanque de lavado LV-101 | | | |
| MATERIAL MANEJADO: DOTP, H ₂ O ₂ , AGUA, SOSA, OTROS. | | TIPO 3 blade marine propeller | POSICIÓN: Vertical |
| NUMERO DE HORAS CONSECUTIVAS DE OPERACIÓN REQUERIDAS 20 | | | R.P.M. 1750 |
| TIPO DE IMPULSORES | | No. DE IMPULSORES 1 | |
| CONDICIONES DE OPERACIÓN POR UNIDAD | | | |
| FLUIDO CIRCULADO | | Mezcla de reacción | |
| LIQUIDO | kg/h | 1655.88 | |
| GRAVEDAD ESPECIFICA | | 0.922 | |
| VISCOSIDAD | cp | 8.37 | |
| TEMPERATURA | °C | 85 | |
| PRESION (ATM: LPCA) | kg / cm ² | 1.033 | |
| CONSTRUCCIÓN | | | |
| TANQUE DE OPERACION | | ASTM-LC | |
| MATERIALES LC | IMPULSORES LC | FLECHA LC | RECUBRIMIENTO LC |
| TIPO DE MOTOR | RPM 1750 110° 25.0 | | |
| CORROSION PERMISIBLE 3.2 mm | | | |
| CÓDIGOS REQUERIDOS: ASME VIII, DIV. I ÚLTIMA EDICIÓN | | | |
| DIMENSIONES DEL AGITADOR | | | |
| Diámetro del agitador: 0.2 m | | Altura del líquido: 0.80 m | |
| Distancia entre el fondo del recipiente y el agitador: 0.3 m | | | |

| | |
|-----------|------------------------------------|
| ELAB. POR | Ing. Ma. Isabel Caballero Martínez |
| APROB. | Dr. Javier Cruz Gómez |

| Facultad de Química L-212 | | HOJA DE DATOS DE PROCESO BOMBAS | |
|--|------------------------------------|---|--------------------|
| CLIENTE : FACULTAD DE QUÍMICA | | PROYECTO No. 001 | |
| PLANTA : Plásticos | | HOJA 1 DE 1 | |
| LOCALIZACIÓN : San Juan del Río, QRO. | | | |
| SERVICIO : Alimentación al tanque DC-101 | | CLAVE DE LA UNIDAD : BC-101 | |
| NUMERO DE UNIDADES : 1 | | REPUUESTO : 1 ACCIONADOR : MOTOR ELÉCTRICO | |
| CONDICIONES DE OPERACIÓN | | | |
| LIQUIDO A BOMBEAR : | 1.82 m ³ /hr | A.T.B. NORMAL | 135°C DISEÑO 165°C |
| PRESIÓN DE VAPOR : (absoluta) | 101325 N/m ² | | |
| GRAVEDAD ESPECIFICA : | 0.902 | | |
| VISCOSIDAD : | 3.685 cP | | |
| CORROSIÓN : | 3.12 mm | | |
| CARGA DIFERENCIAL : | 0.01 kg/cm ² | | |
| NPSH (Disponible) : | 11.44 m | | |
| HP HIDRAULICO : | 25 | | |
| | | MÍNIMO | NORMAL |
| TEMP. DE BOMBEO | °C | 120 | 135 |
| PRES. DE SUCCIÓN | kg/cm ² | 0.005 | 0.013 |
| PRES. DE DESCARGA | kg/cm ² | 0.93 | 1.033 |
| | | | MÁXIMO |
| | | | 150 |
| | | | 0.1 |
| | | | 1.1 |
| MATERIALES Y CONSTRUCCIÓN | | | |
| BOQUILLAS : LC | | CURVA PROPUESTA NO | |
| SUCCIÓN : LC | | NPSH REQUERIDO (mts) | |
| DESCARGA : LC | | NO. DE PASOS | |
| INPULSOR φ DISEÑO | | MAX | MIN |
| TIPO MONTADO : ENTRE CORNETAS (1) VOLADIZO | | RPM | |
| CONNETES(TIPO/FABR/ICANTE NO.) RADIAL | | EFICIENCIA DIS. | |
| EMPUJE | | MAX CAGA IMPUL. DISC | |
| EMPAQUE/FABR/TIPO | | MAX BHP IMP DE DISC | |
| SELI O MECANICO FABR | | VELOCIDAD ESPECIFICA DE SUCCION | |
| CODIGO TIPO DE TAPA/MATERIAL | | PLAN DE LIMPIEZA DE SELLO | |
| COMPLE FABR | | PLAN DE LIMPIEZA DE SELLO AUX. | |
| MTAD MONTADO POR GUARDA /TIPO | | TUBING | |
| BASE TIPO | | EST. API-610 No | |
| PERF. TAPA DE SELLO REF | | ACERO AL | |
| INMERSION LLAVADO DREN MENTRO | | INOXIDABLE | |
| PRESION MÁXIMA PERMISIBL | | ROSCADA INSERTO SOLDABLE | |
| kg/cm ² a T.B | | BRIDA | |
| | | FLUIDO EXT DE LIMP REQ PARA EL SELLO | |
| | | TIPO (m ³ /HR.) (Kg/cm ² M) | |
| | | PLAN DE TUB. DE AGUA ENFITO No | |
| | | TUBING | |
| | | ACERO AL | |
| | | TUBERIA | |
| | | ACERO | |
| ELAB. POR | Ing. Ma. Isabel Caballero Martínez | | |
| APROB | Dr. Javier Cruz Gómez | | |

| | | | |
|--|--|------------------------------------|--|
| Facultad de Química L-212 | | HOJA DE DATOS DE PROCESO BOMBAS | |
| CLIENTE : FACULTAD DE QUIMICA | | PROYECTO No. 001 | |
| PLANTA : Plásticos | | HOJA 1 DE 1 | |
| LOCALIZACIÓN : San Juan del Río, QRO. | | | |
| SERVICIO : Aumento de presión a la salida del FL-102 | | CLAVE DE LA UNIDAD : BC-102 | |
| NUMERO DE UNIDADES : 1 | | REPUUESTO : 1 | |
| ACCIONADOR : MOTOR ELECTRICO | | | |

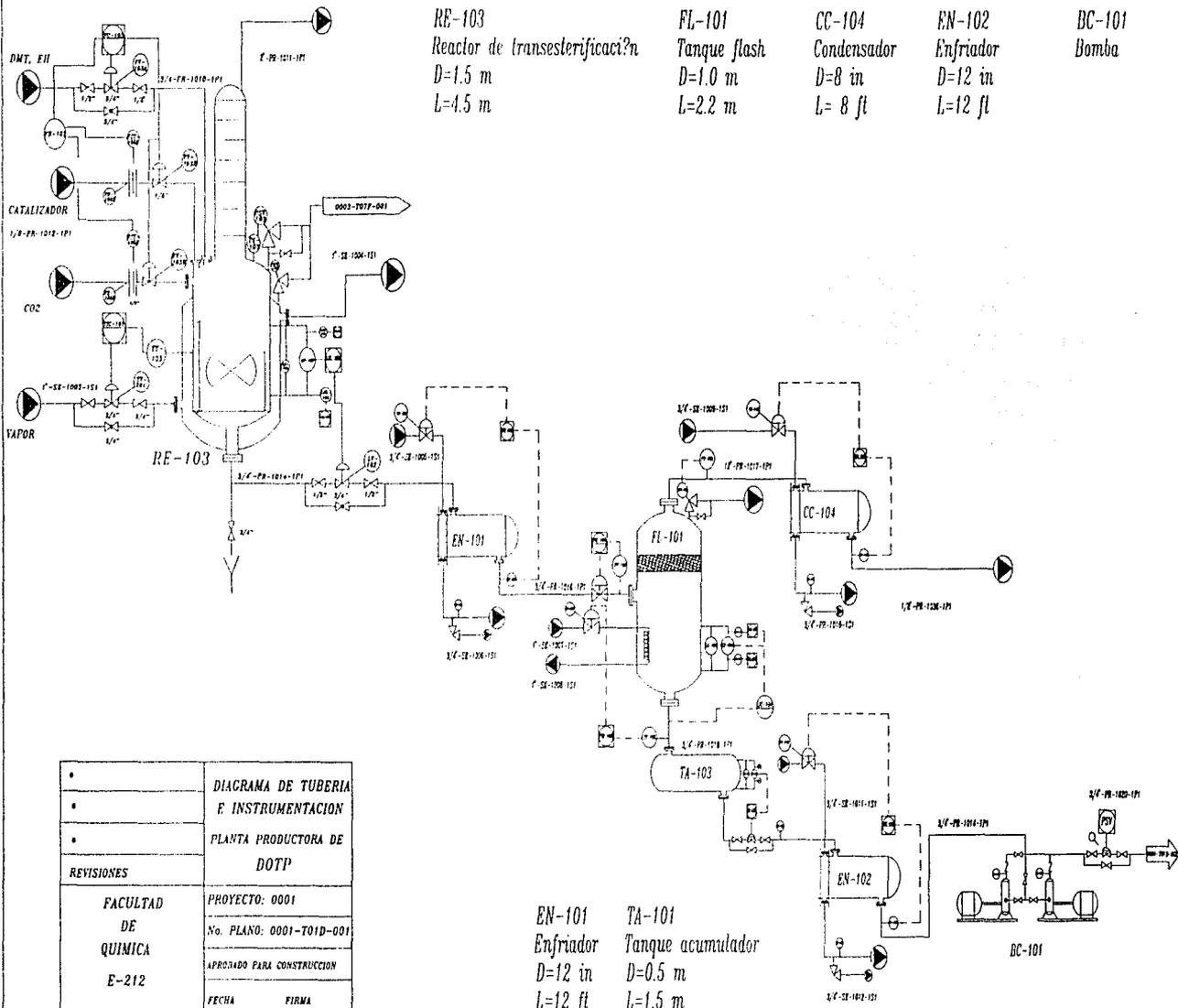
CONDICIONES DE OPERACION

| | | | | | | |
|---------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|--------|--------|-------|
| LIQUIDO A BOMBLEAR: | 1.82 | m ³ /hr | A.T.B. NORMAL | 71°C | DISENO | 100°C |
| PRESION DE VAPOR : (absoluta) | | | 101325 N/m ² | | | |
| GRAVEDAD ESPECIFICA | | | 0.946 | | | |
| VISCOSIDAD : | | | 19.71 cP | | | |
| CORROSION : | | | 3.12 mm | | | |
| CARGA DIFERENCIAL | | | 0.01 kg/cm ² | | | |
| NPSH (Disponible) | | | 10.87 m | | | |
| HP HIDRAULICO | | | 25 | | | |
| TEMP. DE BOMBEO | °C | MINIMO | NORMAL | MAXIMO | | |
| | | 120 | 70 | 150 | | |
| PRES. DE SUCCION | kg/cm ² | 0.044 | 0.054 | 0.1 | | |
| PRES. DE DESCARGA | kg/cm ² | 0.93 | 1.033 | 1.1 | | |

MATERIALES Y CONSTRUCCION

| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|------------------------|----------------------|------------------------|
| BOQUILLAS : LC | | | | | | CURVA PROPUESTA NO | |
| SUCCION : LC | | | | | | NPSH REQUERIDO (mts) | |
| DESCARGA : LC | | | | | | NO. DE PASOS | RPM |
| IMPULSOR φ DISEÑO | MAX | MIN | | | BHP | | |
| TIPO | MONTADO | ENTRE COJINETES | FL | VOLADIZO | MAX CARGA IMPUL. DISC. | | |
| COJINETES(TIPO/FRABRICANTE NO) : | RADIAL | EMPUJE | φ | A N S I | CARA | POSICION | MAX BHP IMP DE DISC. |
| EMPAQUE FABR/TIPO | TAMANO | NO ANILLOS | VELOCIDAD ESPECIFICA DE SUCCION | | | | |
| SELLO MECANICO FABR | CODIGO | TIPO DE TAPA/MATERIAL | 1 PLAN DE LIMPIEZA DE SELLO | | | | |
| COPILE FABR | TIPO | MODELO | 2 PLAN DE LIMPIEZA DE SELLO AUX | | | | |
| MITAD MONTADO POR | GUARDA/ TIPO | CARBON <input type="checkbox"/> TUBING <input type="checkbox"/> ACERO AL | | | | | |
| BASE TIPO | EST | API-610 No | CARBON <input type="checkbox"/> TUBERIA <input type="checkbox"/> ACERO | | | | |
| PERF. TAPA DE SELLO REQ | 1 ROSCADA <input type="checkbox"/> INSERTO SOLDABLE <input type="checkbox"/> | | | | | BRIDA | |
| INMERSION | FLAVADO | UDREN | VENTENO | 3 FLUIDO EXT DE LIMP REQ PARA EL SELLO | | | |
| PRESION MAXIMA PERMISIBLE | kg/cm ² a 15°C | | 4 TIPO (m ³ /HR) | | | | (Kg/cm ² M) |
| kg/cm ² a T B | 5 PLAN DE TUB DE AGUA ENFEO No | | | | | | |
| CARBON <input type="checkbox"/> TUBING <input type="checkbox"/> ACERO AL | | | | | | | |
| 6 TUBERIA <input type="checkbox"/> ACERO <input type="checkbox"/> | | | | | | | |

| | |
|-----------|------------------------------------|
| ELAB. POR | Ing. Ma. Isabel Caballero Martínez |
| APROB. | Dr. Javier Cruz Gómez |



| | |
|------------------------------------|---|
| • | DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION |
| • | PLANTA PRODUCTORA DE DOTP |
| REVISIONES | |
| FACULTAD DE QUIMICA E-212 | PROYECTO: 0001 No. PLANO: 0001-T01D-001 APROBADO PARA CONSTRUCCION FECHA FIRMA |

EN-101
Enfriador
D=12 in
L=12 ft

TA-101
Tanque acumulador
D=0.5 m
L=1.5 m

DC-101

Tanque decolorador

L=1.5 m

D=0.5 m

EN-103

ENFRIADOR

D = 15 1/4 in

L = 12 ft

LV-101

Tanque de lavado

D = 0.5 m

L = 1.5 m

LV-102

Tanque de lavado

D = 0.5 m

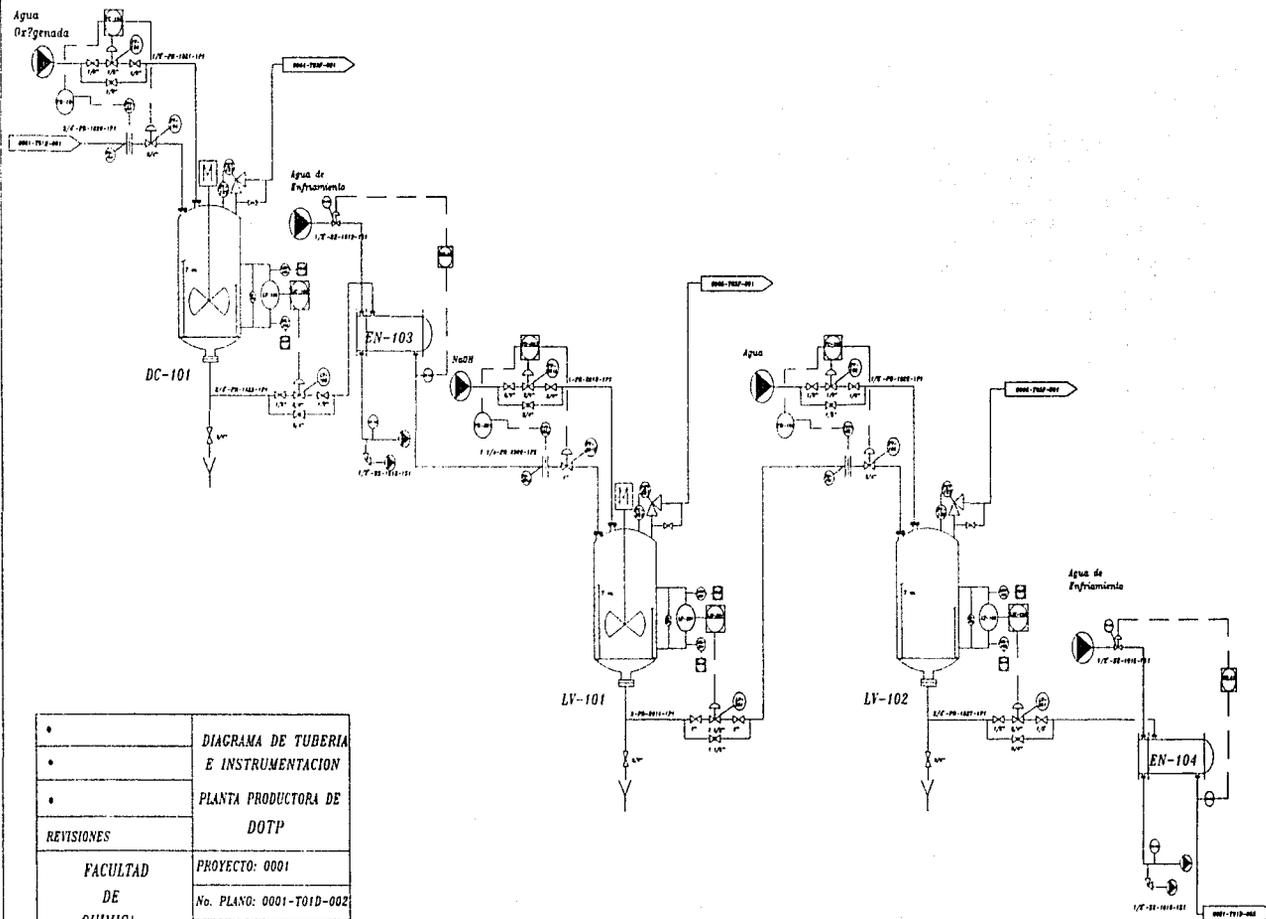
L = 1.5 m

EN-104

ENFRIADOR

D = 17 1/4 in

L = 18 ft



| | |
|------------------------------------|---|
| • | DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION |
| • | PLANTA PRODUCTORA DE DOTP |
| • | REVISIONES |
| FACULTAD DE QUIMICA E-212 | PROYECTO: 0001 No. PLANO: 0001-T01D-002 APROBADO PARA CONSTRUCCION FECHA FIRMA |

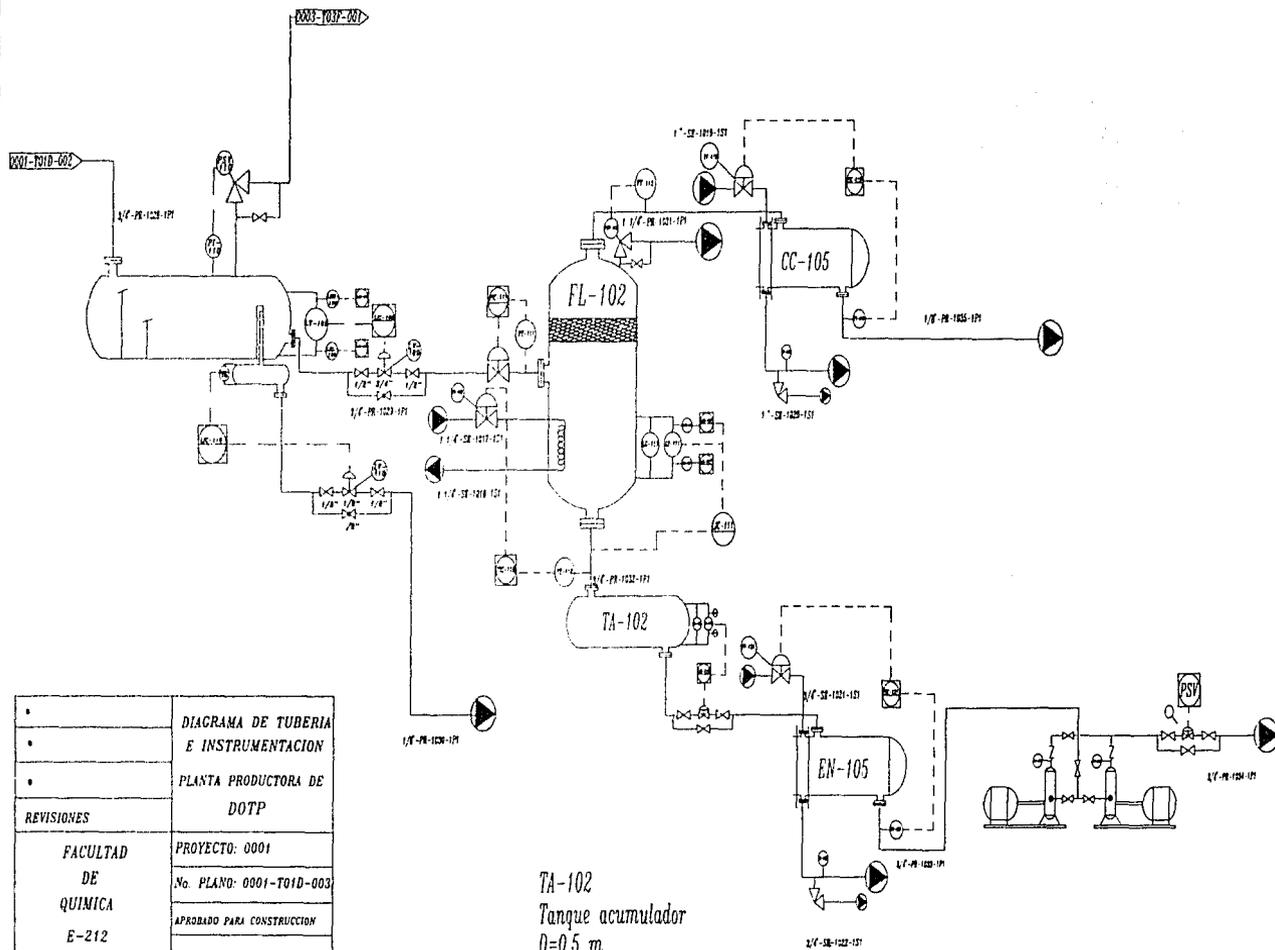
DN-101
Decantador
D=1.0 m
L=3.0 m

FL-102
Tanque Flash
D=0.5 m
L=2.8 m

CC-105
Condensador
D=8 in
L=8 ft

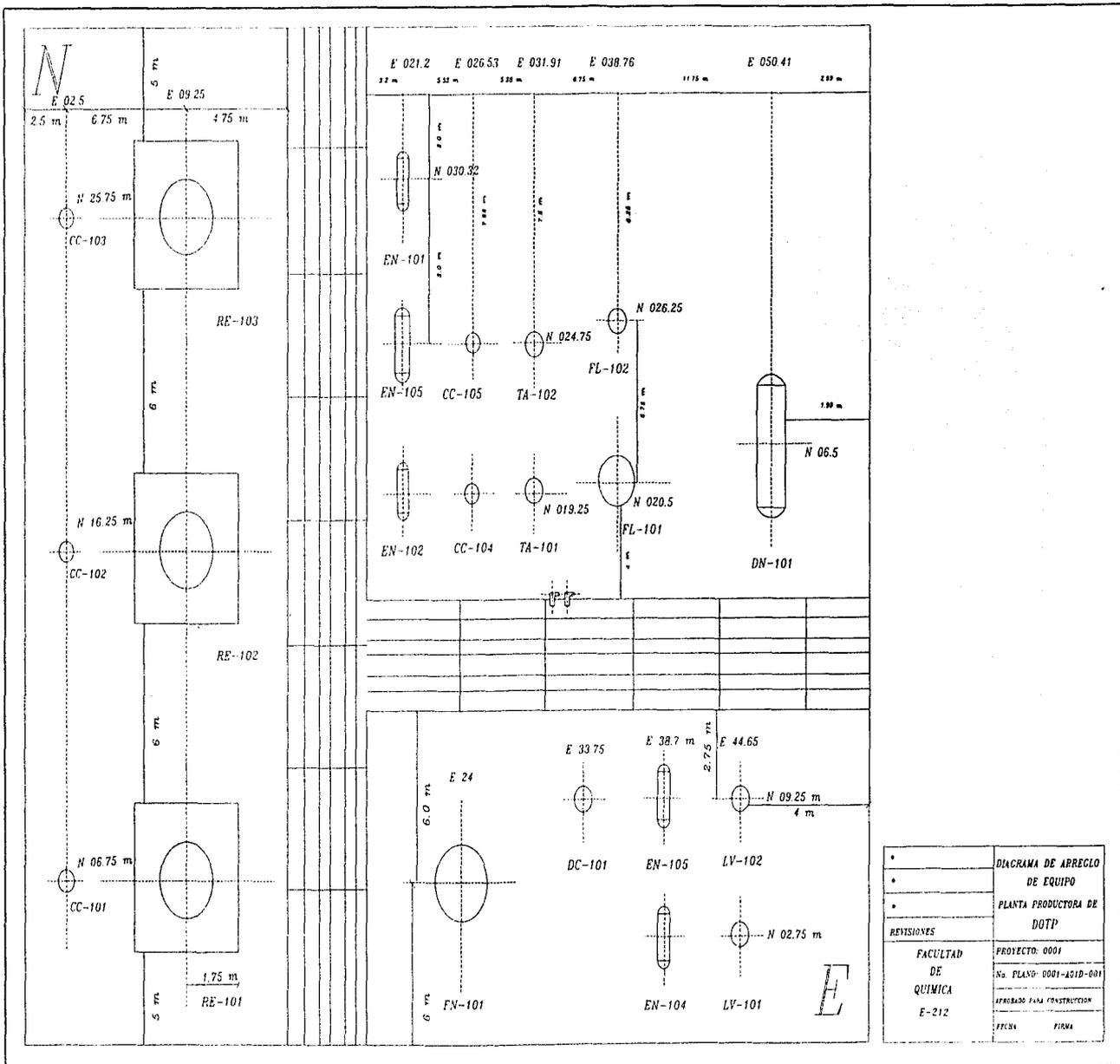
EN-105
Enfriador
D= 15 1/4 in
L=18 ft

BC-102
Bomba centrífuga



TA-102
Tanque acumulador
D=0.5 m
L=1.5 m

| | |
|------------------------------------|---|
| • | DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION |
| • | PLANTA PRODUCTORA DE |
| • | DOTP |
| REVISIONES | |
| FACULTAD DE QUIMICA E-212 | PROYECTO: 0001 No. PLANO: 0001-T01D-003 APROBADO PARA CONSTRUCCION FECHA FIRMA |



| | |
|------------|----------------------------|
| • | DIAGRAMA DE ARREGLO |
| • | DE EQUIPO |
| • | PLANTA PRODUCTORA DE |
| | DOTP |
| REVISIONES | PROYECTO: 0001 |
| FACULTAD | No. PLANO: 0001-ASID-001 |
| DE | APROBADO PARA CONSTRUCCION |
| QUIMICA | FECHA FIRMA |
| E-212 | |

CAPITULO V

CONCLUSIONES

- Cuando se realiza un estudio cinético es necesario tomar en consideración tan sólo la rapidez de reacción, y no la difusión o la disolución. Por tal motivo a las muestras del destilado del DOTP se les hizo un cromatograma para tener la seguridad que se tomaba en cuenta el metanol y no el 2-etilhexanol, debido a que éste es soluble en el primer alcohol. En el caso del DOP este problema no se tuvo ya que el 2-etilhexanol es insoluble en agua.
- Las velocidades de reacción para el DOP y DOTP resultaron ser de segundo orden, esto era de esperarse debido a que en ambas intervienen tan solo dos reactivos y tienen un mecanismo de reacción similar.
- La descomposición del plastificante no tuvo los resultados esperados, ya que el número de ácido no aumentó en forma gradual, por lo que desecha esta reacción. Se recomienda que se continúe investigando el por qué el número de ácido en la planta discontinua aumenta, y que busque una respuesta lógica a este fenómeno, pues se podría deber a una reacción entre el 2-etilhexanol y el plastificante.
- La cantidad de catalizador óptima para producir DOP y DOTP fue de 10 gotas para 200g de DMT, ya que los rendimientos fueron altos y no se tuvieron problemas para controlar el reactor. Esta cantidad se extrapola para los balances de materia y energía de la planta.
- La correcta selección de las variables a considerar temperatura, presión y catalización representa la base fundamental sola la cual se apoya el diseño de la planta, por lo cual es necesario un severo control de las mismas.
- Se logró un diseño de tres reactores continuos conectados en serie para producir el DOTP, alcanzando una conversión final del 99.14%, estos reactores trabajan a una temperatura de 170, 210 y 240°C respectivamente y se encuentran dentro de los límites a los cuales opera la planta batch. Para que la planta, que está diseñada para producir DOTP, pueda actuar para elaborar DOP se necesita trabajar con una menor cantidad de anhídrido ftálico y con los reactores a temperaturas de 180, 210 y 235°C, esto implica que a la primera chaqueta de calentamiento se

le tenga que suministrar una mayor cantidad de vapor y que a la última se le suministre una menor cantidad.

- Con la simulación, realizada en el laboratorio de Simulación y Optimización de Procesos de la Facultad de Química, de la planta se optimizaron las condiciones de operación de todos los equipos involucrados, además se pudo obtener el balance de materia y de energía global e individual, con base estas condiciones se diseñaron los equipos según el código ASME.
- La elaboración de los diagramas de tubería de instrumentación se basó en las normas ISA para la instrumentación, para el arreglo de equipo se tomaron en cuenta los parámetros establecidos de distancias entre equipos, pero como se cuenta con un espacio suficiente para la construcción de la planta se tomó más espacio del debido.
- Se recomienda realizar un estudio económico acerca del costo de construcción, arranque y diseño de la planta para establecer si es realmente viable el proceso continuo, y no solamente tomando en cuenta que el tiempo total de producción disminuye 12 horas. Además de esta forma se podrá conocer en cuanto tiempo se recuperará la inversión final

APÉNDICE A
MEMORIAS DE CALCULO DEL DISEÑO DE LOS EQUIPOS

I. Diseño de los reactores y tanques de lavado.

1. Obtener el tiempo de residencia teórico, θ
2. Calcular el tiempo de residencia real como

$$\theta_r = \theta_s \cdot f_p \cdot f_i$$

donde

$$f_p = 1.2$$

factor de personal

$$f_i = 1.2$$

factor de instrumentación

3. Con θ_r y el flujo volumétrico del reactor calcular el volumen del reactor como:

$$V = Q \cdot \theta_r / 1000 \quad \rightarrow \quad m^3$$

4. Según la presión de operación del equipo se tienen relaciones L/D, en este caso es igual a 3 la relación longitud / diámetro
5. Ahora tenemos las siguientes ecuaciones

$$A = \pi \cdot D^2 / 4$$

Área del reactor

$$L = V / A$$

longitud del reactor

Con estas ecuaciones se pueden obtener las dimensiones de los tanques, para obtener la capacidad, nivel normal y nivel mínimo del líquido se contó con monogramas.

II. Diseño de los agitadores

Los agitadores son tipo 3 blade propeller.

1. Para el diseño de los agitadores se necesita

D_r = diámetro interno del tanque

H_L = altura del líquido

2. Calcular el diámetro del agitador (D_a) y la distancia del fondo del recipiente al agitador (H_a)

$$D_a = \frac{D_r}{2.21}$$

$$H_a = \frac{D_a}{0.59}$$

3. Calcular el número de Reynolds, sabiendo que para este tipo de fluidos las revoluciones recomendadas son 1750 RPM, además calcular la constante K:

$$Re = \rho * N * D_i^2 / \mu$$

$$K = 6.3 / Re^{0.21}$$

4. Una vez que se tienen los parámetros anteriores calcular la potencia del motor para mover el agitador:

$$P = K * \rho * N^3 * D_i^5$$

III .Diseño de una columna de destilación

1. Calcular la velocidad como:

$$FLV = L/V * (\rho v / \rho L)^{0.5}$$

2. Suponer un espaciamento entre platos y con tablas leer CBS

3. Calcular la velocidad de inundación, Un y Un_{op}

$$Un = CBS / (\rho v / \rho L - \rho v)^{0.5}$$

$$Un_{op} = 0.9 Un$$

4. Con la velocidad de inundación óptima y el flujo de vapor determinar:

$$AN = Qv / Un_{op}$$

$$AN = AA + AD$$

$$AT = AA + 2AD$$

$$AA = 0.75 AT$$

Donde AA es el área activa, AD el área de la bajante, AN área neta y AT el área total, se tienen tres ecuaciones con tres incógnitas, dando

$$AN = 0.75 AT + AD$$

$$AD = -0.25 AT + 2AD$$

5. Ahora se procede a determinar el diámetro de la torre:

$$DT = (AT / 0.785)^{0.5}$$

6. De tablas localizamos si en flujo paralelo o flujo cruzado

7. Se determina la altura del vertedero, hw , y se supone el diámetro del orificio, hd

$$hw = 0.15 * hp$$

8. Se calcula la altura del líquido, hl

$$hl = f \Gamma * (hw + how)$$

$$f \Gamma = \exp(-12.55 * CBS^{10.91})$$

$$how = \text{altura de pluma} \quad how = 15.330 * c * (QL/f)^{2/3}$$

$$c = 0.0327 + 0.0286 * \exp(-0.1378 * hw)$$

9. Tomando un diámetro de orificio de $hd \approx 3/16$, con un pitch triangular y de 0.5 in (p), se tiene

$$hd/p \approx 0.375$$

y de tablas leemos por ciento del área abierta

$$b \approx 0.123$$

Weeping

10. Suponemos que: $Vo(\rho v)^{0.5} \approx 13$ mínimo, donde Vo es la velocidad del orificio.

$$hdt = \text{dry tray pressure drop} = 0.003 * (Vo^2 * \rho v) * (\rho w / \rho l) * (1 - b^2) / Co^2$$

Co = factor del orificio

ed = espesor del plato ≈ 0.13 in

$$hd/ed \approx 1.5$$

11. De tablas y con el valor anterior, leemos Co y se calcula el hdt.

Cabeza efectiva

12. Considerando que $hsl \approx hdt$

$$Fs \approx Vo * \rho v^{0.5} \approx 13$$

13. De tablas

he = cabeza efectiva del liq

$ht \approx$ caída de presión plato = $hdt + he$

De tablas se corrige Fs , se calcula hdt , he , y ht .

Ahora se calcula Fs , hdt , he , y ht a condiciones máximas

Back up downcomer

14. $Hd = ht + hw + how$

15. Diseño de la velocidad del orificio

Se toma una Fs promedio y se calcula hsl

$$hsl = f * hw + how$$

16. Caída de presión en el downcomer

$$h_{du} = 0.56 * (L_g / 449 * A_d)^2$$

$$A_d = 0.065$$

17. Caída de presión en plato seco

$$h_t = h_{dt} + h_e$$

$$\Delta P_{tot} = h_t * \text{no. platos} / 1728 * (\rho_l - \rho_v) / 2$$

$$\text{No platos real} = \text{No. platos teóricos} / 0.6$$

18. Número de orificios

$$\text{No orificios} = V / V_d$$

IV. Diseño del tanque flash

1. Cálculo de la velocidad

$$V_A = \text{velocidad de arrastres} = 0.2 * ((\rho_l - \rho_v) / \rho_v)^{1/2}$$

$$\text{velocidad de diseño} = 0.314 * V_A$$

2. Área y diámetro del tanque

$$Q_v / V_D$$

$$D_o = (4 * A / \pi)^{1/2}$$

3. Líquido retenido

Tomando un tiempo de residencia de minutos $\theta = 5$

$$\text{Vol} = Q * \theta$$

$$\text{Volumen} = \pi / 4 * D_o^2 * h$$

$$h = \text{altura mínima de líquido}$$

4. Boquilla de entrada

$$V_B = 3.7 * ((\rho_L - \rho_v) / \rho_v)^{1/2}$$

Área de la boquilla

$$A_b = Q / V_B$$

$$D_1 = (4 * A_b / \pi)^{1/2}$$

5. Diámetro de la boquilla de salida del líquido

Velocidad del líquido = 1 ft/s

Área de la boquilla

$$A_b = Q / V_L$$

6. Diámetro de la boquilla de salida del vapor

Velocidad del vapor = 40 ft/seg

Área de la boquilla

$$A_b = Q / V_v$$

$$D_2 = (4 * A_b / \pi)^{1/2}$$

7. Nivel mínimo en el tanque para evitar el arrastre de líquido

$$V.H = (V_L^2 / 2 * g) * ((\rho_L - \rho_v) / \rho_L)$$

$$H / D_3 = 0.9 (V.H / D_3 / 2)^{1/4}$$

Calculado de acuerdo al código ASME sección VIII división I y II
y tomando una $L/D = 3$.

para recipientes a presión

V. Diseño del decantador

Los sufijos l y h significan ligero y pesado respectivamente.

1. Determinar cual es la fase dispersa

$$\theta = (QL/QH) * (\rho_l * \mu_h / \rho_h * \mu_l)^{0.3}$$

2. Considerando un diámetro de gota, supuesto

$$d = 0.0005 \text{ ft}$$

$$ud = (g * d^2 * (\rho_d - \rho_c) / 18 * \mu_c)$$

3. Calcular

$$I = 0.8 * D$$

$$L/D = 3$$

$$A = Qc/ud$$

$$I = 2 * (r^2 - h^2)^{0.5}$$

$$AL = 0.5 * \pi * r^2 * h * (r^2 - h^2)^{0.5} - r^2 * \arcsin(h/r)$$

$$P = 2 * r * \arcsin(h/r)$$

$$AI = I * L$$

$$uc = Qd/AI$$

4. Con los resultados anteriores calcular el tamaño de la gota real

$$d = (uc \cdot 18 \cdot \mu c / (g \cdot (\rho d - \rho c)))^{0.5}$$

5. Calcular o suponer un tiempo de residencia

$$t = 0.5 \cdot (HD \cdot AL / Qd)$$

6. Determinar el diámetro del decantador con el tamaño real de la gota y el tiempo de residencia

$$D = (t \cdot QD / 0.1374)^{(1/3)}$$

$$AH = p \cdot r^2 - AL$$

$$DL = 4 \cdot AL / (1 + P)$$

$$DII = 4 \cdot AH / (1 + 2 \cdot p \cdot r - P)$$

7. Calcular las velocidades y número de Reynolds para la fase ligera y pesada, con el propósito de saber si se encuentran dentro de los límites.

$$V = Q/A$$

$$Re = v \cdot D \cdot \rho / \mu$$

8. Determinar la relación de velocidades para ver si se encuentra dentro del rango.

$$VH/VL < 2$$

9. Para decantadores el tamaño de tubería más económico es de 2 in

10. Área de baffle

$$Af = 2 \cdot (r/2 \cdot (r^2 - (r/2)^2)^{0.5} + 2.25 \cdot aseno(0.5))$$

11. Distribuidor perforado

$$\text{Diam. orificio} = 0.5 \quad \text{in}$$

$$\text{Pitch} = 1.5 \quad \text{in, triangular}$$

$$\text{Área abierta} = (do/Pitch)^2 \cdot (\pi \cdot 3^{0.5/6})$$

$$\text{Área orificio} = \text{Área abierta} \cdot Af$$

$$\text{Relación } Ao/Af = 0.061397925$$

$$\text{No. de orificios} = A \text{ abierta} / \text{área orificio}$$

VI. Diseño del enfriadores

Diámetro tubos = 3/4 in 16 BWG

Lmax = 24 ft

Flujo a contracorriente

1. Determinar el flujo de agua, Wf

$$Wf = Q/(C_p \cdot \Delta T)$$

2. Calcular el LMTD

$$LMTD = ((T_1 - t_2) - (T_2 - T_1)) / (\ln((T_1 - t_2)/(T_2 - t_1)))$$

3. Determinar el factor de corrección, FT, de tablas

4. Suponer un valor de U y calcular el área

$$A = Q/U \cdot LMTD \cdot FT$$

5. Con el área calcular el número de tubos y de tablas leer el diámetro de la coraza, D_s.

$$N_t = A/\pi \cdot D \cdot L$$

6. Determinar los siguientes parámetros

$$a_n = A' \cdot N_t$$

$$G_t = W/a_n$$

$$A_{fs} = D_s \cdot C' \cdot B/1.44 \cdot P_t$$

$$Re = D \cdot G_t/\mu$$

$$Pr^{1/3} = (C_p \cdot \mu/k)^{1/3}$$

$$hio/\phi = j_h (Pr)^{1/3} \cdot (D_i/D_o) \cdot (k/D)$$

$$Re = De \cdot G_s/\mu$$

$$j_{hT} = \text{de tablas}$$

$$Pr^{1/3} = (C_p \cdot \mu/k)^{1/3}$$

$$ho/\phi = j_h (Pr)^{1/3} \cdot (D_i/D_o) \cdot (k/D)$$

$$\Sigma R_d \approx 0.003$$

$$U_d = 1/(\phi/ho + \phi/hio)$$

$$T_w = t_p + (\phi/hio/(\phi/hio + \phi/ho)) \cdot (T_p - t_p)$$

7. Con la U de diseño calcular el área del intercambiador real y ver se ajusta con la U supuesta

$$A = Q/(U_d \cdot FT \cdot LMTD)$$

8. Calcular las caídas de presión

$$\Delta P_T = f \cdot G_t^2 \cdot L \cdot N_t / 5.22 \cdot 10^{10} \cdot D_i \cdot s_g$$

f = factor de fricción por el lado de los tubos

$$\Delta P_{RET} = (4 \cdot N/sg) \cdot (v^2/2 \cdot gc)$$

$$\Delta P_s = f_s \cdot G_s^2 \cdot (N+1) \cdot D_s / 5.22 \cdot 10^4 \cdot DE \cdot S_g$$

f_s = factor de fricción por el lado de la coraza

VII. Diseño de los serpentines de calentamiento

Diámetro tubo = 1 in, Cédula = 80 para las características del vapor

O.D = 1.315 in I.D. = 0.957 in Espesor = 0.179 in

Carga térmica = Q λ = calor latente

1. Con Q , establecer el flujo de vapor de calentamiento

$$FV = Q/\lambda$$

2. Leer de tablas el valor de at , área de tubos y calcular

$$Gt = FV/at$$

3. Calculo del coeficiente por el lado de los tubos

$$Re_t = dt \cdot Gt / \mu_t$$

j_h = de gráfica con Re_t

$$Pr^{1/4} = (0.48 \cdot \mu/k)^{1/4}$$

$$hi = (j_h \cdot k \cdot Pr^{1/4}) / dt$$

$$hio = hi \cdot (I.D./O.D)$$

4. De tablas leer el valor para el coeficiente del vapor, $ho = 1500$

$$Uc = (ho \cdot hio) / (hio + ho)$$

$$Rd = 0.003$$

$$hd = 1/Rd$$

$$Ud = Uc \cdot hd / (Uc + hd)$$

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

5. De la ecuación anterior se determina el área, ahora

$$A' = 0.32 \quad \text{área por unidad de longitud}$$

$$L = A/A'$$

$$\text{Diámetro recipiente} = Dr$$

$$\text{Vueltas} = L/Dr$$

VIII. Diseño de las chaquetas de calentamiento para tanques agitados

1. Con Q , establecer el flujo de vapor de calentamiento

$$FV = Q/\lambda$$

2. Tomar los siguientes datos del agitador respectivo

Vel agitador, h_i , d_i

3. Determinar el número de Reynolds y los siguientes parámetros

$$Re_j = L^2 \cdot N \cdot \rho / \mu$$

$$j = (h_j \cdot D_j / k) \cdot Pr^{-1/3}$$

$$h_j = j \cdot (k / D_j) \cdot Rr$$

$$D_j = 4.92 \text{ m}$$

$$h_{io} = 1500 \text{ Vapor de agua}$$

$$U_c = (h_j \cdot h_{io}) / (h_{io} + h_j)$$

$$R_d = 0.003 \quad h_d = 1 / R_d$$

$$U_d = U_c \cdot h_d / (U_c + h_d)$$

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

4. Apartir de la ecuación anterior se obtiene el área y para el espesor de la chaqueta tenemos:

$$A = 3.1416 \cdot e^2$$

IX. Diseño de las bombas

El cálculo se realizó tomando en cuenta la ecuación de Bernoulli:

$$\Delta P / d + \Delta Z \cdot g / gc + \Delta (v \cdot v) / 2 \cdot gc = -\Sigma F / M - Pot / M$$

1. Los únicos terminos que se consideraron fué el de $\Delta P / d$ y el termino de $Z \cdot g / gc$ (los demás seran considerados en el DTI).
2. Calcular $\Delta P / d = (P_{des} - P_{suc}) \cdot 1.44 / d$; ($\Delta P / d = \text{ lbf-ft} / \text{ lb}$)
3. Calcular $\Delta Z \cdot g / gc$; ($\Delta Z \cdot g / gc = \text{ lbf-ft} / \text{ lb}$)
4. Calcular $M = \text{Flujo (gal / min)} \cdot 0.133 \cdot d / 60$; ($M = \text{ lb} / \text{ s}$)
5. Calcular $Pot = (\Delta P / d + \Delta Z \cdot g / gc) \cdot M \cdot 1.818 \cdot E^{-3}$; ($P = \text{ Hp}$)
6. Calcular $Pot_{real} = P_{ideal} \cdot 1.1$ ($P = \text{ Hp}$)

X. Diseño mecánico de los recipientes

1. Presión de diseño, donde P_{op} es la presión de operación

$$P_d = 1.1 \cdot P_{op}$$

$$Pd = Pop + 1.75$$

Se toma la presión que sea mayor.

2. Temperatura de diseño

$$Td = Top + 30^{\circ}C$$

3. Espesor para los recipientes

$$\text{Espesor mínimo} = e_{\text{mín}} = (Dint \text{ del recipiente} / 1000) + 2.54$$

$$\text{Espesor real} = e_{\text{real}} = e_{\text{mín}} + \text{corrosión}$$

4. Materiales de construcción se eligieron de acuerdo a las sustancias que maneja cada recipiente, temperatura y presión.

5. Las tapas para los recipientes se eligieron de acuerdo a la presión de operación y el espesor de estas de acuerdo a la siguiente ecuación

$$t = \frac{P * L * M}{2 * S * E - 0.2P} + C$$

$$M = \frac{1}{4} * \left(3 + \left(\frac{L}{r} \right)^{\frac{1}{2}} \right)$$

donde P es la presión de operación, S es el esfuerzo del material, C es la corrosión permitida, E es la eficiencia de la junta, L radio de la esfera, M factor geométrico.

XI. Diseño de las tuberías

El diámetro de las tuberías se calculó mediante ecuaciones euristicas.

Es necesario contar con el flujo másico que circula por la tubería y la densidad de éste.

$$V_{\text{sup}} = 24.82 * \rho^{-0.2889}$$

$$\Phi = \left(\frac{0.16 * FM}{\Pi * \rho * V_{\text{sup}}} \right)^{0.5}$$

donde FM es el flujo másico.

APÉNDICE B
INDICE DE TUBERIAS

| No. Corr. | φ (in) | Servicio | Número | Especificación | Destino | Origen |
|-----------|--------|----------|--------|----------------|---------|--------|
| 1 | 3/4 | Proceso | 1001 | 1P1 | FN-101 | LB |
| 2 | 3/4 | Proceso | 1002 | 1P1 | FN-101 | LB |
| 3 | 3/4 | Proceso | 1003 | 1P1 | RE-101 | FN-101 |
| 4 | 1/8 | Proceso | 1004 | 1P1 | RE-101 | LB |
| 5 | 1/8 | Proceso | 1005 | 1P1 | RE-101 | LB |
| 6 | 3/4 | Proceso | 1006 | 1P1 | RE-102 | RE-101 |
| 7 | 2 1/2 | Proceso | 1007 | 1P1 | CC-101 | CS-101 |
| 8 | 1/8 | Proceso | 1008 | 1P1 | RE-102 | LB |
| 9 | 1/8 | Proceso | 1009 | 1P1 | RE-102 | LB |
| 10 | 3/4 | Proceso | 1010 | 1P1 | RE-103 | RE-102 |
| 11 | 2 | Proceso | 1011 | 1P1 | CC-102 | CS-102 |
| 12 | 1/8 | Proceso | 1012 | 1P1 | RE-103 | LB |
| 13 | 1/8 | Proceso | 1013 | 1P1 | RE-103 | LB |
| 14 | 3/4 | Proceso | 1014 | 1P1 | EN-101 | RE-103 |
| 15 | 1 | Proceso | 1015 | 1P1 | CC-103 | CS-103 |
| 16 | 3/4 | Proceso | 1016 | 1P1 | FL-101 | EN-101 |
| 17 | 12 | Proceso | 1017 | 1P1 | CC-104 | FL-101 |
| 18 | 3/4 | Proceso | 1018 | 1P1 | EN-102 | FL-101 |
| 19 | 3/4 | Proceso | 1019 | 1P1 | BC-101 | EN-102 |
| 20 | 3/4 | Proceso | 1020 | 1P1 | DC-101 | BC-101 |
| 21 | 1/8 | Proceso | 1021 | 1P1 | DC-101 | LB |
| 22 | 3/4 | Proceso | 1022 | 1P1 | EN-103 | DC-101 |
| 23 | 3/4 | Proceso | 1023 | 1P1 | LV-101 | EN-103 |
| 24 | 1/8 | Proceso | 1024 | 1P1 | LV-101 | LB |
| 25 | 3/4 | Proceso | 1025 | 1P1 | LV-102 | LV-101 |
| 26 | 1/8 | Proceso | 1026 | 1P1 | LV-102 | LB |
| 27 | 3/4 | Proceso | 1027 | 1P1 | EN-104 | LV-102 |
| 28 | 3/4 | Proceso | 1028 | 1P1 | DN-101 | EN-104 |
| 29 | 3/4 | Proceso | 1029 | 1P1 | FL-102 | DN-101 |
| 30 | 1/8 | Proceso | 1030 | 1P1 | LB | DN-101 |
| 31 | 1 1/4 | Proceso | 1031 | 1P1 | CC-105 | FL-102 |
| 32 | 3/4 | Proceso | 1032 | 1P1 | EN-105 | FL-102 |
| 33 | 3/4 | Proceso | 1033 | 1P1 | BC-102 | EN-105 |

| | | | | | | |
|----|-----|---------|------|-----|----|--------|
| 34 | 3/4 | Proceso | 1034 | 1P1 | LB | BC-105 |
| 35 | 1/8 | Proceso | 1035 | 1P1 | LB | CC-105 |
| 36 | 1/8 | Proceso | 1036 | 1P1 | LB | CC-104 |
| 37 | 1/8 | Proceso | 1037 | 1P1 | LB | CC-103 |
| 38 | 1/8 | Proceso | 1038 | 1P1 | LB | CC-102 |
| 39 | 1/8 | Proceso | 1039 | 1P1 | LB | CC-101 |

SERVICIOS AUXILIARES DE LA PLANTA

BALANCE POR EQUIPO

| SERVICIO | EQUIPO | DISPONIBILIDAD | OBSERVACIONES |
|----------------------|-----------|----------------|---------------------------|
| AGUA DE ENFRIAMIENTO | | kg/h | |
| | | 4455.77 | Condensador de CS-101 |
| | | 1660.012 | Condensador de CS-102 |
| | | 503.95 | Condensador de CS-103 |
| | | 2476.01 | Condensador de FL-101 |
| | | 508.86 | Condensador de FL-102 |
| | | 2363.93 | Enfriador |
| | | 1967.85 | Enfriador |
| | | 1351.64 | Enfriador |
| | | 1093.31 | Enfriador |
| | | 2292.93 | Enfriador |
| | VAPOR | | kg/h |
| | | 38.42 | Chaqueta del RE-101 |
| | | 84.64 | Chaqueta del RE-102 |
| | | 66.08 | Chaqueta del RE-103 |
| | | 74.92 | Serpentín del FL-101 |
| ELECTRICIDAD | | kw | |
| | | 74.92 | Serpentín del FL-102 |
| | | 18.64 | Motor de BC-101 |
| | | 18.64 | Motor de BC-102 |
| | | 18.64 | Motor de AG-101 |
| | | 18.64 | Motor de AG-102 |
| | | 18.64 | Motor de AG-103 |
| CO ₂ | | kg/h | |
| | | 18.64 | Motor de AG-104 |
| | | 18.64 | Motor de AG-105 |
| | Reactores | 13792 | Bióxido de carbono a 20°C |

APÉNDICE C
FORMATO DE HOJA DE REACCIÓN

| | | | | | |
|--|--|--|--|-----------------------|--|
| | U.N.A.M. | | | | |
| | INGENIERÍA QUÍMICA (PROCESOS) | | | | |
| | LABORATORIO DE POLÍMEROS | | | | |
| | REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN | | | | |
| | ELABORÓ: _____ | | | FECHA: ____/____/____ | |

| | | | | | |
|---------------------|-------------|----|-------------|----|--|
| CANTIDAD DE DMT: | 250 | g. | | | |
| CANTIDAD DE 2-EtOH: | 402.0618557 | g. | 484.4118743 | ml | |
| PRODUCCIÓN DE DOTP: | 502.5773196 | g. | 512.8339996 | ml | |
| PRODUCCIÓN DE MeOH: | 82.4742268 | g. | 103.1056717 | ml | |

TEMPERATURA 140, 10 GOTAS DE CATALIZADOR

| | TIEMPO | TEMPERATURA | REOSTATO | T columna | MeOH obt |
|--|--------|-------------|----------|-----------|----------|
| | 0 | | | | |
| | 5 | | | | |
| | 10 | | | | |
| | 15 | | | | |
| | 20 | | | | |
| | 25 | | | | |
| | 30 | | | | |
| | 35 | | | | |
| | 40 | | | | |
| | 50 | | | | |
| | 60 | | | | |
| | 70 | | | | |
| | 80 | | | | |

BIBLIOGRAFIA

1. KIRK-OTHMER. Encyclopedia of Chemical Technology.
3ª Ed. Wiley and Sons, USA 1982
2. MARK BIKALES. Encyclopedia of polymer science and engineering.
Supplement volume, Vol I pp. 212-233
Wiley-Interscience Publication, USA 1989
3. FLECK Ronald. Plásticos, su estudio científico y tecnológico.
Tercera edición. Barcelona 1953. Editorial Gustavo Gili, S. A.
4. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry
Volume A20, Fifth Edition, USA 1992
5. Anuario y Directorio del ANIQ
México, D. F., 1996.
6. Anuario Estadístico de Comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicanos, 1994.
Exportación INEGI. Importación INEGI
7. La Industria Química en México, edición 1995 INEGI México
8. Edited by S.G. Luxon. Health and Safety Consultant.
Hazards in the Chemical Laboratory
The Royal Society of Chemistry 1992
9. The Merck Index. An Encyclopedia of Chemicals, Drugs and Biologicals.
Twelfth Edition. Published by Merck Research Laboratories
Division of Merck and Company, Inc. Whitehouse Station, NJ. 1996.
10. SMITH, J. M., Ingeniería de la Cinética Química
Cia. Editorial Continental, S. A. de C. V.
México 1995.
11. PERRY R., GREEN D., Perry's Chemical Engineers' Handbook
Sixth Edition, Mc Graw Hill, USA 1994
12. HILL, Charles, An Introduction to Chemical Engineering Kinetics and Reactor Design
Wiley and Sons, U.S.A. 1977.
13. LAIDLER J., Cinética de las reacciones
Ed. Alhambra, España 1979.

14. McMURRY John. Química Orgánica. Tercera edición.
Grupo Editorial Iberoamérica, S. A. de C. V.
Estados Unidos de América 1994.
15. MORRISON R.T, BOYD N. R., Química Orgánica.
Fondo Educativo Interamericano, S. A.
México 1976
16. McKETTA Encyclopedia of Chemical Processing and Design
Tomo 30. Tomo 40. USA.
17. Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-005-ECOL/1993 De las aguas residuales provenientes de la industria de fabricación de productos plásticos y polímeros sintéticos.
18. LUDWIG, Ernest Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants.
Volumen I y II, USA 1985.
19. KERN, Robert Procesos de transferencia de Calor
Cía. Editorial Continental. México 1987.
20. WALAS W. Stanley. Rules of thumb, Selecting and designing equipment
Chemical Engineering, March 16, 1977.
21. KERN, Robert. Arrangements of Process and storage vessels.
Chemical Engineering, November 7, 1977, pp 93 - 98.
22. KERN, Robert. Arrangements of Process and storage vessels.
Chemical Engineering, September 12, 1977, pp 93 - 98.