



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

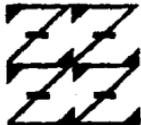
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"

10
2 eje.
AGOSTO 1994

DISEÑO DE UN PROCESO Y
DESARROLLO DE LA INGENIERIA
BASICA PARA UNA PLANTA DE
RECICLAMIENTO QUIMICO DE NYLON-6

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A :
FRANCISCO DIAZ CAMACHO

U. N. A. M.
FES.
ZARAGOZA



LO UNIMADO ESM
DE INVENTA DEPLEXION

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.

1994



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 está 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES *ZARAGOZA*

JEFATURA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA

SR. FRANCISCO DIAZ CAMACHO
P R E S E N T E.

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado para el Examen Profesional, le comunico que la Jefatura a mi cargo ha propuesto la siguiente designación:

PRESIDENTE: ING. SALVADOR J. GALLEGOS RAMALES
VOCAL: DR. RICARDO VERA GRAZIANO
SECRETARIO: ING. ROBERTO MENDOZA SERNA
SUPLENTE: M. en C. CARLOS GABRIEL COLIN FLORES
SUPLENTE: ING. ANTONIO ZAMORA PLATA

A T E N T A M E N T E
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

México, D.F., 7 de abril de 1994



M. en C. ALEJANDRO RUIZ CANCINO
JEFE DE LA CARRERA DE
INGENIERIA QUIMICA

Irm

Director de Tesis
Dr. Ricardo Vera Graziano
Investigador Titular.
Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM.

A mis padres, María y Guillermo.
Por su apoyo moral y económico.
Por su paciencia y por creer
siempre en mí.

A todos mis hermanos.

Jesús

José Luis

Julio

María de Jesús

Juana

Angélica, e

Isabel

**Por su comprensión, su apoyo
moral y económico y sobre todo
sus consejos que me ayudaron a
salir adelante en todo momento.**

A todos mis sobrinos,
que lo que he logrado sirva
de ejemplo para su superación
personal.

Agradecimiento especial al

Instituto de Investigaciones en Materiales - UNAM

**Por prestar sus instalaciones, equipos, reactivos y
materiales de laboratorio necesarios para
desarrollar esta tesis.**

AGRADECIMIENTOS.

Al Dr. Ricardo Vera Graziano por su asesoría, revisión y corrección del manuscrito final de este trabajo.

A mis sinodales Ing. Salvador J. Gallegos Ramales, al Ing. Roberto Mendoza Serna, al M en C. Carlos Gabriel Colín Flores y al Ing. Antonio Zamora Plata por sus correcciones al borrador de tesis y sus sugerencias que sirvieron para enriquecer el trabajo.

Al I.Q. Filiberto Rivera Torres, al M. en C. José Nuñez Flores, al Q. Miguel Angel Canseco M. y a todas las personas que de alguna manera me ayudaron con el trabajo de laboratorio, con las técnicas de caracterización y me apoyaron resolviendo dudas y dando sugerencias.

A la I.Q. Aída Araceli Nava Delgado, a la Sritas Alma Verónica López A. y Patricia Rodríguez secretarías del departamento de polímeros del I.I.M. les agradezco toda la ayuda prestada para la redacción de la tesis y la elaboración de gráficas y tablas.

A todos mis amigos del I.I.M. y compañeros de generación que se encuentran en el I.I.M. y que me ayudaron con sus sugerencias y consejos para el enriquecimiento del trabajo.

INDICE.

Indice de tablas.....	XIV
Indice de figuras.....	XV
Resumen.....	XVII
Introducción.....	XVIII

Capítulo I. Fundamentación y planteamiento del problema.

1.1. Fundamentación de la elección del tema.....	2
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Objetivo general.....	4

Capítulo II. Generalidades.

2.1. Desarrollo histórico de la e-caprolactama.....	6
2.2. Propiedades físicas de la e-caprolactama.....	6
2.3. Propiedades químicas de la e-caprolactama.....	8
2.4. Procesos de producción de la e-caprolactama.....	9
2.4.1. Procesos vía ciclohexanona.....	10
2.4.1.1. Oxima de ciclohexanona.....	10
2.4.1.2. Transposición de Beckmann a e-caprolactama.....	11
2.4.2. Proceso de fotoximación.....	14
2.4.3. Producción a partir de tolueno.....	19
2.4.4. Proceso de obtención de e-caprolactama a partir de desperdicios de Nilón-6 con vapor sobrecalentado.....	23
2.4.5. Proceso de obtención de e-caprolactama a partir de desperdicios de Nilón-6 en solución acuosa ácida.....	24
2.5. Almacenamiento y transportación de la e-caprolactama.....	27
2.6. Aspectos Económicos Nacionales de la E-caprolactama.....	28
2.6.1. Características generales.....	28
2.6.2. Mercado.....	28
2.6.3. Productores.....	30
2.6.4. Consumidores.....	30
2.6.5. Perspectivas.....	31

2.7. Desarrollo histórico del Nilón-6.....	34
2.8. Propiedades del Nilón-6.....	35
2.9. Procesos de producción de Nilón-6.....	37
2.9.1. Polimerización hidrolítica a granel de e-caprolactama.....	38
2.9.2. Proceso hidrolítico VK.....	41
2.9.3. Polimerización aniónica de e-caprolactama.....	44
2.10. Principales aditivos para el Nilón-6.....	46
2.10.1. Delustrante.....	46
2.10.2. Tintes o pigmentos.....	46
2.10.3. Antiestáticos.....	47
2.10.4. Retardantes de flama.....	47
2.10.5. Refuerzos.....	48
2.11. Conformado del Nilón-6 para usos finales.....	48
2.11.1. Extrusión.....	48
2.11.2. Moldeo por inyección.....	48
2.11.3. Moldeo por inyección-soplado.....	49
2.12. Aspectos Económicos Nacionales del Nilón-6.....	49
2.12.1. Características generales.....	49
2.12.2. Mercado.....	50
2.12.3. Productores.....	52
2.12.4. Consumidores.....	53
2.12.5. Perspectivas.....	53

Capítulo III. Desarrollo experimental.

3.1. Hipótesis de trabajo.....	63
3.2. Procedimiento de despolimerización.....	63
3.3. Material.....	65
3.4. Equipo.....	65
3.5. Reactivos.....	66
3.6. Plan de trabajo utilizado para lograr la despolimerización.....	66
3.7. Descripción del reactor utilizado para la despolimerización.....	67
3.8. Manejo del reactor utilizado para la despolimerización.....	69
3.9. Fundamentación y procedimientos de las técnicas de análisis utilizadas para caracterizar las muestras de monómero y polímero obtenidas.....	70
3.9.1. Color.....	70

3.9.2. Métodos espectroscópicos.....	71
3.9.2.1. Espectroscopia infrarroja (IR).....	71
3.9.2.2. Espectroscopia ultravioleta-visible(UV-VIS).....	72
3.9.2.3. Análisis por difracción de rayos X.....	73
3.9.3. Métodos de análisis térmicos.....	74
3.9.3.1. Calorimetría diferencial de barrido (DSC).....	75
3.9.3.2. Análisis termogravimétrico (TGA).....	75
3.10. Procedimiento seguido para la polimerización de las muestras de e-caprolactama.....	76

Capítulo IV. Resultados y discusión.

4.1. Efecto de la concentración de catalizador en el rendimiento de la reacción de despolimerización.....	78
4.2. Efecto de la temperatura en el rendimiento de la reacción de despolimerización.....	80
4.3. Determinación de la velocidad de reacción de despolimerización.....	82
4.4. Determinación del orden de la reacción de despolimerización.....	85
4.5. Análisis y caracterización de las e-caprolactamas obtenidas.....	90
4.6. Caracterización de las muestras de polímero obtenidas de la repolimerización de las muestras de e-caprolactama resultantes de la despolimerización de Nilón-6.....	101

Capítulo V. Ingeniería básica para una planta de recuperación de Nilón-6

5.1. Bases de diseño.....	103
5.2. Descripción del proceso.....	110
5.3. Diagrama de flujo de proceso de planta de recuperación de Nilón-6.....	112
5.4. Diagrama de balances de materia y energía para proceso de planta de recuperación de Nilón-6.....	113
5.5. Diagrama de tubería e instrumentación de planta de recuperación de Nilón-6.....	114
5.6. Diagrama de balance de agua de enfriamiento para planta de recuperación de Nilón-6.....	115
5.7. Diagrama de tubería e instrumentación de agua de enfriamiento para planta de recuperación de Nilón-6.....	116

5.8. Plano de notas generales, leyendas y símbolos para planta de recuperación de Nilón-6.....	117
5.9. Plano de integración para planta de recuperación de Nilón-6.....	118
5.10. Plano de localización general de equipo para planta de recuperación de Nilón-6.....	119
5.11. Filosofías básicas de operación para la planta de recuperación de Nilón-6.....	120
5.12. Hojas de especificaciones de equipo.....	123

Capítulo VI. Conclusiones y recomendaciones.

6.1. Conclusiones.....	136
6.2. Recomendaciones.....	139

Bibliografía.....	140
Memorias de cálculo.....	145

Indice de tablas.

1. Solubilidad de la e-caprolactama (% peso) en varios solventes.....	8
2. Consumo nacional de e-caprolactama (1980-1990).....	32
3. Consumo nacional de Nilón-6 fibra corta (1980-1990).....	55
4. Consumo nacional de Nilón-6 filamento textil (1980-1990).....	57
5. Consumo nacional de Nilón-6 filamento industrial (1980-1990).....	59
6. Producción total de Nilón-6 (1980-1990).....	61
7. Efecto de la concentración de catalizador en el rendimiento de la reacción de despolimerización de Nilón-6.....	78
8. Efecto de la temperatura en el rendimiento de la reacción de despolimerización de Nilón-6.....	80
9. Efecto del tiempo en el rendimiento de la reacción de despolimerización de Nilón-6.....	83
10. Datos de concentración utilizados para elaborar las gráficas para la determinación del orden de la reacción de despolimerización de Nilón-6.....	90
11. Valores obtenidos de las propiedades utilizadas para caracterizar las muestras de e-caprolactama pura y las obtenidas de la reacción de despolimerización.....	91
12. Picos característicos del espectro de IR para la e-caprolactama...	95
13. Picos característicos obtenidos en los difractogramas de rayos X para la e-caprolactama.....	97
14. Tabla de ventajas y desventajas vs. parques industriales para la evaluación por puntos para la ubicación de la planta.....	194

Indice de figuras.

2.1. Proceso BASF para la producción de e-caprolactama.....	13
2.2. Proceso TORAY PNC para la producción de e-caprolactama.....	15
2.3. Proceso SNIA para la producción de e-caprolactama.....	18
2.4. Proceso de obtención de e-caprolactama a partir de desperdicios de Nilón-6 con vapor sobrecalentado.....	22
2.5. Proceso de obtención de e-caprolactama a partir de desperdicios de Nilón-6 en solución acuosa.....	26
2.6. Gráfica relación producción-consumo aparente de e-caprolactama... 33	
2.7. Proceso de polimerización de Nilón-6 para producción de pellets. 39	
2.8. Proceso VK de polimerización hidrolítica continua de Nilón-6.... 42	
2.9. Gráfica relación producción-consumo aparente de Nilón-6 fibra corta.....	56
2.10. Gráfica relación producción-consumo aparente de Nilón-6 filamento textil.....	58
2.11. Gráfica relación producción-consumo aparente de Nilón-6 filamento industrial.....	60
3.1. Reactor utilizado para llevar a cabo la reacción de despolimerización de Nilón-6.....	64
4.1. Despolimerización de Nilón-6. Efectos de la temperatura y la concentración de catalizador en el rendimiento promedio de e-caprolactama.....	79
4.2. Rendimiento promedio de e-caprolactama en función del tiempo de reacción.....	81
4.3. Determinación de velocidad de reacción para la despolimerización de Nilón-6.....	84
4.4.A. Variación de la concentración de Nilón-6 con respecto al tiempo.....	86
4.4.B. Determinación del orden de la reacción de despolimerización de Nilón-6 utilizando tiempo de vida media.....	87
4.4.C. Determinación del orden de la reacción de despolimerización de Nilón-6 utilizando tiempo de vida 3/4.....	88
4.5. Termogramas de e-caprolactama obtenidos por calorimetría diferencial de barrido (DSC).....	92
4.6.A. Espectros de IR-FT de muestras de e-caprolactama. A, B y C.... 93	

4.6.B. Espectros de IR-FT de muestras de e-caprolactama. D y C.....	94
4.7. Difractogramas de rayos X para muestras de e-caprolactama.....	96
4.8. Espectros de UV-VIS de muestras de e-caprolactama.....	98
4.9. Termogramas de e-caprolactama obtenidos por análisis termogravimétrico (TGA).....	99
5.1.101. Diagrama de flujo de proceso de planta de recuperación de Nilón-6.....	112
5.2.101. Diagrama de balances de materia y energía para proceso de planta de recuperación de Nilón-6.....	113
5.3.101. Diagrama de tubería e instrumentación de planta de recuperación de Nilón-6.....	114
5.4.101. Diagrama de balance de agua de enfriamiento para planta de recuperación de Nilón-6.....	115
5.5.101. Diagrama de tubería e instrumentación de agua de enfriamiento para planta de recuperación de Nilón-6.....	116
5.6.101. Plano de notas generales, leyendas y símbolos para planta de recuperación de Nilón-6.....	117
5.7.101. Plano de Integración para planta de recuperación de Nilón-6.....	118
5.8.101. Plano de localización general de equipo para planta de recuperación de Nilón-6.....	119
5-UGO-28.0. Carta geométrica para recipientes cilíndricos bajo carga compresiva o externa (para todos los materiales).....	165
5-UCS-28.1. Carta para determinar espesor de cuerpos cilíndricos y esféricos de recipientes bajo presión externa construídos de acero inoxidable.....	167
5-UCS-28.2. Carta para determinar espesor de cuerpos cilíndricos y esféricos de recipientes bajo presión externa construídos de acero al carbón SA-537.....	168
5.9. Carta psicométrica para aire-agua.....	174

RESUMEN

En México la única poliamida que actualmente se produce es el Nilón-6. El Nilón-6 pertenece al grupo de los polímeros termoplásticos, en la producción de este polímero, así como, en todos los demás polímeros que se conocen, se genera una cantidad considerable de desechos al procesarlos, estos desechos se originan por diversos motivos (maquinado de piezas sólidas, piezas defectuosas, etc), estos desechos en algunos casos pueden ser reciclados, este es el caso del Nilón-6 que puede ser reciclado mecánicamente. Pero este reciclado es para aplicaciones menores a los productos a que originalmente esta destinada la producción de este polímero, es decir, si el Nilón-6 se utiliza para producir fibras, filamentos y piezas moldeadas con un grado de calidad establecido, no se pueden incorporar los desechos al proceso de producción normal de estos productos fundiéndolos, debido a que estos desechos contienen cierta cantidad de aditivos adicionados durante el procesamiento del polímero para obtener una forma útil, si se incorporan estos desechos al proceso de producción normal, esto traería como consecuencia una baja en la calidad del producto y por ende bajaría su aceptación en el mercado.

Este trabajo trata una alternativa de reciclamiento del Nilón-6. Este es el reciclado químico del Nilón-6 por medio de una despolimerización (operación en masa contraria a la polimerización) de los desperdicios de Nilón-6. Con este método alternativo de reciclamiento se obtiene directamente el monómero *ε*-caprolactama con un alto grado de pureza, este monómero obtenido puede ser incorporado directamente al proceso de polimerización de la *ε*-caprolactama para obtener Nilón-6. El método propuesto tiene gran ventaja con respecto al reciclamiento mecánico, debido a que en este caso no se condicionan los usos en los que puede utilizarse el producto obtenido, ya que se repolimeriza éste y después se puede usar para fabricar cualquier producto de los que actualmente se producen con Nilón-6.

Además se diseñó un proceso para poder llevar a cabo esta despolimerización de los desperdicios de Nilón-6 y se desarrolló la Ingeniería Básica para una planta que maneje este tipo de proceso.

INTRODUCCION.

Esta tesis se ha realizado en el Instituto de Investigaciones en Materiales con el propósito de contribuir a la solución de un problema que actualmente aqueja a nuestra sociedad; este problema es la contaminación ambiental producida por desperdicios poliméricos. En particular, aquí se propone un proceso para reutilizar los desperdicios del Nilón-6, consistente en su despolimerización a e-caprolactama y su posterior repolimerización. Dicho proceso presenta algunas ventajas comparativas respecto al proceso industrial en uso. La motivación que dio origen a este trabajo es el aprovechamiento al máximo de todos los materiales de desecho, ya que estamos en una época en la que ya no hay cabida para despilfarrar los recursos naturales y en la que se busca la mayor competitividad y eficiencia por parte de las industrias.

El trabajo está estructurado de la siguiente manera: en el Capítulo I se fundamenta la elección de este tema y se plantea el problema que dio origen a esta tesis, así como, el objetivo general del trabajo y los objetivos particulares.

El Capítulo II, llamado de Generalidades, pretende proporcionar al lector toda la información básica acerca del Nilón-6 y de la e-caprolactama. Esta información incluye desarrollos históricos, propiedades más importantes, procesos de producción, aspectos económicos (producción, importación, exportación, precios, productores, consumidores, etc.) tanto para el monómero (e-caprolactama) como para el polímero (Nilón-6).

En el Capítulo III se trata todo lo referente al desarrollo experimental que se sigue para llevar a cabo la despolimerización de desperdicios sólidos de Nilón-6, provenientes de procesos industriales, así como, fundamentar las técnicas instrumentales utilizadas para caracterizar todas las muestras de monómero y polímero usadas en el laboratorio.

Los resultados experimentales, el estudio cinético de la reacción de despolimerización (determinación del orden y velocidad de reacción), la caracterización de las muestras obtenidas, así como, el procedimiento para la re-polimerización de la ϵ -caprolactama y su utilidad para el reciclamiento se analizan en el Capítulo IV.

En el Capítulo V se diseña un proceso y se desarrolla la ingeniería básica para una planta de recuperación de Nilón-6. En este capítulo se elaboran documentos típicos como son: Bases de diseño, diagrama de flujo de proceso (DFP), diagrama de tubería e instrumentación (DTI), diagrama de tubería e instrumentación de servicios auxiliares, plano de localización general de equipo (PLGE) y el plano de integración.

Por último, en el Capítulo VI se presentan las conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO I
FUNDAMENTACION Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1. FUNDAMENTACION DE LA ELECCION DEL TEMA.

En los últimos años se ha despertado un gran interés económico-industrial por el reciclado de los materiales poliméricos y una creciente conciencia por proteger el medio ambiente, por una buena parte de la comunidad (científicos, investigadores, industriales, políticos, ciudadanos, etc.). Este interés ha hecho posible buscar el máximo aprovechamiento de materiales que se desechan. Algunos de estos materiales hasta hace poco tiempo, se creía que no eran reciclables, en otros, su tratamiento para eliminarlos es demasiado costoso. Además, llega a ser tal la cantidad de estos desechos que se presentan problemas de contaminación en las comunidades. Este es el caso en particular de los polímeros (plásticos, hules, fibras y recubrimientos).

Esta tesis pretende contribuir al aprovechamiento de estos desechos, mediante la implementación de un proceso para reciclar químicamente el "Nylon-6" (poli-e-caprolactama, conocido en la lengua española como nilón-6). De lograrse resultados positivos se tendrá una herramienta para interesar a los inversionistas e industriales en la inversión de un proyecto para escalar este trabajo a nivel planta piloto.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.^{2,16,18,25.}

Existen en la República Mexicana cinco grandes empresas dedicadas a la producción de Nilón-6 en diferentes presentaciones finales, pero solamente 2 producen Nilón-6 en forma de gránulos ("pellets") principalmente para aplicaciones textiles, estas dos empresas se dedican a polimerizar la e-caprolactama. Estas empresas son responsables de una producción anual de este material del orden de 57,000 toneladas (datos de 1990: fuente ANIQ) con una tasa de crecimiento de aproximadamente 12.5% / año (1980-1991).

La mayor parte del Nilón-6 que estas dos empresas producen lo venden en forma de "pellets" a empresas medianas y pequeñas, las cuales, dependiendo de la aplicación, agregan a éste: pigmentos, estabilizantes,

agentes antiestáticos, retardantes de la combustión o llama, lubricantes, plastificantes, rellenos, agentes espumantes, refuerzos, agentes acopladores, etc. Para después procesar o conformar el polímero por diversas técnicas. Las técnicas utilizadas son: extrusión, moldeo por inyección, moldeo por soplado, conformado al vacío, laminado, calandrado, moldeo por compresión y colado. La selección de la técnica depende de la forma final del producto requerida por el fabricante ya sea: filamentos, piezas sólidas, envases, hojas, tubos, bolsas, recubrimiento de alambre y cable, formas huecas, fibras, barras, placas, etc. En este caso casi todo el Nilón-6 se vende a la industria textil para la fabricación de fibras.

Muchas de las formas sólidas obtenidas, como la barra, placa y piezas moldeadas deben ser rectificadas, por maquinado, de acuerdo a las especificaciones del cliente, de esta manera se obtiene una cantidad considerable de desechos. Otras como medias para mujer y envases para alimentos tienen periodos cortos de vida. Además también se generan desechos al iniciar cualquier proceso de conformado del polímero, debido a piezas defectuosas, problema que se soluciona hasta que se alcanza una producción continua o de régimen permanente. Así mismo, se obtienen desechos por la terminación de estos procesos y por el mantenimiento o reparación de equipos. De esta manera se genera una cantidad apreciable de desecho "limpio", el cual puede ser reciclado con mayor facilidad que el desecho que se obtiene de la basura industrial o municipal.

De las dos grandes empresas que se dedican a polimerizar la e-caprolactama y obtener Nilón-6, solamente Celanese Mexicana S.A. cuenta con un método de reciclamiento y eliminación de sus desechos. Al parecer, la otra industria polimerizadora de Nilón-6 y las que se dedican a la producción de diferentes productos terminados de Nilón-6 no cuentan con los suficientes recursos para instalar una planta de este tipo, debido a que los procesos que actualmente se conocen para reciclar el Nilón-6, requieren de una fuerte inversión, en equipo e instalación. De ahí que surgió la idea de desarrollar un método de reciclamiento que sea de menor inversión y que permita a esas empresas u otras dedicadas al reciclamiento reutilizar los desechos. De esa manera se apoya a

empresas medianas y pequeñas ya que, cabe aclarar que estos desechos son un problema de costos importante para dichas empresas, debido a que no los pueden tirar, a cielo abierto y les ocupa un espacio significativo en sus plantas, además del costo social de contaminación del ambiente.

El producto que se quiere obtener en este caso es el monómero (e-caprolactama), por medio de una despolimerización directa (reacción química en "masa" opuesta a la polimerización), para después reincorporar dicho monómero a la producción del polímero. A la fecha los procesos industriales existentes en el mundo para obtener el monómero involucran la despolimerización en solución acuosa, con un catalizador ácido y altas presiones. Después se destila y purifica la e-caprolactama. Este tipo de procesos requieren gran cantidad de equipo e implica altos costos de mantenimiento y operación.

Por otra parte es importante mencionar que el reciclado mecánico del Nilón-6 es complicado cuando tiene aditivos, ya que se modifican algunas propiedades durante el reproceso, lo que trae consigo una baja en la calidad del producto y por ende sus usos son en aplicaciones de menor calidad.

1.3. OBJETIVO GENERAL.

Desarrollar un método experimental que permita escalar el reciclamiento de Nilón-6 por despolimerización directa y re-polimerización de la e-caprolactama.

- 1.3.1. Diseñar en base a dicho método un proceso industrial para la obtención de e-caprolactama a partir de desechos de Nilón-6.
- 1.3.2. Desarrollar la ingeniería básica de una planta de obtención de e-caprolactama de acuerdo al diseño del proceso.

CAPITULO II.
GENERALIDADES.

2.1. DESARROLLO HISTORICO DE LA E-CAPROLACTAMA.²⁸

La e-caprolactama es conocida desde hace 95 años. En 1899 S.Gabriel y T.A.Mass sintetizaron e-caprolactama por ciclización de ácido e-aminocaproico. Tiempo después O.Wallach sintetizó la e-caprolactama por transposición de Beckmann de oxima de ciclohexanona. El interés comercial de la e-caprolactama se incrementó en 1938, cuando se produce la primera fibra de polímero por policondensación de e-caprolactama. La producción industrial en gran escala se incrementó rápidamente, en 1990, la producción mundial creció a razón de 4.5 millones de toneladas.

2.2. PROPIEDADES FISICAS DE LA E-CAPROLACTAMA.^{17,28.}

La e-caprolactama ($C_6H_{11}ON$) es un sólido blanco, higroscópico, cristalino y con olor característico. A continuación se presenta su fórmula desarrollada.



Las principales propiedades físicas se enlistan a continuación:

Peso molecular	113.16
Punto de fusión, °C	69.2
Punto de ebullición, °C	
a 101.3 KPa	268.5
a 6.7 KPa	174.0
a 1.3 KPa	134.0
a 0.4 KPa	111.0
Densidad, Kg/L.	
a 120 °C	0.9829
a 100 °C	0.9983
a 80 °C	1.0135

Viscosidad, mPa. s.	
a 120 °C	2.93
a 100 °C	4.87
a 80 °C	8.82
Calor específico, KJ/Kg K.	
a 150 °C	2.345
a 80 °C	2.135
Calor de fusión, KJ/Kg.	123.5
Calor de policondensación, KJ/Kg.	138.0
Calor de vaporización, KJ/Kg.	
a 268 °C	481.0
a 168 °C	574.0
a 105 °C	628.0
Presión de vapor, KPa.	
a 268 °C	101.3
a 168 °C	5.3
a 105 °C	0.25
Temperatura de ignición, °C	375.0
Límite mínimo de explosión	1.4% volumen a 135 °C.
Límite máximo de explosión	8.0% volumen a 180.5 °C.
Coefficiente de conductividad térmica.	
(KJ/m h K) a 76-183 °C.	0.5

Es soluble en solventes polares y aromáticos y ligeramente soluble en hidrocarburos alifáticos de alto peso molecular. La solubilidad de la ϵ -caprolactama en varios solventes se describe en la tabla 1.

Tabla 1.

Solubilidad de la *ε*-caprolactama (Zpeso) en varios solventes.

Solvente	Solubilidad a (° C)			
	20	30	40	50
Agua	82.0	86.5	90.0	93.5
Tolueno	26.0	36.5	51.0	66.5
Metil etil cetona	34.6	45.7	59.2	72.9
Ciclohexanona	34.6	42.2	54.5	68.2
Ciclohexano	2.0	2.5	7.0	18.5

2.3. PROPIEDADES QUIMICAS DE LA E-CAPROLACTAMA.^{17,28.}

La polimerización de la *ε*-caprolactama es su característica química más explotada industrialmente. El anillo se hidroliza a 260-270°C y forma una cadena lineal por policondensación. La reacción en equilibrio entre el monómero y el polímero se establece a una conversión de 90 % del polímero. La *ε*-caprolactama también puede ser polimerizada por polimerización aniónica.

Bajo influencia de todas las amidas cíclicas la *ε*-caprolactama sufre reacciones como oxidación, hidrólisis, N-alkilación, fosfogenación y nitración.

La *ε*-caprolactama es estable al calor en la ausencia de oxígeno pero fundida absorbe oxígeno atmosférico. El oxígeno reacciona a 75 °C con la *ε*-caprolactama para producir pequeñas cantidades de peróxido. Arriba de 100 °C se forma la imida de ácido adipico. Esta reacción es catalizada por trazas de metales pesados.

La e-caprolactama es convertida cuantitativamente a ácido e-aminocaproico por hidrólisis con ácidos acuosos o álcalis. Reacciona con fosgeno para dar un ester de ácido cloroformico de e-caprolactama. La nitración da nitrocaprolactama, y su subsecuente reducción da aminocaprolactama.

2.4. PROCESOS DE PRODUCCION DE LA E-CAPROLACTAMA. ^{2,26,27,28,29.}

Los procesos industriales en gran escala son, sin excepción, procesos multietapa en los cuales se forman subproductos como sulfato de amonio y algunos compuestos orgánicos.

Un proceso eficiente y rentable para la producción de e-caprolactama depende de la cantidad y tipo de subproductos formados. Grandes cantidades de sulfato de amonio son indeseables en la manufactura de la e-caprolactama porque reduce el rendimiento de esta.

Una gran cantidad de procesos industriales emplea ciclohexanona, ciclohexano, o tolueno como materiales iniciales.

Aproximadamente el 90% de la e-caprolactama es producida usando el proceso convencional de la ciclohexanona. La ciclohexanona es obtenida por oxidación catalítica de ciclohexano con aire, o por hidrogenación de fenol y dehidrogenación del subproducto de ciclohexano. La conversión de ciclohexanona a oxima de ciclohexanona es seguida por una transposición de Beckmann de e-caprolactama. El rendimiento de e-caprolactama a partir de ciclohexanona es del 98%.

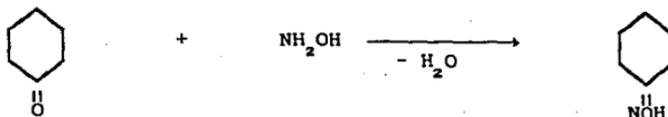
El 10% restante de la producción de e-caprolactama se hace por fotonitración de ciclohexano o por nitración de ácido ciclohexanocarboxílico en la presencia de ácido sulfúrico, en este proceso el ácido ciclohexanocarboxílico es producido a partir de tolueno.

2.4.1. PROCESOS VIA CICLOHEXANONA.

Este proceso es el más utilizado a nivel industrial para la producción de ϵ -caprolactama, de hecho la única empresa que produce ϵ -caprolactama en México (UNIVEX S.A.) utiliza este proceso. El proceso consta de dos partes fundamentales y estas son las siguientes: primero se elabora la oxima de ciclohexanona a partir de ciclohexanona e hidroxilamina para después hacer una transposición de la oxima y obtener la ϵ -caprolactama. A continuación se describe detalladamente todo el proceso.

2.4.1.1. OXIMA DE CICLOHEXANONA.²⁸

La reacción de ciclohexanona con hidroxilamina es el mejor método conocido para la producción de oxima de ciclohexanona.



La hidroxilamina es usada en forma de sulfato o fosfato.

Algunos productores elaboran hidroxilamina por el proceso modificado de Rasching usando sales de amonio como materiales iniciales. La oximación se lleva a cabo con una solución acuosa de sulfato de hidroxilamina conteniendo sulfato de amonio. El ácido sulfúrico liberado es neutralizado con amonía para formar sulfato de amonio. La cantidad de sulfato de amonio formado durante la oximación es de 2.7 toneladas por tonelada de oxima de ciclohexanona.

El proceso BASF para la producción de solución de sulfato de hidroxilamina genera 0.7 toneladas de sulfato de amonio por tonelada de oxima de ciclohexanona durante la etapa de oximación. Este proceso obtiene la solución de hidroxilamina por hidrogenación de óxido nítrico

con catalizador de platino en la presencia de ácido sulfúrico diluido. La solución de sulfato de hidroxilamina se hace reaccionar con ciclohexanona y amoníaco en un reactor. Esta reacción se lleva a cabo por mezclado y a una temperatura de 85-90 °C en una solución ácida débil.

La oxima de ciclohexanona se obtiene fundida. Esta es separada de la solución acuosa de sulfato de amoníaco en un tanque separador. La solución acuosa de sulfato de amoníaco se purifica para quitarle sustancias indeseables y utilizarla como fertilizante en forma de sal en grado técnico.

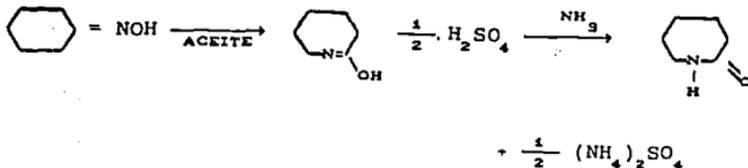
2.4.1.2. TRANSPOSICION DE BECKMANN A E-CAPROLACTAMA.²⁸

Toda la manufactura de e-caprolactama utiliza ácido sulfúrico o aceite como medio de transposición. La transposición es más completa en ácido sulfúrico concentrado. El exceso de trióxido sulfuroso incrementa la velocidad de la transposición.

La transposición incluye la apertura del anillo ciclohexil, es una reacción muy rápida y altamente exotérmica.

Dado que la transposición de Beckmann es una reacción altamente exotérmica, la oxima de ciclohexanona fundida y el aceite concentrado (27%) son introducidos simultáneamente dentro de una gran cantidad de producto ya transpuesto.

El trióxido sulfuroso se une al agua en la oxima de ciclohexanona húmeda para formar ácido sulfúrico y catalizar la transposición. El enfriamiento reduce el calor generado por la reacción. La reacción da el sulfato de caprolactama en exceso de ácido sulfúrico. Este es hidrolizado por neutralización con amoníaco o agua amoniacal. Esta reacción tiene lugar de acuerdo con las siguientes ecuaciones:



La mezcla transpuesta es removida del reactor a la razón en que es formada. Esta se neutraliza con amonía y agua para prevenir la precipitación de sulfato de amonio sólido. El producto de la reacción es separado de la solución de sulfato de amonio concentrada, mientras la e-caprolactama cruda se recupera al 70% en solución acuosa. La e-caprolactama cruda es removida en un tambor separador y alimentada a un extractor.

La e-caprolactama es extraída con solventes como benceno, tolueno o hidrocarburos clorados. La e-caprolactama virtualmente libre de la solución acuosa es descargada mientras los desperdicios se llevan a una planta de tratamiento o son incinerados.

La solución de sulfato de amonio es concentrada evaporando el agua y cristalizando.

La e-caprolactama es alimentada a una columna de destilación para liberarla del solvente a presión reducida. La e-caprolactama muy pura se obtiene fundida y después se solidifica en forma de copos o escamas.

El rendimiento de la e-caprolactama puede ser mejorado reduciendo la formación de subproductos indeseables por medio de transposición multietapa y el ajuste de las condiciones de la reacción en cada etapa. La concentración de ácido, la concentración de trióxido sulfuroso libre, la cantidad de oxima agregada, la temperatura de reacción y el grado de mezclado son las variables críticas en cada etapa.

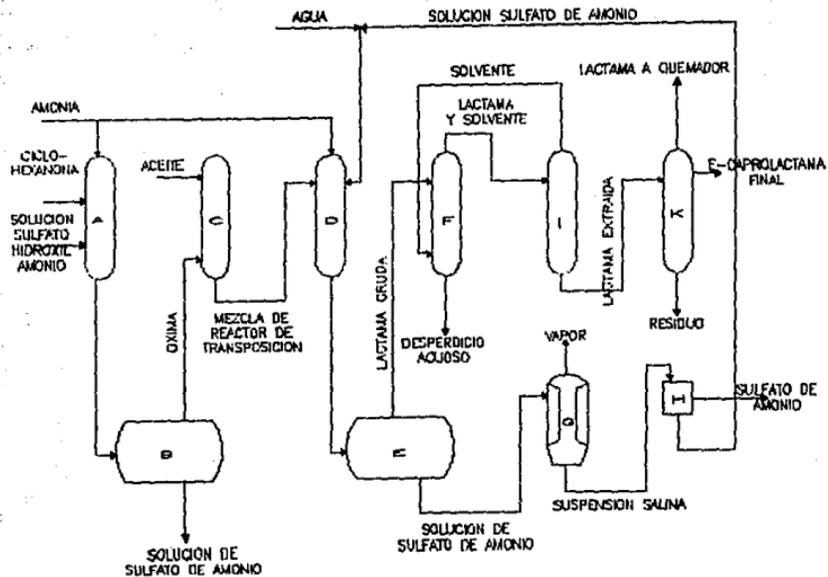


FIG.2.1.- PROCESO BASICO PARA LA PRODUCCION DE E-CAPROLACTAMA.

A)OXIMACION;B)SEPARACION DE LA OXIMA;C)TRANSPOSICION;D)NEUTRALIZACION;E)SEPARACION DE LACTAMA CRUDA; F)EXTRACCION;G)CRISTALIZACION;H)CENTRIFUGACION;I)DESTILACION DE SOLVENTE;K)DESTILACION DE LACTAMA.

Algunos procesos difieren del proceso BASF (ver figura 2.1) en que estos purifican la e-caprolactama cruda. Es importante mencionar que actualmente BASF ya no produce Nilón-6.

En el proceso de Allied Chemical la extracción con solvente es seguida por la cristalización de la solución acuosa de e-caprolactama.

En el proceso DSM la e-caprolactama cruda primero es extraída con un solvente y después reextraída con agua. Antes de ser destilada, la e-caprolactama extraída es sujeta a un número de purificaciones fisicoquímicas como la hidrogenación y el tratamiento de intercambio de iones.

Polimex desarrolló un proceso diferente por la combinación de cristalización de la solución acuosa de e-caprolactama y el tratamiento de oxidación. Este proceso de purificación físico y químico es seguido de destilación.

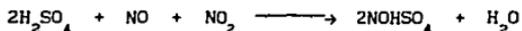
2.4.4. PROCESO DE FOTOXIMACION.^{26,27,28,29.}

En los años 50's Toray Industries desarrolló un proceso fotoquímico para la producción de e-caprolactama.

La fotonitración (PNC) convierte el ciclohexano a oxima de ciclohexanona dihidroclorada seguida de transposición de Beckmann.

El ciclohexano se hace reaccionar con cloruro de nitrosilo para dar oxima de ciclohexanona dihidroclorada de acuerdo a las siguientes reacciones:

- a) Preparación de ácido nitrosilsulfúrico partiendo de gases de nitrógeno obtenidos de la combustión de amonía y ácido sulfúrico.



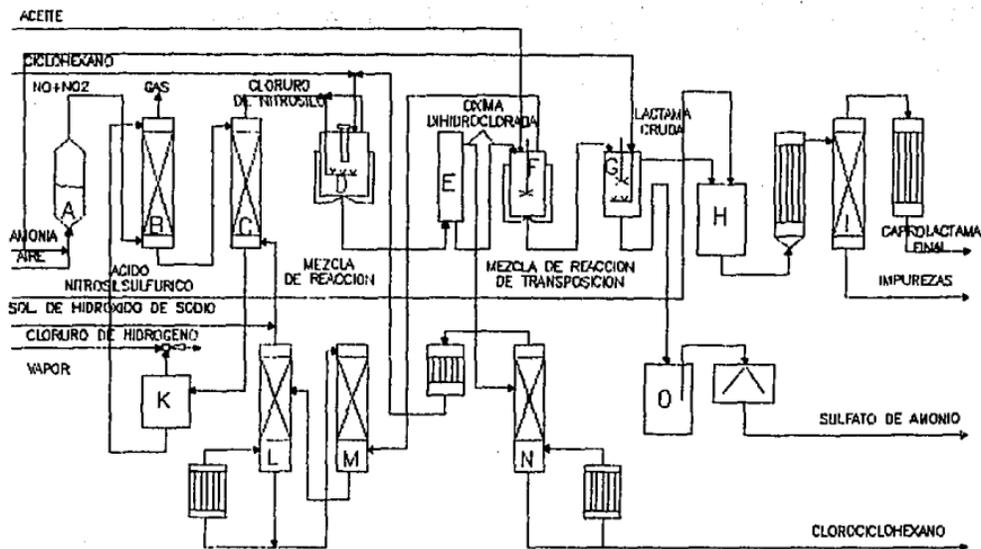
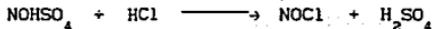


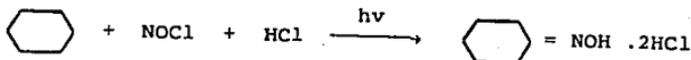
FIG.2.2.- PROCESO TORAY PARA LA PRODUCCION DE E-CAPROLACTAMA

A) COMBUSTION DE AMONIA; B) GENERADOR DE AC. NITROSILSULFURICO; C) GENERADOR DE CLORURO DE NITROSIL; D) FOTOOXIDACION; E) SEPARACION DE LA OXIMA DE CICLOHEXANINA DEL CICLOHEXANO; F) TRANSPOSICION; G) NEUTRALIZACION; H) TRATAMIENTO QUIMICO; I) SECADO Y DESTILACION DE LA LACTAMA; K) OXIDACION DE AC. SULFURICO; L) GENERADOR DE H₂L; M) RECUPERACION DE H₂L; N) RECUPERACION DE CICLOHEXANO; O) RECUPERACION DE SULFATO DE AMONIO

b) Preparación del cloruro de nitrosilo por la reacción con ácido clorhídrico.



c) Reacción fotoquímica.



El proceso industrial de la fotonitración se basa en el desarrollo de un fotoreactor eficiente. Toray diseñó una lámpara de inmersión con una alta eficiencia de radiación y capacidad la cual tiene una larga vida. Un ordenador para remover la radiación de onda corta abajo de 565 nm, la cual contribuye a eliminar la formación de alquitrán en la lámpara. La fuente de luz es rodeada por un filtro de vidrio.

La oxima de ciclohexanona producida por fotonitración de ciclohexano es separada del dihidroclorado en la presencia de un exceso de HCl. Este compuesto se asemeja a las gotas de aceite y forma una fase en la parte inferior, la cual es sujeta a transposición de Beckmann con exceso de ácido sulfúrico o aceite para dar ϵ -caprolactama. El HCl se libera y es reciclado. La mezcla de la reacción de transposición es neutralizada con agua amoniacal para dar ϵ -caprolactama cruda y sulfato de amonio (vease figura 2.2.).

DESCRIPCION DEL PROCESO PNC.

Los gases nitrosos son producidos en un quemador de amonio y enfriados. Estos se hacen reaccionar con ácido sulfúrico para formar el ácido nitrosilsulfúrico. Este se pone en contacto con un exceso de HCl para dar cloruro de nitrosilo. El ácido sulfúrico remanente es deshidratado y reciclado en la etapa de producción de cloruro de nitrosilo. Los gases mezclados de cloruro de nitrosilo y HCl son pasados a través de ciclohexano líquido. La conversión a oxima dihidroclorada se lleva a cabo en un fotoreactor con luz actínica de una lámpara de inmersión de mercurio. Este producto es separado en el fondo como un aceite pesado. Para prevenir el depósito de sales de oxima y compuestos resinosos en la lámpara, ésta es lavada periódicamente con ácido sulfúrico concentrado. La energía térmica emitida por la fuente de luz es removida con agua de enfriamiento. Como el cloruro de nitrosilo, HCl y la oxima dihidroclorada son extremadamente corrosivos, el fotoreactor es construido de titanio o cubierto con esmalte o PVC.

El cloruro de nitrosilo formado es removido del fotoreactor con un exceso de HCl y reciclado en la reacción fotoquímica. La oxima dihidroclorada es entonces transpuesta con aceite. El ciclohexano que no reaccionó es purificado durante la regeneración del ciclohexano y reusado. El HCl es liberado durante la transposición de Beckmann y es transportado bajo las mismas condiciones con la oxima pura, la cual es absorbida durante la regeneración del HCl en ácido dihidroclorhídrico diluido. La solución es concentrada en el HCl de la etapa de recuperación y reciclada en la producción de cloruro de nitrosilo. La mezcla de la reacción de transposición es neutralizada con agua de amonía y la e-caprolactama pura acuosa es purificada. Esta incluye un proceso químico, secado y destilación. La solución de sulfato de amonio es cristalizada por evaporación, en el proceso PNC de Toray se producen 1.55 toneladas de sulfato de amonio por tonelada de e-caprolactama.

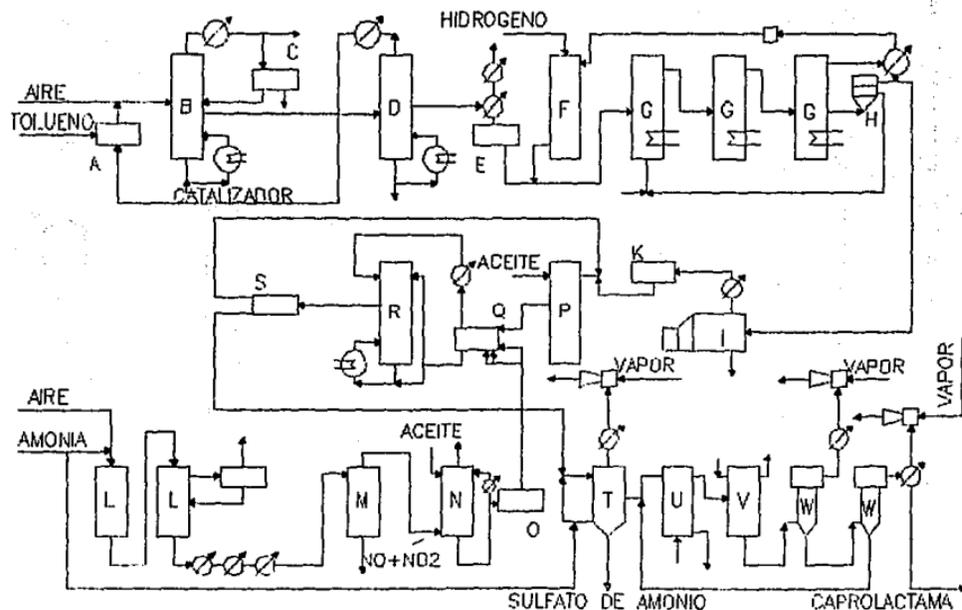


FIG. 2.3.— PROCESO SNIA PARA LA PRODUCCION DE E-CAPROLACTAMA.

A) TOLUENO; B) OXIDACION; C) SEPARACION; D) RECTIFICACION; E) TOLUENO; F) MEZCLA AC. BENZOICO/HIDROGENO; G) HIDROGENACION DE AC. BENZOICO; H) REMOCION DE CATALIZADOR; DESTILACION DE AC. CICLOHEXANOCARBONICO; I) TOLUENO; J) MEZCLA AC. CICLOHEXANOCARBONICO/ACEITE; K) TRAZA DE POSICION; R) HIDROLISIS; S) SOLN. DE AC. CICLOHEXANOCARBONICO EN CICLOHEXANO; T) NEUTRALIZACION Y CRISTALIZACION DE SULFATO DE AMONIO; U) EXTRACCION DE SOLVENTE; V) EXTRACCION AGUA; W) DESTILACION DE LACTAMA.

2.4.3. PRODUCCION A PARTIR DE TOLUENO.^{26,27,28,29.}

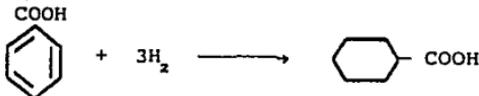
La compañía Snia Viscosa desarrolló un proceso basado en tolueno en 1960.

La ϵ -caprolactama es obtenida en tres etapas:

a) Oxidación catalítica de tolueno con aire a ácido benzóico.



b) Hidrogenación de ácido benzóico a ácido ciclohexanocarboxílico.



c) Nitrosodecarboxilación de ácido ciclohexanocarboxílico a ϵ -caprolactama en la presencia de aceite. (Vease figura 2.3).



DESCRIPCION DEL PROCESO SNIA.

La oxidación de tolueno con aire ocurre en fase líquida usando cobalto como catalizador a 160-170°C y una presión de 8 a 10 bar. El rendimiento en teoría es de alrededor del 90%. Los gases del reactor de oxidación contienen solamente nitrógeno con pequeñas cantidades de oxígeno, monóxido y dióxido de carbono. Estos son enfriados a 7-8°C para recoger el tolueno sin reaccionar. El agua acumulada durante la reacción es removida a un tanque separador y el tolueno es reciclado al reactor. Al adicionar el tolueno y el cobalto como catalizador, el producto de reacción líquido contiene aproximadamente 30% de ácido benzoico y varios intermediarios como subproductos.

La mayor parte del tolueno es recuperado por destilación, y la solución concentrada remanente se introduce en una columna de rectificación. El bajo punto de ebullición de los intermediarios y el tolueno remanente permite que puedan ser removidos y reusados. El ácido benzoico en forma de vapor es removido de la columna de rectificación en una corriente lateral. Los productos pesados de alto punto de ebullición quedan como residuo en la columna. Estos incluyen sales de cobalto las cuales pueden ser reprocesadas. El ácido benzoico obtenido es adecuado para hidrogenación con una purificación adicional.

La hidrogenación de ácido benzoico a ácido ciclohexanocarboxílico ocurre en fase líquida en la presencia de paladio o grafito como catalizador. Una serie de reactores agitados son usados a una temperatura de 170°C y presión de 10 a 17 bar. La conversión es del 99.9%. El catalizador es separado por centrifugación del producto líquido de la reacción, mezclado con ácido benzoico, y reusado en la hidrogenación. El ácido ciclohexanocarboxílico es destilado a presión reducida. Un 73% de la solución de ácido nitrosilsulfúrico en ácido sulfúrico es usado en la nitración de ácido ciclohexanocarboxílico y es obtenido por absorción de gases de

nitrógeno (de la combustión de amonio) en ácido sulfúrico concentrado o aceite. El ácido ciclohexanocarboxílico es premezclado con aceite a temperatura ambiente y alimentado a un reactor de nitración multietapa. Definiendo exactamente las cantidades de ácido ciclohexanocarboxílico y ácido nitrosilsulfúrico que van a reaccionar en cada etapa, aseguramos la reacción completa del agente de nitración. La razón de conversión del ácido ciclohexanocarboxílico es mantenida alrededor del 50%. Una mol de CO₂ por mol de e-caprolactama se obtiene con pequeñas cantidades de otros gases como óxido nítrico, CO, SO₂ y nitrógeno. Dependiendo de la formación de ácidos orgánicos, se pierde menos del 10% del rendimiento.

Durante la reacción 3.3 moles de ácido sulfúrico por mol de e-caprolactama son consumidos, la nitración con subsecuente transposición es la parte más importante de este proceso.

Los productos de la etapa de nitración-transposición son hidrolizados con agua a baja temperatura. El residuo final es un extracto de la solución de ácido sulfúrico, el cual es diluido con agua, después extraído a contracorriente usando ciclohexano como solvente. El ácido ciclohexanocarboxílico recogido es liberado del solvente y reciclado a el proceso. La solución de e-caprolactama acidificada contiene un exceso de ácido sulfúrico y es alimentada a una etapa de neutralización con amoníaco. La neutralización se lleva a cabo directamente en un cristallizador a presión reducida. Se forman dos capas de líquido, la primera es una solución de sulfato de amonio saturada y la otra una solución acuosa de e-caprolactama concentrada. La solución de e-caprolactama es purificada en varias etapas. Primero se separa la e-caprolactama de los subproductos y el agua por extracción con tolueno. Después se obtiene nuevamente una solución acuosa de e-caprolactama por extracción a contracorriente de la solución de tolueno. Los subproductos remanentes solubles en el tolueno se quedan en la capa orgánica. El agua es removida de la solución acuosa de e-caprolactama por destilación para obtener e-caprolactama pura.

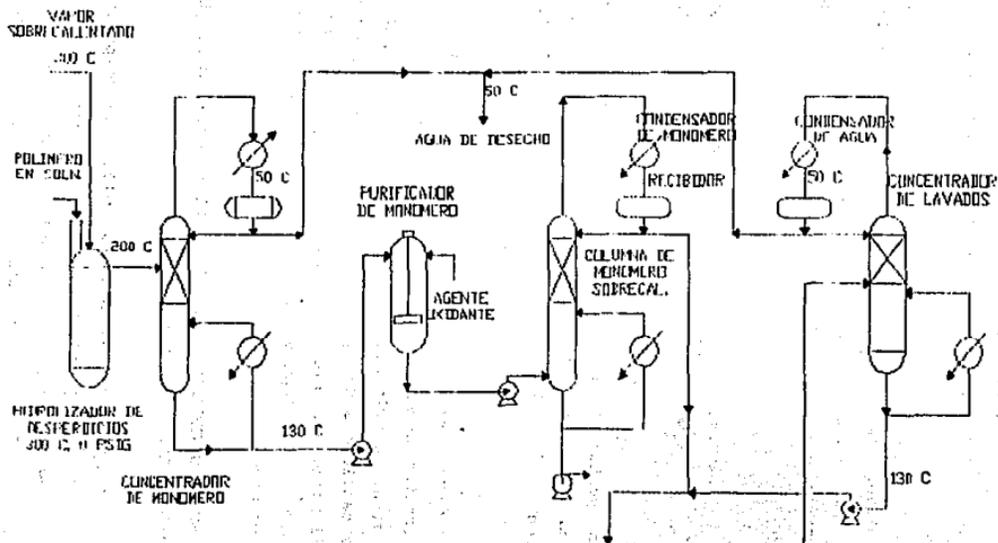
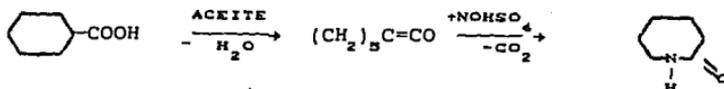


FIG. 24. Proceso de obtención de ε-caprolactam a partir de desperdicios de Nylon-6 con vapor sobrecalentado.

La cristalización de la solución separada de sulfato de amonio saturada da 4.1 toneladas de sulfato de amonio por tonelada de e-caprolactama.

Centrando la investigación en la reducción de la producción de sulfato de amonio se hace lo siguiente: el ácido ciclohexanocarboxílico es tratado con aceite para producir penta metilacetona.



La pentametilacetona es entonces nitrosodecarboxilada a e-caprolactama en la presencia de aceite. La producción de sulfato de amonio decrece a 2 toneladas por tonelada de e-caprolactama por esta ruta.

La segunda opción no produce sulfato de amonio como resultado de una modificación en el procedimiento de separación. La e-caprolactama disuelta en el ácido sulfúrico es extraída por dilución de la solución con pequeñas cantidades de agua, la cual es entonces reextraída con un alkifenol. El ácido sulfúrico remanente es sujeto a un cracking térmico, el cual destruye las impurezas, y el dióxido de azufre formado es reciclado a el proceso.

2.4.4. PROCESO DE OBTENCION DE E-CAPROLACTAMA A PARTIR DE DESPERDICIOS DE NILON-6 CON VAPOR SOBRECALENTADO.⁵²

Los desperdicios de Nilón-6 sólido son despolimerizados por hidrólisis con vapor sobrecalentado como se muestra en la figura 2.4. en un reactor. La mezcla resultante es una solución acuosa de monómero de e-caprolactama, la cual es alimentada a una columna de evaporación para concentrar el monómero. El monómero concentrado es purificado por adición de un agente oxidante el cual convierte las impurezas a un compuesto fácilmente removible.

La e-caprolactama es bombeada a una columna de destilación donde es purificada por destilación. La e-caprolactama líquida que se obtiene de la destilación es incorporada al proceso de producción de Nilón-6.

Las aguas de lavado de las fibras de Nilón-6 contienen oligómeros de e-caprolactama. Los oligómeros son separados después de la preconcentración en un evaporador de película fina y entonces son despolimerizados en la misma manera que los desperdicios sólidos de Nilón-6. La solución acuosa resultante es purificada de la misma manera y contiene principalmente e-caprolactama y pequeñas trazas de compuestos de bajo punto de ebullición.

Los oligómeros también pueden ser despolimerizados por otros métodos. Las aguas de lavado de la producción de fibras de Nilón-6 son concentradas a una temperatura suficientemente alta para mantener los oligómeros en solución.

La solución de e-caprolactama-oligómeros es alimentada a un reactor de lecho fluidizado. Los oligómeros son crackeados a 275-350°C.

Se utiliza un catalizador especial de óxido de aluminio para obtener un rendimiento de 95 % de e-caprolactama a partir de los oligómeros alimentados. Después del cracking, la e-caprolactama es purificada por métodos convencionales.

2.4.5. PROCESO DE OBTENCION DE E-CAPROLACTAMA A PARTIR DE DESPERDICIOS DE NILON-6 EN SOLUCION ACUOSA ACIDA.⁵³

En este proceso se hace una despolimerización térmica de los desperdicios de Nilón-6 usando vapor sobrecalentado y como catalizador ácido fosfórico. Esta despolimerización se lleva a cabo en un reactor y la mezcla resultante es una solución acuosa de e-caprolactama con variación en la composición entre 5 a 30 % de e-caprolactama. También se obtienen otros materiales orgánicos que son formados por la interacción del producto de la despolimerización con los aditivos usados en la

polimerización de e-caprolactama o adicionados al Nilón-6 fundido antes de la formación de fibras (por ejemplo antioxidantes, rellenos, etc). El contenido de estas sustancias indeseables varía en la solución de despolimerización de 0.01 a 0.1 % y contiene también varias sustancias fácilmente oxidables con permanganato de potasio. Estos materiales son llamados sustancias oxidables y bases volátiles. Aparte de las sustancias ya mencionadas, también se obtienen otros compuestos de la despolimerización, estos materiales no han podido ser definidos exactamente y son la causa de olor desagradable.

Como parte de la purificación de las soluciones acuosas de e-caprolactama obtenidas de la despolimerización se evapora el agua a vacío para después destilar la e-caprolactama a vacío en la presencia de aditivos químicos activos y entonces se redestilan para remover los componentes ligeros y pesados que contiene la e-caprolactama.

Con el proceso antes descrito no se obtiene una calidad satisfactoria de la e-caprolactama. Un mejoramiento importante en la calidad es obtenida por incorporación de una etapa de purificación preliminar de las soluciones acuosas de e-caprolactama, por medio de una extracción con solventes orgánicos; cristalización de las soluciones acuosas; por el uso de intercambio de ión o por uso de permanganato de potasio. Para continuar la purificación de la e-caprolactama por destilación a vacío multietapa con evaporadores de película y columnas de rectificación, el sistema trabaja continuamente a presiones de 1 a 10 torrícelli (absolutos) en la presencia de un alcalí.

En aplicaciones industriales el proceso más frecuentemente usado es un proceso combinado donde la e-caprolactama en solución acuosa es preliminarmente purificada con un solvente orgánico (hidrocarburo clorado, benceno o una mezcla de solventes). El extracto es removido del solvente orgánico por extracción directa con vapor de agua. La e-caprolactama es separada del agua por destilación y rectificación al vacío de 1 a 10 torrícelli en la presencia de alcalis o en la presencia de ácido fosfórico usado para reaccionar y remover las sustancias alcálinas volátiles. Durante la etapa de rectificación

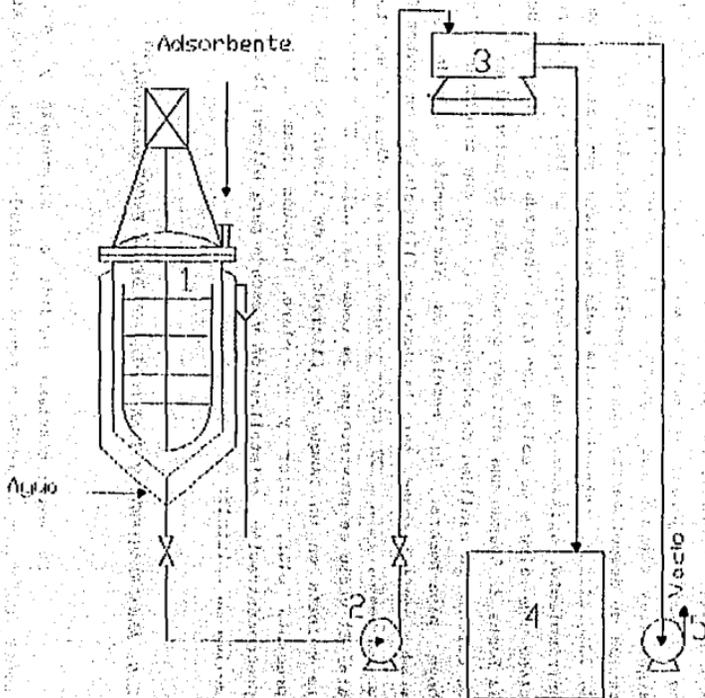


Fig. 2.5. Proceso de obtención de ε-caprolactam a partir de desperdicios de Nylon-6 en solución acuosa.

se separan los compuestos ligeros y pesados del producto principal que se utiliza para volverlo a polimerizar.

Se ha intentado mejorar el proceso de purificación de las e-caprolactamas obtenidas por este método de despolimerización, ya que estas muestran tienen un olor desagradable y están coloridas, ligeramente café, café oscuro o significativamente rosas, además de que estas soluciones presentan turbidez debido a sustancias insolubles como los oligómeros de la e-caprolactama y a los aditivos introducidos en el proceso de conformado del Nilón-6. El diagrama de flujo del proceso de purificación mejorado se muestra en la figura 2.5. y consta de las siguientes etapas: los vapores de la e-caprolactama procedentes del equipo de despolimerización son enfriados y colectados en el recipiente de adsorción 1. este recipiente esta provisto con chaqueta de agua de enfriamiento, agitador y un termómetro. En un lado de este recipiente tiene una válvula de salida que esta conectada a la línea de succión de la bomba 2. Cuando una cantidad considerable de material se ha colectado se calcula la cantidad de adsorbente que hay que adicionar a través del hoyo pasa-hombre. La mezcla es fuertemente agitada y después gradualmente bombeada para la etapa de filtración en un tambor filtrador 3. El tambor rota a 39 rev/hr y opera con una cámara de succión a 0.54 atm. El vacío es provisto por la bomba de vacío 5. El filtrado producido se colecta en un tanque de filtrado 4 de aluminio. Este líquido no presenta olor, color y es claro. Después pasa a una etapa de preconcentración, cristalización y secado para obtener la e-caprolactama sólida en cristales.

2.5. ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTACION DE LA E-CAPROLACTAMA.²⁸

La e-caprolactama fundida es almacenada y enviada en contenedores de aluminio o acero inoxidable a una temperatura de 75-80°C en la ausencia de humedad y bajo una cubierta de nitrógeno conteniendo menos de 10 ppm de oxígeno.

La e-caprolactama sólida en forma de copos o escamas es envasada en bolsas de polietileno para propósitos generales, pero para utilizarla para polimerización aniónica se tiene que envasar en bolsas de papel aluminio. La e-caprolactama en copos o escamas se tiene que almacenar en lugares secos y protegerse de la luz directa del sol. La temperatura ambiental del cuarto de almacenamiento se debe mantener aproximadamente a 25°C y la humedad relativa de éste a menos de 65%. En áreas con altas temperaturas y humedad, se requiere reforzar las bolsas con otra bolsa adicional para mayor protección.

2.6. ASPECTOS ECONOMICOS NACIONALES DE LA E-CAPROLACTAMA.¹⁶

En esta parte se muestran datos económicos que son de gran importancia para poder hacer una evaluación de la factibilidad del proyecto que se desarrolla. Se analizan datos de mercado de la e-caprolactama (capacidad instalada, producción, usos, comercio exterior, consumo aparente y precios), principales productores y consumidores de este producto en México, y por último las perspectivas que tiene el producto. A continuación se explica con más detalle lo anteriormente expuesto.

2.6.1. CARACTERISTICAS GENERALES.

La e-caprolactama es un producto que se ha desarrollado paralelamente a la producción de fibras de Nilon-6, teniendo un crecimiento muy bueno debido a la diversificación de las aplicaciones del filamento industrial que se esta empleando en la industria pesquera y llantera.

2.6.2. MERCADO.

a) CAPACIDAD INSTALADA.

La Asociación Nacional de la Industria Química en 1991 reporta una capacidad instalada actual de 75,000 toneladas anuales.

La capacidad instalada se ha visto ampliada varias veces y en forma muy notoria de 50,000 ton/año en 1968 a 58,000 ton/año en 1987 y después a 75,000 ton/año en 1989, lo que nos da una idea de la gran demanda que ha tenido este producto.

b) PRODUCCION.

La producción pasó de 47,189 toneladas en 1980 a 71,000 toneladas en 1990, creciendo al 4.45% promedio anual.

En 1989 y 1990 se produjeron 62,488 y 71,100 toneladas respectivamente, significando un aumento del 16.73 en el primer año y un 13.78% en el segundo.

c) USOS.

La e-caprolactama se utiliza como materia prima en las siguientes áreas:

Mercado	1990 %
Polimerización: fibras.	90
Polimerización: plásticos.	9
Otros: cerdas, películas, revestimientos, plastificantes, etc.	1

Total	100.

d) COMERCIO EXTERIOR.

Las importaciones de e-caprolactama han tenido un comportamiento muy fluctuante, pero en los últimos años la tendencia es hacia la baja y en forma drástica, debido a que la calidad del producto nacional se ha elevado y prácticamente no es necesario importar este producto. La e-caprolactama que se compra al exterior es por requerimientos especiales.

En lo que respecta a exportaciones de este producto son nulas hasta la fecha, como se puede apreciar en la tabla 2 y figura 2.6.

e) CONSUMO APARENTE.

El consumo nacional aparente de 1980 a 1990 creció a una tasa promedio anual de 2.9% . En 1989 y 1990 tuvo alzas de 5.9 y 11.5% respectivamente.

f) PRECIO.

El precio que actualmente tiene la e-caprolactama es de N\$5.50 por kilogramo. Este precio es internacional y lo fijan las condiciones de demanda de este producto

2.6.3. PRODUCTORES.

Actualmente la única compañía que produce e-caprolactama en México es Univex S.A. con una capacidad instalada de 75,000 toneladas anuales y construcción de una ampliación a 150,000 toneladas anuales.

Esta planta esta ubicada en Salamanca, Guanajuato.

Esta empresa pasó a ser propiedad de Hoechst-Celanese recientemente.

2.6.4. CONSUMIDORES.

Los principales consumidores de e-caprolactama para polimerización y obtención de fibra , filamento y pellets de Nilón-6 son:

Celanese Mexicana S.A.
Fibras Sintéticas S.A.
Grupo AKRA(Nylon de México S.A.y Fibras Químicas S.A.)
KIMEX S.A.

2.6.5. PERSPECTIVAS.

Siendo un producto que se utiliza en la obtención de Nilón-6, y de acuerdo con la recesión que actualmente sufre éste tanto en México como a nivel mundial se prevee que la producción de e-caprolactama tiende a tomar un valor constante y de acuerdo a un estudio de proyección a futuro a cinco años que nos indica que este sigue una tendencia lineal constante (vease memorias de cálculo). Al menos por el momento no se prevee crecimiento en la producción de e-caprolactama y esto principalmente se debe al desplazamiento que tienen los productos de Nilón-6 en aplicaciones textiles por otros tipos de polímeros que presentan mejores propiedades.

De acuerdo a la figura 2.6 y tabla 2 la tendencia de las importaciones es a la baja, debido principalmente a la calidad del producto que ofrece el productor nacional.

TABLA 2
 CONSUMO NACIONAL DE ϵ -CAPROLACTAMA
 (1980-1990)

AÑO	PROD	IMPORT	EXPORT	CONSUMO APARENTE	INCREMENTO CONS APAR %	CAPAC INSTAL
1980	47189	3811		51000	-7	50000
1981	48483	3032		51515	1	50000
1982	46513	4650		51163	-0.7	50000
1983	49610	1585		51195	0.1	50000
1984	50851	3424		54275	6	50000
1985	52024	8450		60474	11.4	50000
1986	51334	2920		54254	-10.3	50000
1987	57800	7007		64807	19.4	58000
1988	53530	7832		61362	-5.3	58000
1989	62488	2515		65003	5.9	75000
1990	71100	1374		72474	11.5	75000
1991	75040			75773		
1992	72906			75654		
1993	75793			78304		
1994	78680			80954		
1995	81567			83604		

ECUACION DE AJUSTE: $P=41151+2886.86T$ C.A.= $46501.5+2650.24T$
 P=PRODUCCION T=TIEMPO
 C.A.= CONSUMO APARENTE

NOTA: TODOS LOS DATOS ESTAN EN TONELADAS
 FUENTE: ANIQ

E-CAPROLACTAMA

RELACION PRODUCCION-CONSUMO APARENTE

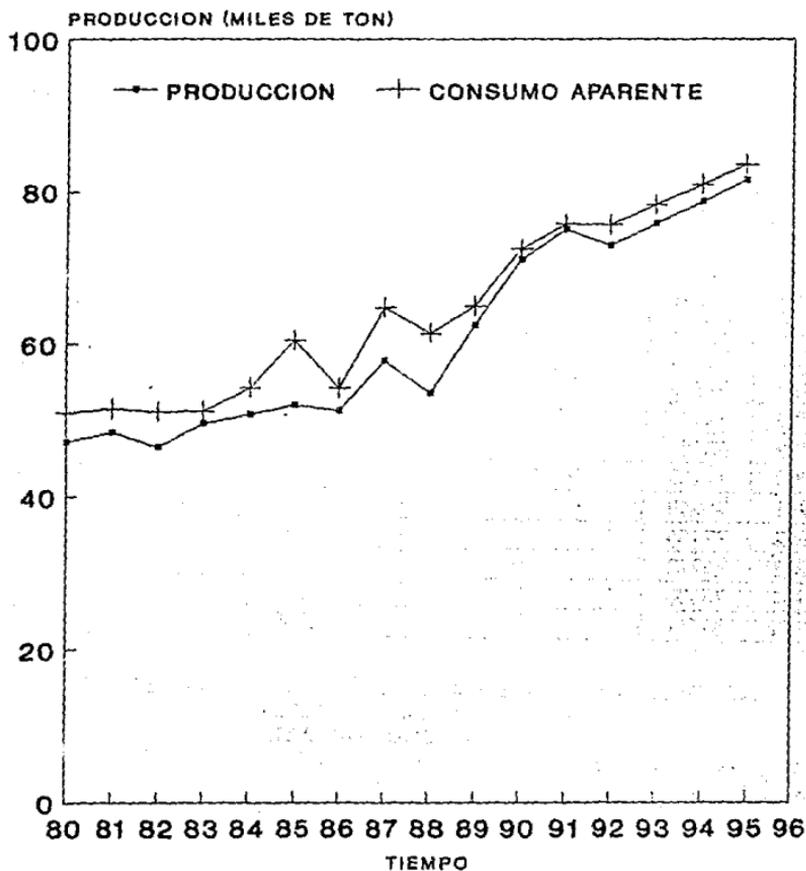


FIGURA 2.6

2.7. DESARROLLO HISTORICO DEL NILON-6.^{25,31,32.}

La policaprolactama o Nilón-6 fue obtenida en 1889 por calentamiento de ácido e-aminocaproico, sin embargo el interés comercial de este polímero creció con la obtención de la primera fibra de Nilón-6 y el descubrimiento de que la e-caprolactama polimerizaba por calentamiento con agua o con sales de amina, lo que sentó las bases para la síntesis económica de este polímero. Este descubrimiento fue anunciado el 27 de Octubre de 1938 por la Dupont de Nemours. La investigación había demandado al Doctor Wallace H. Carothers y a su equipo once años de trabajo y una bolsa total de unos 27 millones de dólares.

La primera planta para la producción de fibras de Nilón-6 fue instalada en 1939, la primera remesa de fibra de Nilón-6 salió a la venta en Octubre de 1939.

La I.G.Farbenindustrie produce los primeros monofilamentos de Nilón-6 bajo la marca registrada de Perluran en 1939. Las primeras aplicaciones fueron bajo la forma de fibras, medias y fibras para cepillos de dientes. En 1939 nació también la primera aplicación moldeada del Nilón-6 en forma de engranajes de máquinas para la industria textil.

La producción en pequeña escala de filamentos continuos de Nilon-6 fue iniciada en Alemania en 1940. El primer vestido totalmente realizado en Nilon-6 se presentó en una Feria Internacional en Nueva York en 1940.

La vida civil del Nilón-6 fue sin embargo de corta duración: en 1942, a la edad de 4 años, partía bajo las banderas. Totalmente requerido por el ejército sirvió magníficamente hasta el final de la guerra como tela de paracaídas, tiendas, cables, carpas de camión, y refuerzo para neumáticos de bombarderos pesados y otros aviones de combate.

Después de la Segunda Guerra Mundial, se inició la producción de Nilón-6 en la República Federal de Alemania.

La producción comercial del Nilón-6 en los Estados Unidos se reinicia con la gran escalada de producción de e-caprolactama, la cual es producida por primera vez en Febrero de 1955 por Allied Chemical Corp. Durante este mismo año, American Enka e Industrial Rayon, comienzan la producción de Nilón-6 en E.U.

La producción mundial de fibras de Nilón-6 pasó de 1,500 toneladas en 1940, a 55,000 toneladas en 1950 y a 4.5 millones de toneladas en 1989, con un crecimiento constante.

2.8. PROPIEDADES DEL NILON-6.^{7,8,19,25,30.}

El Nilón-6 es un polímero termoplástico y cristalino, p.e. 1.14. Puede ser extruido como monofilamento en un amplio intervalo dimensional. Presenta una gran resistencia a la tensión y tenacidad, hasta 8 gr. por denier. Presenta baja absorción de agua. Buena resistencia eléctrica, pero acumula cargas estáticas. Puede ser tejido con colorantes iónicos y no iónicos. Es atacado por minerales ácidos, pero resistente a los álcalis. Arde difícilmente, es autoextinguible, y funde formando perlas. No es tóxico.

Otras cualidades especiales del Nilón-6 son su resistencia a grasas y aceites, presenta muy buenas propiedades de barrera a los gases y tiene un bajo índice a la fricción.

A continuación se enlistan y se comparan algunas de las propiedades más importantes del Nilón-6 y del Nilón-66, debido a que el Nilón-66 es uno de los fuertes competidores del Nilón-6.

	Nilón-6.	Nilón-66.
Absorción (%).		
Agua, moldeo 20-90°C, saturación	9.5 ± 0.5.	8.5 ± 0.5
Etolanol, moldeo 20°C, saturación	9.0 - 17.0	9.0 -12.0
Butanol, moldeo 20°C, saturación	5.0 - 9.0.	4.0 - 8.0
Glicol, moldeo 20°C, saturación	6.0 - 13.0	2.0 -10.0
Metanol, moldeo 20°C, saturación	12.0 - 16.0	9.0 -14.0
Propanol, moldeo 20°C, saturación	9.0 - 13.0	9.0 -12.0
Coefficiente de expansión térmica, (K⁻¹) • 10⁵.		
20°C	7.0 - 10.0	7.0 -10.0
100°C	10.0 - 14.0	10.0 -14.0
Resistencia a la compresión, (MPa)=(Nmm⁻²).		
Temperatura 20°C, 2.5% H ₂ O	1% esfuerzo	14.0
	2% esfuerzo	28.0
	4% esfuerzo	56.0
	6% esfuerzo	70.0
Resistencia a la tensión(ISO-R 527) (MPa)		
seco 23°C	80.0 - 90.0	90.0
seco 100°C	30.0	40.0
húmedo 23°C Y 2% agua	50.0	60.0
húmedo 23°C y saturado en agua	22.0	35.0
Densidad, (Mgm⁻³).		
fundido a 270°C, 1 bar	0.960	0.989
Resistencia dieléctrica, (Vcm⁻¹)*10⁻⁴.		
seco	100.0	120.0
seco 100°C	40.0	40.0
húmedo ISO-1110	60.0	80.0
Entalpia, (KJkg⁻¹).		
60°C	60.0	85.0
100°C	135.0	170.0
200°C	380.0	420.0
250°C	585.0	590.0
300°C	750.0	850.0

Entropía de fusión, (J/Mol K)	44.0 - 47.5	83.0 - 86.0
Dureza Rockwell (ASTM D-785)	M-100	M105
Capacidad calorífica a 20°C, (J/molK)	204.0	374.0
Calor de combustión, (KJ/Kg)	-31.4	-31.4
Calor de cristalización, (KJ/Kg)	-46.5	-54.0
Calor de fusión, (KJ/Kg) a 25°C	190.0	196.0
Temperatura de ignición. (ASTM D 1929-1977), °C	400.0	390.0
Resistencia al impacto. Izod(ISO-180 método 1A), (Jm ⁻¹).		
seco 23°C	50.0 - 100.0	40.0 - 60.0
húmedo, ISO-1110, 23°C	120.0	110.0
Punto de fusión(ISO 3146, método C), °C	220.0	255.0
Módulo de elasticidad de Young(ISO-R 527).		
seco 23°C	3000.0	3300.0
húmedo, ISO-1110, 23°C	1500.0	1700.0
Seco 100°C	500.0	600.0
Peso molecular de la unidad repetitiva	113.2	226.3
Índice de oxígeno(ASTM-D 2863) seco, %	25.0 - 27.0	28.0 - 29.0
Índice de refracción	1.53	1.53
Conductividad térmica (W/m K)	0.23	0.23
Difusividad térmica, (cm ² /s)	1.8*10 ⁻³	----
Volumen específico, (cm ³ /g)		
fundido a 270°C y 1 bar	1.040	1.010
Volumen molar, (cm ³ /mol) a 20°C	103.0	207.5

El Nilón-6 es soluble en fenoles calientes, ácidos de m-cresol y fórmico; insoluble en la mayoría de los disolventes orgánicos.

2.9. PROCESOS DE PRODUCCION DE NILON-6.

El Nilón-6 puede ser producido por dos rutas básicas. La polimerización por adición en la cual se unen covalentemente las sustancias monoméricas, formando cadenas que pueden tener miles de unidades repetitivas. Esta ruta requiere la apertura del anillo de la

e-caprolactama, con subsecuente poliadición. El otro método de polimerización es por condensación; es decir cuando se unen dos o más moléculas difuncionales mediante una reacción química que libera un subproducto como el agua.

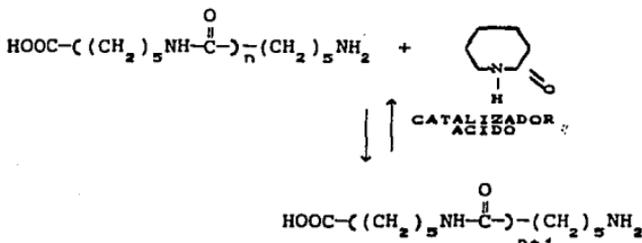
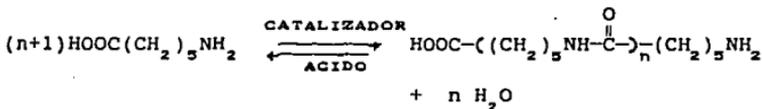
2.9.1. POLIMERIZACION HIDROLITICA A GRANEL DE E-CAPROLACTAMA.²⁵

El Nilón-6 es típicamente producido por la polimerización hidrolítica a granel del monómero de e-caprolactama por procesos batch o continuo.

La e-caprolactama primero es hidrolizada con vapor de agua a presión para abrir el anillo de lactama y formar el ácido aminocaproico (ACA).



La polimerización procede por policondensación del ACA y se termina por la adición de los grupos amino finales de la e-caprolactama, como se muestra a continuación.



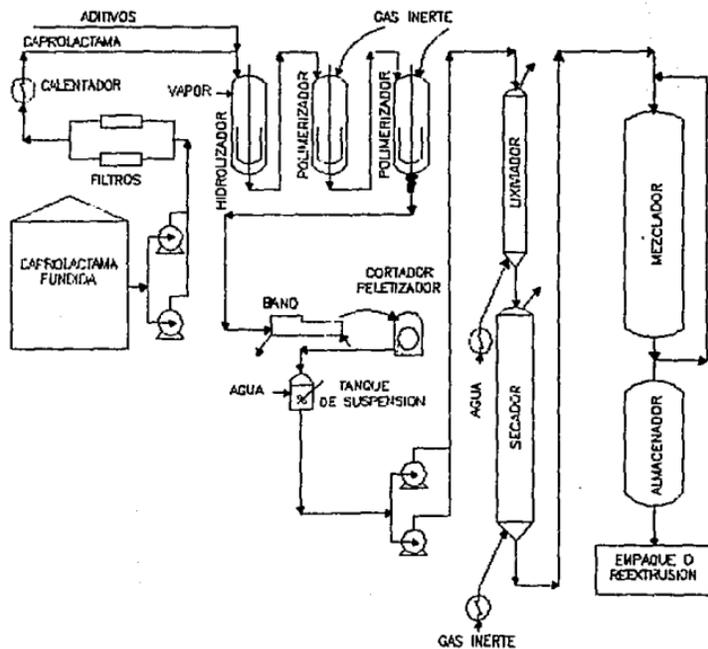


FIG.2.7.-PROCESO DE POLIMERIZACION DE NYLON-6 PARA PRODUCCION DE PELLETS.

La ϵ -caprolactama polimeriza con un equilibrio de aproximadamente 10% de monómero y oligómeros de bajo peso molecular. La mayor parte de las aplicaciones requieren la remoción de estos materiales de bajo peso molecular por filtración (para producción de pellets) o tratamiento a vacío del polímero fundido (para extrusión directa).

Para la producción de pellets (vease figura 2.7), la ϵ -caprolactama es continuamente distribuida dentro del hidrolizador de vapor presurizado, donde la apertura del anillo y la polimerización se llevan a cabo. La polimerización la promueve un catalizador de fosfito. La mezcla resultante de lactama, ACA y polímero de bajo peso molecular es pasada a través de uno o más reactores de polimerización equipados con agitadores, dependiendo de la capacidad deseada y el peso molecular. El peso molecular es controlado por el tiempo de polimerización o por terminadores como ácidos mono o dicarboxílicos, o aminos mono o dicarboxílicos. Estos reactores son diseñados para eliminar la humedad, para lograr una polimerización satisfactoria y un alto peso molecular. El producto que es el polímero fundido se introduce a un reactor final en donde pasa a través de un dado para producir un filamento, el cual es cortado en pequeños pedacitos y pelletizado. Los pellets se ponen en agua y son bombeados dentro de una torre de filtrado donde son lavados con agua caliente (95°C a contracorriente). La lactama que se extrae con el agua caliente es destilada para recogerla como ϵ -caprolactama. Los pellets filtrados son secados en una o más torres de enfriamiento hasta un contenido de humedad aceptable para su subsecuente procesamiento (0.2% de humedad). Finalmente, el Nilón-6 en pellets a alta temperatura se procesa por diversas técnicas (extrusión, moldeo por inyección, etc.) para fabricar una gama de productos. Todas las poliamidas están sujetas a degradación oxidativa a elevadas temperaturas, es por eso que todos los tipos de procesamiento se deben llevar a cabo en atmósfera inerte, normalmente con nitrógeno.

2.9.2. PROCESO HIDROLITICO VK.²

El procedimiento básico del proceso hidrolítico VK es el siguiente: una solución acuosa al 20% de e-caprolactama es mezclada con un terminador de cadena (usualmente ácido acético), calentada en un reactor cerrado a 260 - 270°C durante la cual se forma una fase libre de aminoácido por hidrólisis, este aminoácido provoca la iniciación de la formación de la cadena polimérica. A esta temperatura, la presión se reduce lentamente hasta la atmosférica por escape de vapor, esta operación se deja 3 o 4 horas para obtener una condensación adicional de polímero. Además se adiciona un estabilizador para obtener un equilibrio de la reacción. El oxígeno se excluye del recipiente de reacción para prevenir la degradación oxidativa, lo que causa que el polímero tenga una apariencia amarillusca.

El proceso batch se lleva a cabo en dos etapas, la primera ocurre a altos contenidos de agua y presión, la segunda a bajo contenido de agua y presión alrededor de la atmosférica. En la última fase el tiempo necesario para alcanzar el equilibrio de la reacción es grande y depende solamente del contenido de agua del polímero (por ejemplo a 260 °C, 10 horas para 1% de agua y 36 horas para 0.25% de agua).

Algunos factores afectan la cinética y el equilibrio de la reacción durante la etapa inicial de polimerización: por ejemplo, el contenido inicial de agua de la mezcla, la temperatura y presión durante la polimerización. Todo esto debe ser rígidamente controlado para obtener una uniformidad en el producto.

De los datos evaluados de cinética y equilibrio de la reacción, Von Krevelen y colaboradores trabajaron para optimizar las condiciones para un proceso de polimerización hidrolítico continuo de Nilón-6. Ellos demostraron que eliminando el agua entre las etapas de alta y baja presión, el proceso se lleva a cabo más rápidamente.

El proceso batch de producción de Nilón-6 produce un material poco uniforme. En cambio, en el proceso continuo el producto es más

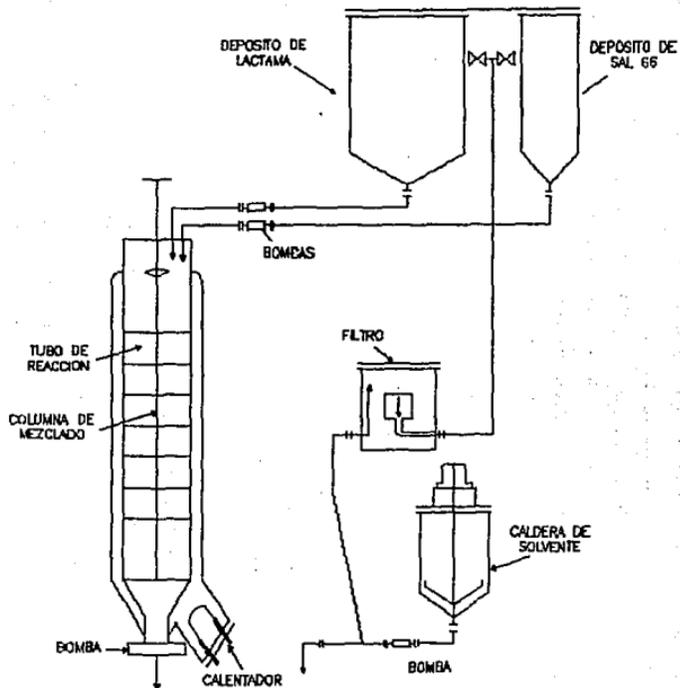


FIG.2.8.-PROCESO VK DE POLIMERIZACION HIDROLITICA CONTINUA DE NYLON-8.

uniforme, este proceso fue diseñado en Alemania y se deriva de "Vereinfacht Kontinuerlich". Este proceso particular es llamado "proceso VK". Un tubo simple de reacción arreglado esquemáticamente se muestra en la figura 2.8 y que consta de las siguientes etapas:

La solución acuosa del monómero y el terminador de cadena son introducidos al mismo tiempo en una sección de 4 a 6 metros de largo del tubo de reacción precalentado. El polímero crudo sale por la parte final de abajo de el tubo. Para iniciar la polimerización, se adicionan, la lactama seca, el terminador de cadena y un iniciador (ejemplo sales de Nylon-66). La temperatura se debe mantener aproximadamente a 265 °C durante la corrida, pero el contenido de la humedad en equilibrio se reduce con la temperatura, lo que representa una ventaja ya que hay que mantener la humedad lo más baja posible. Generalmente el polímero sale del tubo conteniendo de 0.2 a 0.4 % de agua. La cantidad de polímero obtenida se puede incrementar usando un tubo de reacción de mayor diámetro, pero esto es a expensas del peso molecular del polímero, el cual se reduce en el producto final, debido a que es menor la longitud recorrida por el material a través del reactor y se incrementa usando baffles y tubos perforados. Lo anterior sirve para distribuir la subida del vapor y prevenir tapaduras.

El Nilón-6 producido por ambos procesos batch y continuo contiene una proporción inaceptable de monómero y oligómeros, si este material se quiere utilizar para aplicaciones plásticas. Esto lleva a tratar de obtener el equilibrio durante el procesamiento, lo cual bajo condiciones favorables reduce apreciablemente el contenido de material de bajo peso molecular. La remoción de estos compuestos de bajo peso molecular se efectúa con extracción repetida con agua, algunas veces usando una pequeña proporción de agentes reductores para prevenir la degradación de los gránulos de Nilón-6. Si se utiliza la extracción con agua es necesario agregar además una etapa de secado para remover el agua.

El monómero y los oligómeros pueden ser removidos alternativamente por calentamiento de los gránulos en corriente de

nitrógeno, alrededor de 200° C. El sistema debe ser completamente estabilizado para prevenir la condensación. El polímero preparado por esta vía contiene un muy bajo contenido de humedad y puede ser utilizado para procesarse (ejemplo, moldeo por inyección) y debe ser almacenado en contenedores libres de aire para mantenerlo totalmente seco. El vapor supercalentado puede ser utilizado para remover los residuos de bajo peso molecular pero debe tomarse cuidado en no incurrir en la polimerización de los mismos.

Es importante apreciar esto, porque puede haber alguna conversión después del procesamiento del polímero de Nilón-6, esto es existe una tendencia a reestablecer el equilibrio.

2.9.3. POLIMERIZACION ANIONICA DE E-CAPROLACTAMA.²⁵

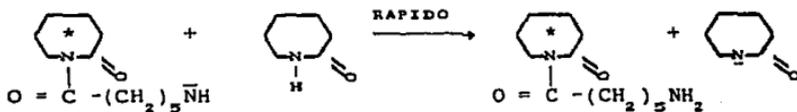
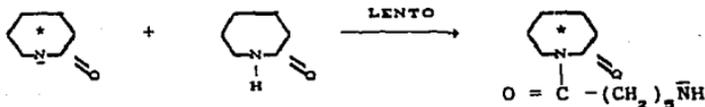
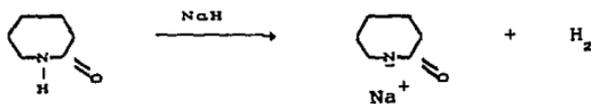
Las amidas cíclicas, como la e-caprolactama, son polimerizadas con la adición de catalizadores alcalinos. Con metales alcalinos o anhídridos de metales, la polimerización se caracteriza por un período de inducción que decrece con un incremento de la temperatura cada cinco minutos hasta 265°C. Esto es seguido por una polimerización extremadamente rápida (acompañada por un correspondiente incremento en la temperatura), la cual se lleva a cabo en algunos minutos a 265°C. En este punto la concentración de monómero tiende a alcanzar un equilibrio normal y la viscosidad del polímero alcanza su máximo. Subsecuentemente, la viscosidad disminuye rápidamente, probablemente como resultado de una redistribución del peso molecular. Este efecto resulta de un intercambio de grupos finales reactivos con grupos de la cadena de amida o de la continua polimerización y depolimerización. En general, el peso molecular del polímero usualmente se incrementa con la concentración del iniciador, dependiente esto del contenido de humedad en el monómero.

Las etapas esenciales de esta reacción son las siguientes: a) reacción de la lactama con el metal alcalino o un hidruro para formar un anión de lactama e hidrógeno. Esta reacción ocurre a una temperatura relativamente baja; b) reacción de este anión con el monómero a altas temperaturas para formar un anión de amida, la cual reacciona con el

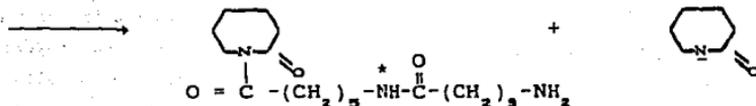
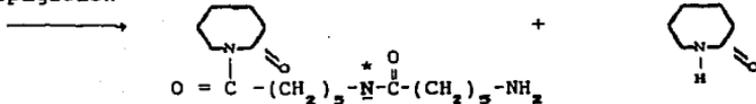
monómero para formar un grupo neutro la N-acylactama (amida) con una amina final y un nuevo anión de lactama; c) la polimerización procede por ataque nucleofílico del anión de lactama en el grupo carbónil de la amida, por lo cual este se inserta dentro de la cadena naciente dando por resultado el anión polimérico e hidrógeno de otros monómeros para continuar el proceso. La N-acylactama sola no tiene actividad para polimerizar a bajas temperaturas fuera de la adición de una base fuerte.

El siguiente esquema muestra como se lleva a cabo la polimerización aniónica:

Iniciación.



Propagación



2.10. PRINCIPALES ADITIVOS PARA EL NILÓN-6.^{2,25.}

Los aditivos se incluyen en los sistemas de Nilón-6 antes o durante la polimerización, el orden en que se agregen estos influencia las propiedades y la naturaleza de el producto.

2.10.1. DELUSTRANTE.

Reduce la transparencia, incrementa la blancura, y previene el lustre o brillo indeseable en la fabricación final. Este comprende la dispersión de las partículas de dióxido de titanio finamente divididas (tamaño promedio de partículas de 0.1-0.5 μ m) dentro de la fibra. Las fibras de Nilón-6 delustradas contienen 0.3% de TiO₂ y las lustradas 2.0%.

La incorporación del dióxido de titanio dentro del monómero fundido o el polímero es una operación delicada. Si esto no se hace adecuadamente, se obstaculizan las salidas de los filtros y estos tienen que ser reemplazados frecuentemente, la oclusión con estas partículas puede resultar en una sección agrandada de los filamentos (protuberancia), los filamentos se descomponen en gotas mientras se funden, por causa de las partículas grandes en el fundido, esto incrementa una variación en el denier; y puede resultar en un hilado excesivamente abrasivo que desgaste la maquinaria rápidamente; también puede reducir las propiedades de la fibra.

El TiO₂ también se utiliza para evitar la fotodegradación del Nilón-6. Cuando se fabrica Nilón-6 el TiO₂ se le adiciona a la ϵ -caprolactama.

2.10.2. TINTES O PIGMENTOS.

El proceso de colorear el hilo por incorporación de un tinte o pigmento dentro del polímero, se hace antes del hilado. Algunas veces el pigmento se adiciona durante la polimerización, pero también se puede adicionar inmediatamente antes del hilado para colorear lo más parejo

posible el material. Este coloreado produce una fibra perfectamente coloreada y no requiere una cantidad adicional de tinte. Sin embargo, la gran variedad de matices hace que para igualar un matiz se requiera del lavado con agua del hilo, lo que trae consigo un alto desperdicio entre cada corrida.

Los pigmentos inorgánicos también se utilizan para colorear el hilo. Los pigmentos orgánicos son usualmente de colores más intensos que los pigmentos inorgánicos, pero algunos de estos no sufren degradación durante el hilado. La baja temperatura de hilado de Nilón-6 (255 a 270 °C) facilita la selección de un pigmento estable. Los pigmentos comúnmente usados son dióxido de Titanio, carbón negro, sulfato de cadmio (amarillo), cianofalato (verde, azul) y sulfoselenio de cadmio (rojo). El carbón negro tiene gran resistencia a la fotodegradación.

También se utilizan un gran número de abrillantadores ópticos por incorporación en el polímero fundido. Estos funcionan como absorbedores de energía en la región del UV y re-emiten esta energía en la región visible (usualmente azul).

2.10.3. ANTIESTATICOS.

La mayoría de los polímeros, debido a que son malos conductores eléctricos, generan electricidad estática. Los agentes antiestáticos atraen mayor humedad del aire hacia la superficie del polímero, mejorando la conductividad superficial del polímero y reduciendo la posibilidad de una chispa o descarga eléctrica.

Los polioxielilenos se adicionan al Nilón-6 para reducir la carga antiestática en la fabricación de alfombras.

2.10.4. RETARDANTES DE FLAMA.

La mayoría de los polímeros, por ser materiales orgánicos, son inflamables.

Dentro de los retardantes de flama que se adicionan al Nilón-6 se incluyen compuestos orgánicos halogenados y derivados del fósforo. Sin embargo, estos pueden reducir la estabilidad del fundido y la resistencia a la luz.

2.10.5. REFUERZOS.

La resistencia y la rigidez del Nilón-6 se mejora introduciendo filamentos de fibra de vidrio.

2.11. CONFORMADO DEL NILON-6 PARA USOS FINALES.^{2,18,25,31.}

Las técnicas más utilizadas para conformar o procesar el Nilón-6 para obtener formas útiles son las siguientes.

2.11.1. EXTRUSION.

Por extrusión de Nilón-6 se recubren alambres y cables, se fabrica monofilamento y tubería para uso industrial y médico, se obtiene lámina y película para aplicaciones de envase y empaque. La extrusión consiste en un mecanismo de tornillo que forza el termoplástico caliente a pasar a través de un dado abierto o boquilla. En el hilado los filamentos y fibras se obtienen forzando el material a pasar a través de una boquilla o dado que contiene muchos agujeros pequeños. El dado llamado hilador, puede girar y producir así una fibra o cordón.

2.11.2. MOLDEO POR INYECCION.

Por inyección del Nilón-6 se pueden fabricar engranes, rodamientos, poleas y conectores, para diversas aplicaciones en sectores automotriz, eléctrico-electrónico y doméstico. Se hacen también ventiladores, carcazas y mangos para herramientas. El moldeo por inyección consiste en calentar el polímero termoplástico por encima de la temperatura de fusión y se forza dentro de un molde cerrado para producir una pieza moldeada. Este proceso es similar al de moldeo en coquilla para los metales. Un émbolo o mecanismo especial de sinfín aplica la presión para forzar el polímero dentro de el molde.

2.11.3. MOLDEO POR INYECCION-SOPLADO.

Por su buena resistencia química y baja permeabilidad a gases el Nilón-6 se emplea en la fabricación de envases coextruidos por moldeo por inyección-soplado para envases alimenticios. El moldeo por inyección-soplado consiste en obtener un globo caliente de polímero, llamado preforma, éste es introducido en un molde y, mediante un gas a presión, expandido contra las paredes del dado.

2.12. ASPECTOS ECONOMICOS NACIONALES DEL NILON-6.^{16,31,32.}

La finalidad de esta sección es mostrar el comportamiento que hasta estos momentos ha tenido la producción de fibras y filamentos de Nilón-6, para esto se muestran datos de mercado de las principales industrias productoras de Nilón-6 en México (capacidad instalada, producción, usos, comercio exterior, consumo aparente y precios). Además se enlistan los principales productores y consumidores de Nilón-6 en México y por último se trata de dar una visión general del futuro de la producción de este tipo de fibras y filamentos en México.

2.12.1. CARACTERISTICAS GENERALES.

Se trata de un polímero que a más de 50 años de existencia conserva su vitalidad de crecimiento. La equilibrada relación entre propiedades mecánicas, eléctricas y térmicas, así como la buena resistencia a los productos químicos y la facilidad de transformación favoreció desde hace más de 20 años, el crecimiento del Nilón-6 con una tasa superior al 7%.

La participación del Nilón-6 en México es del 7.19% del total del consumo de resinas sintéticas en 1990 (Fuente ANIQ).

En México se produce el monómero e-caprolactama por Univex S.A., que a su vez recibe de PEMEX el ciclohexano para su fabricación.

En este análisis se consideran:

Nilón-6 filamento textil.

Nilón-6 fibra corta.

Nilón-6 filamento industrial.

2.12.2. MERCADO. (vease tablas 3, 4, 5, 6 y figs. 2.9, 2.10 y 2.11).

a) CAPACIDAD INSTALADA.

Actualmente se cuenta con una capacidad de 71,483 toneladas año para producir este tipo de fibras y filamentos (veasé tablas 3, 4 y 5).

Es importante destacar el hecho de que la capacidad instalada para producción de Nilón-6 fibra corta disminuyó de 7,000 ton/año en 1989 a 4,483 ton/año en 1990 debido al desarrollo de otros tipos de fibras sintéticas principalmente olefinicas que vinieron a desplazar a esta fibra de Nilón-6 (veasé tabla 3).

b) PRODUCCION.

La producción pasó de 46,534 ton/año en 1980 a 57,011 ton/año en 1990, creciendo al 2.37% promedio anual (veasé tabla 6).

En 1989 y 1990 se produjeron 50,674 y 57,011 toneladas, significando un aumento de 11.46% en el primer año y 12.50% en el segundo (veasé tabla 6). Actualmente el mercado de Nilón-6 esta sufriendo una contracción debido a que los productos finales obtenidos a partir de este polimero han sido desplazados por productos de otros tipos de polimeros (principalmente Nilón-66) que presentan mejores propiedades que el Nilón-6.

c) USOS.

Las fibras y filamentos que se analizan se usan principalmente para la fabricación de:

Nilón-6 fibra corta.
Estambres, alfombras y tapetes.

Nilón-6 filamento textil.
Fabricación de medias, lencería, calcetines y ropa deportiva.

Nilón-6 filamento industrial.
Fabricación de plomas, lonas, lonetas, maletas, maletines, redes de pesca, etc.

Es importante resaltar que los productos terminados de Nilón-66 están desplazando a los productos terminados de Nilón-6 en aplicaciones para tapetes, alfombras y estambres, además en la fabricación de lencería, debido a que presenta mejores propiedades que el Nilón-6.

d) COMERCIO EXTERIOR.

Las importaciones han tenido un comportamiento muy variable, de 7,321 toneladas en 1980 que representaban el 13.6% del consumo total de fibras de Nilón-6 pasaron a 322 toneladas en 1983 para representar el 0.75% del consumo. La tendencia de las importaciones en los últimos años es a estabilizarse (vease tabla 6).

La tendencia de las exportaciones es a la alza, se incrementaron de ser prácticamente nulas en 1980 a aproximadamente 10,000 toneladas en 1990 (vease tabla 6).

e) CONSUMO APARENTE.

El consumo nacional aparente se ha mantenido prácticamente constante de 1980 a 1990 creció a una tasa promedio anual de 0.21%, en 1987 y 1988 tuvo una baja de 11.43% para el primer año y un aumento de 20.10% para el segundo.

f) PRECIOS.

El precio que actualmente tiene el Nilón-6 en pellets es de aproximadamente \$9.00 por kilogramo (Fuente: revista Tecnología del Plástico Junio/Julio de 1988, se aclara que estos precios son de referencia y para mayor veracidad consultar éste con los proveedores).

2.12.3. PRODUCTORES.

Los productores de estas fibras y filamentos son los siguientes:

Grupo AKRA:

Nylon de México, S.A.

Fibras Químicas, S.A.

Celanese Mexicana, S.A.

Fibras Sintéticas, S.A.

Kimex, S.A.

Nilón de México S.A. cuenta con una planta en La Leona, Nuevo León, con una capacidad de 13,000 ton/año.

Celanese Mexicana, S.A. cuenta con tres plantas para producir Nilón-6, una en Ocotlán, Jal. con capacidad instalada de 16,860 ton/año para la producción de polifibras en la que solamente se producen 6,000 ton/año de fibras de Nilón-6, otra en Toluca, Edo. de México con capacidad de 12,000 ton/año, y la última en Querétaro, Querétaro con capacidad de 7,000 ton/año.

Fibras Sintéticas, S.A. cuenta con una planta para producción de Nilón-6, en México, D.F. con capacidad de 1,800 ton/año.

Kimex, S.A. cuenta con una planta en Tlalnepantla, Edo. de México para la producción de Nilón-6 con una capacidad de 20,000 toneladas anuales.

2.12.4. CONSUMIDORES.

Los principales consumidores son:

Para fabricación de fibras y filamentos por extrusión:

Filamentos, S. A.
Filamentos Mexicanos, S. A.
Fadeseer, S. A.
Fibra Omni, S. A.
Multifilamentos, S. A.
Productora Nacional de Redes, S. A.

Para fabricación de productos por moldeo por inyección y moldeo por inyección soplado:

Plástica Moderna, S. A.
Productos Plásticos de Pescar, S. A.
Tecnopartes Industriales, S. A.
Monarch Marking Systems, S. A.
Kiyohara de México, S. A.
Jossms, S. A.
Polímeros y Químicos, S. A.
Polímeros de Occidente, S. A.

También es utilizado por un gran número de empresas pequeñas.

(Fuente INFOTEC).

2.12.5. PERSPECTIVAS.

Siendo un polímero que se emplea en varias ramas industriales se prevé un período de crecimiento en México pero en pequeña medida debido a las diversificaciones de productos que se están elaborando con Nilón-6 reforzado con fibra de vidrio, ya que estos superaron las pruebas de aceptación para elementos en la construcción de automóviles tanto en aplicaciones exteriores como en el recinto del motor y de viajeros. Por el momento en México no se cuenta con plantas productoras de Nilón-66 que es el polímero que actualmente esta desplazando a nivel mundial a los productos terminados de Nilón-6.

Una vez finalizados con éxito los proyectos actualmente en curso, se prevee un aumento manifiesto de la utilización de Nilón-6 en el sector del automóvil en el peso medio de estos automoviles de 10.5% actual a un 14% para 1995. Es decir, si por ejemplo el peso promedio de un automóvil es de 1.5 toneladas, entonces la cantidad de Nilón-6 que se utilizaría sería aproximadamente de 150 Kg.

También se prevee que la industria llantera y pesquera sigan manteniendo su dinámica de crecimiento, lo que traerá consigo un crecimiento en la demanda de Nilón-6.

TABLA 3
CONSUMO NACIONAL DE NILON-6 FIBRA CORTA
(1980-1990)

AÑO	PROD	IMPORT	EXPORT	CONSUMO APARENTE	INCREM CONS. APAR. %	CAPAC INSTAL
1980	2000	345	0	2345	38.7	3500
1981	3901	608	0	4509	48.0	4500
1982	2833	1233	0	4066	-9.8	4500
1983	4532	117	1905	2744	-32.5	5500
1984	4672	302	1929	3045	10.9	5500
1985	3731	364	678	3417	12.2	5500
1986	5171	287	3751	2307	-32.5	5500
1987	4424	450	2469	2405	4.3	5500
1988	1471	1132	0	2603	8.2	7000
1989	794	1157	0	1951	-25.0	7000
1990	1148	317	146	1319	-32.4	4483
1991	785	1699	2	2482	88.2	1000

ECUACION DE AJUSTE: $P=2269.37+1135.75T-15.28T^2+2.03T^3$
P=PRODUCCION
T=TIEMPO

NOTA: TODOS LOS DATOS ESTAN EN TONELADAS
LA PRODUCCION DE ESTA FIBRA TIENDE A DESAPARECER.
FUENTE: ANIQ

NILON-6 FIBRA CORTA

RELACION PRODUCCION-CONSUMO APARENTE

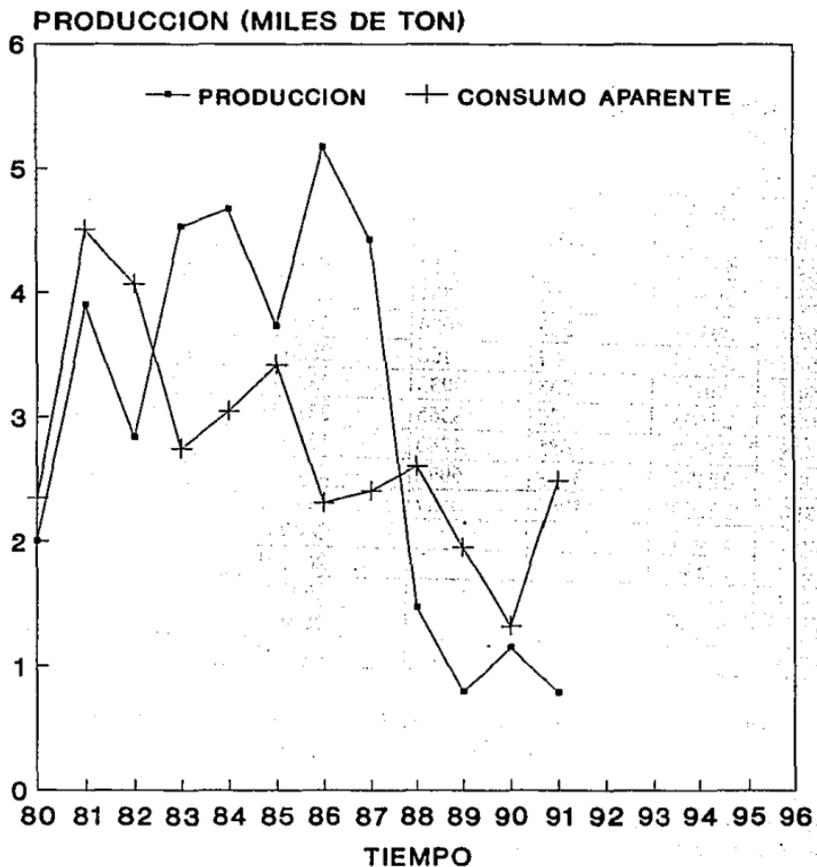


FIGURA 2.9

TABLA 4

CONSUMO NACIONAL DE NILON-6 FILAMENTO TEXTIL

(1980-1990)

AÑO	PROD.	IMPORT.	EXPORT.	CONSUMO APARENTE	INCREM. CONS. APAR. %	CAPAC. INSTAL.
1980	29800	4136	0	33936	19.9	36400
1981	29122	1785	0	30907	-8.9	38320
1982	29211	944	219	29936	-3.1	41820
1983	27975	198	2751	25422	-15	41820
1984	28157	229	3094	25292	-0.5	41820
1985	28445	464	108	28801	13.9	42000
1986	25615	703	3035	23283	-19.2	42000
1987	26606	626	3365	23867	2.5	42000
1988	20627	685	4283	17029	-28.6	42000
1989	28470	3418	6092	25796	51.5	42000
1990	33058	1968	3537	31489	22.1	42000
1991	27631			28496		
1992	27594			26030		
1993	27597			26039		
1994	27600			26047		
1995	27602			26055		

ECUACION DE AJUSTE: $P=27564.1+2.7784T$ $C.A.=25941.3+8.13764T$
 P=PRODUCCION T=TIEMPO
 C.A.= CONSUMO APARENTE

NOTA: TODOS LOS DATOS ESTAN EN TONELADAS
 FUENTE: ANIQ

NILON-6 FILAMENTO TEXTIL

RELACION PRODUCCION-CONSUMO APARENTE

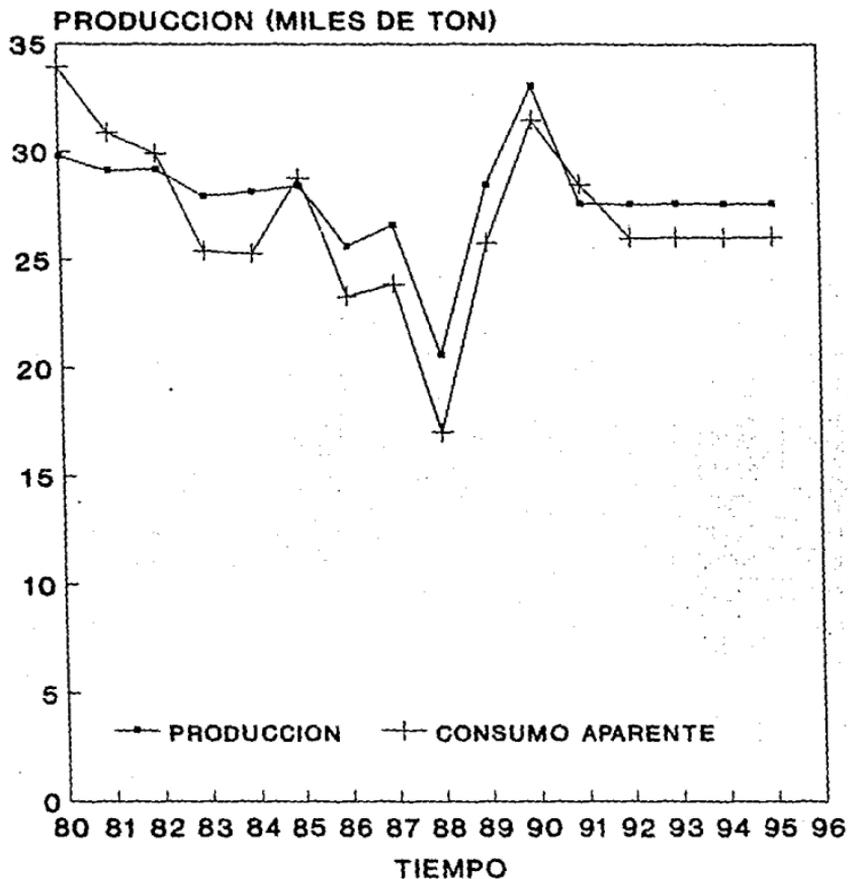


FIGURA 2.10

TABLA 5

CONSUMO NACIONAL DE NILON-6 FILAMENTO INDUSTRIAL

(1980-1990)

AÑO	PROD.	IMPORT.	EXPORT.	CONSUMO APARENTE	INCREMENT. CONS. APAR. %	CAPAC. INSTAL.
1980	14734	2840	0	17574	14.9	19500
1981	16528	1654	17	18165	3.3	21700
1982	17596	1748	168	19176	5.3	21700
1983	15639	7	1073	14573	-24	21700
1984	20091	36	1453	18674	28.1	21700
1985	21777	1259	1863	21173	13.4	21700
1986	19598	300	4612	15286	-27.8	23900
1987	21572	253	6048	15777	3.2	25000
1988	23365	252	6009	17608	-28.6	25000
1989	21410	291	4721	16980	11.6	25000
1990	22805	0	5813	16992	-3.5	25000
1991	21140			17525	0.1	
1992	20802			16823		
1993	21119			16722		
1994	21435			16621		
1995	21752			16521		

ECUACION DE AJUSTE: $P=17319.6+316.632T$ $C.A.=17929.8-100.623T$

P=PRODUCCION T=TIEMPO

C.A.= CONSUMO APARENTE

NOTA: TODOS LOS DATOS ESTAN EN TONELADAS

FUENTE: ANIQ

NILON-6 FILAMENTO INDUSTRIAL

RELACION PRODUCCION-CONSUMO APARENTE

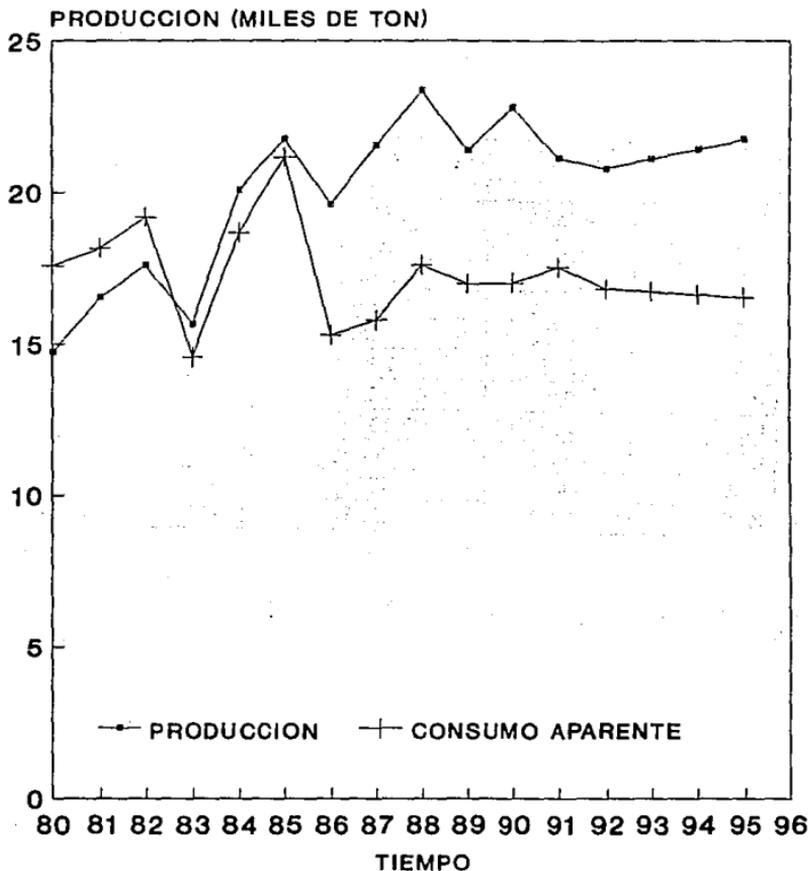


FIGURA 2.11

TABLA 6
 PRODUCCION TOTAL DE NILON-6
 (1980-1990)

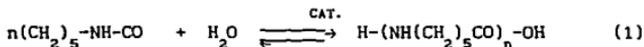
AÑO	PROD.	IMPORT.	EXPORT.	CONSUMO APARENTE
1980	46534	7321	0	53855
1981	49551	4047	17	53581
1982	49640	3925	387	63178
1983	48146	322	5729	42739
1984	52920	567	6476	47011
1985	53953	2087	2649	63391
1986	60384	1290	10798	40876
1987	62802	1329	11882	42040
1988	45463	2069	10292	37240
1989	50674	4866	10813	44727
1990	67011	2285	9496	49800

NOTA: TODOS LOS DATOS ESTAN EN TONELADAS
 FUENTE: ANIQ

CAPITULO III.
DESARROLLO EXPERIMENTAL.

3.1. HIPOTESIS DE TRABAJO.

Para que el Nilón-6 o poli-e-caprolactama experimente despolimerización directa se debe fundir, bajo condiciones que desplacen la reacción (1) hacia la izquierda. De esta manera se puede obtener el monómero de e-caprolactama. Se tiene que en la reacción (1) en condiciones de equilibrio las concentraciones del monómero y el polímero son dependientes de la temperatura y la concentración del catalizador. Las condiciones que favorecen a despolimerizar el Nilón-6, o el desplazamiento de la reacción (1) hacia la producción de monómero, deben ser altas temperaturas, una determinada concentración de catalizador y presiones reducidas para extraer uno de los productos. De esta manera la reacción (1) siempre tenderá a restablecer el equilibrio formando más monómero.

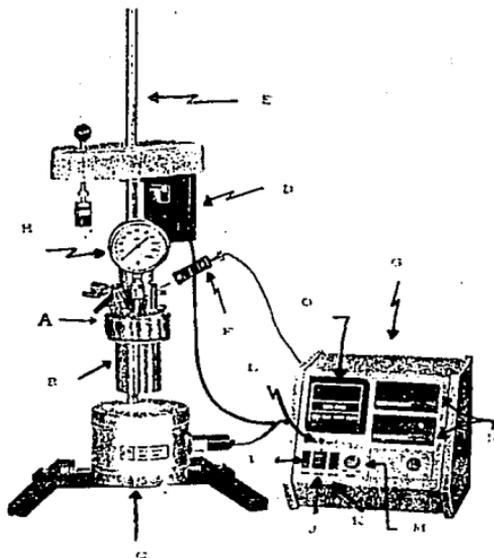


3.2. PROCEDIMIENTO DE DESPOLIMERIZACION.

En un reactor de acero inoxidable de 300 ml equipado con recipiente de teflón, agitador, chaqueta de calentamiento y control automático de temperatura y presión se introduce una cantidad conocida de polímero de Nilón-6 molido e hidróxido de sodio. Esta mezcla se calienta en atmósfera inerte a la temperatura de reacción por medio de la chaqueta de calentamiento del reactor.

El reactor se une a un matraz kitasato de 500 ml conectado a un sistema de vacío que incluye una trampa a -100°C , para condensar vapores y evitar la contaminación de la bomba de vacío. (vease figura 3.1).

El monómero formado en el reactor se funde debido a la alta temperatura existente en este y se desplaza al matraz kitasato por medio del sistema de vacío. El monómero solidifica en el matraz, que se mantiene a una temperatura de 15°C . Los vapores de agua y otros volátiles son recogidos por la trampa de vacío.



- A CABEZAL DEL REACTOR.
- B CUERPO DEL REACTOR.
- C CHAQUETA DE CALENTAMIENTO.
- D MOTOR PARA AGITACION
- E SOPORTE DE REACTOR
- F TERMOPAR
- G CONTROLADOR DE TEMP. Y PRESION.
- H MANOMETRO INDICADOR DE PRESION.
- I BOTON ENCENDIDO DE CONTROLADOR.
- J BOTON VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO.
- K BOTON ENCENDIDO MOTOR DE ACIT.
- L BOTON DE RESET.
- M PERILLA REGULACION VEL. DE ACIT.
- N INDICADORES DE TEMP. Y PRESION.
- O SET POINT.
- R VALVULA ENTRADA DE GAS.
- S VALVULA TOMA MUESTRAS LIQUIDAS.
- T VALVULA RELEVO DE GASES.
- U DISCO DE RUPTURA.
- V LOOP DE ENFRIAMIENTO INTERNO.

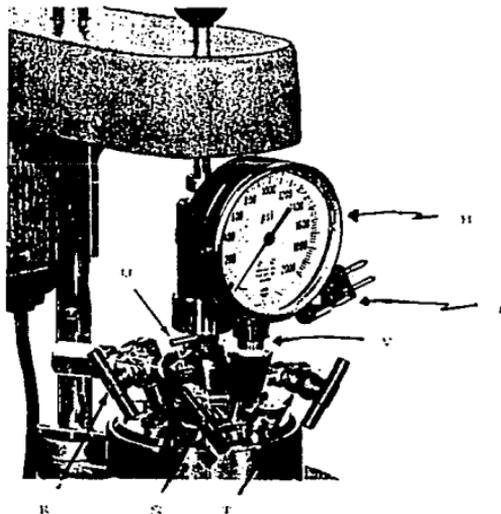


FIGURA 3.1. REACTOR UTILIZADO PARA LLEVAR A CABO LA REACCION DE DESPOLIMERIZACION DE NILON-6.

Después de un intervalo de tiempo establecido, se colecta el monómero solidificado en el kitasato.

Una vez que se ha enfriado el reactor se introduce agua para extraer el monómero que no fue removido por el sistema de vacío y posteriormente se cristaliza para separarlo del solvente.

Por último, la masa solidificada en el kitasato y la extraída con agua se purifican para su análisis y cálculo del rendimiento de la reacción en términos de e-caprolactama obtenida.

3.3. MATERIAL.

- 2 Matraces kitasato de 500 ml.
- 2 Trampas para vacío.
- 1 Mortero con pistilo.
- 1 Parrilla de calentamiento.
- 2 Baños para agua fría.
- 1 Soporte universal.
- 4 Metros de manguera para vacío.
- 2 Tapones de hule.
- 1 Desecador
- 8 Vasos de precipitados de 150 ml.
- 1 Vaso de teflón de 300 ml.
- 1 Espátula de acero inoxidable.
- 1 Piseta.
- 1 Embudo.
- 1 Anillo metálico.

3.4. EQUIPO.

- 1 Bomba de vacío, marca FELISA, modelo 1400.
- 1 Balanza analítica, marca PRECISA, modelo 100A-300M.
- 1 Estufa, marca RIOS-ROCHA S. A., modelo HS-41.
- 1 Espectroscopio de infrarrojo, marca Nicolet, modelo MX-S.
- 1 Espectroscopio de ultra violeta, marca Shimadzu, modelo UV-260.

- 1 Reactor Parr de acero inoxidable modelo 4561 de 300 ml con accesorios para el control de la temperatura, la presión, agitación, etc. (vease figura 3.1.).
- 1 Controlador de temperatura y presión Parr modelo 4842.
- 1 Calorímetro diferencial de barrido, marca TA Instruments, modelo 2910.
- 1 Difractómetro de rayos X, marca SIEMENS, modelo KRISTALLOFLEX 810.
- 1 Analizador termogravimétrico, marca TA Instruments, modelo 2950.

3.5. REACTIVOS.

Nilón-6 en pellets y desperdicio de Nilón-6 moldeado.

NaOH molido.

KBr para espectroscopia de I.R.

Metanol y tolueno para espectroscopia de U.V.

Carbón activado.

3.6. PLAN DE TRABAJO UTILIZADO PARA LOGRAR LA DESPOLIMERIZACION.

Para poder llevar a cabo la despolimerización de Nilón-6 partimos de la reacción de polimerización (1) de Nilón-6, que es una reacción en equilibrio con 90 ± 2 % de conversión de monómero a polímero.

En la reacción (1) las concentraciones de equilibrio del monómero y el polímero son dependientes de la temperatura y la cantidad de catalizador presente. De esta manera se trata de encontrar las condiciones adecuadas de temperatura y concentración de catalizador necesarias para desplazar la reacción (1) hacia la producción de monómero. Se utiliza una presión reducida para de esta manera extraer los productos y no dejar que la reacción alcance el equilibrio.

En el reactor se mezcla NaOH y Nilón-6 en las siguientes concentraciones: 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 4.0, 7.0, 10.0 y 15.0 % en peso por duplicado para obtener valores representativos. Se funde la mezcla por arriba de 230°C (el Nilón-6 debe estar fundido para poder lograr la despolimerización), a una presión menor a 10 mm de Hg bajo agitación continua.

Primero se analiza la concentración de catalizador necesaria para lograr un buen rendimiento de monómero en la reacción de despolimerización, después se mantiene constante este valor y se procede a determinar el valor óptimo de temperatura de despolimerización de la siguiente manera: 230, 240, 245, 250, 255, 260, 265 y 270°C realizando también dos determinaciones a cada temperatura. La presión se mantiene por abajo de 10 mm de Hg durante la reacción.

Para llevar a cabo las determinaciones de rendimiento y velocidad de reacción de despolimerización, una vez encontrados los valores óptimos de concentración de catalizador y temperatura, se realiza el mismo procedimiento a diferentes tiempos de reacción, es decir, a 1, 2, 3, 3.5, 4, 4.5, y 5 horas.

Se analizaron dos tipos de Nilón-6 para establecer rendimientos de reproceso: Nilón-6 virgen en forma de pellets sin aditivos y Nilón-6 procesado, con aditivos, obtenido de piezas moldeadas. Se determinó el contenido de humedad de estas muestras de Nilón-6 encontrándose que varía de 1.73 a 1.78 % con un valor promedio de 1.75 %.

3.7. DESCRIPCION DEL REACTOR UTILIZADO PARA LA DESPOLIMERIZACION.

El reactor utilizado para llevar a cabo la reacción de despolimerización de desperdicios de Nilón-6 se puede observar en la figura 3.1. Este tiene una capacidad de 300 ml., cuenta con un vaso de teflón que se adapta interiormente al reactor que sirve para proteger a éste cuando se trabaja con sustancias corrosivas o que puedan dañar al reactor, esta construido de acero inoxidable, maneja un rango de temperatura y presión entre 25 a 385°C y 0-2000 psi de presión, es totalmente hermético debido a que tiene un anillo con 6 tornillos que sujetan y unen perfectamente el cuerpo del reactor con el cabezal del mismo. Cuenta con una chaqueta de calentamiento eléctrica de 400 Watts y 115 Volts. Esta fijamente soportado en una varilla junto con un motor eléctrico que sirve para mover el agitador que se encuentra en el cabezal del reactor.

El cabezal del reactor esta equipado con un manómetro indicador de presión, una válvula de relevo de gases, una válvula para tomar muestra líquida, otra válvula para entrada de gas (por ejemplo sirve para cuando se quiere trabajar con atmósfera inerte), un disco de ruptura calibrado a 1800 psi, dos válvulas para entrada y salida de líquido de enfriamiento (cuando se necesite este servicio, por ejemplo en reacciones exotérmicas) y un termopar que permite registrar la temperatura en la muestra dentro del reactor.

Este reactor esta equipado también con un controlador de temperatura y presión marca Parr modelo 4842, al cual están conectados la chaqueta de calentamiento, el termopar, el manómetro y el motor eléctrico del agitador. El controlador consta de un indicador de temperatura y otro de presión, tiene tres interruptores, uno sirve para el encendido/apagado del controlador, otro que regula la velocidad de calentamiento pudiendose escoger dos opciones: velocidad de calentamiento alta y baja, el tercer interruptor sirve para encender/apagar el motor de agitación, asimismo, también cuenta con una perilla para ajustar el número de revoluciones por minuto que se deseen, además se cuenta con un panel de control en donde se puede trabajar en forma automática o manual, en el que se puede fijar un set point de temperatura deseada y en el que se muestra la temperatura que se esta registrando en la muestra por medio del termopar y también se puede observar como actúa el controlador, ya sea interrumpiendo o dejando pasar corriente eléctrica a la chaqueta de calentamiento para que caliente o deje de calentar según se este por abajo o por arriba del set point escogido.

Por último éste controlador cuenta con un botón de RESET cuya función es interrumpir por completo el calentamiento, ya sea por falla en el suministro de energía eléctrica durante la operación, por alcanzar el limite máximo de temperatura o presión que puede manejar el reactor o por el apagado del controlador.

3.8. MANEJO DEL REACTOR UTILIZADO PARA LA DESPOLIMERIZACION.

Lo primero que se tiene que hacer es aflojar los tornillos del anillo que une el cuerpo del reactor con el cabezal del mismo para introducir el vaso de teflón con la muestra sólida. Se cierra el reactor y se ajustan los tornillos del cabezal para unir perfectamente éste con el cuerpo del reactor. Se checan que esten perfectamente cerradas las válvulas para tomar muestras líquidas, la de entrada de gas, las de entrada y salida de líquido de enfriamiento (no se necesita enfriamiento en nuestro caso) y se abre la válvula de relevo de gases, se ajusta el agitador con el motor eléctrico y se coloca el reactor dentro de la chaqueta de calentamiento. La válvula de relevo de gases se conecta al dispositivo para realizar vacío por medio de una bomba de vacío.

Acto seguido se conecta el controlador de temperatura y presión y se turna éste a la posición de encendido ON, se selecciona un set point de temperatura por medio del panel de control y se escoge una velocidad de calentamiento ya sea baja o alta (se recomienda la velocidad de calentamiento baja debido a que al calentar la chaqueta el reactor, al llegar la muestra a la temperatura seleccionada actúa inmediatamente el controlador dejando de suministrar corriente eléctrica a la chaqueta, pero como se lleva cierto impulso debido a la velocidad de calentamiento cuando el controlador actúa se rebasa en aproximadamente un 10 % la temperatura del set point antes de que se deje de calentar, sin embargo, al utilizar velocidad de calentamiento alta se rebasa hasta un 30 % el valor de set point de temperatura). Se enciende el motor eléctrico del agitador y se selecciona por medio de una perilla las revoluciones por minuto que se necesiten para el agitador.

Después se libera el botón de RESET para que el controlador empiece a mandar corriente eléctrica hacia la chaqueta y ésta comience a calentar. Se registra la temperatura en la muestra por medio del termopar y éste envía una señal al controlador en donde se muestra esta temperatura. También el manómetro del cabezal del reactor nos indica la presión dentro del reactor y a su vez envía señal al controlador en donde también se puede observar estos valores de presión.

Toda esta operación se mantiene durante el tiempo que se requiera, al término del cual se apaga el controlador e inmediatamente actúa el RESET suspendiendo el calentamiento definitivamente.

Se deja enfriar el reactor, se desconecta el controlador, se retira la chaqueta de calentamiento, se despresuriza el reactor por medio de la válvula de relevo de gases, se desatornilla el cabezal, se limpia el vaso de teflón y el cuerpo del reactor. Después de realizar lo anterior el reactor queda listo para volverse a usar inmediatamente.

3.9. FUNDAMENTACION Y PROCEDIMIENTOS DE LAS TECNICAS DE ANALISIS UTILIZADAS PARA CARACTERIZAR LAS MUESTRAS DE MONOMERO Y POLIMERO OBTENIDAS. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 19, 39.

En esta sección se describe el fundamento teórico y el procedimiento que se debe seguir para utilizar una técnica determinada para caracterizar las muestras que se obtuvieron. En su gran mayoría se utilizaron técnicas instrumentales. Las técnicas utilizadas se enlistan a continuación: métodos espectroscópicos (espectroscopía infrarroja, ultravioleta-visible y difracción de rayos X), métodos térmicos (calorimetría diferencial de barrido y análisis termogravimétrico). A continuación se describen con más detalle estas técnicas.

3.9.1. COLOR.

El color es una manifestación de la absorción de energía electromagnética en el rango de 400 a 700 nm (nanómetros) y tiene tres componentes: tono, brillo e intensidad. Por lo tanto, si puede describirse completamente en términos físicos. La medición instrumental del color consiste en determinar sus tres componentes e incluso hoy día existen aparatos muy sensibles que nos permiten juzgar si dos colores son iguales o diferentes, pero también se usan patrones de color.

En lo que respecta a la determinación experimental del color de las muestras en este trabajo, se utilizó el estandar APHA, las unidades APHA corresponden a la concentración de mezclas de cobalto-platino. Se compara una solución acuosa de e-caprolactama al 50% peso/peso, con una solución estandar o por determinación fotométrica en una celda de 5 cm de largo a números de onda entre 390 y 465 nm.

3.9.2. METODOS ESPECTROSCOPICOS.

El espectro electromagnético está formado por radiaciones de diferente longitud de onda y frecuencia. De acuerdo con la longitud de onda de las radiaciones se forman las diferentes regiones, es decir, Rayos Gamma, Rayos X, Ultravioleta, visible, Infrarrojo, Microondas y Radio.

En función al tipo de radiación que actúe sobre la muestra a analizar, se tendrán distintos métodos espectroscópicos. Estos métodos aprovechan que los materiales absorben energía del espectro dependiendo de su estructura química. Es decir, los diferentes grupos químicos que forman una molécula absorberán diferentes cantidades de energía, y estas variaciones se registran en diagramas llamados espectros.

3.9.2.1. ESPECTROSCOPIA INFRARROJA (IR).

La espectroscopia infrarroja, es uno de los métodos instrumentales de mayor uso por su amplio rango de registro de absorción de energía.

La zona con que trabaja este equipo es la franja de infrarrojo del espectro electromagnético que abarca desde 3,500 hasta 50,000 nanómetros (nm).

Las fuentes normales de radiación de los espectros infrarrojos son materiales formados por carburo de silicio calentados eléctricamente, o filamentos de óxidos de tierras raras que emiten radiación infrarroja de la misma forma que un cuerpo negro.

Tanto las redes de difracción como los prismas de sales inorgánicas se utilizan para dispersar la radiación en los espectros de infrarrojo. Los materiales comunes de los prismas son NaCl (utilizado por debajo de 15 nm), KBr (usado por debajo de 25 nm), y CsBr (usado por debajo de 35 nm).

Los receptores de energía infrarroja son usualmente cuerpos negros de masa muy pequeña, unidos a detectores de calor muy sensibles, tales como termopares de unión múltiple. Su salida puede leerse sobre un galvanómetro sensible, pero normalmente se hace con registradores automáticos.

El método de infrarrojo puede aplicarse a muestras sólidas, líquidas y gaseosas.

Uno de los inconvenientes experimentales en el trabajo con sustancias que absorben débilmente en el infrarrojo, es obtener muestras suficientemente delgadas. Los métodos corrientes de preparación de muestras incluyen los siguientes: moldeo por compresión; disolución de un polímero en un disolvente, tal como disulfuro de carbono o el tetracloroetileno, cuyos espectros están relativamente libres de bandas de absorción intensas; preparación de una película fina mediante un microtomo o molienda; formación de una película delgada, por colado, a partir de una disolución; y, por último, por compresión de una mezcla finamente dividida de la muestra con KBr para formar un disco u oblea.

Los resultados del análisis deben interpretarse a partir de la lectura del espectro, el cual presentará una serie de picos en diferentes rangos de absorción. La localización de cada uno de ellos determina los diferentes enlaces químicos presentes en la muestra y por lo tanto, también se podrá definir su estructura tentativa. Posteriormente, con la ayuda de patrones de comparación se logra identificar el material.

En este trabajo se usó un equipo Nicolet modelo MX-S y las muestras se soportaron en pastilla de KBr para su análisis.

3.9.2.2. ESPECTROSCOPIA ULTRAVIOLETA-VISIBLE (UV-VIS).

Este método se utiliza para determinaciones cuantitativas de antioxidantes, absorbedores, estabilizadores y en general aditivos, ya que este tipo de sustancias absorbe mayor energía y pueden ser detectados con esta técnica.

La zona empleada del espectro electromagnético es el rango UV de 200 a 400 nm. Al igual que la espectroscopia infrarroja, este método no separa componentes ya que si dos sustancias están presentes en la muestra absorberán energía y ambas contribuirán en el espectro final, por lo que también requieren previa separación para que no se tengan interferencias.

Los espectros UV-VIS son mucho más simples que los IR ya que presentan solo muy pocas bandas de absorción y por lo tanto son más sencillas de interpretar.

Aquí se uso un equipo Shimadzu de UV-VIS modelo UV-260.

Se utilizó una celda de cuarzo de 5 cm de longitud a la que se le introdujó una solución diluida de ϵ -caprolactama (aproximadamente 0.1 % p/p.) en tolueno o metanol, se utilizaron estos solventes debido a que presentan picos característicos en el espectro de UV y no interfieren con la absorción de la muestra problema.

3.9.2.3. ANALISIS POR DIFRACCION DE RAYOS-X.

El método de difracción por rayos X, es una herramienta poderosa para investigar la disposición ordenada de los átomos o moléculas por medio de la interacción de la radiación electromagnética para producir efectos de interferencia con estructuras comparables, en tamaño, a la longitud de onda de la radiación. Si las estructuras se disponen en un conjunto ordenado o retículo, las interferencias son nítidas, de tal manera que la radiación es dispersada o difractada sólo bajo condiciones experimentales específicas. El conocimiento de estas condiciones proporciona información, que se refiere a la geometría de las estructuras dispersantes. Las longitudes de onda de los rayos X son comparables a las distancias interatómicas en los cristales; la información obtenida a partir de la dispersión para ángulos amplios describe la disposición espacial de los átomos. La dispersión de rayos X a ángulos pequeños es útil en la determinación de periodicidades elevadas, que pueden surgir a partir de cristallitos laminares o a partir de espacios vacíos.

Los rayos X se producen corrientemente por bombardeo de un anticátodo metálico con un haz de electrones de alto voltaje. Esto se efectúa en el interior de un tubo de vacío, y los rayos X salen al exterior a través de una ventana de berilio o mica en forma de un rayo bien delimitado.

Los rayos X difractados pueden detectarse por su acción sobre una película o placa fotográfica, o por medio de un contador de radiación y un amplificador electrónico que alimente un registrador. El examen cualitativo de los diagramas de difracción y las medidas precisas de ángulos y distancias se obtienen de forma más adecuada mediante un registro fotográfico, mientras que para medidas precisas de la intensidad del rayo difractado, se prefiere la técnica del conteo.

Los rayos X de una longitud de onda dada se difractan sólo a unas determinadas orientaciones específicas de planos cristalinos de la muestra. Si la muestra está formada por un único cristal, ésta se puede colocar durante la experiencia en todas las orientaciones posibles, normalmente por rotación u oscilación de la muestra alrededor de uno de sus ejes para alcanzar las orientaciones deseadas con respecto al haz de rayos X. Alternativamente, puede utilizarse una muestra formada por polvo de cristales muy pequeños. Si las partículas de polvo diminutas se orientan al azar, no cabe duda que deben darse en el interior de la muestra todas las orientaciones. El método del polvo es más conveniente, pero suministra menos información que el método del cristal único, ya que este último permite investigar una por una las orientaciones alrededor de un eje del cristal.

Se usó un equipo Siemens, Kristalloflex 810 para analizar la e-caprolactama y el Nilón-6.

3.9.3. METODOS DE ANALISIS TERMICOS.

Los métodos de análisis térmicos basan su operación en los cambios de propiedades que sufre una muestra al variar la temperatura. Los resultados obtenidos son graficados para dar espectros térmicos llamados termogramas.

3.9.3.1. CALORIMETRIA DIFERENCIAL DE BARRIDO (DSC).

Este método se basa en la diferencia de absorción de calor de la muestra respecto a una referencia. El material se registra en un diagrama el cual da diferentes picos, los que indican transiciones; la vítrea, la de cristalinización, la de fusión, de oxidación y descomposición del material. Permite también estudiar la cinética de una reacción química, ya sea endotérmica o exotérmica. No sólo se pueden estudiar los cambios de entalpía asociados con el calentamiento, enfriamiento, templado, o diferentes tratamientos térmicos, sino que se pueden estudiar una amplia gama de respuestas de los sistemas a la temperatura, que incluyen polimerización, degradación, u otros cambios químicos. En este método se utilizan muestras muy pequeñas de 5 a 10 mg. En el DSC, un circuito de temperaturas mide y controla la temperatura en los recipientes de muestra y referencia, para ajustarse a un programa preestablecido de tiempo-temperatura. Esta temperatura se representa sobre uno de los ejes de un registrador x-y. Al mismo tiempo, un circuito de diferencias de temperatura compara las temperaturas de la muestra y de la referencia, suministrando energía para calentar la resistencia situada en cada recipiente hasta que las temperaturas se mantengan iguales. Cuando la muestra experimente una transición térmica, la potencia de las dos resistencias se ajusta para mantener sus temperaturas, y entonces se registra sobre el segundo eje del registrador una señal proporcional a la diferencia de potencia. El área situada bajo la curva resultante es una medida directa del calor de transición.

Aquí se usó un DSC marca TA Instruments modelo 2910.

3.9.3.2. ANALISIS TERMOGRAVIMETRICO (TGA).

En el análisis termogravimétrico se utiliza una termo-balanza, que sigue el cambio de peso de la muestra en función de la temperatura. Estos instrumentos son muy sensibles, y se utilizan principalmente para detectar pequeñas pérdidas de peso por humedad u otros volátiles. Otras aplicaciones características incluyen la evaluación de la estabilidad térmica y temperatura de descomposición,

composición y alguna información sobre la distribución de secuencias en los copolímeros y composición de polímeros con relleno.

Aquí se usó un TGA marca TA Instruments modelo 2950.

3.10. PROCEDIMIENTO SEGUIDO PARA LA POLIMERIZACION DE LAS MUESTRAS DE E-CAPROLACTAMA.⁵⁴

La e-caprolactama grado reactivo y las muestras de e-caprolactama obtenidas en la despolimerización de desperdicios de Nilón-6 fueron polimerizadas bajo el siguiente procedimiento: se ponen de 8-10 g. de e-caprolactama, 0.5 g. de óxido de polietileno de un peso molecular entre 2000-7500 daltons y 2-5 gotas de N-acetilcaprolactama en un tubo de ensayo largo y se mezclan perfectamente. Se prepara un mechero Bunsen con una flama de aproximadamente 1 pulgada, se pone en contacto el tubo de ensayo que contiene la mezcla y la flama del mechero Bunsen para fundir la muestra. Cuando la mezcla este totalmente fundida se le adiciona una pequeña cantidad de polvo de hidruro de sodio (NaH) al 80 % en aceite (aproximadamente 0.05 g.). Es importante que todo el NaH este en contacto con la muestra fundida para tener una iniciación de la reacción uniforme. La solución clara es nuevamente calentada rápida pero cuidadosamente con el mechero Bunsen y se empezará a notar ligero burbujeo en la muestra, en esta etapa se debe alcanzar una temperatura de aproximadamente 200-230°C.

Después de la adición del NaH y del calentamiento la polimerización de la e-caprolactama solo toma de 2-4 minutos. Se puede dar cuenta rápidamente de que la e-caprolactama ha polimerizado por que la solución incrementa su viscosidad. Si la polimerización no ocurre durante algunos minutos, enfríe el tubo de ensayo y reinicie agregando NaH (Mucho NaH puede dar una fibra quebradiza), caliente nuevamente hasta obtener polimerización.

CAPITULO IV.
RESULTADOS Y DISCUSION.

ESTO LEERLO EN ORDEN
DE LA CONCENTRACION
DE LA REACCION

Los resultados obtenidos y presentados en este capítulo, implicaron varios ensayos previos sobre el manejo del reactor, su operación eficiente y controlada, acotamiento general de condiciones de reacción y reproducibilidad de resultados.

4.1. EFECTO DE LA CONCENTRACION DE CATALIZADOR EN EL RENDIMIENTO DE LA REACCION DE DESPOLIMERIZACION.

Los resultados obtenidos del estudio sobre el efecto de la concentración del catalizador (NaOH) en el rendimiento de ϵ -caprolactama se muestran a continuación en la tabla 7 y en la figura 4.1.

TABLA 7
Efecto de concentración de catalizador en el rendimiento de reacción de despolimerización de Nilón-6.

Concentración de catalizador, %p/p	No de ensayos realizados	rendimiento promedio de ϵ -caprolactama, %
0.0	2	1.0
0.5	2	65.4
1.0	2	89.2
1.5	2	80.6
2.0	2	78.0
4.0	2	75.2
7.0	2	73.4
10.0	2	71.0
15.0	2	70.3

Temperatura de 250 C, una presión menor a 10 mm de Hg y un tiempo de 4.5 horas.

También se llevaron a cabo varios experimentos de despolimerización sin adición de catalizador obteniéndose un rendimiento casi nulo, lo que muestra su importancia en la reacción y la estabilidad química del Nilón-6 a altas temperaturas.

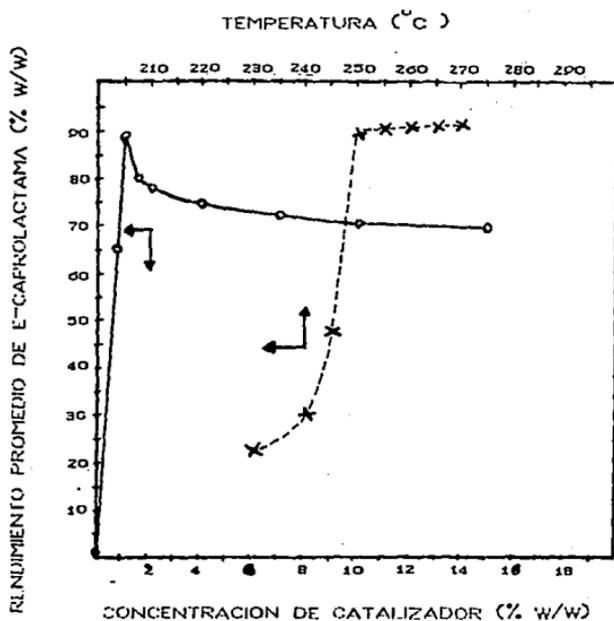


FIGURA 4.1. DEPOLIMERIZACION DE NILON-6. EFECTOS DE LA TEMPERATURA Y LA CONCENTRACION DE CATALIZADOR EN EL RENDIMIENTO PROMEDIO DE ε-CAPROLACTAMA.

A una concentración de catalizador de 1% p/p se observa el mejor rendimiento (89.2%). Incrementos adicionales de catalizador, hasta 15% p/p, muestren una disminución en el rendimiento de e-caprolactama hasta un 70.3%. Al aumentar la concentración de catalizador disminuye la cantidad total de Nilón-6 a despolimerizar en el reactor y subsecuentemente el rendimiento de e-caprolactama.

Estos resultados indican que 1% p/p de catalizador es suficiente para desplazar la reacción hacia la producción de e-caprolactama y para obtener buenos rendimientos. Un exceso de NaOH no genera mayores rendimientos.

4.2. EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL RENDIMIENTO DE LA REACCIÓN DE DESPOLIMERIZACIÓN.

El efecto de la temperatura en la reacción de despolimerización se muestra en la Tabla 8 y en la figura 4.1.

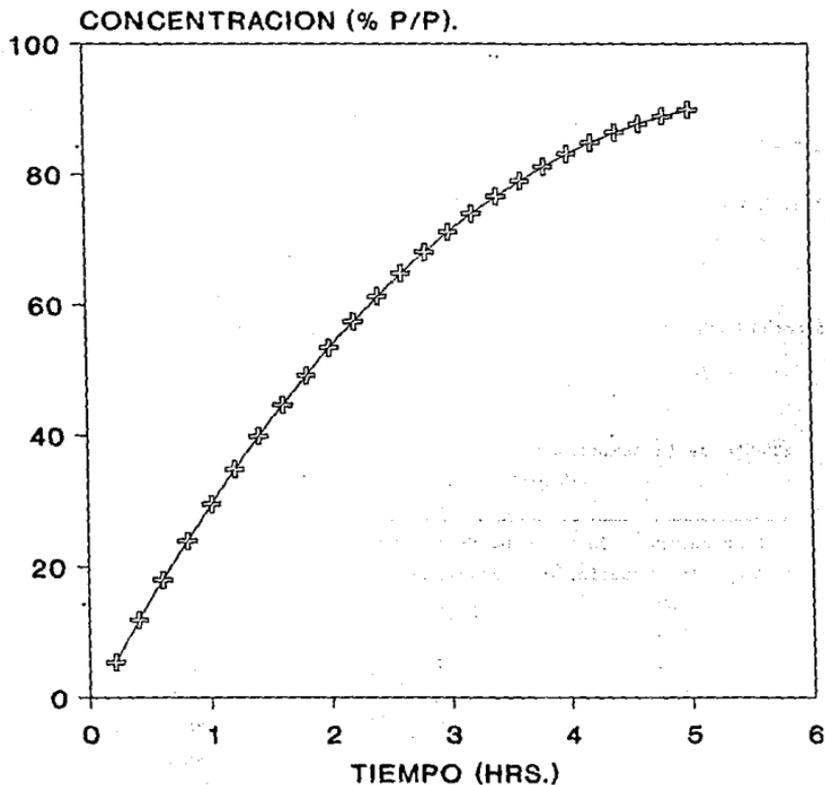
TABLA 8

Efecto de la temperatura en el rendimiento de la reacción de despolimerización de Nilón-6.

Temperatura de despolimerización, °C	No de ensayos realizados	rendimiento promedio de e-caprolactama, %
230	2	22.6
240	2	30.0
245	2	47.5
250	2	89.8
255	2	90.1
260	2	90.3
265	2	90.4
270	2	90.6

Concentración del catalizador en 1 X p/p, una presión menor a 10 mm de Hg y un tiempo de 4.5 horas.

RENDIMIENTO PROMEDIO DE E-CAPROLACTAMA
EN FUNCION DEL TIEMPO DE REACCION.



—+— FIGURA 4.2.

Se escogió un rango entre 230 y 270°C para estudiar el efecto de la temperatura en el rendimiento de e-caprolactama en la reacción de despolimerización. Este rango se escogió considerando que el Nilón-6 funde a 225°C y a evitar la formación de productos secundarios por descomposición térmica.

Se observa que la temperatura de despolimerización entre 230 a 250°C influye exponencialmente en el rendimiento de e-caprolactama de 22.6 % a 89.5%. Por arriba de 250°C el efecto de la temperatura es insignificante en el rendimiento de e-caprolactama. Un 0.8 % adicional no justifica un mayor gasto energético en el sistema.

A temperaturas mayores a 270°C se obtienen rendimientos muy bajos, debido principalmente a que el mecanismo de despolimerización es por vía térmica, además de que la e-caprolactama formada se degrada; se carboniza el Nilón-6 y se generan gases.

4.3. DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE REACCION DE DESPOLIMERIZACION.

Una vez que se encontraron los parámetros de temperatura y concentración de catalizador necesarios para despolimerizar directamente el Nilón-6 en forma óptima, se estudió el efecto de los tiempos de despolimerización y, de esta manera, obtener la velocidad de reacción. Los tiempos analizados fueron: 1, 2, 3, 3.5, 4, 4.5 y 5 horas. Los datos obtenidos se ajustaron a una ecuación que establece el rendimiento en función del tiempo de reacción.

La ecuación ajustada es la siguiente:

$$C = -1.29548 + 34.4031 t - 3.7043 t^2 + 0.0944809 t^3 \quad (2).$$

Donde:

C = Rendimiento de e-caprolactama, % p/p.

t = Tiempo de reacción, en horas.

Los datos obtenidos con esta curva de ajuste se muestran en la Tabla 9 y en la figura 4.2.

TABLA 9
Efecto del tiempo en el rendimiento de la reacción de
despolimerización de Nilón-6.

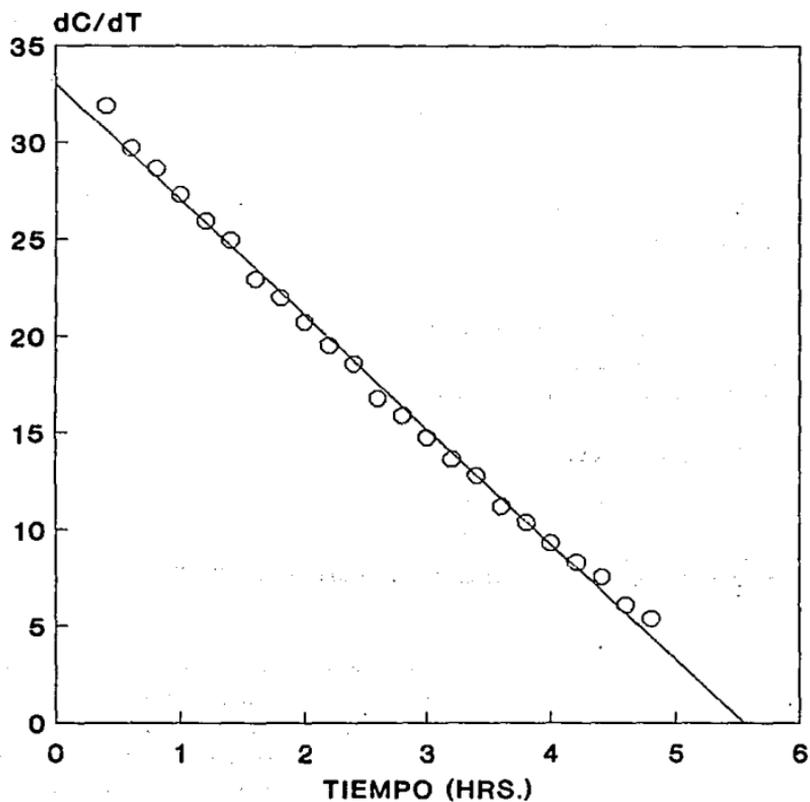
Tiempo, horas	concentración de e-caprolactama, % p/p.	
	Teórica	Experimental
0.0	0.0	0.0
0.2	5.43	
0.6	18.03	
1.0	29.49	25.0
1.4	39.86	
1.6	44.65	
2.0	53.44	58.3
2.2	57.46	
2.6	64.77	
3.0	71.12	71.2
3.4	76.56	
3.5	77.78	76.9
3.6	78.95	
4.0	83.09	80.2
4.4	86.41	
4.5	87.11	89.2
4.6	87.77	
5.0	89.92	89.9

Temperatura de 250 C, concentración de catalizador 1 % p/p.

De los datos de la Tabla 9 se obtiene la variación de la concentración con respecto al tiempo o velocidad de reacción instantánea V_i , usando el método de las diferencias centrales de acuerdo a la ecuación (3):

$$V_i = (\Delta C/\Delta t)_i = (C_{i+1} - C_{i-1}) / (t_{i+1} - t_{i-1}) \quad (3).$$

DETERMINACION DE VELOCIDAD DE REACCION
PARA LA DESPOLIMERIZACION DE NILON-6



○ FIGURA 4.3.

Esta evaluación se hace para cada uno de los puntos teóricos y experimentales y con estos valores se obtiene una gráfica de $\Delta C/\Delta t$ vs. t , si estos datos caen en una línea recta, su pendiente es el valor de la velocidad de reacción global. Si los datos graficados no dan una línea recta, estos se deben graficar en escala logarítmica para buscar el ajuste a una recta. En nuestro caso los datos caen en una línea recta, como se observa en la figura 4.3. y su ecuación es la siguiente:

$$V_1 = -5.953289 t + 33.051564. \quad (4).$$

El coeficiente de correlación de datos a la ecuación (4) da un valor muy aceptable de 0.9981. Entre más cercano sea el coeficiente de correlación a la unidad implica que la ecuación se ajusta mejor a los datos experimentales.

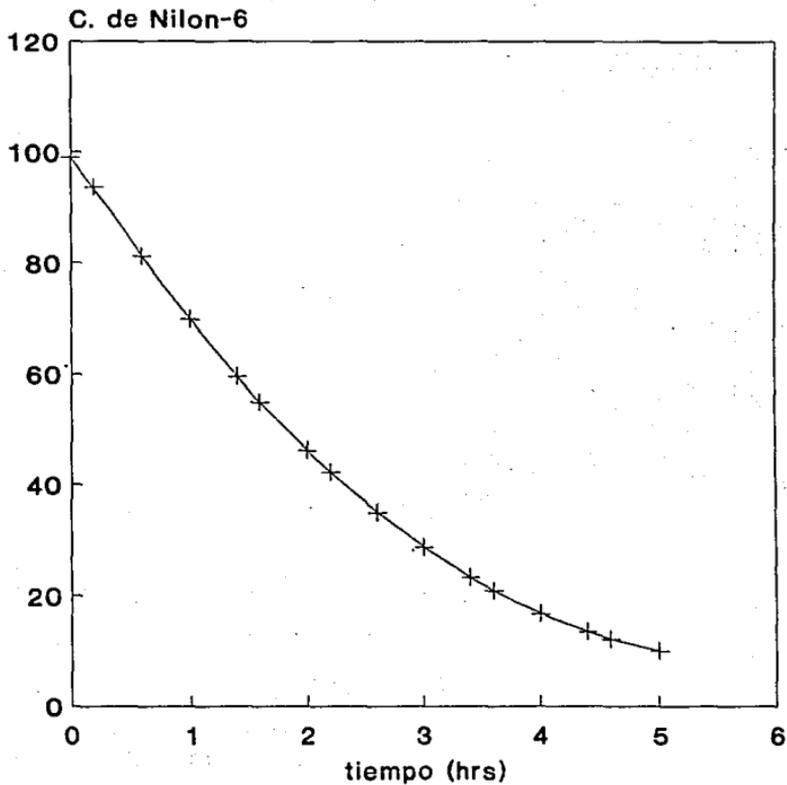
De esta manera la velocidad de reacción global (r), para la reacción de despolimerización directa de Nilón-6 catalizada con hidróxido de sodio es la siguiente:

$$r = (dc/dt) = - 5.953 \quad (5).$$

4.4. DETERMINACION DEL ORDEN DE LA REACCION DE DESPOLIMERIZACION.¹⁴

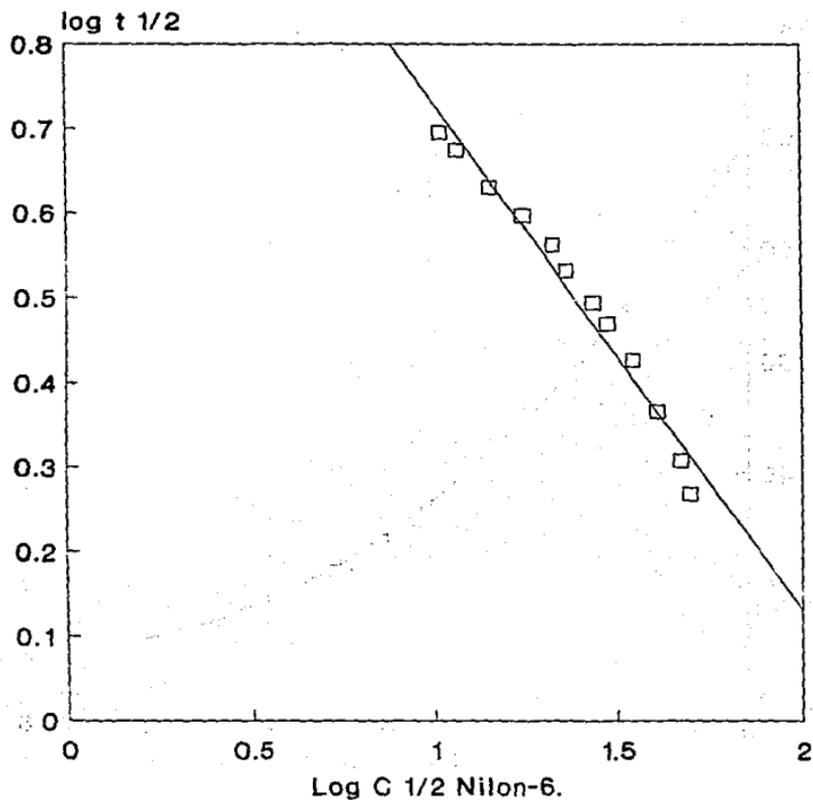
La determinación del orden de la reacción de despolimerización de Nilón-6 se realizó por el método de la vida media. Este método se aplica cuando la ecuación de velocidades de reacción es de la forma $r=k(A)^n$. Para usar el método, se representa la concentración de reactivos (Nilón-6) en función del tiempo (figura 4.4.A.). A continuación se escoge arbitrariamente un valor de concentración de Nilón-6 y se encuentra el punto donde esta concentración se ha reducido a la mitad del valor inicial, el intervalo entre estos dos puntos es el tiempo de vida medio para el valor de concentración escogido inicialmente. Entonces se repite este procedimiento partiendo de otra concentración de Nilón-6 inicial y determinando un nuevo valor de tiempo

VARIACION DE LA CONCENTRACION DE NILON-6 CON RESPECTO AL TIEMPO



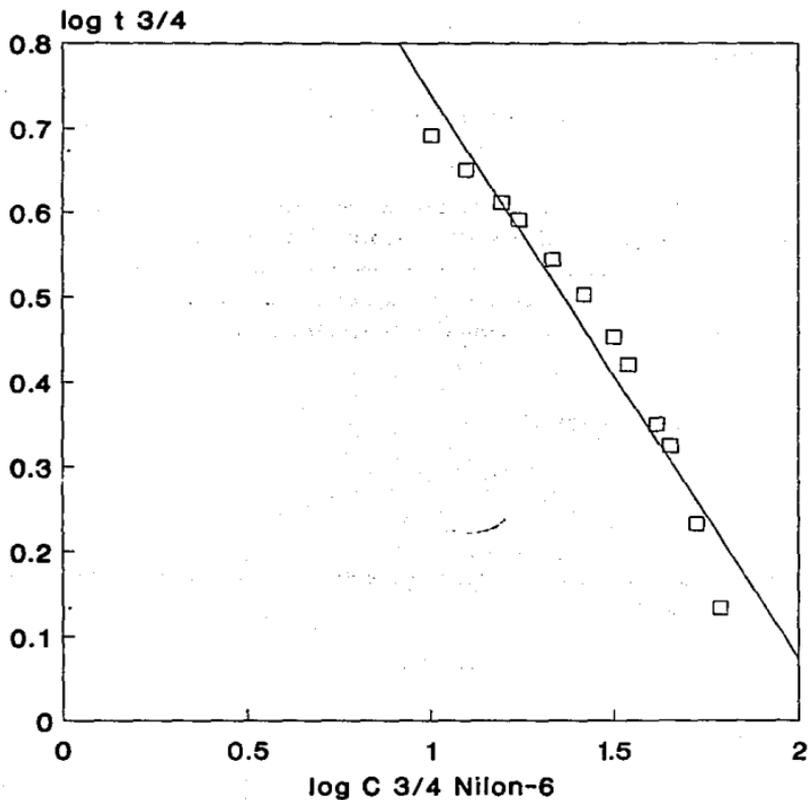
—+— FIGURA 4.4.A.

DETERMINACION DEL ORDEN DE LA REACCION
DE DESPOLIMERIZACION DE NILON-6.



—□— FIGURA 4.4.B.

**DETERMINACION DEL ORDEN DE LA REACCION
DE DESPOLIMERIZACION DE NILON-6.**



—□— FIGURA 4.4.C.

de vida media para esta concentración. Tras repetir este proceso varias veces se representa $\log t_{1/2}$ frente al logaritmo de las correspondientes concentraciones de Nilón-6 iniciales y se mide la pendiente de la línea recta que se obtiene o que se ajusta por medio de mínimos cuadrados. Se pueden utilizar otros tiempos de vida fraccionales t_s , definido como el tiempo requerido para que la concentración inicial supuesta se reduzca en la cantidad s , es decir $s(C_0 \text{ Nilón-6})$. La representación gráfica de $\log t_s$ contra \log de las concentraciones es una línea recta de pendiente $1-n$, en donde n es el orden de la reacción.

En este caso se utilizaron dos tiempos de vida fraccionales $t_{1/2}$ y $t_{3/4}$ (vease figuras 4.4.B. y 4.4.C.), obteniéndose en ambos casos pendientes muy similares. El orden de reacción encontrado con este método es de 1.63 con respecto a los reactivos o Nilón-6. Entonces la velocidad de reacción se expresa de la siguiente manera:

$$r = dC/dt = k (C)^n.$$

Donde:

r = Velocidad de reacción o los cambios de concentración del Nilón-6 con respecto al tiempo.

k = Constante de velocidad de reacción.

C = Concentración de Nilón-6.

n = Orden de la reacción, en este caso es igual a 1.63 con respecto al Nilón-6.

Los valores utilizados para realizar las figuras 4.4.A, B y C. se pueden observar en la tabla 10.

TABLA 10.

Datos utilizados para realizar las gráficas para la determinación del orden de la reacción de despolimerización de Nilón-6

concentración de Nilón-6	Tiempo (hrs)	Concentración Nilón-6 a 1/2	Tiempo 1/2	Concentración Nilón-6 a 3/4	Tiempo 3/4
99.0000	0.0	49.5000	1.8508	74.2500	0.8321
93.6243	0.2	46.8121	2.0263	70.2182	0.9722
81.1503	0.6	40.5751	2.3201	60.8627	1.3576
69.8050	1.0	34.9025	2.6666	52.3537	1.7080
59.5387	1.4	29.7693	2.9429	44.6540	2.1065
54.7966	1.6	27.3983	3.1140	41.0974	2.2335
46.0945	2.0	23.0472	3.3947	34.5708	2.6277
42.1147	2.2	21.0573	3.6491	31.5860	2.8379
34.8778	2.6	17.4389	3.9517	26.1583	3.1839
28.5914	3.0	14.2957	4.2543	21.4435	3.4992
23.2057	3.4	11.6028	4.7193	17.4042	3.8978
20.8407	3.6	10.4203	4.9517	15.6305	4.0861
16.7411	4.0			12.5558	4.4715
13.4543	4.4			10.0907	4.9138

4.5. ANALISIS Y CARACTERIZACION DE LAS E-CAPROLACTAMAS OBTENIDAS.

En la tabla 11 se muestran las propiedades de las muestras de e-caprolactama obtenidas de la despolimerización y se comparan con las de una muestra pura.

El número de color APHA de la muestra de e-caprolactama pura es blanco 5, mismo valor encontrado para la muestra de e-caprolactama obtenida de la despolimerización de granulados de Nilón-6 sin aditivos. La muestra de e-caprolactama obtenida de la despolimerización de desperdicios de Nilón-6 con aditivos tiene una ligera coloración anaranjada, esta coloración desaparece al tratar la muestra con carbón activado, después del tratamiento el número de color APHA encontrado para esta muestra es igualmente blanco 5. La coloración que presenta esta muestra se debe a algún aditivo que se le agrega a el Nilón-6 en el procesamiento.

TABLA 11.

Valores obtenidos de las propiedades utilizadas para caracterizar las muestras de e-caprolactama pura y las obtenidas de la reacción de despolimerización.

PROPIEDAD	E-CAPROLACTAMA PURA GRADO R.	E-CAPROLACTAMA DE NILON-6:		SIN ADITIVOS
		CON ADITIVOS: IMPURA	REC.	
Punto de fusión, (DSC), C.	70.13	70.54	68.79	69.60
Color, APHA.	blanco 5	roja	blanco 5	blanco 5
Espectro de I.R. Sadler R. Lab.	Idéntico al espectro 208-B	Idéntico al espectro 208-B		Idéntico al espectro 208-B
Dif. de rayos-X. (ICDD).	Idéntico al spect. 15-1100	Idéntico al spect. 15-1100		Idéntico al spect. 15-1100
Espectro de U.V.	Absorbancia a 294.4 nm	Absorbancia 294.4 294.6 nm		Absorbancia a 294.8 nm
Análisis de TGA, 100% de pérdida de masa, C.	184.0	184.0	184.0	178.0

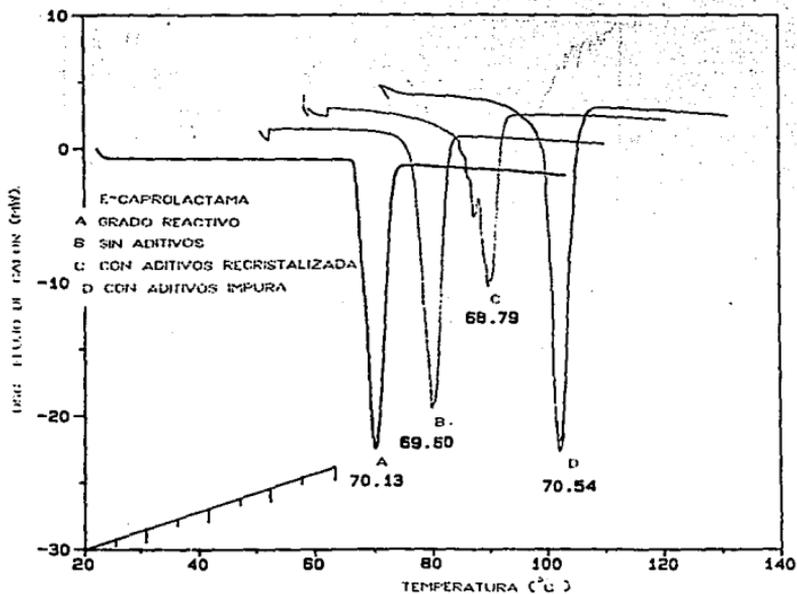
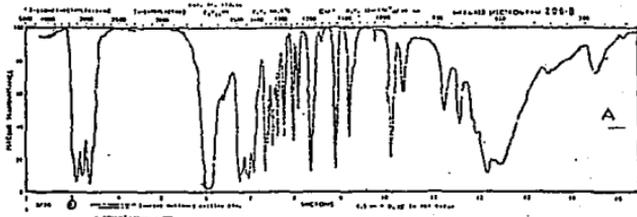
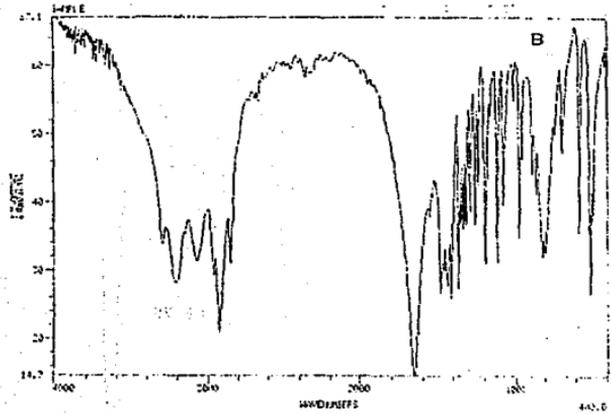


FIGURA 4.5. TERMOGRAMAS DE E-CAPROLACTAMA OBTENIDOS POR CALORIMETRIA DIFERENCIAL DE BARRIDO (DSC).



E-CAPROLACTAMA GRADO REACTIVO.



E-CAPROLACTAMA SIN ADITIVOS.

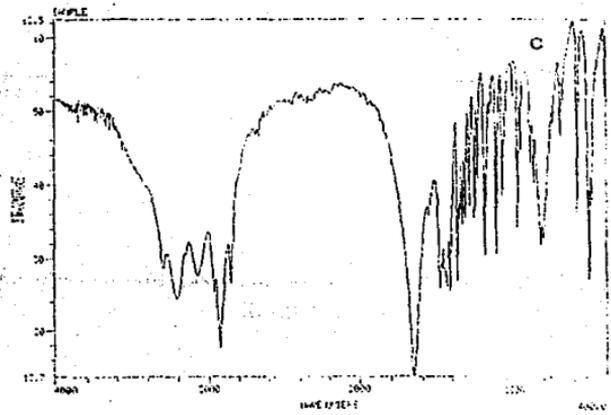
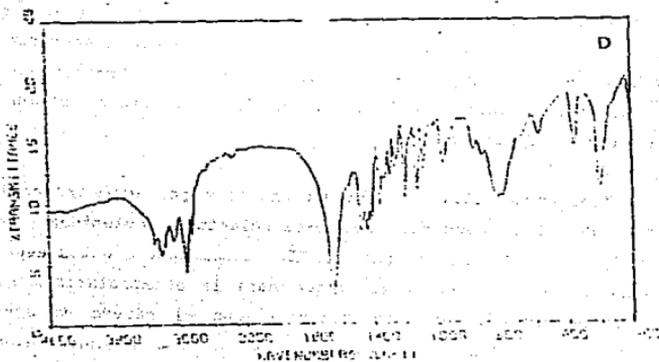


FIGURA 4.6.A. ESPECTROS DE IR-FT DE MUESTRAS DE E-CAPROLACTAMA. A, B Y C.

E-CAPROLACTAMA CON ADITIVOS IMPURA



E-CAPROLACTAMA CON ADITIVOS RECRISTALIZADA

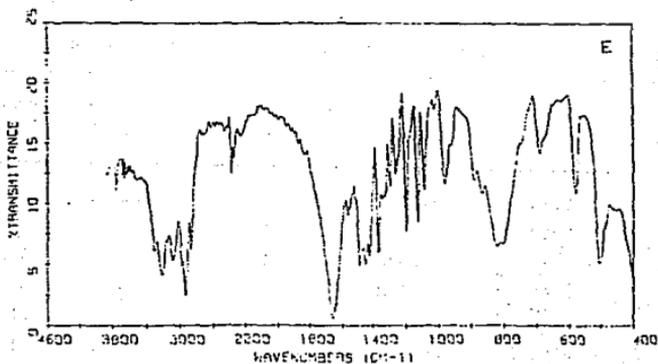


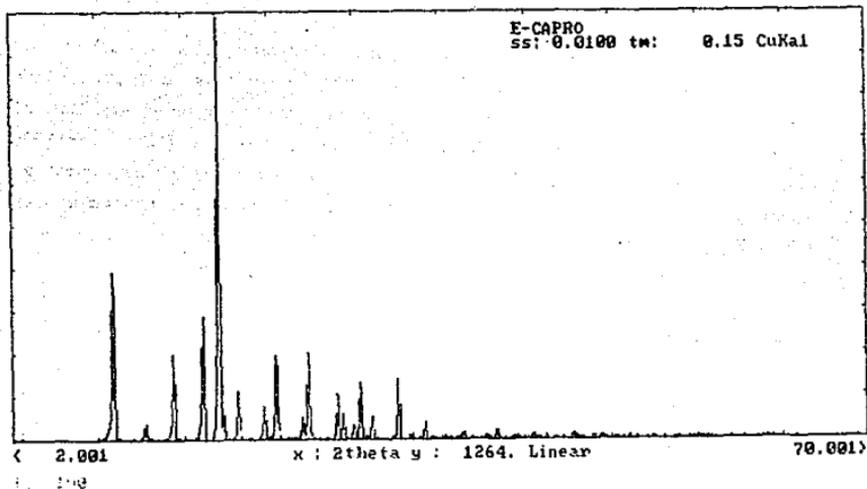
FIGURA 4.6.B. ESPECTROS DE IR-FT DE MUESTRAS DE E-CAPROLACTAMA. D Y E.

El punto de fusión de las muestras de e-caprolactama obtenidas de la despolimerización no presentan diferencia significativa con la muestra de e-caprolactama pura y las pequeñas variaciones que existen entre ellas se deben principalmente a pequeñas concentraciones de contaminantes en las muestras y al contenido de humedad de cada muestra. Los termogramas obtenidos por DSC³⁹ de las diferentes muestras se muestran en la figura 4.5.

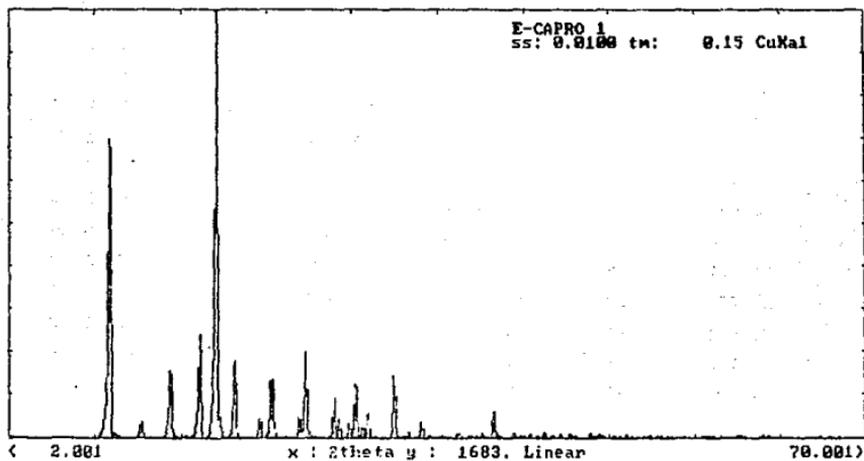
También se llevó a cabo un análisis por espectroscopia de infrarrojo de las muestras de e-caprolactama obtenidas de la despolimerización y la muestra pura en KBr, comparandose estos espectros con el espectro de infrarrojo reportado para la e-caprolactama en los archivos de Sadtler Research Laboratories²¹ con el número de espectro 208-B, obteniéndose espectros similares tal y como se muestra en la figura 4.6. En algunos espectros los valores de porcentaje de transmitancia no son iguales pero esto se debe principalmente a factores como el espesor de la pastilla fabricada para realizar el espectro de infrarrojo. Los picos característicos del espectro de IR para la e-caprolactama se muestran en la tabla 12.

TABLA 12.
Picos característicos del espectro de IR para la e-caprolactama.

Número de pico.	Número de onda (cm ⁻¹)	Intensidad (%T)	Número de pico.	Número de onda (cm ⁻¹)	Intensidad (%T)
1	3298.69	33.886	11	1365.78	27.400
2	3208.00	28.235	12	1332.98	36.023
3	3078.78	31.370	13	1315.62	36.651
4	2968.83	29.302	14	1198.80	31.111
5	2930.24	20.883	15	1125.50	31.239
6	2856.94	30.999	16	982.80	34.805
7	1657.50	14.668	17	823.80	31.980
8	1486.90	26.718	18	806.35	32.764
9	1437.15	27.258	19	582.58	35.627
10	1418.00	25.962	20	506.10	25.762



E-CAPROLACTAMA SIN ADITIVOS.



E-CAPROLACTAMA CON ADITIVOS IMPURA.

FIGURA 4 .7. DIFRACTOGRAMAS DE RAYOS X DE MUESTRAS DE E-CAPROLACTAMA.

Otra técnica utilizada para analizar las muestras de e-caprolactama fue la difracción de rayos-X y los difractogramas obtenidos se compararon con el reportado para la e-caprolactama por el International Centre for Diffraction Data,²⁰ difractograma 15-1100, encontrándose sumamente similares todos los difractogramas como se muestra en la figura 4.7. Los picos característicos del difractograma de rayos X para la e-caprolactama se especifican en la Tabla 13.

TABLA 13.

Picos característicos obtenidos en los difractogramas de rayos X para la e-caprolactama.

Angulo	Intensidad	h	k	l	Angulo	Intensidad	h	k	l
9.908	25	2	0	0	29.655	<1	-2	2	2
12.387	8	1	1	0	30.453	4	-4	2	0
14.703	35	-1	1	1	30.928	<1	-1	1	3
17.104	70	1	1	1	31.566	<1	3	1	2
18.392	100	-3	1	1	32.509	16	5	1	1
18.705	14	-2	0	2	33.242	1	-5	1	3
19.891	4	4	0	0	33.498	2	4	0	2
20.073	2	0	0	2	34.605	6	2	2	2
21.984	20	-1	1	2	35.165	<1	-7	1	2
22.825	16	0	2	0	36.435	2	-2	2	3
22.998	2	-3	1	2	37.426	1	-4	2	3
23.862	1	3	1	1	37.884	4	-4	0	4
24.971	8	0	2	1	38.645	<1	-7	1	3
25.428	20	-2	2	1	39.366	<1	-3	1	4
25.644	<1	2	0	2	39.582	2	-1	3	2
25.765	<1	-5	1	1	40.592	2	-6	0	4
27.894	10	-5	1	2	40.836	1	-1	1	4
28.328	8	2	2	1	41.544	<1	1	3	2
29.102	2	-6	0	2	41.928	<1	-5	3	1
29.575	10	-4	2	1					

LÍNEAS FUERTES : 4.82/X; 5.18/7; 6.02/4; 8.92/3; 4.04/2; 3.50/2; 3.89/2
 2.75/2.

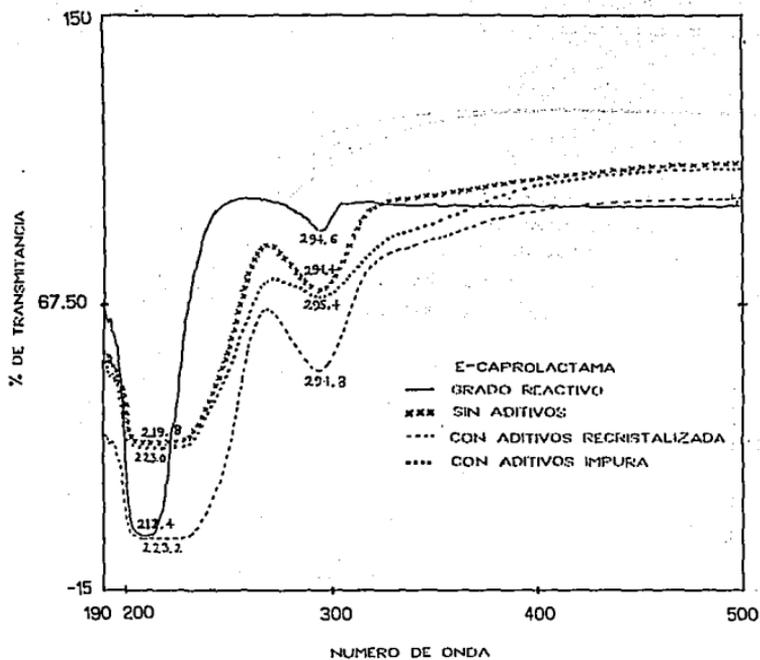


FIGURA 4.8. ESPECTROS DE UV DE MUESTRAS DE E-CAPROLACTAMA.

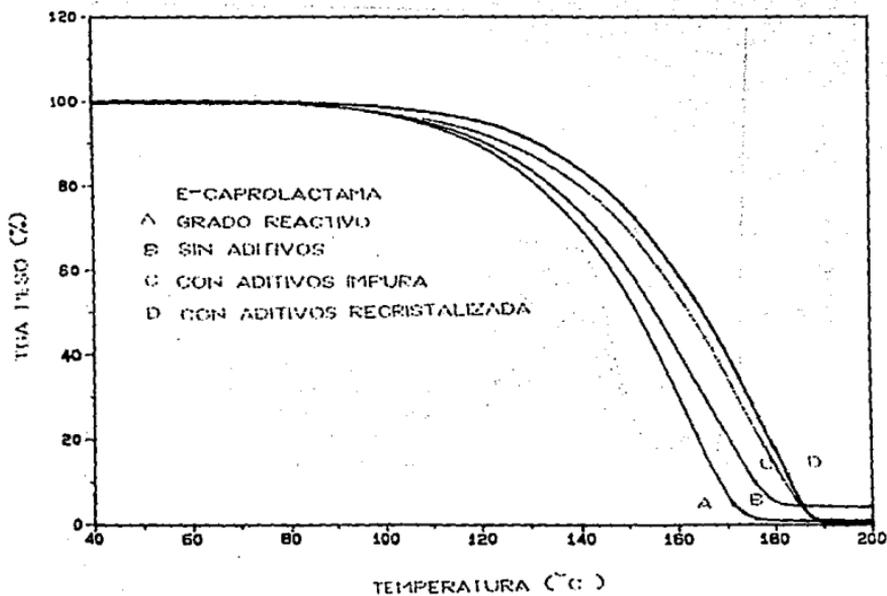


FIGURA 4.9. TERMOGRAMAS DE E-CAPROLACTAMA OBTENIDOS POR ANALISIS TERMOGRAVIMETRICO (TGA).

Todas las muestras se analizaron también por espectroscopia ultra-violeta obteniéndose en todos los casos absorbancia a 290-295 nm, valores que coinciden con la absorbancia a 290 nm reportado para una solución acuosa al 50% de e-caprolactama, las mediciones se llevaron a cabo en una celda de 5 cm de largo utilizando metanol y tolueno como solvente obteniéndose resultados similares para ambos solventes. Los espectros de ultra-violeta obtenidos se pueden observar en la figura 4.8. Este valor de absorbancia a 290 nm se estandarizó por ISO (International Organization for Standardization) con el número ISO 7059-1982.

Se utilizó también la técnica de TGA³⁹ (Thermal Gravimetry Analysis) para analizar las muestras de e-caprolactama tanto pura como las obtenidas de la despolimerización. Los gráficos obtenidos por esta técnica se pueden observar en la figura 4.9. Esta técnica se utilizó para comprobar si se obtuvieron oligómeros cíclicos de la e-caprolactama o algún tipo de impureza sólida proveniente de la reacción de despolimerización. Los principales oligómeros cíclicos de la e-caprolactama son los dimeros, trimeros y tetrameros, ya que por medio de esta técnica se puede observar la pérdida de materia en la muestra contra la temperatura y como los oligómeros tienen puntos de fusión más altos (tan sólo el dimero tiene un punto de fusión de 348 °C) se esperaría tener cierta cantidad de masa a esta temperatura, pero en todas las muestras analizadas se perdía el 100 % de materia alrededor de 180-185°C, por lo que las muestras analizadas no contienen este tipo de impurezas. Al efectuar la despolimerización, los oligómeros subliman (p.s del dimero 210°C y trimero 260°C) y se separan de la e-caprolactama (punto de sublimación a 2 mm de Hg 110°C), ya que estos se quedaban en las paredes del reactor.

4.6. CARACTERIZACION DE LAS MUESTRAS DE POLIMERO OBTENIDAS DE LA REPOLIMERIZACION DE LAS MUESTRAS DE E-CAPROLACTAMA RESULTANTES DE LA DESPOLIMERIZACION DE NILON-6.

Las muestras de polímero obtenidas de la repolimerización de la e-caprolactama obtenida de la reacción de despolimerización y de la polimerización de la muestra de e-caprolactama pura, fueron caracterizadas por las mismas técnicas con que se caracterizaron las anteriores, es decir por medio de Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC), Análisis Termogravimétrico (TGA), Difracción de rayos X, Espectroscopia Infrarroja y ultravioleta.

Esto se hizo con el fin de poder determinar la utilidad en el reciclamiento de los desechos de Nilón-6 por el método que aquí se propone y los resultados obtenidos fueron muy alentadores debido a que se obtuvieron muestras de polímero muy semejantes en propiedades, lo que determina que la e-caprolactama obtenida por medio de la reacción de despolimerización cumple los requerimientos para poderla reintroducir en el proceso normal de polimerización de Nilón-6.

CAPITULO V.

INGENIERIA BASICA PARA UNA PLANTA DE RECUPERACION DE NILON-6.

5.1.- BASES DE DISEÑO.

NOMBRE DE LA PLANTA: Planta Recuperadora de Nilón-6.

LOCALIZACION: Lerma, Estado de México. (vease localización de la planta en las memorias de cálculo)

NUMERO DE CONTRATO: 101.

5.1.1.- GENERALIDADES.

5.1.1.1.- Función de la Planta.

Recepción de desperdicios de Nilón-6, depolimerización de éstos y retorno del monómero de e-caprolactama obtenido para repolimerización.

5.1.1.2.- Tipo de Proceso.

Depolimerización directa de los desperdicios del Nilón-6 fundido en medio alcalino. Proceso batch o por lotes.

5.1.2.- CAPACIDAD, RENDIMIENTO Y FLEXIBILIDAD.

5.1.2.1.- Factor de Servicio.

De los doce meses del año se considera un mes de paro en la planta por factores como mantenimiento y limpieza de equipos, fallas de servicios y suministros, paros laborales y días festivos. De esta manera el factor de servicio se obtiene de la siguiente manera:

$$11 \text{ meses} / 12 \text{ meses} = 0.91$$

5.1.2.2.- Capacidad y Rendimiento.

a) Capacidad Normal.

Como el tipo de proceso empleado es batch o por lotes y tomando en cuenta el tiempo necesario para realizar éste, se podrían llevar a cabo tres cargas por día de 500 Kg por lo tanto:

500 Kg por 3 cargas = 1500 Kg por día.

Como un mes tiene 30 días, entonces 1500 por 30 = 45,000 Kg por mes.

45,000 Kg por 11 meses = 495,000 Kg = 495 toneladas por año.

b) Capacidad de Diseño.

Cp = 495 toneladas/0.91 = 543 toneladas/año.

5.1.2.3.- Flexibilidad.

Definición si la planta opera o no en caso de falla en servicios auxiliares.

-Electricidad	Si para. A falta de energía eléctrica la planta operará con un generador de emergencia.
-Aire de Instrumentos	No para.
-Agua de Enfriamiento	Si para.

5.1.3.- ESPECIFICACION DE LAS ALIMENTACIONES.

Corriente	Composición.
1	Nilón-6 desperdicios con 1.75% de humedad y aditivos.
2	NaOH libre de humedad, grado reactivo.
6	Agua de proceso.
9	Agua de proceso.
15	Carbón activado.

5.1.4.- ESPECIFICACION DE LOS PRODUCTOS.

Corriente	Composición.
5	Aire extraído de reactor conteniendo CO y CO ₂ .
12	Impurezas sólidas no caracterizadas.
19	Carbón activado con impurezas no caracterizadas.
21	e-caprolactama cristalina con 0.5 % de humedad.
22	Vapor de agua.

5.1.5.- ALIMENTACIONES.

5.1.5.1.- Condiciones de Alimentaciones en Límites de Batería.

Alim.	Estado	Presión.	Temperatura	Forma de
		Máx/Nor/Min	Máx/Nor/Min	Recibo
1	Sólido.	Atmosférica.	15°C	Sacos 50 Kg.
2	Sólido	Atmosférica	15°C	Botellas 3.8 L
6	Líquido	Atmosférica	25 /15 /5	Tubería.
9	Líquido	Atmosférica	25 /15 /5	Tubería.
15	Sólido	Atmosférica	15	Sacos 50 Kg.

5.1.5.2.- Elementos de Seguridad en Alimentaciones.

Aislamiento térmico del reactor de depolimerización debido a que se trabaja con altas temperaturas (aproximadamente 250°C).

5.1.6.- CONDICIONES DE PRODUCTOS.

		Presión	Temperatura	Forma de
Salida	Estado	Máx/Nor/Min	Máx/Nor/Min	Salida
5	Gaseoso	Atmosférica	40/25/15	Tubería
12	Sólido	Atmosférica	15	-----
19	Sólido	Atmosférica	15	-----
21	Sólido	Atmosférica	15	Boisas de Al.
22	Gaseoso	Atmosférica	92	-----

5.1.7.- ELIMINACION DE DESECHOS.

5.1.7.1.- Normas y Requerimientos.

Para el contenido de desechos en agua deberá cumplirse con el reglamento para la prevención y control de la contaminación de agua.

Para contenido de desechos en el aire deberá cumplirse con el reglamento de control de contaminación por humos y polvos.

5.1.8.- INSTALACIONES REQUERIDAS PARA ALMACENAMIENTO.

Capacidad 11.235 toneladas para una semana.

5.1.9.- SERVICIOS AUXILIARES.

5.1.9.1.- Vapor.

No se necesita.

5.1.9.2.- Agua de Enfriamiento.

P = 2.63 Kg/cm² manométrica.

T = 26.7 C.

Disponibilidad: requerida.

5.1.9.3.- Retorno de Condensado.

No se necesita.

5.1.9.4.- Análisis Químico del Agua.

	ppm
Sulfatos (SO_4^{--})	50-100
Oxígeno disuelto	10-8
Silice	menos de 150
Cloruros (NaCl)	50-100
Sólidos totales	500-1000
Alcalinidad total ($CaCO_3$)	menos de 300
Dureza total ($CaCO_3$)	menos de 240
pH	6.8-7.5

5.1.9.5.- Agua de servicios.

Fuente de suministro-----pozo.

Características-----libre de sólidos suspendidos.

P = 50 psig.

T = 90°F.

5.1.9.6.- Agua Potable.

5.1.9.7.- Agua Contra Incendio.

P = 170 psig.

Capacidad de las bombas.

5.1.9.8.- Agua para Caldera.

No se necesita.

5.1.9.9.- Aire de Instrumentos.

Será generado dentro de la planta con un compresor tipo centrífugo accionado por motor eléctrico.

P = 90 psia

5.1.9.10.- Aire de Planta.

similar al aire de instrumentos y se usará como relevo del compresor de aire de instrumentos.

5.1.9.11.- Combustibles.

No se necesitan.

5.1.9.12.- Inertes.

Se necesita Nitrógeno gaseoso.

5.1.9.13.1- Alimentación de Energía Eléctrica.

Fuente de suministro	C. F. E.
Interrupciones	5-15 minutos.
Frecuencia	5-10 veces al año.
Tensión	4160 volts.
Número de fases	3
Frecuencia	60 ciclos.
Factor de potencia mínimo	0.85
Número de conductores	3
Material del conductor	Cobre.
Aislamiento	Plástico.
Acometida	Subterránea.

5.1.9.13.2.- Alimentación de Energía Eléctrica de Emergencia.

Fuente de suministro: Sistema ininterrumpible para alimentación e iluminación de emergencia.

Tensión: 115 VCA.

No de Fases: 1

Frecuencia: 60 ciclos.

5.1.9.14.- Teléfonos.

Se necesita mínimo una línea.

5.1.9.15.- Desfogue.

No se necesita.

5.1.9.16.- Sistemas de Seguridad.

Sistema contra incendio.

El plano de hidrantes y monitores será realizado de acuerdo a las normas y criterios para la red contra incendio.

Protección de personal.

Regaderas: Si

Servicios medicos: Si

Tomas de aire: SI.

Equipo: SI (guantes, botas, lentes, etc).

Otros: Lavadores de ojos.

5.1.10.- CONDICIONES DEL MEDIO AMBIENTE.

5.1.10.1.- Temperatura.

Máxima 15°C.

Mínima 1°C.

Promedio 12.6°C.

5.1.10.2.- Precipitación Pluvial.

Precipitación promedio anual 785.5 milímetros.

5.1.10.3.- Tormentas Eléctricas.

En el mes de Julio un promedio de 6-10 tormentas eléctricas.

5.1.10.4.- Vientos (dirección).

Dominantes dirección Sur.

Reinantes dirección Sur-Oeste.

5.1.10.5.- Humedad.

Clima con poca humedad.

5.1.10.6.- Atmósfera.

Clima templado subhúmedo con lluvias en verano.

5.1.11.- BASES DE DISEÑO ELECTRICO.

Codigos NEMA e ISA.

Resistividad eléctrica del terreno menor de 2 mmhos/cm.

Características de la alimentación a Motores.

Potencia (HP)	Volts	Fases	Frecuencia.
10	116/220	3	30 Hz.
12	127/220	3	30 Hz.
20	220/440	3	30 Hz.
10	116/220	3	60 Hz.
12	127/220	3	60 Hz.
20	220/440	3	60 Hz.

5.1.12.- DRENAJES.

Drenaje sanitario ----- Asbesto.

Drenaje químico ----- Asbesto.

5.2.- DESCRIPCION DEL PROCESO.^{32,33.}

El diagrama de flujo de proceso para la planta de recuperación de Nilón-6 se puede observar en la figura 5.1-101.

Este proceso consta de dos etapas esenciales para su realización, a las cuales se les ha llamado: a)etapa de reacción y b)etapa de purificación.

a) Etapa de Reacción.

El Nilón-6 y el NaOH se reducen a un tamaño pequeño (aproximadamente 100 micras). Estos son introducidos al reactor de despolimerización DC-001 por medio de las corrientes 1 y 2, una vez en el reactor se mezclan y se calienta esta mezcla a la temperatura necesaria para llevar a cabo la reacción, bajo agitación lenta, la e-caprolactama formada se funde y es extraída por la línea 3 por medio del sistema de vacío y se solidifica en un tanque de solidificación FA-001, los gases como el CO, CO₂, etc. productos de la reacción y el vapor de agua son extraídos por la bomba de vacío GB-001 en la línea número 4, en la cual son condensados por medio de una trampa para vacío, de esta manera evitamos dañar la bomba de vacío con estos gases. Una vez que se lleva a cabo satisfactoriamente la reacción se enfrían el reactor y el tanque de solidificación.

b) Etapa de Purificación.

Una pequeña parte de la e-caprolactama formada en el reactor de despolimerización DC-001 no fue extraída y enviada al tanque de solidificación, una vez terminada la reacción se introduce agua al reactor por medio de la línea 9 para solubilizar la e-caprolactama remanente y arrastrar las impurezas sólidas producto de la reacción. La solución resultante es bombeada por medio de la bomba GA-001 a través de un filtro FD-001 para eliminar todas las impurezas sólidas que ésta arrastre del reactor. La solución filtrada es enviada a un tanque de tratamiento FA-002.

La e-caprolactama solidificada en el tanque FA-001 es solubilizada con agua procedente de la corriente 6 y la solución resultante es bombeada por la bomba GA-002 hacia el tanque de tratamiento FA-002, en donde es mezclada con la solución filtrada proveniente del reactor.

La solución acuosa de e-caprolactama que se tiene en el tanque FA-002 es tratada con carbón activado, introducido en la corriente 15 y mezclado perfectamente con la solución por medio de agitación vigorosa durante un tiempo de 30 minutos para que el carbón absorba las impurezas coloridas de la solución de e-caprolactama.

La mezcla que se tiene en el tanque FA-002 después del tratamiento es bombeada por la bomba GA-003 a través del filtro FD-002 para eliminar de la solución el carbón activado que ya ha absorbido las impurezas de la e-caprolactama, éste es eliminado por medio de la corriente 19.

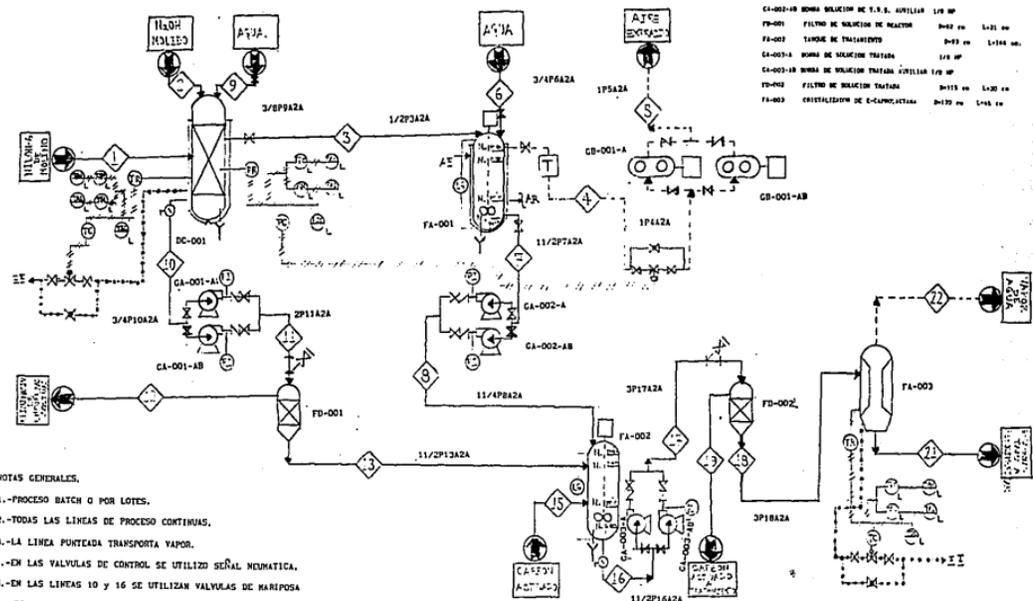
Una vez filtrada la solución acuosa de e-caprolactama ésta es enviada a un cristalizador FA-003, en el cual se evapora el agua de la solución y se obtiene la e-caprolactama sólida en cristales lista para enviarse a repolimerización por la corriente 21.

COMPONENTE COMPARATIVO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
NILON-6 kg/c	486.3																						
NaOH kg/c		5.0								5.0	5.0	5.0											
H ₂ O kg/c	8.66		8.66			240.0	248.6	248.6	50.0	50.0	50.0		50.0			298.5	298.5	298.5					298.5
C ₆ H ₁₁ OH kg/c			415.3				415.3	415.3		21.8	21.8		21.8			437.0	437.0	437.0					437.0
Impurezas kg/c			23.8				23.8	23.8		15.5	15.5	9.3	6.19			30.0	30.0		30.0				
Gases kg/c			2.43	2.43	2.43																		
Oligomeros kg/c										7.29	7.29	7.29											
Carbón Activado kg/c															30.0	30.0	30.0		30.0				
Temperatura °C	20	20	100	250	250	20	25	25	20	25	25	20	25		20	25	25	25	20		25	93	
Presión lb/pg ²	11.2	11.2	0.30	0.24	0.24	7.43	10.67	8.24	3.73	10.31	7.78		11.16			10.58	8.01	11.18					11.2
Densidad kg/lt			0.99			1.00	1.04	1.04	1.00	1.02	1.02		1.02			1.03	1.03	1.03					
Viscosidad cp			4.87			1.00	1.46	1.46	1.00	1.46	1.46		1.46			1.46	1.46	1.46					

FIGURA 5.2.-101. DIAGRAMA DE BALANES DE MATERIA Y ENERGIA PARA PROCESO DE
PLANTA DE RECUPERACION DE NILON-6

LISTA DE EQUIPO.

CLAVE	DESCRIPCION	INDICACIONES PRINCIPALES.
DC-001	REACTOR DE DESPOLIMERIZACION	D=45 cm L=150 cm.
FA-001	TANQUE DE SOLUS. E INMOVILIZACION	D=80 cm L=180 cm.
CA-001-A	BOMBA DE VACIO	1/2 HP
CA-001-B	BOMBA DE VACIO AUXILIAR	1/2 HP
CA-001-A	BOMBA SOLUCION DE REACTOR	1/2 HP
CA-001-B	BOMBA SOLUCION DE REACTOR VAC.	1/2 HP
CA-002-A	BOMBA SOLUCION DE S.R.S.	1/2 HP
CA-002-B	BOMBA SOLUCION DE S.R.S. AUXILIAR	1/2 HP
FB-001	FILTRO DE NAUSEO DE REACTOR	D=42 cm L=120 cm.
FA-002	TANQUE DE TRATAMIENTO	D=80 cm L=120 cm.
CA-003-A	BOMBA DE SOLUCION TRATADA	1/4 HP
CA-003-B	BOMBA DE SOLUCION TRATADA AUXILIAR	1/4 HP
FB-002	FILTRO DE SOLUCION TRATADA	D=115 cm L=20 cm
FA-003	CRISTALIZADOR DE E-CAPROLACTAMA	D=120 cm L=145 cm



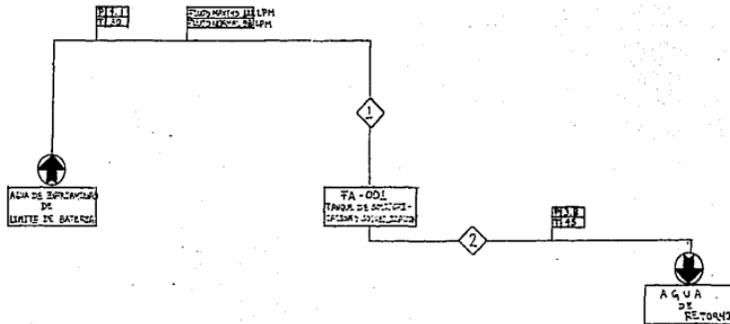
NOTAS GENERALES.

- 1.-PROCESO BATCH O POR LOTES.
- 2.-TODAS LAS LINEAS DE PROCESO CONTINUAS.
- 3.-LA LINEA PUNTEADA TRANSPORTA VAPOR.
- 4.-EN LAS VALVULAS DE CONTROL SE UTILIZO SEÑAL NEUMATICA.
- 5.-EN LAS LINEAS 10 Y 16 SE UTILIZAN VALVULAS DE MARIPOSA POR TRANSPORTAR SOLIDOS EN SUSPENSION.
- 6.-LA LINEA 3 SE TIENE QUE AISLAR PARA EVITAR SOLIDIFICACION DE LA E-CAPROLACTAMA LIQUIDA.
- 7.-EL CALENTAMIENTO EN EL REACTOR SE HACE POR MEDIO DE UNA CHAQUETA DE CALENTAMIENTO.

ELABORADO: FRANCISCO DIAZ C.
SOLICITADO POR: DR. RICARDO VERA G.

DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION DE
PLANTA DE RECUPERACION DE NYLON-6.
LOCALIZACION: LERMA, EDO DE MEXICO.
ESCALA: 5/E DIBUJOS: J-101.

CORRIENTE	1	2
FLUJO NORMAL LPM	98	98
PRESION Kg/cm ² man.	4.1	3.8
TEMPERATURA °C	30	45

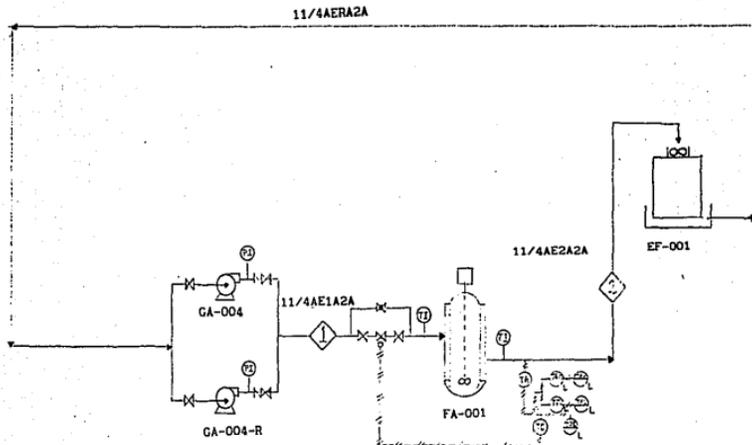


ELABORO: FRANCISCO DIAZ C.
SOLICITADO POR: DR. RICARDO VERA G.

DIAGRAMA DE BALANCE DE AGUA DE ENFRIAMIENTO
PARA PLANTA DE RECUPERACION DE NYLON-6.
LOCALIZACION: LERMA, EDO. DE MEXICO.
ESCALA: S/E
DIBUJO: S, 4-101

LISTA DE EQUIPO.

CLAVE	SERVICIO	DIMENSIONES PRINCIPALES.	
FA-001	TANQUE DE SOLID. Y SOLUBILIZACION	D=80 cm	L=160 cm
EF-001	TORRE DE ENFRIAMIENTO	H=100cm, L=150 cm, A=200cm	
GA-004	BOMBA DE ALIMENTACION AGUA	1/8 HP	
GA-004-R	BOMBA DE RELEVO DE ALIMENTACION	1/8 HP	

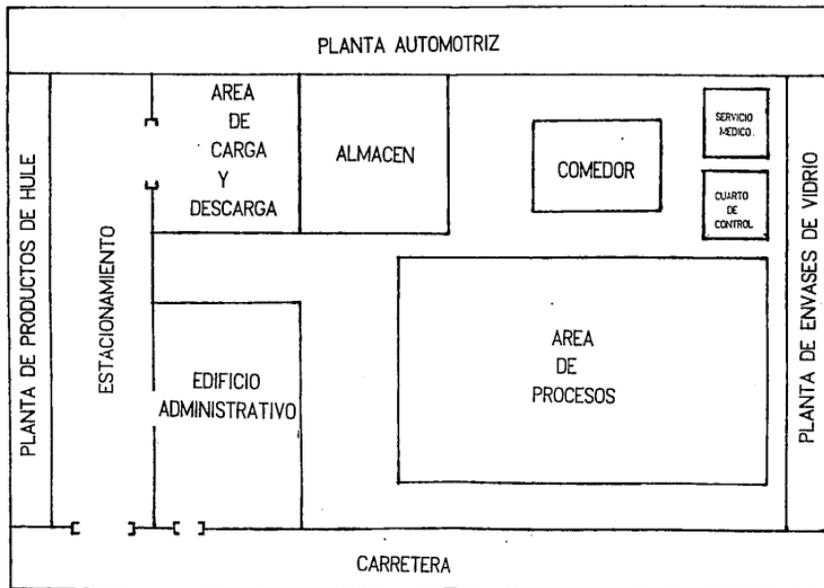
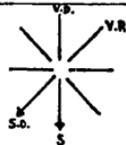


ELABORO: FRANCISCO DIAZ C.
SOLICITADO POR: DR. RICARDO VERA C.

DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION DE AGUA DE
REFRIGERANTES PARA PLANTA DE RECUPERACION DE VILMORIN.
LOCALIZACION: LERMA, EDO DE MEXICO.
ESCALA: 1/4" = 1'-0"

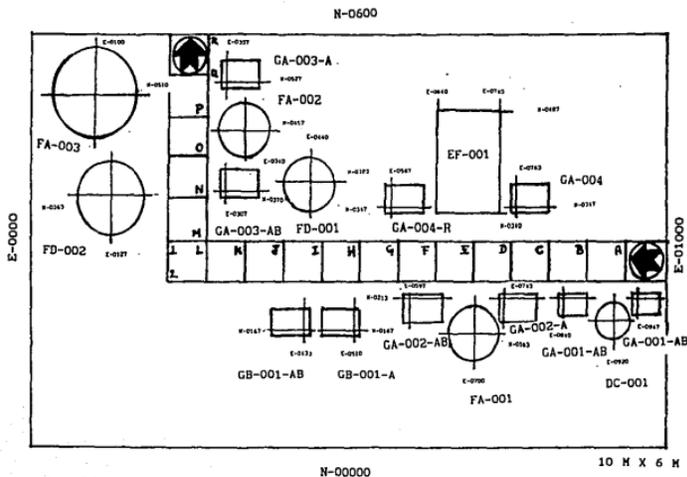
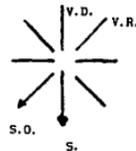
BOIMON-5-101.

DIBUJO DE REFERENCIA	CÓDIGO DE TURBINAS	SIMBOLOGÍA DE VALVULAS Y ACCESORIOS EN TURBINAS	TURBINAS Y ACCESORIOS EN TURBINAS	SIMBOLOGÍA DE INSTRUMENTOS	ELEMENTOS DE MEDICIÓN	NOTAS GENERALES
<p>—</p> <p>DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO.</p> <p>5.1. DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO PARA PLANTA DE RECOMPOSICIÓN DE ALUMINUM.</p> <p>5.2. DIAGRAMA DE BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA.</p> <p>DIAGRAMA DE TURBINA E INSTRUMENTACIÓN DE PROCESO.</p> <p>5.3. DIAGRAMA DE TURBINA E INSTRUMENTACIÓN DE PROCESO GENERAL.</p> <p>DIAGRAMA DE TURBINA E INSTRUMENTACIÓN DE SERVICIOS AUXILIARES.</p> <p>5.4. DIAGRAMA DE BALANCE DE AGUA DE ENFRIAMIENTO.</p> <p>5.5. DIAGRAMA DE TURBINA E INSTRUMENTACIÓN DE AGUA DE ENFRIAMIENTO.</p> <p>—</p> <p>PLANO DE LOCALIZACIÓN GENERAL.</p> <p>5.6. PLANO DE LOCALIZACIÓN GENERAL DE EQUIPO NIVEL NIVEL.</p> <p>12000 N NOMBRE EL NIVEL DEL AGUA.</p>	 <p>5. EN PROCESO?</p> <p>INDICE ALFABÉTICO DE SERVICIOS.</p> <p>AG AGUA POTABLE.</p> <p>AG AGUA DE LIMPIEZA.</p> <p>AG AGUA DE SERVICIO.</p> <p>AG AGUA DE ENFRIAMIENTO.</p> <p>AG AGUA RECOMPOSICIÓN.</p> <p>AL ALÍNEO DE INSTRUMENTOS.</p> <p>AL ALÍNEO DE LUBRIFICACIÓN.</p> <p>AP ALÍNEO DE PLANTA.</p> <p>AR RESERVA DE AGUA DE EXP.</p> <p>AG AGUA TRAZADA.</p> <p>AG AGUA CONTRA INCENDIOS.</p> <p>DA DENSIDAD DE ALTA PRESIÓN.</p> <p>DB DENSIDAD DE BAJA PRESIÓN.</p> <p>DE SERVICIO AUXILIAR.</p> <p>DU DENSIDAD DENSIDAD.</p> <p>DU DENSIDAD MATERIAL CONTRASTADO.</p> <p>CI GAS TRAZADO.</p> <p>P LÍNEA DE PROCESO.</p> <p>CE ENERGÍA ELÉCTRICA.</p>	<p>VALVULAS</p> <p>DE RETENCIÓN (CHECK)</p> <p>DE COMPUERTA</p> <p>DE GLOBO</p> <p>DE HARIPOSA</p> <p>DE CONTROL AUTOMÁTICO</p>	<p>TURBINA DE PROCESO.</p> <p>LÍNEA DE SERVICIOS AUXILIARES</p> <p>SEÑAL MANEJADA.</p> <p>ENERGÍA ELÉCTRICA.</p> <p>SEÑAL DE ALARMA.</p> <p>RELLENO TEMPORAL.</p> <p>SEÑAL ALERTEO.</p> <p>ENTRADA Y SALIDA DE ALIMENTOS DE ALIMENTOS.</p> <p>NIVEL DE FIBRA OPTICA.</p>	<p>IDENTIFICACIÓN DE INSTRUMENTOS.</p>  <p>VARIABLE</p> <p>PUNCIÓN</p> <p>ROMANO DE CONJUNTO</p> <p>F FLUJO</p> <p>FE IDENTIFICACIÓN DE FLUJO</p> <p>FC CONTROLACIÓN DE FLUJO</p> <p>FI INDICADOR DE FLUJO</p> <p>FIC CONTROLADOR INDICADOR DE FLUJO</p> <p>FAL ALARMA POR BAJA FLUJO</p> <p>FAR ALARMA POR ALTO FLUJO</p> <p>FBR REGULADOR DE FLUJO</p> <p>FBC CONTROLADOR REGULADOR DE FLUJO</p> <p>L NIVEL</p> <p>LE VIDRIO DE NIVEL</p> <p>LI INDICADOR DE NIVEL</p> <p>LER REGULADOR POR ALTO NIVEL</p> <p>LEB REGULADOR POR BAJO NIVEL</p> <p>LEL CONTROLADOR INDICADOR DE NIVEL</p> <p>LAL ALARMA POR BAJO NIVEL</p> <p>LAR ALARMA POR ALTO NIVEL</p> <p>P PRESIÓN</p> <p>PSR ALARMA POR ALTO DIF. DE PRESIÓN</p> <p>PZAL ALARMA POR BAJA DIF. DE PRESIÓN</p> <p>PC CONTROLADOR DE PRESIÓN</p> <p>PI INDICADOR DE PRESIÓN</p> <p>PIC CONTROLADOR INDICADOR DE PRESIÓN</p> <p>PAL ALARMA POR BAJA PRESIÓN</p> <p>PBR ALARMA POR ALTA PRESIÓN</p> <p>PR REGULADOR DE PRESIÓN</p> <p>PBC CONTROLADOR REGULADOR DE PRESIÓN</p> <p>PS REGULADOR DE PRESIÓN</p> <p>T TEMPERATURA</p> <p>TC CONTROLACIÓN DE TEMPERATURA</p> <p>TI INDICADOR DE TEMPERATURA</p> <p>TIC CONTROLADOR INDICADOR DE TEMPERATURA</p> <p>TAL ALARMA POR BAJA TEMPERATURA</p> <p>TAR ALARMA POR ALTA TEMPERATURA</p> <p>TR REGULADOR DE TEMPERATURA</p> <p>TBC CONTROLADOR REGULADOR DE TEMPERATURA</p> <p>TNC CONTROLADOR REGULADOR DE TEMPERATURA</p> <p>SÍMBOLOS QUIMICIALES DE INSTRUMENTOS</p> <p>LOCAL EN TURBINA LOCAL EN TURBINA PRINCIPAL EN TURBINA PRINCIPAL</p> <p>TURBINA LOCAL EN TURBINA PRINCIPAL EN TURBINA PRINCIPAL</p>	<p>FLUJO</p> <p>ANNUBAR, PITOT</p> <p>NIVEL</p> <p>INDICADOR DE NIVEL</p> <p>VIDRIO DE NIVEL</p> <p>PRESIÓN</p> <p>INDICADOR DE PRESIÓN.</p> <p>TEMPERATURA</p> <p>INDICADOR DE TEMPERATURA.</p> <p>SÍMBOLOS EN NIVEL DE TURBINA</p> <p>T.M. NIVEL FIBRA</p> <p>ALUMINUM NIVEL AGUA</p> <p>ALUMINUM NIVEL AGUA</p> <p>ALUMINUM NIVEL AGUA</p>	<p>1. PROCESO ENFERMIA POR ALERTEO.</p> <p>2. EN LAS VALVULAS DE CONTROL SE UTILIZA AGUA POTABLE.</p> <p>3. EN LA LÍNEA 10 Y 11 SE UTILIZAN VALVULAS DE MANTENIMIENTO POR SERVICIOS AUXILIARES PARA EVITAR SOBRECARGAS DE LA CENTRALIZADA.</p> <p>4. LA LÍNEA DE PROCESO 3 DE TIENE QUE AGUAS PARA EVITAR SOBRECARGAS DE LA CENTRALIZADA.</p> <p>5. EL CALENTAMIENTO EN EL NIVEL DE AGUA POR MEDIO DE UNA CÁMARA ELÉCTRICA.</p> <p>PLANO DE NOTAS GENERALES. LEYENDA Y SÍMBOLOS.</p> <p>PLANTA DE RECOMPOSICIÓN DE ALUMINUM.</p> <p>LOCALIZACIÓN GENERAL DE EQUIPO DE AGUA.</p> <p>SÍMBOLOS 5.4-101.</p>
<p>ELABORO: FRANCISCO DIAZ C.</p> <p>SOLICITADO POR: DR. RICARDO VERA G.</p>						



ELABORO: FRANCISCO DIAZ C.
SOLICITADO POR: DR. RICARDO VERA G.

PLANO DE INTEGRACION PARA PLANTA DE
REGISTRACION DE ALDHO-6.
LOCALIZACION: LERMA, EDO DE MEXICO.
Escala: 1:100.00 DIBUJO: S.T-100.
ADICIONES EN ...



LISTA DE EQUIPO.

CLAVE	DESCRIPCION DE EQUIPO.	CANTIDAD	DIMENSIONES PRINCIPALES.
DC-001	REACTOR DE DESPOLIMERIZACION	0x05 m	Lx195 m
FA-001	TANQUE DE CALOR Y CALOR.	0x00 m	Lx140 m
GA-001-A	BOMBA DE VACIO	1/8 HP	
GA-001-B	BOMBA DE VACIO AUXILIAR	1/8 HP	
GA-001-A	BOMBA SOLUCION DE REACCION	1/8 HP	
GA-001-B	BOMBA SOLUCION DE REACCION	1/8 HP	
GA-002-A	BOMBA SOLUCION DE T.S.S.	1/8 HP	
GA-002-B	BOMBA SOLUCION DE T.S.S. 2da.	1/8 HP	
FD-001	FILTRO DE SOLUCION DE REACCION	0x03 m	Lx31 m
FA-002	TANQUE DE TRATAMIENTO	0x03 m	Lx146 m
GA-003-A	BOMBA DE SOLUCION TRATADA	1/8 HP	
FD-002	FILTRO DE SOLUCION TRATADA	0x03 m	Lx30 m
GA-004	BOMBA DE ALBERTECION AGUA	1/8 HP	
GA-004-A	BOMBA DE PEQUEO ALBERTECION AGUA	1/8 HP	
FA-003	CRISTALIZACION DE C-GLUCOPROTEINA	0x100 m	Lx150 m, Lx200 m
EF-001	TORNEO DE EMPALME	0x100 m	Lx150 m, Lx200 m

ELABORO: FRANCISCO DIAZ C.
SOLICITADO POR: DR. RICARDO VERA G.

PLANO DE LOCALIZACION GENERAL DE EQUIPO PARA
PLANTA DE RECUPERACION DE NYLON-6.
LOCALIZACION: LERMA, EDO DE MEXICO

ESCALA: 1-66.67

DIBUJO: 5.8-101.

5.11. FILOSOFIAS BASICAS DE OPERACION PARA LA PLANTA DE RECICLAMIENTO QUIMICO DE NILON-6.

La planta funciona con tres tipos de servicios auxiliares, estos son: electricidad, agua de enfriamiento y aire de instrumentos.

A falla de electricidad se tendrá siempre un generador de emergencia, este sistema será ininterrumpible y se utilizara para la alimentación al equipo que lo requiera y para iluminación de emergencia con una tensión de 115 VCA, 1 fase y una frecuencia de 60 ciclos. Es sumamente importante contar con este equipo generador de electricidad de emergencia, debido a que el proceso es batch y el calentamiento en el reactor se hace por medio de una chaqueta eléctrica para fundir el Nilón-6 y mantener una temperatura constante de 250°C. Si por alguna razón llegará a fallar la electricidad cuando se este llevando a cabo la reacción de despolimerización de Nilón-6, se tendría problemas porque el Nilón-6 que esta fundido junto con el NaOH se solidificarían y se formaría una masa en el reactor que sería muy difícil remover y esto se lograría solamente solubilizando con algun solvente, pero es importante mencionar que todos los solventes del Nilón-6 son muy corrosivos y esto le ocasionaria daños al reactor, otra forma de eliminar estos sólidos sería volviendo a calentar la mezcla en el reactor para volverla a fundir y tratarla de sacar fundida, pero esta operación es peligroso debido a que se puede quemar algun obrero si no se toman las precauciones necesarias. Es difícil tratar de hacer reaccionar esta mezcla nuevamente debido a que el catalizador se inhibe. Además la e-caprolactama que ya se habia formado en el reactor de despolimerización se descompone al calentar nuevamente el reactor a la temperatura de 250°C por lo que sise vuelve a obtener e-caprolactama esta contendría demasiadas impurezas producto de la descomposición de la e-caprolactama. que ya se habia formado.

Por lo que se refiere al calentamiento en el cristalizador es importante pero no demasiado si falla la electricidad debido a que solamente se esta evaporando agua con este calentamiento. Como es un proceso batch si se quiere llevar a cabo otra corrida de cristalización se tendría solamente que esperar a que se restableciera el proceso normal y llevar a cabo el calentamiento para cristalización.

e-caprolactama para quitarle las impurezas que esta pueda contener y mantener homogénea la solución para que pueda el carbón activado absorber al máximo este tipo de impurezas.

A falla de aire de instrumentos se diseña todo el sistema de control de tal manera que se pueda manejar manualmente y evitar complicaciones que pudieran ocurrir por falta en el suministro de aire para los instrumentos de control.

Las bombas de vacío utilizadas en el proceso son accionadas mediante un motor eléctrico y es muy importante mantener la alimentación de electricidad a éstas durante la reacción de despolimerización, debido a que la función de estas es sacar el monómero formado en el reactor y transportarlo hacia el tanque FA-001, si fallara la electricidad se detendría el proceso descrito anteriormente y entonces la e-caprolactama que se está formando en el reactor no podría ser sacada de éste lo que provocaría que la reacción de despolimerización alcanzara un equilibrio entre el Nilón-6 remanente y la e-caprolactama formada, como consecuencia la producción de e-caprolactama se detiene y esta es precisamente el producto que queremos obtener. Además con la temperatura que se tiene en el reactor se descompone la e-caprolactama sin evacuar y los productos formados por esta descomposición contaminan el producto deseado, también se pierde rendimiento en la reacción por esta descomposición. Se tendrá siempre una bomba de vacío de relevo porque es básico para el proceso que este equipo funcione, de lo contrario el proceso se tendría que parar.

Para todas las bombas centrifugas se tienen relevos para evitar que se detenga el proceso de bombeo de algún fluido al equipo que se desea y evitar paros innecesarios del proceso que consumen tiempo necesario para continuar con la operación normal de la planta.

Si se tiene alguna falla en el suministro del agua de enfriamiento utilizada en el tanque FA-001 esto provocaría que no se podría solidificar la e-caprolactama fundida proveniente del reactor y la bomba de vacío la arrastraría hacia la trampa de vacío y hasta ella misma, lo que dañaría a la bomba de vacío y disminuye el rendimiento del proceso, así como también se contamina el producto obtenido.

Es necesario mantener la agitación por medio de motor eléctrico tanto en el tanque FA-001 y FA-002. En el primero para mantener una solución homogénea de e-caprolactama y evitar solidificaciones que pudieran dañar al equipo y que obstruyan las líneas por donde debe circular este fluido, en el segundo caso es muy necesaria la agitación cuando se agrega el carbón activado a la solución de

e-caprolactama para quitarle las impurezas que esta pueda contener y mantener homogénea la solución para que pueda el carbón activado absorber al máximo este tipo de impurezas.

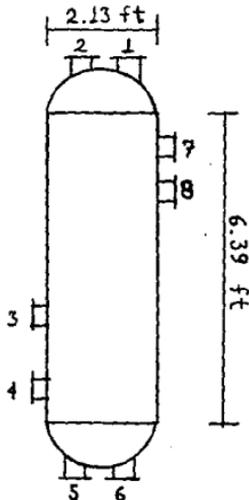
A falla de aire de instrumentos se diseña todo el sistema de control de tal manera que se pueda manejar manualmente y evitar complicaciones que pudieran ocurrir por falta en el suministro de aire para los instrumentos de control.

HOJA DE DATOS DEL REACTOR.

Cliente: _____; Planta: Rec. Nilón-6; Proyecto: 101
 Localización: Lerma, Edo de Méx. Clave de Equipo: DC-001
 Servicio: Reactor de despolime. N° de unidades: 1; Hoja: 1 de 1
 Tipo: Batch; Posición: Vertical x Horizontal
 Tipo de Fluido: Líquido Nilón-6 fundido; Flujo: _____ kg/hr.
 Gas: _____; Flujo: _____ kg/hr.
 Temperatura Operación: 482 F; Máxima: 549 F; Diseño: 527 F
 Presión Operación: 0.021 kg/cm²; Máxima: 0.78 kg/cm²; Diseño: 0.78
 Longitud tangente-tangente: 6.39 ft - 195 cm
 Diámetro del Reactor: 2.13 ft - 65 cm
 Capacidad Total: 606763.66 cm³
 MATERIAL: Cuerpo: SS-410; Cabezales: SS-410
 Tipo de Tapas: toriesféricas
 Corrosión permisible: Cuerpo: 1/16 pulgada
 Cabezas: 1/16 pulgada
 Aislamiento: Si _____ No XXX

BOQUILLAS:

N°	Cant.	Ø Nom.	Servicio
1	1	0.375	Alim. agua.
2	1	2.0	Alim. NaOH, Nilón-6 y venteo
3	1	2.0	Registrador Temp.
4	1	2.0	Control temperatura
5	1	0.75	Salida a Ga-001-A
6	1	1.0	Drene
7	1	0.5	Salida a FA-001
8	1	2.0	Registrador de presión



Notas: Los diámetros de boquillas se dan en pulgadas.

Fecha de revisión 14/06/94

Elabora: Ing. Francisco Díaz Camacho

HOJA DE DATOS DE PROCESO

RECIPIENTES FA-001

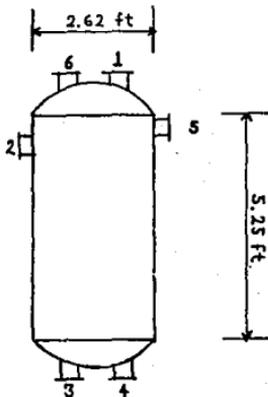
PLANTA Recicladora de Nylon-6.		CONTRATO No. 101	
LOCALIZACION Lerma, Edo. de México		REQUISICION No.	
CLAVE FA-001		FECHA POR Inq. Francisco Diaz C.	
No. DE UNIDADES Una		APROBADA POR	
SERVICIO Tanque de Solid. y Solub.		POSICION: Vertical XXX Horizontal	
TIPO DE FLUIDO LIQUIDO, Nylon-6 Fundido		DENSIDAD 65.25 lb/ft ³	
VAPOR		DENSIDAD 1b/ft ³	
TEMPERATURA OPERACION NOM 140 MAX 161.6 °F		DISEÑO 156.2 °F	
PRESION OPERACION NOM 4.30 MAX. 11.2 PSIG		DISEÑO 11.2 PSIG	
RELEVO		PSIG	
DIMENSIONES: LONGITUD 1-15.2 ft		DIAMETRO 2.6 ft	
NIVEL NORMAL in		NIVEL MAXIMO in	
CARGAS Elípticas Torisféricas XXX			
Cónicas Planas			
MATERIALES: Cascarn SA-537 Cabezas SA-537			
Soportes Empaques			
Bocuilas SA-537 Fites Int.			
CORROSION PERM: Cascarn 1/16 in Cabezas 1/16 in			
ESPESOR CASCARN 3/16 in Cabezas 3/16 in			
AISLAMIENTO TIPO Espesor			
PESO: Vacío lb Llento lb			
VIENTO no (lb/ft ²)			
FACTOR SIMILITUD n 3			
CODIGO API ASME xxx			
RELEVADO DE ESFUERZOS SI NO xxx Código			
RADIOGRAFIADO SI NO XXX Código			

BOCUILLAS

No.	No. REQ	TAMANO (3)	SERVICIO
1	1	0.75	Alim. Agua.
2	1	0.50	Alim. de DC-001
3	1	1.0	Drene.
4	1	1.5	Salida a GA-002-A
5	1	1.0	Salida a GB-001-A
6	1	0.75	Ventee
7			

NOTAS

- (1) Normalmente sin flujo
- (2) Diámetro de bocuilas en pulgadas
- (3) Acentuaciones en pulgadas para los niveles y alarmas
- (4) Aislamiento por influencias climatológicas.



REV	0	1	2	3
FECHA	14/06/94			
ELAB. POR	FDC			
APROB	RVG			

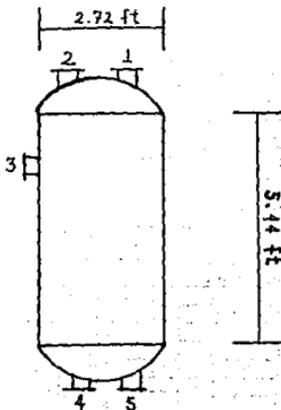
HOJA DE DATOS DE PROCESO

RECIPIENTES FA-002

PLANTA Recicladora de Nylon-6	CONTRATO No. 101
LOCALIZACION Lerma, Edo. de México	REQUISICION No.
CLAVE FA-002	HECHA POR Ing. Francisco Díaz Gamacho
No. DE UNIDADES una	AFROBADA POR
SERVICIO Tanque de Tratamiento	POSICION: Vertical XXX Horizontal
TIPO DE FLUIDO Líquido Sol. Acuosa	SGM DENSIDAD 66.72 lb/ft ³
WATER	FL/AH DENSIDAD
TEMPERATURA OPERACION NORM 77 MAT, 86 °F	DISCRO 83.75 °F
PRESTION OPERACION NOPAL 1.2 MAT, 11.2 PSIG	DISCRO 11.2 PSIG
RELEVO	PSIG FRUERA PSIG
DIMENSIONES: LONGITUD 1-15.4 ft	DIAMETRO 2.7 ft DISEÑACIONES
NIVEL NORMAL in	MIN. in
CABEZAS Elipticas Torisféricas XXX	
Cónicas Planas	
MATERIALES: Cascaron SA-537	Cabezas SA-537
Soportes Empalmes	
Bocuyillas SA-537	Fites Int.
COMPOSICION PESO: Cascaron 1/16 in	Cabezas 1/16 in
ESPESOR CASCARON 3/16	Cabezas 3/16
AISLAMIENTO TIPO Espeesor	
PESO: Vacío	lb Llento lb
VIENTO no	(lb/ft ²)
FACTOR SISMICO 0.3	
CODIGO API	ASME XXX
RELEVO DE ESFUERZOS SI	NO XXX Código
RADIOGRAFIADO SI	NO XXX Código

BODUYILLAS			
No.	No. REQ	TAMAO (3)	SERVICIO
1	1	0.75	Ventoo y Alim. C.A.
2	1	1.25	Alim. FA-001
3	1	1.50	Alim. FD-001
4	1	1.0	Drene
5	1	1.5	Salida a GA-003-A
6			
7			

NOTAS	
(1) Normalmente sin flujo	
(2) Diámetro de bocuyillas en pulgadas	
(3) Acolaciones en pulgadas para los niveles y alareas	
(4) Aislamiento por influencias climatológicas.	



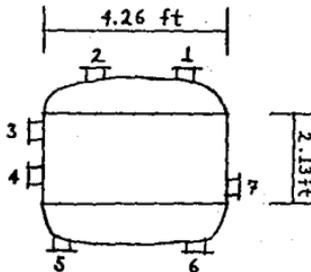
REV	0	1	2	3
FECHA	4/06/94			
ELAB. POR	FDC			
APROBADO	RVG			

	HOJA DE DATOS DE PROCESO RECIPIENTES EA-003
--	--

PLANTA Recicladora de Nylon-6	CONTRATO No. 101
LOCALIZACION Lerma, Edo de México.	REQUISICION No.
CLASE FA-003	FECHA POR Ing. Francisco Díaz Camacho
No. DE UNIDADES una	APROBADA POR

SERVICIO Cristalizador de monómero	POSICION: Vertical XXX	Horizontal
TIPO DE FLUIDO Líquido Sol. acuosa	SPH	DENSIDAD 64.83
	FLUJO	DENSIDAD
TEMPERATURA OPERACION NOM 199 MAT. 232 °F	DISCO	228 °F
PRESION OPERACION NOM 11.2 MAT. 11.2 PSIG	VISCO	11.2 PSIG
RELEVO	PSIG	PROBETA PSIG

DIMENSIONES: LONGITUD T-T 2'-1 1/2"		DIAMETRO 4'-2"		OBSERVACIONES	
NIVEL NORMAL	in	MIN.	in	MAXIMO	in
CABEZAS	Elípticas	Toriféricas			
	Cónicas XXX	Planas			
MATERIALES: Cascaron	SS-410	Cabezas	SS-410		
	Soportes	Empujes			
	Bosquillas SS-410	Pies Int.			
CORROSION PERM: Cascaron	1/16 in	Cabezas	1/16 in		
ESPESOR CASCARON	3/16	Cabezas	3/16		
AISLAMIENTO TIPO	Espesor				
PESO: Vacio	lb	Lleno	lb		
VIENTO	no		(lb/ft ²)		
FACTOR SISMICO	0.3				
CODIGO	API		ASME XXX		
RELEVANO DE ESPERTOS	SI		NO XXX Código		
ANOTOGRAFADO	SI		NO XXX Código		



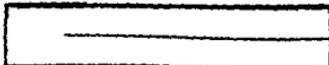
BOQUILLAS

No.	No. RED	TAMANO (3)	SERVICIO
1	1	0.75	Ventosa
2	1	1.0	Salida vapor-agua
3	1	2.0	Alim. ED-002
4	1	2.0	Reg. de temperatura
5	1	2.0	Control de Temp.
6	1	1.0	Drain
7	1	1.0	Salida monómero

NOTAS

- (1) Normalmente sin flujo
- (2) Diámetro de boquillas en pulgadas
- (3) Acolaciones en pulgadas para los niveles y alarzas
- (4) Aislamiento por influencias climatológicas.

FEV	0	1	2	3
FECHA	14/06/94			
ELAB. POR	EDC			
APROBADO	BVG			



CENTRIFUGAL PUMP DATA SHEET

AFD NO. 101 ITEM NO. _____
 PURCHASE ORDER NO. _____ SHEET 2 OF 8
 DESCRIPTION NO. _____ INVENTORY NO. _____
 DATE 14/06/94 REVISED _____
 BY _____ AT _____

FOR Sol acuosa de la Jarma Edn de México
 UNIT CA-001-AB DC-001 SERVICE Rotator DC-001
 NO. PUMPS REQUIRED _____ NO. MOTORS REQ'D _____ ITEM NO. _____ MTD BY _____
 NO. TURBINES REQUIRED _____ ITEM NO. _____

PUMP NBR _____ SIZE AND TYPE Centrifugal
 OPERATION CONDITIONS, EACH PUMP

LIQUID Sol acuosa US. GPM @ FT. HEAD 6 RATED _____
 SPEC. PRESS. PSI @ 11.7 _____
 FT. HEAD 77 MAX. 88 SUCTION PRESS. PSI MAX. 16.45 WATER _____
 SP. GR. @ FT. 1.02 MFG. PRESS. PSI 5.25 WATER _____
 MAX. PRESS. @ FT. HEAD _____ MFG. HEAD, FT. _____
 TYPE OF PUMP CA 46 MTD. FT. _____
 CORA/LEAK CAUSED BY _____ MTD. N.P. 1/16

CONSTRUCTION

ROZELER	<input type="checkbox"/> SIZE	<input type="checkbox"/> RATING	<input type="checkbox"/> FACED	<input type="checkbox"/> LOCATION
SUCORR	<u>3/4 PG</u>			
DISCHARGE	<u>2 PG</u>			

PLANT AERIAL RAD. TYPE VOLANT SOL. SOL. DIFFUSER
 PRESS. MAX. ALLOW. _____ PSI MTD. HYDRO TEST _____ PSI

CORRECT VERT. BRANK BAKE
 IMPELLER DIA: RATED 6 PG MAX. 7 PG TYPE _____
 MOUNT: BETWEEN IMPEL OVERHUNG

SEARINGS TYPE: RADIAL TANGENT
 LUBE: KIM OIL FLOOD OIL MIST FLUMER PRESSURE
 COUPLING: MFA MDEL
 BRNCH HALF MTD BY PUMP MFG DRIVER MFG PURCHASER
 FACINGS: MFA TYPE _____ SUCORR. OF BRNCH _____
 MTD. YEAR _____ MTD. BY MODEL _____ M. N. CLASS. CODE _____
 MFA CODE _____

AUXILIARY PUMPS

C.C. PURE FLAM C.V. I.S. T. M. P.M.
 TOTAL COOLING WATER REQR. RPM _____ LIGHT PT. REQR. _____
 OTHERS COOLING INJECTION REQR. TOTAL RPM _____ PSI _____
 OIL FLUSH PIPE FLAM C.V. I.S. T. M. P.M.
 OXYGENING SEAL FLUSH FLAM C.V. I.S. T. M. P.M.
 AUXILIARY SEAL FLAM C.V. I.S. T. M. P.M.

MOTOR DRIVER
 HP 1/16 RPM 975 FRAME _____ VOLTS/PHASE/CYCLES 220/3
 MFR _____ SCRAMMS _____ LINES _____
 TYPE _____ M.A.M. _____ FULL LOAD AMPS _____
 I.M.C. _____ TEMP. RISE, C. _____ LOCKED ROTOR AMPS _____
 VBS VBS VENT. THROUST CAP. LB. _____

PERFORMANCE

PROPOSAL CURVE IN _____ MAX. RPM RATED MFD _____
 RPM _____ MAX. HEAD RATED MFD _____
 C.F. 85 G.M.P. RATED _____ RPM CONTINUOUS RPM 5
 ROTATION (VIEWED FROM COUPLER END) _____

SHOP TESTS

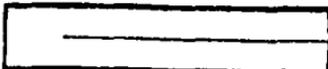
NON-MIT. PER. MIT. PER. DISMANT. & MDP. AFTER TEST
 NON-MIT. HYDRO MIT. HYDRO OTHER _____
 M.P.H. REVS. MIT. M.P.H. _____
 SHOP INSPECTION _____
 MATERIAL _____

PUMP. CASE/TWU CLASS SA-203
 BASEPLATE SA-201
 VERTICAL PUMPS
 AT THE MOTOR KEYTO FLOAT & BOX C & B B & C B & D B & D B & D
 NO. SUBPRESSURE REVS. FLOAT SWITCH _____
 COUPLER PUMP FLAMES THERMOS PUMP THROUST. LB M.P. GROSS
 LINE. IMPT. OPEN ENCLOSED
 BRNCH: P.M.P. CLASH SHIRT
 SH. LUBE WATER OIL GREASE
 APPROX. WT. PUMP & BASE _____ MOTOR _____ TURBINE _____

APPROX. WT. PUMP & BASE _____ MOTOR _____ TURBINE _____
 MTD. STANDARD NO. ADVISES IMPELERS OBTAINING NOTES.

NOTE: INDICATES INFORMATION TO BE COMPLETED BY PURCHASER,
 BY MANUFACTURER.

128



JOB NO. 101 ITEM NO. _____
 PURCHASE ORDER NO. _____ SHEET 3 OF 8
 REVISION NO. _____ DRAWING NO. _____
 DATE 11/06/94 REVISION _____
 BY _____ AP _____

CENTRIFUGAL PUMP DATA SHEET

FOR Sol. acuosa de Lixima, Sde. de México
 UNIT SA-802-A SA-801 SERIAL NO. 1001
 NO. PUMPS REQ'D 1 NO. MOTORS REQ'D 1 ITEM NO. 1001 DESIGNED BY _____
 NO. TURNING AIDS _____ ITEM NO. _____ VTD BY _____

PUMP INFO _____ SIZE AND TYPE Centrifugal
 OPERATING CONDITIONS, EACH PUMP

LIQUID Sol. acuosa US. GPM @ FT. HGT. 10 RATED _____
 SPEC. PRESS. PSI 11.2 _____
 P.T.H. HOR. 7.7 MAX. SUCT. PRESS. PSI MAX. 28.4 RATED _____
 SP. GR. @ FT. 1.04 SUCT. PRESS. PSI _____
 VAP. PRESS. @ FT. HGT. 17.2 SUCT. HEAD, FT. _____
 VISC. @ FT. HGT. CP-1.46 H.A. FT. _____
 CORRECTIONS CAUSED BY _____ VTD BY 1/8

CONSTRUCTION

IMPELLER	<input type="checkbox"/> SIZE	<input type="checkbox"/> RATING	<input type="checkbox"/> FLANGE	<input type="checkbox"/> LOCATION
SUCTOR	<u>1.5</u> PG			
DISCHARGE	<u>1.25</u> PG			

CASE MOUNT: CENTRIFUGAL PORT STACK VERT. (TYPE) _____
 SPLIT ANIMAL RAD. TYPE VOLUTE HBL HBL DIFFUSER
 PRESS. MAX. ALLOW. _____ PSI _____ "I, HTRONG TEST _____ PSI

CORRECT VERT BRAKE GAGE

IMPELLER DIA: RATED 8 PG MAX 9 PG TYPE _____
 MOUNT: BETWEEN IMPS OVERIMPS

BEARINGS: TYPE: RADIAL THRUST _____
 LUBE: NMG OIL FLOOD OIL INST FLAMES PREHEAT

COUPLING: MFR HOOTL _____

DRIVER HALF VTD BY PUMP INFO DRIVER INFO PURCHASER

PACKING: MFR TYPE _____ SICARD, OF IMPS _____

MECH SEAL: MFR MODEL _____ API CLASS. CODE _____
 MFR CODE _____

AUXILIARY PIPES

C = PIPE PLAN CU, S, T, Y, M, P, K
 TOTAL COOLING WATER REQ'D, GPM _____ LIGHT FI REQ'D _____

PACKING COOLING INJECTION REQ'D TOTAL GPM PSI _____

TOTAL PUMP PITE PLAN _____ S F TUBING PIPE _____

DISTANCE, SEAL, FLUSH, FLUID _____ SPS _____ PSW _____

AUXILIARY SEAL PLAN _____ S F TUBING PIPE _____

MOTOR DRIVER

HP 1/8 RPM 1450 FRAME _____ VOLTS/PHASE/EXCLES 220/3
 MFR _____ BEARING _____ LUBE _____
 TYPE _____ FULL LOAD AMPS _____
 ENC _____ TEMP. RISE, C _____ LOCKED ROTOR AMPS _____
 VHS VSS VERT. THRUST CAP. LB. _____

PERFORMANCE

PROMISED CURVE No. _____ MAX. SHP RATED HPF _____
 SHP _____ MAX. HEAD RATED HPF _____
 EFF. 85 % SHP RATED _____ MAX. CONTINUOUS SHP 17 _____
 ROTATION (VIEWED FROM PULS END) _____

SHIP TESTS

NON-WT. PERF. WT. PERF. DISMANT. & WSP. AFTER TEST
 NOB-WT. HYDRO WT. HYDRO OTHER _____
 RPSH REV'S. WT. RPSH _____
 SHIP INSPECTION _____

MATERIALS

PUMP: CASE/TRIM CLASS SA-203
 BASE PLATE SA-203

VERTICAL PUMPS

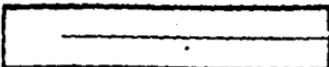
PIE OR SHIP DEPTH _____ FLOAT # BOX C S B HZ NONE
 SHP SUPERSESSIBLE REQ'D _____ FLOAT SWITCH _____
 COLUMN PIPE: FLANGED TUBED PUMP THRUST, LB UP DOWN
 LINE SHAFT: OPEN ENCLOSED _____
 BRG: HOPL _____ LINE SHAFT _____
 BRG. LUBE: WATER OIL GREASE _____

APPROX. WT. PUMP & BASE _____ MOTOR _____ TURBINE _____

API STANDARD NO. COVERS UNLESS OTHERWISE NOTED.

NOTE: INDICATES INFORMATION TO BE COMPLETED BY PURCHASER,
 BY MANUFACTURER

129



JOB NO. 101 ITEM NO. _____
 PURCHASE ORDER NO. _____ SHEET 1 OF 2
 ACQUISITION NO. _____ INQUIRY NO. _____
 DATE 14/06/84 REVISED BY _____
 BY _____

CENTRIFUGAL PUMP DATA SHEET

FOR Sol. acouso de Lerna, Sdo. de México
 UNIT CA-002 AB FA-001 SERVICE Panque PA-001
 NO. PUMPS REQ'D 1 NO. MOTORS REQ'D 1 ITEM NO. _____ NTR BY _____
 NO. TURBINES REQ'D _____ ITEM NO. _____ NTR BY _____

PUMP NTR _____ SIZE AND TYPE Centrifugal
 OPERATION CONDITIONS, EACH PUMP
 LIQV. 501 acouso US. GPM @ FT. HOR. 10 RATED
 BIGN. PRESS. PM 11.2
 P/T. HOR. 77 MAX. 80 SUCT. PRESS. PM MAX. 28.4 RATED
 SP. HD. @ FT. 1.04 DIFF. PRESS. PM 17.2
 VIB. PRESS. @ FT. PSIG. _____ DIFF. HEAD, FT. _____
 VIB. @ FT. SEW. CP 1.46 HOR. FT. _____
 CORR./ENCS CAUSED BY _____ NTR. NO. 149

CONSTRUCTION

ROTTLED	<input type="checkbox"/> SIZE	<input type="checkbox"/> RATING	<input type="checkbox"/> FLANG	<input type="checkbox"/> LOCATION
SUCTION	<u>1.5</u> <u>pg</u>			
DISCHARGE	<u>1.25</u> <u>pg</u>			

CASE: HOUS. CENTERLINE FOOT BRACKET VENT. (TYPE) _____
 FLUT. AXIAL RAD. TYPE VOLUTE IM. DM. DIFFUSOR
 PRESS. @ MAX. ALLOW. _____ PSI _____ "F" HYDRO TEST _____ PSI
 CORRECT. VENT. BRAW. BONE
 IMPELLER: RATED 8 pg MAX. 9 pg TYPE _____
 HOUS. BETWEEN IMPS. OVERIMPS
 BEARING TYPE: RADIAL THRUST
 LUBE: OIL ON. FLOOD. OIL MIST. FLUMER. PRESSURE
 COUPLING MFA MGT. MGT.
 DRIVER AND NTR BY: PUMP NTR. DRIVER NTR. TURBOCHARGER
 PACKING: MFA TYPE _____ SIZE/NO. OF IMPS.
 CHECK SEAL: MFA MODEL _____ API CLASS. CODE _____
 API CODE _____

AUXILIARY PUMPS
 OIL FILL PLAN OIL. OIL. OIL. PIPE
 HOT. COOLING WATER REG. SP. _____ WAT. PI. REG.
 PACKING COOLING INJECTION REG. TOTAL SP. PSI
 OIL FILL PIPE PLAN OCS IS TURBINE PIPE
 INTERNAL SEAL FLUSH PLAN _____ OPM
 EXTERNAL SEAL PLAN _____ OCS IS TURBINE PIPE

MOTOR DRIVER

SP. 7/8 RPM 1450 FRAME _____ VOLTS/PHASE/POLES 220/3
 NTR _____ BEARING _____ LUBE _____
 TYPE _____ MIN. _____ FULL LOAD AMPS _____
 ENC. _____ TEMP. RISE, C. _____ LOCKED ROTOR AMPS _____
 VAB VSB VERT. THRUST CAP. LB. _____

PERFORMANCE

PROB. CURVE No. _____ MAX. SHP RATED HP _____
 RPM _____ (W/IN WATER) _____ MAX. HEAD RATED HP _____
 EFF. 85 % SHP RATED _____ MIN. CONTINUOUS RPM 17
 ROTATION (INCLUDE FROM CMB. SHD) _____

SHOP TESTS

NON-WIT. PERK. WIT. PERK. DISMANT. & WSP. AFTER TEST
 NON-WIT. HYDRO WIT. HYDRO OTHER _____
 SPIN REV. WIT. RPM
 BROW. INSPECTION _____

MATERIALS

PUMP: CASING/IM CLASS _____
SA-203
 BASEPLATE SA-203

VERTICAL PUMPS
 FIT ON SHIP DEPTH FLOW @ 100% CS SS IM NONE
 IM SUBSEQUENCE REQ'D FLOAT SWITCH _____
 COLUMN PIPE: FLANGED THREADED
 LINE SHAFT: OPEN ENCLOSED
 IMB: IMB _____ LINE SHAFT _____
 IMB. LUBE WATER OIL GREASE _____
 APPROX. WT. PUMP & BASE _____ MOTOR _____ TURBINE _____

API STANDARD 610 GOVERN UNLESS OTHERWISE NOTED.
 NOTE: INDICATES INFORMATION TO BE COMPLETED BY PURCHASER.
 BY MANUFACTURER.

120

CENTRIFUGAL PUMP DATA SHEET

FOR 501. acuosa de SITE Leerma, Edo. de Mexico
 UNIT GA-003-A PA-002 - SERVICE Tanque RA-002
 NO. PUMPS REQD. NO. MOTORS REQD. ITEM NO. WTD BY
 NO. TURNED OVER ITEM NO. WTD BY

PUMP MFR. Centrifug MFR. TYPE
 OPERATING CONDITIONS. CIRC. PUMP
 LIQUID 501. acuosa US. GPM or FT. HD. 21 RATES
 FT. HD. 77 MAX. RR SUCT. PRESS. PSI MAX. 11.2 RATES
 SP. GR. LIQ. 1.03 DISC. PRESS. PSI 22.5
 HOP. PRESS. or FT. HD. 146 HOP. HEAD, FT.
 PUMP FT. HD. 178 HOP. HP. 178

CONSTRUCTION
 HEADS FLANGE LOCATION
 SECTION 7.5 pg
 DISCHARGE 3 pg

CASE: WMT CENTERLINE PORT BRACKET VENT. (TYPE)
 FLAT ARMS RAD. TYPE VOLUTE IM. IM. DIFFUSER
 PRESS. MAX. ALLOW. PSI * HYDRO TEST PSI
 CONNECT. VENT. BRAM. BANG

IMPELLER DIA: WATER 8 pg MAX. 9 pg TYPE
 GROUP: BETWEEN SHROU OVERLAPS

SEARCHED TYPE: RADIAL TANGENT
 LURE SHROU FLOOD OIL MIST FLANGES PRESSURE
 COUPLING MFR. MODEL

DRIVER HALF WTD BY PUMP MFR. DRIVER MFR. PURCHASER
 PACKING: MFR. TYPE SIZES, or NONE

HORN SEAL: MFR. MODEL SIZ. CLASS. CODE
 MFR. CODE

AUXILIARY PIPES
 C.W. PIPE PLUM. C.W. S.S. TUBING PIPE
 TOTAL COOLING WATER REQD. GPM LIGHT PIPE

PACKING COOLING - INJECTION REQD. TOTAL GPM PSI
 SEAL PLUMB PIPE PLUM. C.S. S.S. TUBING PIPE
 EXTERNAL SEAL FLUSH LIND. GPM PSI
 AUXILIARY SEAL PLUM. C.S. S.S. TUBING PIPE

131

JOB NO. 101 ITEM NO.
 PURCHASE ORDER NO. SHEET 5 OF 8
 IDENTIFICATION NO. REPORT NO.
 DATE 11/06/94 REGION
 BY _____ AF

MOTOR NUMBER
 SP. 178 RPM 1450 FRAME VOLTS/PHASE/CT/LES 220/3
 MFR. BEARING LURE
 TYPE FULL LOAD AMP
 LINC. TEMP. MFR. LOCKED MOTOR AMP
 YES VERT. THRUST CAP. L.P.

PERFORMANCE
 PROBAB. CURVE No. MAX. HEAD RATED HP
 RPM (WATER) MAX. CONTINUOUS RPM 20
 EFF. 85 R BHP RATED ROTATION (WHEELS FROM CPLE END)

BHP TESTS
 NON-WT. PERF. WT. PERF. DISMANT. & WSP. AFTER TEST
 NON-WT. STROD. WT. STROD. OTHER
 SPIN REV. WIT. WSP
 BHP INSPECTION

MATERIALS

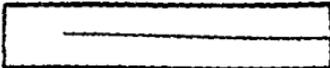
PUMP, CASE/TIME CLASS SA-203
 BASEPLATE SA-203

VERTICAL PUMPS
 PIT OR BUMP STEPS FLOOR R. HOH S.S. IM. NONE
 W/O SUBMERGENCE REQ'D. FLOAT SWITCH
 COLUMN PIPE: FLANGED THREADED
 LINC. SHANT. OPEN ENCLOSED
 BOWL LINE SHANT.
 SH. LURE WATER OIL GREASE

APPROX. WT. PUMP & BASE MOTOR TURNING

ALL STANDARD NO. COVERED UNLESS OTHERWISE NOTED.

NOTE: INDICATES INFORMATION TO BE COMPLETED BY PURCHASER.
 BY MANUFACTURER

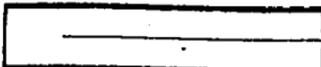


CENTRIFUGAL PUMP DATA SHEET

JOB NO. 101 ITEM NO. _____
 PURCHASE ORDER NO. _____ SHEET 6 OF 8
 REVISION NO. _____ (ISSUE NO.)
 DATE 14/06/94 REGION _____
 BY _____ AP _____

CO. Sol. acosa de Lerma, Edo. de Mexico
 UNIT GA-003-AB SITE FA-002 SERVICE Tanque FA-002
 NO. PUMPS REQ'D 1 NO. MOTORS REQ'D 1 NPS BY _____
 NO. TURNERS REQ'D _____ ITEM NO. _____ NPS BY _____
 PUMP MFR _____ SIZE AND TYPE Centrifug
 OPERATIONS CONDITIONS, EACH PUMP
 LIQUID Sol. acosora USE, GPM or FT, HOR. _____ RATED _____
 SPEC. PRESS. PSI 11.2
 FT. HOR. 77 WALS. 88 SUCT. PRESS. PSI MAX. 33.7 WATER _____
 SP. GR. LIQ. 1.03 MFG. PRESS. PSI 22.5
 MAX. PRESS. IN FT. PSHA _____ MFG. HEAD, FT. _____
 VISUAL FT. SW. 1.46 MFG. NO. FT. _____
 CORROSION CAUSED BY _____ NPS. NO. 1/8
 CONSTRUCTION
 NOZZLES SILE BATHING FACING LOCATION
 SUCION 1.5 pg
 PULCARRER 2.0 pg
 CASE MOUNT: CENTERLINE FOOT BRACKET VERT. (TYPE)
 SPLIT AXIAL RAD. TYPE VOLUTE IAC IAC DIFFUSER
 PRESS. WAS ALLOW. PSI _____ % OF MOTOR TEST _____ PSI
 CONNECT. VERT. BRASS BONE
 IMPELLER DIA: EXTER. 8 pg DIA. 9 pg TYPE _____
 MOUNT: BETWEEN SPES OVERHUNG
 BEARING TYPE: RADIAL THRU SHAFT
 LUBE BNG OIL FLOOD OIL MIST FLINGER PRESSURE
 COUPLING MFR _____ MODEL _____
 DRIVER HALF MTR BY PUMP MFR DRIVER MFR PURCHASER
 FRAME: MFR TYPE _____ DIA. NO. OF BARS _____
 HOUL SEAL: MFR MODEL _____ AM CLASS. CODE _____
 MFR CODE _____
 AUXILIARY PUMPS
 COOLING WATER REQ'D, GPM _____ INLET PRESS. _____
 OTHER COOLING INJECTION REQ'D TOTAL GPM _____ PSI
 SEAL FLUSH PUMP _____ SEAL SP. _____ TURNOV. _____ PUMP _____
 EXTERNAL SEAL FLUSH PUMP _____ GPM _____ PSI _____
 AUXILIARY SEAL PLAN _____ GPM _____ PSI _____

MOTOR DRIVER
 HP 1/8 RPM 1450 FRAME _____ VOLTS/PHASE/CYCLES 220/3
 MFR _____ SCHEMATIC _____ LUBE _____
 TYPE _____ MFG. _____ FILL LEAK AMP _____
 ENC. _____ TEMP. RISE, C _____ LOCKER MOTOR AMP _____
 VERT. THRU SHAFT CAP. L.S. _____
 PERFORMANCE
 PROPOSAL CURVE NO. _____ MAX. SHP RATED HP _____
 GPM _____ WATER _____ BAR. HEAD RATED HP _____
 EFF. 85.8 SHP RATED _____ AM. CONTINUOUS RPM 20
 POTATION (VALUES FROM CAP. END)
 SHOP TESTS
 NON-WT. PERS. WIT. PERS. DISMANT. & Insp. AFTER TEST
 NON-WT. MTRSD. WIT. MTRSD. OTHER _____
 PSH REQ'D. WIT. MTRSD.
 SHOP INSPECTION
 MATERIALS
 PUMP: CASE/IMR CLASS
SA-203
 BASEPLATE SA-203
 VERTICAL PUMPS
 PIT OR TAMP DEPTH _____ FLOAT & BOW S & O S & O S & O S & O
 MFR SUBMERGENCE REQ'D. FLOAT SWITCH
 COLUMN PIPE: FLANGED THREADED PUMP THROAT, LB O.D. _____
 LINC. SHAFT: OPEN ENCLOSED
 SEAL: BUSH OILINE SHAFT
 BKG. LUBE WATER OIL GREASE
 APPROX. WT. PUMP & BASE _____ MOTOR _____ TURBINE _____
 AM STANDARD AQ GOVERNS UNLESS OTHERWISE NOTED.
 WTE: INDICATES INFORMATION TO BE COMPLETED BY PURCHASER.
 BY MANUFACTURER



101

AFR NO. _____ ITEM NO. _____
 PURCHASE ORDER NO. _____ SHEET 1 8
 ACQUISITION NO. _____ INQUIRY NO. _____
 DATE 11/06/94 RETURNED BY _____
 BY _____ AP

CENTRIFUGAL PUMP DATA SHEET

FOR Agua de Enf. SITE Lerma, EDO. de Mexico
 UNIT CA-004-A SERVICE Torre de Enf.
 NO PUMPS REQD 1 NO MOTORS REQD 1 ITEM NO. _____ MFR BY _____
 NO TURNED OVER _____ ITEM NO. _____ MFR BY _____
 PUMP MFR _____ SIZE AND TYPE Centrifugal
 OPERATING CONDITIONS, EACH PUMP
 LITERS Agua US. GPM = PT. HOR 26 RATED _____
 _____ GPM PRESS. PSI 11.2
 91% HOR 59 MAX. 60 SUCT. PRESS. PSI MAX. 40.6 RATED _____
 SP. GR. AT PT. 1 SUCT. PRESS. PSI 29.4
 MAP. PRESS. OF PT. PSIA SUCT. PRESS. PSI _____
 VISC. OF FL. BBU CP 1 @ NA, PT. _____
 CORR./EROS. CAUSED BY _____ MFR HP 1/R

CONSTRUCTION

NOZZLES	<input type="checkbox"/> SIZE	<input type="checkbox"/> RATING	<input type="checkbox"/> FACING	<input type="checkbox"/> LOCATION
SUCTION	<u>1.25</u> <u>PSI</u>			
DISCHARGE	<u>1.25</u> <u>PSI</u>			

CASE MOUNT CENTERLINE FOOT BASEMNT VERT. (TYPE) _____
 SUPT. ANCH. RAD. TYPE VOLUTE SML. OIL. DIFFUSER
 PRESS. WAS ALLOW. _____ PSR _____ % ATNDG TEST _____ PSM _____
 CORRECT. VERT. BRNCH BANG
 IMPELLER DIA: RATED 8 PSI MAX. 9 PSI TYPE _____
 MOUNT: BETWEEN SHMS OVERSHMS
 BEARINGS TYPE: RADIAL TAPERED
 LUBE: BNDG OIL FLOOD OIL MIST FLINGER PRESSURE
 COUPLER: MFR _____ MODEL _____
 DRIVER HALF MTR BY PUMP MFR DRIVER MFR PURCHASER
 PACKING: MFR & TYPE _____ SIZE/AM. OF RINGS _____
 MECH. SEAL: MFR & MODEL _____ AM. CLASS. CODE _____
 MFR CODE _____

AUXILIARY PUMPS
 C/W PPE PLAN _____ CVL S TURBINE PIPE _____
 TOTAL COOLING WATER REQD, GPM _____ LEAKY PIPE REQD _____
 PACKING COOLING WATER REQD _____ TOTAL GPM _____ PSW _____
 SEAL FLUSH PIPE PLAN _____ C S TURBINE PIPE _____
 EXTERNAL SEAL FLUSH PLAN _____ DPM _____ PSW _____
 AUXILIARY SEAL PLAN _____ C S TURBINE PIPE _____

MOTOR DRIVER
 HP 1/8 RPM 1450 FRAME _____ VOLTS/PHASE/CYCLES 220/3
 MFR _____ BEARINGS _____ LUBE _____
 TYPE _____ RING _____ FULL LOAD AMPS _____
 ENC _____ TEMP. RISE, C _____ LOCKED ROTOR AMPS _____
 YBE VERT. THROUT CAP. LR. _____

PERFORMANCE

PROPOSAL CURVE NO. _____ MAX. SHP. RATED SHP _____
 RPM _____ MAX. HEAD RATED SHP _____
 EFF. 85.9 SHP RATED _____ MIN. CONTINUOUS SHP _____
 ROTATION (VIEWED FROM CPLE. ENVI.) _____

SHOP TESTS

NON-WIT. PERM. WIT. PERM. DISMANT. & SHP. AFTER TEST
 NON-WIT. ATNDG. WIT. ATNDG. OTHER _____
 RPH REQ'D. WIT. MPH _____
 SHIP INSPECTION _____

MATERIALS

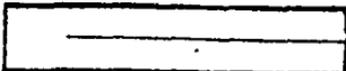
PUMP, CASE/TBWN CLASS _____
 _____ SA-203
 BASEPLATE SA-203

VERTICAL PUMPS

PIT OR SUMP DEPTH _____ FLOAT & AOR C S ONE NONE
 MFR SUBMERGENCE REQ'D. _____ FLOAT SWITCH _____
 COLUMN PIPE: FLANGED TREADED _____ PUMP THROUT, LB MP _____ BPOON _____
 LINE SHAFT: OPEN ENCLOSED _____
 AOR: BOWL _____ LINE SHAFT _____
 SML. LUBE: WATER OIL GREASE _____

APPROX. WT. PUMP & BASE _____ MOTOR _____ TURBINE _____
 AFR STANDARD SO ADVISE UNLESS OTHERWISE NOTED.
 NOTE: INDICATES MODIFICATION TO BE COMPLETED BY PURCHASER.
 BY MANUFACTURER

L
W



CENTRIFUGAL PUMP DATA SHEET

JOB NO. 101 ITEM NO. _____
 PURCHASE ORDER NO. _____ SHEET 8 OF 8
 ACQUISITION NO. _____ INVENTORY NO. _____
 DATE 14/06/99 REVISED BY _____
 BY _____ AP _____

FOR Agua de Bnf - SITE Loma, Edo. de México, Torre de Bnf.
 UNIT GA-004 AB SERVICE Torre de Bnf.
 NO PUMPS REQD. NO. MOTORS REQD. 1 ITEM NO. NTD BY _____
 NO. TURNING REQD. ITEM NO. NTD BY _____

PUMP NFR _____ SIZE AND TYPE Centrifugal
 AS FURNISHED BY _____
 OPERATING CONDITIONS, EACH PUMP

LIQUID Agua UB. GPM @ FT. HOR. 26 RATES
 DISCH. PRESS. PSIG 11.2
 SUCT. PRESS. PSIG MAX. 40.6 RATES
 P17Y. HOR. 59 MAX. 60 SUCT. PRESS. PSIG MAX. 40.6 RATES
 SP. HD. @ FT. 1 DIFF. PRESS. PSIG 29.4
 VAP. PRESS. @ FT. PSIG DIFF. HEAD, FT.
 VIS. @ FT. PSIG CP 1.48 HA, FT.
 CORR./ENCL. CAUSED BY _____ NTD BY 1/8

CONSTRUCTION

NOZZLES	SIZE	RATING	FACED	O/D LOCATION
SUCTION	1-25 PG			
DISCHARGE	1-25 PG			

BASIC MOUNT: CENTRIFUGAL FOOT BRACKET VERT. (TYPE)
 SPLIT ANIMAL RAD. TYPE VOLUTE BNL DR. DIFFUSER
 PRESS. MAX. ALLOW. PSIG _____ % HYDRO TEST _____ PSIG
 CORRECT VERT. DRAWN BARE

IMPELLER DIA. 8 IN. RATED 8 PG MAX. 9 PG TYPE _____
 MOUNT: BETWEEN SHAS OVERSHAS

SEALS TYPE: RADIAL THRU-ROTOR THRU-ROTOR
 LUBE: BING. OIL FLOOD OIL MIST FLINGER PRESSURE

COUPLING: MFR MODEL _____

DRIVER HALF MTD BY PUMP MFR DRIVER MFR PURCHASER

PACKAGE: MFR TYPE _____ SIZING OF SHAS _____

WEAR SEAL: MFR MODEL _____ AM CLASS CODE _____
 MFR CODE _____

AUXILIARY PIPES
 OIL PIPE PLAN _____ CV: SS: TUBING: PIPE _____
 TOTAL COOLING WATER REQD. GPM _____ LOWEST FT. REQD. _____

PACKING COOLING INJECTION REQD. TOTAL GPM PSIG
 SEAL FLUSH PIPE PLAN _____ OCS SS TUBING PIPE _____
 EXTERNAL SEAL FLUSH PLAN _____ DPM _____ PSIG _____
 AUXILIARY SEAL PLAN _____ OCS SS TUBING PIPE _____

MOTOR DRIVER

HP 178 RPM 1450 FRAME VOLTAGE/PHASE/CYCLES 220/3
 MFR _____ BEARINGS _____ LUBE _____
 TYPE _____ MOUNT _____ FULL LEAD ANGLE _____
 ENC. _____ TEMP. RISE, C. _____ LOCKED ROTOR AMP _____
 TYPE VSB VERT. THRUST CAP. LB. _____

PERFORMANCE

PROPOSAL CURVE No. _____ MAX. SHP RATED HP _____
 RPM _____ (WATER) _____ MAX. HEAD RATED HP _____
 EFF. 85 % SHP RATED _____ MIN. CONTINUOUS RPM 25
 ROTATION (VIEWED FROM CPL. END) _____

SHOP TESTS

NON-WIT. PERG. WIT. PERG. DISMANT. & WSP. AFTER TEST
 NON-WIT. RTDNG. WIT. RTDNG. OTHER _____
 RPSK BENT. WIT. WSK _____
 SHD. INSPECTION _____

WATERBARS

PUMP, CASE/IM CLASS
 SA-203

BASEPLATE SA-203

VERTICAL PUMPS

PIT OR SHD. DEPTH _____ FLOAT & ROD C/S S B BRZ NONE
 MIN. SUBMERGENCE REQD. _____ FLOAT SWITCH _____
 COLUMN PIPE: FLANGED THREADED PUMP THRUST, LB OR UP _____ DOWN _____
 LINE SHAFT: OPEN ENCLOSED
 BRG: BNL _____ LINE SHAFT _____
 BNL LUBE: WATER OIL _____ GREASE _____

APPROX. NET. PUMP & BASE _____ MOTOR _____ TURBINE _____

API STANDARD 64 GOVERNS UNLESS OTHERWISE NOTED.

NOTE: INDICATES INFORMATION TO BE COMPLETED BY PURCHASER.
 BY MANUFACTURER.

CAPITULO VI.
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1. CONCLUSIONES.

- 6.1.1. Después de 50 años, el Nilón-6 es un producto que no ha podido ser desplazado por los nuevos materiales poliméricos que se descubren día a día e incluso mantiene una dinámica de crecimiento constante debido a la diversificación de sus usos y a las buenas propiedades que ofrece. En México es la única poliamida que se produce y tiene un mercado muy amplio, de ahí que se deduce que una cantidad considerable de esta producción se desperdicia y por lo tanto con el método de reciclamiento propuesto se pueden aprovechar estos desperdicios. Con el desarrollo de este trabajo se tiene una alternativa más de reciclamiento de Nilón-6 que cualitativamente comparada con la alternativa tradicional de reciclamiento mecánico es mejor. En el reciclado mecánico se obtienen productos de baja calidad y sus aplicaciones son limitadas, teniendo una aceptación muy baja en el mercado.
- 6.1.2. Se utilizaron dos tipos de Nilón-6 para llevar a cabo la experimentación, uno en forma de granulos ("pellets") que no ha pasado por ningún proceso de conformado y por ende no contiene ninguna clase de aditivos y el otro tipo de Nilón-6 utilizado son desperdicios de este polímero provenientes de procesos de extrusión, moldeo por inyección y moldeo por inyección-soplado que se utilizan para darle formas útiles al polímero y al que se le ha agregado algún aditivo dependiendo de la aplicación a la que este destinado. Con ambos se obtuvieron resultados positivos para reciclado en la elaboración del producto de Nilón-6 que se desee, porque el proceso diseñado obtiene la e-caprolactama como un sólido de alta pureza se que utiliza para repolimerizarse y obtener nuevamente Nilón-6.
- 6.1.3. Se desarrolló a escala de laboratorio un método para la despolimerización directa de Nilón-6 fundido en medio alcalino. El monómero de e-caprolactama fué obtenido como un sólido cristalino de alta pureza. Los resultados obtenidos a nivel laboratorio son utilizados para el escalamiento de una planta industrial junto

con los factores que hay que considerar por este escalamiento. (vease memorias de cálculo en la parte de escalamiento).

- 6.1.4. Se estudió también el efecto de las condiciones de operación en el rendimiento promedio de e-caprolactama y se establecieron condiciones óptimas de máximo rendimiento; 89 % en peso de rendimiento de e-caprolactama con respecto al peso inicial de los desperdicios de Nilón-6 utilizados como materia prima.
- 6.1.5. Se determinó la cinética de reacción de despolimerización. Estos datos son de gran importancia para entender el mecanismo de reacción y fueron muy útiles en los balances de materia y energía para el proceso que se diseñó.
- 6.1.6. Las técnicas instrumentales utilizadas para caracterizar y evaluar la pureza de las muestras de e-caprolactama obtenidas de la experimentación y las muestras del polímero obtenido de la repolimerización de estas muestras son muy precisas y la posibilidad de error o falibilidad son muy remotas, por lo que los resultados obtenidos son confiables. Estas técnicas que se utilizaron son suficientes para la caracterización de estas muestras y podemos asegurar que se trata de los materiales que se esperaba obtener. Por lo tanto no es necesario utilizar otras técnicas o pruebas de análisis y caracterización. Dicha caracterización sirve como base para plantear el tipo de control de calidad que se requiere a nivel industrial.
- 6.1.7. La e-caprolactama obtenida de la despolimerización de Nilón-6 limpio y de desperdicios, así como, la e-caprolactama pura se repolimerizan bajo las mismas condiciones. Los resultados obtenidos determinan la veracidad y utilidad de este trabajo y plantean que la etapa de purificación del monómero puede simplificarse.
- 6.1.8. El proceso utilizado es altamente competitivo, la ventaja de este proceso es su simplicidad, la disponibilidad de los materiales iniciales y los reactivos químicos utilizados (muy comunes,

fáciles de encontrar en el mercado, bajos costos, poca toxicidad, fácil manejo, etc).

- 6.1.9. El diseño del proceso y el desarrolló de la ingeniería básica permite llevar a cabo trabajos posteriores sobre el desarrollo y la construcción de una planta piloto y después la instalación de una planta industrial de este tipo.
- 6.1.10. Los usos prácticos de los resultados aquí obtenidos pueden contribuir a la solución del problema de la utilización económica de los desperdicios de Nilón-6 y aliviar en cierta medida la contaminación del suelo por este tipo de polímero.
- 6.1.11. Una ventaja adicional del proceso propuesto comparado con los procesos existentes es el manejo de volúmenes pequeños en relación a aquellos que requieren soluciones acuosas para la despolimerización del Nilón-6 . Como la temperatura en ambos procesos es similar en este caso el gasto energético es mucho menor.
- 6.1.12. Este proceso también ofrece menor número de etapas con respecto a los ya existentes, lo que lo permite presuponer que es más rentable. Al menos con este proceso desarrollado se disminuyen 3 o 4 etapas en comparación a los procesos ya existentes y esto se atribuye a que los volúmenes manejados en el proceso propuesto son menores y porque se tienen menos etapas de purificación, debido a que se obtiene un producto con una pureza aceptable.

6.2. RECOMENDACIONES.

- 6.2.1. Enfocar los trabajos que traten sobre depolimerización de Nilón-6. hacia la despolimerización directa en medio alcalino. Hasta la fecha ha recibido muy poca atención aunque presenta ventajas comparativas sobre los métodos de despolimerización en solución ácida. Los estudios que se sugieren son: La despolimerización directa de Nilón-6 con otros tipos de catalizadores y aceleradores alcalinos que reduzcan el tiempo total de reacción. En este trabajo se ha utilizado solamente un catalizador y no uso ningún acelerador. Respecto al reactor de despolimerización se recomienda estudiar en detalle su diseño para grandes volúmenes, en particular la fuente de calentamiento y el control de la temperatura, para evitar problemas de sobrecalentamiento durante la fusión de la mezcla reaccionante y por el calor generado por la reacción.
- 6.2.2. También se recomienda proseguir este trabajo con un estudio de prefactibilidad económica que incluya el monto de la inversión, costos de operación, etc. para comparar el proceso de despolimerización de Nilón-6 en medio alcalino utilizado aquí, con el proceso de depolimerización de Nilón-6 en solución ácida antes de iniciar la construcción de un reactor piloto, que representa el corazón del proceso. Es conveniente comparar la calidad y costo de los productos reciclados obtenidos por despolimerización de Nilón-6 y por repolimerización de la e-caprolactama obtenida de desperdicios de Nilón-6 para darse cuenta de las calidades que presenta, así como el tipo de aplicaciones a que se destinen.
- 6.2.3. Finalmente se recomienda continuar el desarrollo de la ingeniería de detalle y la construcción de una planta industrial de este tipo aprovechando la información y resultados aquí obtenidos y los sugeridos arriba.

BIBLIOGRAFIA.

1. Baena G., "*Instrumentos de investigación*", 8a Ed., Editores Mexicanos Unidos, S.A., México, D.F. 1982.
2. Nelson W.E., "*Nylon Plastics Technology*", 1a Ed., p.p. 35 a 38, 145 a 148 y 160 a 172, The Butterworth Group, Boston, M.A., 1976.
3. Flaschka H.A. et al., "*Química Analítica Cuantitativa*", 1a Ed., Vol. II, p.p. 102 a 104, Compañía Editorial Continental, México, D.F., 1973
4. Vogel A. I., "*Química Analítica Cuantitativa*", 2a Ed., Vol. II, p.p. 349 a 351, Editorial Kapelusz, Buenos Aires, Argentina., 1969.
5. Shriner R.L. et al., "*Identificación Sistemática de Compuestos Orgánicos*", 1a Ed., p.p. 39 a 55 y 72 a 73, Editorial Limusa, México D.F., 1966.
6. Rabek J.F., "*Experimental Methods in Polymer Chemistry*", p.p. 488 a 507 y 221 a 253, John Wiley & Sons, New York, N.Y., 1980.
7. Billmeyer F.W., "*Ciencia de los Polímeros*", 2a Ed., p.p. 107 a 139 y 151 a 231, Editorial Reverté, México, D.F., 1975.
8. Askeland D.R., "*La Ciencia e Ingeniería de los Materiales*", 1a Ed., p.p. 326 a 362, Grupo Editorial Iberoamérica, México, D.F., 1987.
9. Connors K.A., "*Chemical Kinetics*", p.p. 17 a 63, VCH Publishers Inc, New York, N.Y., 1990.
10. Reklaitis G.V., Schneider D.R., "*Balances de Materia y Energía*", 1a Ed. en español, p.p. 32 a 58, 101 a 142, 179 a 226, 379 a 435 y 454 a 485, Mc Graw-Hill/Interamericana de México S.A. de C.V., México, D.F., 1989.
11. Himmelblau D.M., "*Balances de Materia y Energía*", 4a Ed., p.p. 100 a 210 y 327 a 472, Prentice-Hall Hispanoamericana S.A., México, D.F., 1988.

12. Stepanoff A.J., "*Centrifugal and Axial Flow Pumps. (Theory, Design and Application)*", 1a Ed., p.p. 69 a 90 y 293 a 325, John Wiley & Sons, New York, N.Y., 1957.
13. Hicks T.G., "*Bombas (Su Selección y Aplicación)*", 13a Ed., p.p. 19 a 46 y 89 a 305, Compañía Editorial Continental S.A., México, D.F., 1978.
14. Levine I.N., "*Fisicoquímica*", 1a Ed., p.p. 356 a 366, McGraw-Hill de México, S.A. de C.V., México, D.F., 1981.
15. "*Science Citation Index*", An International Interdisciplinary Index to the Literature of Science, Medicine, Agriculture, Technology, and the Behavioral and Social Sciences., Institute for Scientific Information Inc., Philadelphia, Pa. U.S.A. (1956 a 1991).
16. "*Anuario Estadístico de la Industria Química*", A.N.I.Q. (Asociación Nacional de la Industria Química), Ediciones 1985, 1991 y 1992, México D.F.
17. Hawley G.G., "*Diccionario de Química y de productos Químicos*", p.p. 169, 170, 610 y 777, Editorial Omega, Barcelona, España., 1975.
18. Sidney Levy P.E., "*Plastics Extrusion Technology Handbook*", 1a Ed., p.p. 1 a 53, Industrial Press Inc., New York, N.Y., 1981.
19. Lynch C.T., "*Handbook of Materials Science*", 1a Ed., p.p. 29 a 31 y 71 a 72, CRC Press Inc, New York, N.Y., 1975.
20. "*Powder Diffraction File*", Organic and Organometallic Phases. Search Manual (Hanawalt). Alphabetical and Formulae Indexes. International Centre for Diffraction Data, Swarthmore, Philadelphia, Pa., 1987.
21. "*Standard Spectra Collection*", Cumulative Molecular Formula Index, Espectros 208-B, 6492-M, 1620-C y 15262-K, Sadtler Research Laboratories, Philadelphia, Pa., 1980.

22. "Design of Piping Systems", The M.W. Kellogg Company, 2a Ed. revisada, p.p. 198 a 202 y 336 a 358, John Wiley & Sons, New York, N.Y., 1956.
23. "Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants", 2a Ed., Vol. 1, p.p. 46 a 180, Gulf Publishing Company, Houston, Tx., 1977.
24. "Flujo de Fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías", División de Ingeniería de CRANE, 1a Ed. en español, p.p. 2-1 a 2-20, 3-1 a 3-52, 4-1 a 4-26 y B-16 a B-28, McGraw-Hill de México S.A. de C.V., México, D.F., 1987.
25. Mark H.F., Bikales N.M. et al., "Encyclopedia of Polymer Science and Engineering", 2a Ed., Vol. 11, p.p. 315 a 505, John Wiley & Sons, New York, N.Y., 1988.
26. Mark H.F., Othmer D.F. et al., "Encyclopedia of Chemical Technology", 3a Ed., Vol. 18, p.p. 425 a 436, John Wiley & Sons, New York, N.Y., 1982.
27. Considine D.M., "Chemical and Process Technology Encyclopedia", 1a Ed., Parte I y II, p.p. 194, 337, 382 a 385 y 824 a 910, McGraw-Hill Book Company, New York, N.Y., 1974.
28. Arpe H.J., Bieker E. et al., "Ullmanns Encyclopedia of Industrial Chemistry", 5a Ed., Vol. A-5, p.p. 31 a 49, Editorial VCH, Weinheim, Federal Republic of Germany., 1986.
29. Mcketta J.J., Cunningham W.A., "Encyclopedia of Chemical Processing and Design", 1a Ed., Vol. 6, p.p. 72 a 95, Marcel Dekker Inc, New York, N.Y., 1978.
30. Brandrup J., Immergut E.H., "Polymer Handbook", 3a Ed., p.p. V109 a V116, John Wiley & Sons, New York, N.Y., 1989.

31. El Sayed A., Stahlke K.R., "Poliamidas", Plásticos Universales, Año 35, No. 9, May-Jun., p.p. 68 a 72, (1991).
32. "El Nylon Cumple Cincuenta Años", Tecnología del Plástico, No 19, Jun-Jul., p.p. 18 y 19. México, D.F., (1988).
33. Smith S., "The Re-equilibration of Polycaprolactam", Journal of Polymer Science, Prague Symposium, Vol. XXX, p.p. 459 a 478, (1958).
34. Mukherje A.K., Goel D.K., "Depolymerization of Poly ϵ -caprolactam Catalyzed by Sodium Hydroxide", Journal of Applied Polymer Science, 22(2), 361 (1978).
35. Langhamm M., "Depolymerization of Polyamides", Makromolekulare Chemie-Macromolecular Chemistry and Physics, 187(4), 829 (1986).
36. Vainiota S., "Depolymerization of Polyamides", American Industrial Hygiene Association Journal, 50(8), 396 (1989).
37. Konomi T., "Depolymerization of Nylon-6", Journal of Polymer Science Part A-1. Polymer Chemistry, 8(5), 1261 (1970).
38. Ogale A.A., Yurum Y., "Depolymerization of Nylon-6: Some Kinetic Modeling Aspects", Journal of Applied Polymer Science, 29(12), 3974 (1984).
39. Khanna Y.P., "Evaluation of Thermal History of Polymeric Films and Fibers Using DSC/TMA/DMA Techniques", Journal of Applied Polymer Science, 40(3-4), 569 (1990).
40. Rudd D.F., Silrolan J.J., Powers G.J., "Process Synthesis", John Wiley & Sons, New York, N.Y., 1973.
41. King C.J., "Understanding and Conceiving Chemical Processes", AIChE Monograph Series, 70(8), 1 1990.
42. Castellanos F.J., "Anatomía y Mercado de la Ingeniería de Proyecto", Educación Química, 1, 16 (1992).

43. Jacks R.L., "Process Design and Specification of Pumping Equipment", Chem. Eng. Prog., 49(5), 134 (1953).
44. Birk J.R., Peacock J.H., "Pumps Requirements for the Chemical Process Industries", Chem. Engineering, Feb. 18, 117 (1974).
45. Doolin J.H., "Updating Standards for Chemical Pumps", Chemical Engineering, June 11, 117 (1973).
46. Hattiangadi U.S., "Diagram Speeds Up Pumps Specifications Job", Chem. Engineering, July 13, 114 (1970).
47. Kern R., "How to Design Piping for Pump Suction Conditions", Chem. Engineering, April 28, 119 (1975).
48. Neerken R.F., "Pump Selection for the Chemical Process Industries", Chem. Engineering, Feb. 18, 104 (1974).
49. Rost M., Visich E.T., "Pumps", Chem. Engineering, April 14, 45 (1969).
50. Stindt W.H., "Pump Selection", Chem. Engineering, Oct. 11, 43 (1971)
51. Thurlow C., "Centrifugal Pumps", Chem. Engineering, Oct. 11, 29 (1971).
52. Reimschuessel H.K., "Nylon-6", Journal of Polymer Science, Macromol. Rev., 12, 65 (1977).
53. Mikula F. and Petru K., "Purificación and Isolation of ϵ -caprolactam from water solutions obtained in depolymerization of caprolactam wastes", International Chemical Engineering, 9(2), 288 (1969).
54. Mathias L.J., Rajeev A.V., Canterbury J.B., "Nylon-6. A simple safe synthesis of a Tough Commercial Polymer", Journal of Chemical Education, 61(9), 805 (1984).

MEMORIAS DE CALCULO.

CALCULO DE LA VELOCIDAD DE REACCION GLOBAL PARA LA REACCION DE DESPOLIMERIZACION DE NILON-6.

Se obtuvo la velocidad de reacción instantánea en cada punto por el método de las diferencias centrales y se elaboró la siguiente tabla de datos.

tiempo (hrs)	dc/dt	Tiempo (hrs)	dc/dt
0.2	29.675	2.5	17.650
0.4	31.866	2.6	16.760
0.5	30.800	2.8	15.875
0.6	29.700	3.0	14.725
0.8	28.650	3.2	13.600
1.0	27.275	3.4	12.760
1.2	25.925	3.5	11.950
1.4	24.930	3.6	11.160
1.5	23.950	3.8	10.350
1.6	22.930	4.0	9.300
1.8	21.975	4.2	8.300
2.0	20.725	4.4	7.530
2.2	19.500	4.5	6.800
2.4	18.560	4.6	6.100
		4.8	5.375

Estos datos se ajustaron a una línea recta para poder obtener su pendiente y este valor representa la velocidad de reacción global de la reacción de despolimerización. Los datos obtenidos fueron los siguientes: $n=28$, $\Sigma x=72.3$, $\Sigma y=495.021$, $\Sigma x^2=237.21$, $\Sigma y^2=10548.99$, $\Sigma xy=977.4484$, $\Sigma x/n=2.582142$, $\Sigma y/n=17.679321$, $x_{\sigma n}=1.343251$, $y_{\sigma n}=8.011963$, $x_{\sigma n-1}=1.3679$, $y_{\sigma n-1}=8.158984$, $a=33.05156412$, $b=-5.953289009$, $r=-0.998102806$.

Entonces la ecuación de una línea recta es:

$$y=a + bx$$

En donde el valor que nos interesa obtener es el de la pendiente o el valor de b que en este caso es de -5.953289009 .

Por lo tanto la velocidad de reacción global para la despolimerización de Nilón-6 catalizada con hidróxido de sodio es el siguiente:

$$r = dc/dt = -5.953289009.$$

CALCULO DEL ORDEN DE LA REACCION DE DESPOLIMERIZACION DE NILON-6.

Para determinar el orden de la reacción de despolimerización de Nilón-6, se elaboró la figura 4.4.A. que relaciona los cambios en la concentración de Nilón-6 con respecto al tiempo en la reacción de despolimerización. Una vez hecho ésto se eligieron concentraciones arbitrarias de esta gráfica y se determinó la concentración de vida media y de vida tres cuartos. Con estas concentraciones se determinó el tiempo de vida media y el tiempo de vida tres cuartos. Con los datos obtenidos se elaboraron las figuras 4.4.B. y 4.4.C. para determinar el valor de la pendiente de ambas gráficas y de esta manera obtener el orden de reacción, los datos que se graficaron son los siguientes:

Log C 1/2 Nilón-6	Log t 1/2	Log C 3/4 Nilón-6	Log t 3/4
1.6946	0.2673	1.7843	0.1327
1.6703	0.3067	1.7189	0.2324
1.6082	0.3655	1.6498	0.3235
1.5428	0.4259	1.6138	0.3490
1.4737	0.4687	1.5387	0.4195
1.4377	0.4933	1.4994	0.4530
1.3626	0.5308	1.4176	0.5029
1.3234	0.5621	1.3312	0.5439
1.2415	0.5967	1.2406	0.5908
1.1552	0.6288	1.1939	0.6113
1.0645	0.6738	1.0988	0.6504
1.0178	0.6947	1.0039	0.6914

Los datos de las gráficas 4.4.B. y C se ajustaron por medio de mínimos cuadrados para obtener el valor de la pendiente. Los datos obtenidos por mínimos cuadrados son:

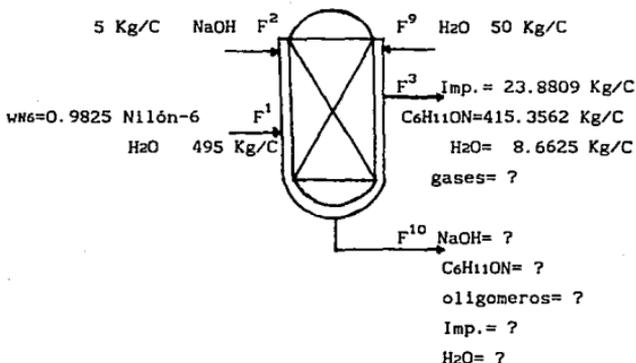
$N_{t1/2}=12$, $\Sigma \text{Log} C_{1/2}=16.5923$, $\Sigma \text{Log} t_{1/2}=6.0143$, $\Sigma (\text{Log} C_{1/2})^2=23.5198$,
 $\Sigma (\text{Log} C_{1/2})(\text{Log} t_{1/2})=7.9687$, ordenada al origen $a=1.3320$,
 pendiente $m=-0.6008$, factor de correlación de datos $r=-0.9851$, por lo tanto el orden de la reacción con estos datos es de $n=1.60$.

$N_{t3/4}=12$, $\Sigma \text{Log} C_{3/4}=17.0913$, $\Sigma \text{Log} t_{3/4}=5.5012$, $\Sigma (\text{Log} C_{3/4})^2=25.0426$,
 $\Sigma (\text{Log} C_{3/4})(\text{Log} t_{3/4})=7.3672$, ordenada al origen $a=1.4106$, pendiente
 $m=-0.6685$, factor de correlación de datos $r=-0.9735$, por lo tanto el orden de la reacción con estos datos es de $n=1.66$.

El orden de reacción se obtuvo por medio del promedio de los valores antes obtenidos, es decir, $n=(1.60 + 1.66)/2 = 1.63$

BALANCES DE MATERIA PARA PROCESO DE PLANTA DE RECUPERACION DE NILÓN-6.

REACTOR DE DESPOLIMERIZACION DC-001.



Inicialmente se cargan al reactor 486.3375 Kg. de Nilón-6 y se obtienen en la corriente F^3 415.3562 Kg/C de C₆H₁₁ON, 23.8809 Kg/C de impurezas y aproximadamente 2.4316 Kg/C de gases. Al extraer la e-caprolactama residual en el reactor se obtuvieron 21.8608 Kg/C de ésta y lo demás era una mezcla de NaOH, oligómeros de e-caprolactama, impurezas y H₂O.

Entonces suponiendo que todo el Nilón-6 se ha convertido a productos como C₆H₁₁ON, impurezas, gases y oligómeros.

Sabemos que la conversión de una sustancia se expresa como:

$$X_{N6} = \frac{\text{ent. sal. ent.}}{(F_{N6} - F_{N6})} / F_{N6} = 1$$

Y que $F_{N6} - F_{N6} = (\sigma_{N6})(M_{N6})(r)$, substituyendo esta expresión en la expresión de la conversión de una sustancia obtenemos:

$$r = \frac{\text{ent.}}{(F_{N6})(X_{N6}) / \sigma_{N6}}$$

Como la velocidad de reacción r ya la determinamos y la conocemos, entonces podemos obtener el valor del coeficiente estequiométrico del Nilón-6 (σ_{N6}) con el cual participa en esta reacción de despolimerización.

También tenemos que el número de moles de una sustancia es igual a la masa entre la densidad.

$$n = M / PM.$$

El peso molecular promedio del Nilón-6 utilizado para la despolimerización es de 16,000 Kg/Kgmol, entonces:

$$n = (486.3375 \text{ Kg/C}) / (16000 \text{ Kg/Kgmol}) = 0.030396 \text{ Kgmol/C}.$$

Sustituyendo en la ecuación para encontrar el coeficiente estequiométrico, se obtiene:

$$\text{ent. } \sigma_{N6} = ((NN6)(X_{N6}) / r = ((0.030396 \text{ Kg/mol/C})(1)) / 5.953280 \text{ Kgmol/C} = 0.005105.$$

También podemos conocer el coeficiente estequiométrico con el que participa la e-caprolactama en la reacción de despolimerización, de la siguiente manera:

0.030396 Kgmol/C	3.863706 Kgmol/C.
Nilón-6	e-caprolactama+Imp.+gases+oligomeros.
$\sigma_{N6} = 0.005105$	$\sigma_{C6H11ON} = 0.648908.$

Con los datos obtenidos se puede plantear el balance de materia para el reactor como sigue:

Balance Global.

$$F^2 + F^9 + F^1 = F^3 + F^{10} \quad (1).$$

$$5 \text{ Kg/C} + 50 \text{ Kg/C} + 495 \text{ Kg/C} = F^3 + F^{10}.$$

$$550 \text{ Kg/C} = F^3 + F^{10} \quad (1').$$

Balance por componentes.

$$0 = F_{N6}^1 + \sigma_{N6} M_{N6} \quad (2).$$

$$F_{C6H11ON}^3 + F_{C6H11ON}^{10} = \sigma_{C6H11ON} M_{C6H11ON} \quad (3).$$

$$F_{NaOH}^{10} = F_{NaOH}^2 \quad (4).$$

$$F_{H2O}^3 + F_{H2O}^{10} = F_{H2O}^1 + F_{H2O}^2 \quad (5).$$

$$F_{IMP}^7 + F_{IMP}^{10} = \sigma_{IMP} M_{IMP} \quad (6).$$

$$F_{GASES}^7 = \sigma_{GASES} M_{GASES} \quad (7).$$

$$F_{OLI}^{10} = \sigma_{OLI} M_{OLI} \quad (8).$$

De la ecuación 2.

$$0 = F_{N6}^1 + \sigma_{N6} M_{N6} \quad r$$

$$0 = 486.3375 \text{ Kg/C} + (-0.005105)(16000)(5.953289)$$

$$0 = 0$$

Por lo tanto todo el Nilón-6 se convierte a los productos antes mencionados.

De la ecuación 3 como conocemos experimentalmente que $F_{C_6H_{11}ON}^3 = 415.3562$ Kg/C.

$$F_{C_6H_{11}ON}^{10} = (0.648908)(113.16)(5.953284) - 415.3562 = 21.8608 \text{ Kg/C.}$$

De la ecuación 4 se puede observar que todo el NaOH que entra al reactor por la corriente 2 es igual al NaOH que sale por la corriente 10, y ésto se debe a que el catalizador se regenera y no se descompone o forma algún producto secundario.

De la ecuación 5 el contenido de agua del Nilón-6 que entra en la corriente 1 es el mismo que se obtiene en la corriente 3, debido a que a la temperatura a que se lleva a cabo la reacción esta agua ya ha sido evaporada y extraída por el sistema de vacío. Ahora el agua que se introduce por la corriente 9 después de que ha acabado la reacción y se ha enfriado el reactor sale por la corriente 10, ya que solamente se utiliza para solubilizar la e-caprolactama que no ha podido ser extraída por la bomba de vacío y también para arrastrar las impurezas sólidas.

De la ecuación 6 se determinó experimentalmente la composición de las impurezas en las corrientes 3 y 10. A la primera absorbiéndolas con carbón activado y determinando el peso ganado por el carbón activado, en el caso de las impurezas de la corriente 10 por la suma de sólidos más lo que se le quito a la e-caprolactama remanente en el reactor y extraída con agua. Esto se hizo experimentalmente debido a que no se pudieron caracterizar estas impurezas y por lo tanto se desconocía su peso molecular promedio y su coeficiente estequiométrico en la reacción. Lo mismo ocurrió con las ecuaciones 7 y 8 para gases y oligómeros. Los oligómeros se obtuvieron por sublimación a 2 mm de Hg en las paredes del recipiente de reacción y se pesaron. El peso de los gases se determinó por diferencia entre lo que entra al reactor y lo que sale de el por medio del balance global.

De esta manera la composición para la corriente 10 es la siguiente:

$$F_{NaOH}^{10} = 5.0000 \text{ Kg/C.}$$

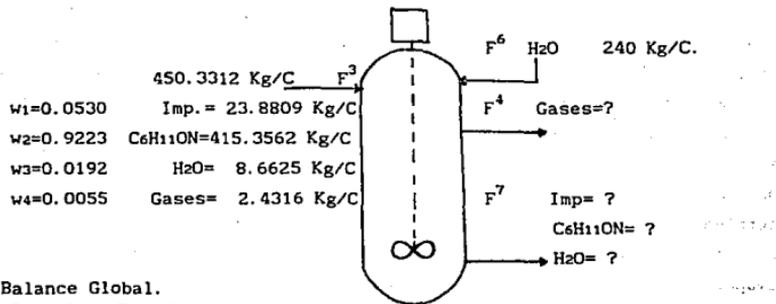
$$F_{C_6H_{11}ON}^{10} = 21.8608 \text{ Kg/C.}$$

$$F_{OLI.}^{10} = 7.2950 \text{ Kg/C.}$$

$$F_{IMP.}^{10} = 15.5130 \text{ Kg/C.}$$

$$F_{H_2O}^{10} = 50.0000 \text{ Kg/C.}$$

TANQUE DE SOLIDIFICACION Y SOLUBILIZACION FA-001.



$w_1=0.0530$ Imp. = 23.8809 Kg/C
 $w_2=0.9223$ $C_6H_{11}ON=415.3562$ Kg/C
 $w_3=0.0192$ $H_2O= 8.6625$ Kg/C
 $w_4=0.0055$ Gases= 2.4316 Kg/C

Balance Global.

$$F^3 + F^6 = F^7 + F^4$$

$$450.3312 \text{ Kg/C} + 240 \text{ Kg/C} = F^7 + F^4$$

$$F^7 + F^4 = 690.3312 \text{ Kg/C}$$

Balances por componentes.

$$\text{Imp.} \quad (0.0530)(450.3312) = F^7 w_{IMP}^7$$

$$C_6H_{11}ON \quad (0.9223)(450.3312) = F^7 w_{C_6H_{11}ON}^7$$

$$H_2O \quad (0.0192)(450.3312) + 240 = F^7 w_{H_2O}^7$$

$$\text{Gases} \quad (0.0055)(450.3312) = F^4 w_{GASES}^4$$

De la ecuación 13 tenemos que $F^4 = 2.4316 \text{ Kg/C}$.

Sustituyendo 14 en 9.

$$F^7 = 690.3312 - 2.4316 = 687.8996 \text{ Kg/C}$$

$$F^7 = 687.8996 \text{ Kg/C}$$

Sustituyendo 15 en 10, 11 y 12 obtenemos.

$$w_{IMP}^7 = 0.0347.$$

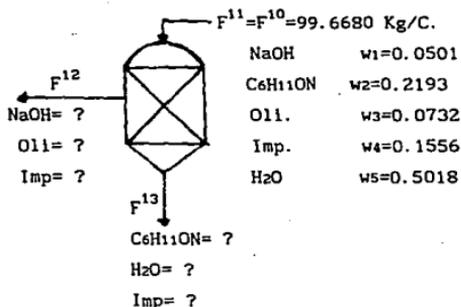
$$w_{C_6H_{11}ON}^7 = 0.6037.$$

$$w_{H_2O}^7 = 0.3614.$$

BOMBA DE SOLUCION DE REACTOR GA-001.

$$F^{10} = F^{11}.$$

FILTRO DE SOLUCION DE REACTOR FD-001.



Aquí se tiene una relación que se determinó experimentalmente y es que aproximadamente el 40 % en peso de las impurezas que trae la corriente F^{11} salen en forma de sólidos suspendidos en la corriente F^{13} . Por lo tanto esto se puede expresar de la siguiente manera.

$$0.40 F^{11} w^{11}_{IMP} = F^{13} w^{13}_{IMP} \quad (16).$$

Balance Global.

$$99.6680 \text{ Kg/C} = F^{12} + F^{13} \quad (17).$$

Balance por componentes.

$$\text{NaOH} \quad 4.9933 = (0.0501)(99.6680) = F^{12} w^{12}_{\text{NaOH}} \quad (18).$$

$$(99.6680 - F^{13}) w^{12}_{\text{NaOH}} = 99.6680 w^{12}_{\text{NaOH}} - F^{13} w^{12}_{\text{NaOH}} \quad (18')$$

$$\text{C}_6\text{H}_{11}\text{ON} \quad 21.8572 = (0.2193)(99.6680) = F^{13} w^{13}_{\text{C}_6\text{H}_{11}\text{ON}} \quad (19).$$

$$\text{O11.} \quad 7.2957 = (0.0732)(99.6680) = F^{12} w^{12}_{\text{O11}} = (99.6680 - F^{13}) w^{12}_{\text{O11}} \quad (20).$$

$$\text{Imp.} \quad 15.5083 = (0.1556)(99.6680) = F^{12} w^{12}_{\text{IMP}} + F^{13} w^{13}_{\text{IMP}} \quad (21).$$

$$\text{H}_2\text{O} \quad 50.0134 = (0.5018)(99.6680) = F^{13} w^{13}_{\text{H}_2\text{O}} \quad (22).$$

De 16.

$$F^{13} w^{13}_{\text{IMP}} = 6.2033$$

$$w^{13}_{\text{IMP}} = 6.2033 / F^{13} \quad (23).$$

Sustituyendo 16 en 21.

$$15.5083 = F^{12} w^{12}_{\text{IMP}} + F^{13} w^{13}_{\text{IMP}}$$

$$F^{12} w^{12}_{\text{IMP}} = 15.5083 - 0.40 F^{11} w^{11}_{\text{IMP}}$$

$$F^{12} w^{12}_{\text{IMP}} = 15.5083 - (0.40)(99.6680)(0.1556) = 9.3049$$

$$w^{12}_{\text{IMP}} = 9.3049 / F^{12} \quad (23').$$

Ahora

$$w^{12}_{\text{NaOH}} + w^{12}_{\text{O11}} + w^{12}_{\text{IMP}} = 1 \quad (24).$$

Sustituyendo 18, 20, 21, 23 y 23' en 24.

$$4.9933/F^{12} + 7.2957/F^{12} + (15.5083 - F^{13}W^{13}_{IMP})/F^{12} = 1 \quad (25).$$

Multiplicando toda la ecuación 25 por F^{12} .

$$4.9933 + 7.2957 + 15.5083 - F^{13}W^{13}_{IMP} = F^{12}.$$

Pero $F^{13}W^{13}_{IMP} = 6.2033$

$$F^{12} = 4.9933 + 7.2957 + 15.5083 - 6.2033 = 21.5940 \text{ Kg/C.}$$

Sustituyendo F^{12} en 17

$$F^{13} = 99.6680 - F^{12} = 99.6680 - 21.5940 = 78.0740 \text{ Kg/C.}$$

Las composiciones de cada corriente son:

F^{12} $W^{12}_{NaOH} = 0.2312$

$W^{12}_{OLI} = 0.3378$

$W^{12}_{IMP} = 0.4309$

F^{13} $W^{13}_{C6H11ON} = 0.2799$

$W^{13}_{H2O} = 0.6405$

$W^{13}_{IMP} = 0.0794$

BOMBA DE SOLUCION DE TANQUE FA-001.

$$F^7 = F^8 = 687.8996.$$

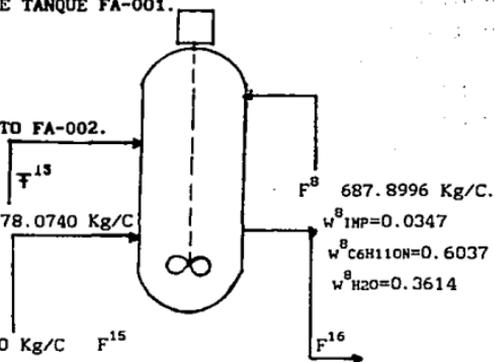
TANQUE DE TRATAMIENTO FA-002.

$W^{13}_{C6H11ON} = 0.2799$

$W^{13}_{H2O} = 0.6405$

$W^{13}_{IMP} = 0.0794$

Carbón activado 30 Kg/C F^{15}



F^8 687.8996 Kg/C.

$W^8_{IMP} = 0.0347$

$W^8_{C6H11ON} = 0.6037$

$W^8_{H2O} = 0.3614$

F^{16}

$C_6H_{11}ON = ?$

$H_2O = ?$

$Imp. = ?$

$C.A. = ?$

Balance Total.

$$F^8 + F^{13} + F^{15} = F^{16}$$

$$F^{16} = 765.9736 + 30 = 795.9736 \text{ Kg/C.}$$

Balance por componentes.

$$\text{C}_6\text{H}_{11}\text{ON} \quad (0.6037)(687.8996) + (0.2799)(78.0740) = F^{16} w^{16}_{\text{C}_6\text{H}_{11}\text{ON}}$$

$$w^{16}_{\text{C}_6\text{H}_{11}\text{ON}} = 0.5490$$

$$\text{H}_2\text{O} \quad (0.3614)(687.8996) + (0.6405)(78.0740) = F^{16} w^{16}_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$w^{16}_{\text{H}_2\text{O}} = 0.3751$$

$$\text{Imp.} \quad (0.0347)(687.8996) + (0.0794)(78.0740) = F^{16} w^{16}_{\text{IMP}}$$

$$w^{16}_{\text{IMP}} = 0.0377$$

$$\text{Carbón Activado} \quad (1)(30) = F^{16} w^{16}_{\text{C.A.}}$$

$$w^{16}_{\text{C.A.}} = 0.0376$$

BOMBA DE SOLUCION TRATADA GA-003.

$$F^{16} = F^{17} = 795.9736 \text{ Kg/C.}$$

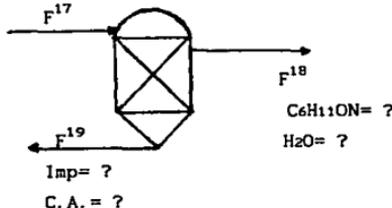
FILTRO DE SOLUCION TRATADA FD-002.

$$w^{17}_{\text{C}_6\text{H}_{11}\text{ON}} = 0.5490 \quad 795.9736 \text{ Kg/C}$$

$$w^{17}_{\text{H}_2\text{O}} = 0.3751$$

$$w^{17}_{\text{IMP}} = 0.0377$$

$$w^{17}_{\text{C.A.}} = 0.0376$$



Balance total.

$$795.9736 \text{ Kg/C} = F^{19} + F^{18} \quad (26).$$

Balance por componentes.

$$\text{C}_6\text{H}_{11}\text{ON} \quad 436.9895 = F^{18} w^{18}_{\text{C}_6\text{H}_{11}\text{ON}} \quad (27).$$

$$\text{H}_2\text{O} \quad 298.5696 = F^{18} w^{18}_{\text{H}_2\text{O}} \quad (28).$$

$$\text{Imp.} \quad 30.0082 = F^{19} w^{19}_{\text{IMP}} \quad (29).$$

$$\text{C.A.} \quad 29.9286 = F^{19} w^{19}_{\text{C.A.}} \quad (30).$$

$$\text{Como } w^{18}_{\text{C}_6\text{H}_{11}\text{ON}} + w^{18}_{\text{H}_2\text{O}} = 1$$

$$(436.9895/F^{18}) + (298.5696/F^{18}) = 1$$

$$F^{18} = 735.5591 \quad (31).$$

$$w^{18}_{\text{C}_6\text{H}_{11}\text{ON}} = 0.5940$$

$$w^{18}_{\text{H}_2\text{O}} = 0.4059$$

Sustituyendo 31 en 26

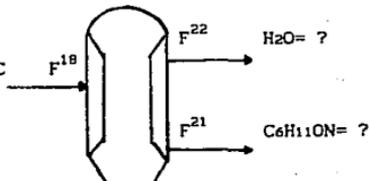
$$F^{19} = 60.4145$$

$$w^{19}_{\text{IMP}} = 0.4967$$

$$w^{19}_{\text{C.A.}} = 0.4953$$

CRISTALIZADOR DE E-CAPROLACTAMA FD-003.

$$w^{18}_{\text{C}_6\text{H}_{11}\text{ON}} = 0.5940 \quad 735.5891 \text{ Kg/C}$$
$$w^{18}_{\text{H}_2\text{O}} = 0.4059$$



Balance total.

$$735.5891 = F^{21} + F^{22}$$

Balance por componentes.

$$\text{C}_6\text{H}_{11}\text{ON} \quad 436.9399 = F^{21}$$

$$\text{H}_2\text{O} \quad 298.5756 = F^{22}$$

FACTORES DE ESCALAMIENTO A CONSIDERAR CUANDO SE DISEÑA UN EQUIPO INDUSTRIAL DE PROCESO A PARTIR DE DATOS OBTENIDOS DE UN EXPERIMENTO A NIVEL LABORATORIO.

A menudo los productos nuevos se originan en los vasos de precipitados y tubos de ensayo de los laboratorios industriales, de universidades o institutos de investigación. Rara vez es posible saltar del vaso de precipitados a la planta terminada. Debe efectuarse una considerable cantidad de lo que podría llamarse investigación de desarrollo aplicada. La información obtenida permite el diseño de equipo de proceso con un razonable grado de seguridad. Existen tantas incógnitas e intangibles que han desafiado al análisis teórico, que es necesario evaluar de manera empírica estos factores en un equipo de mayor escala, el llamado equipo de planta piloto o de planta semindustrial. En la operación de planta piloto o de planta semindustrial, se sigue un proceso la más parecido posible al que se empleará en la planta comercial, de manera que los datos obtenidos puedan ser utilizados con confianza al pasar de la escala de planta piloto al tamaño comercial.

Como las plantas piloto son costosas tanto en su construcción como en su operación, es imperativo para reducir la cantidad de trabajo e inversión requerido de planta piloto y, de ser posible, eliminarlo por completo, se utilicen todos los conocimientos teóricos obtenidos a partir del sencillo equipo de laboratorio adicionando un factor de sobrediseño o seguridad, con este factor se puede escalar cualquier equipo de proceso a la capacidad deseada o requerida por la planta. Este método de escalamiento tiene sus limitantes y es necesario escoger las variables de diseño muy cuidadosamente.

Los factores más importantes en el diseño a escala de los diferentes tipos de equipo, pueden ser caracterizados en base al tamaño o capacidad del equipo y al máximo escalamiento permitido por las variables seleccionadas.

Para el escalamiento de los equipos del proceso diseñado para el reciclamiento químico del Nilón-6 se utilizan los siguientes factores

de escalamiento: para el reactor batch DC-001 las variables más importantes para el diseño operacional son la velocidad de reacción y el estado de equilibrio. Las variables para la caracterización de tamaño o capacidad son el volumen del reactor y el tiempo de residencia. El máximo escalamiento recomendado para este reactor de acuerdo a las variables de caracterización es de 1 a 100 y el factor de sobrediseño a considerar es de 20% para el volumen y el tiempo de residencia.

Para el cristalizador tipo batch FA-003 las variables que influyen en el escalamiento son la razón de flujo y el área de transferencia de calor, el escalamiento recomendado para este equipo es de 1 a 100 de la escala de laboratorio y un factor de sobrediseño de 20% sobre las variables antes mencionadas.

Para los tanques FA-001 y FA-002 las variables más importantes para el escalamiento son el volumen y el tiempo de residencia, el escalamiento recomendado es de 1 a 100 con un 15% de sobrediseño en estas variables.

Los filtros FD-001 y FD-002 pueden ser escalados 1 a 100 con un sobrediseño del 20% para las variables de razón de flujo y área de filtración.

En la torre de enfriamiento EF-001 las variables que influyen el escalamiento son la razón de flujo y el volumen con un escalamiento máximo de 1 a 100 para la primera y de 1 a 10 para la segunda y un sobrediseño de 15% sobre estas variables.

Para todas las bombas centrífugas utilizadas en el proceso se toma un escalamiento de 1 a 100 para la razón de flujo y para la potencia requerida, para el diámetro del propulsor se puede escalar de 1 a 10. El sobrediseño recomendado para estas bombas es del 10% sobre las variables mencionadas.

NOTA: Todos los sobrediseños especificados anteriormente se tomaron en cuenta para el dimensionamiento del equipo y se pueden ver en las memorias de cálculo.

DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR DE DESPOLIMERIZACION DC-001.

El reactor se dimensiona para 500 Kg de carga para despolimerización. De estos 500 Kg. la concentración en peso es la siguiente:

Nilón-6 495 Kg.

NaOH 5 Kg.

Total 500 Kg.

Pero el Nilón-6 tiene un contenido promedio de humedad de 1.75% en peso, por lo tanto en los 495 Kg de Nilón-6 se tienen 8.6625 Kg de H₂O.

Como la mezcla se calienta a temperaturas alrededor de 250°C el agua se evapora rápidamente quedando el Nilón-6 fundido y el NaOH. La densidad de esta mezcla resultante es:

$$\rho_M = (0.960 \text{ g/cm}^3)(0.9898) + (2.13 \text{ g/cm}^3)(0.0101) = 0.971721 \text{ g./cm}^3$$

$$\rho_M = 0.000971721 \text{ Kg/cm}^3$$

Con esta densidad se calcula el volumen que ocupa la solución que tiene un peso de 491.3375 Kg.

$$V = W/\rho = (491.3375 \text{ Kg}) / (0.000971721 \text{ Kg/cm}^3) = 505636.3915 \text{ cm}^3$$

El volumen de diseño es un 20% más del volumen real debido al factor de escalamiento; por lo que tenemos:

$$V_D = (1.20)(V_R) = (1.20)(505636.3915) = 606763.6698 \text{ cm}^3$$

El volumen de un cilindro es $V = \pi(D/2)^2 L$, tomando una $L/D = 3$ para el reactor y sustituyendo en el volumen del cilindro obtenemos $D^3 = 4V/3\pi$.

$$D^3 = (4)(606763.6698 \text{ cm}^3) / (3\pi) = 257518.4995 \text{ cm}^3.$$

$$D = 63.62 \text{ cm} = 65 \text{ cm.}$$

$$L = 3D = (3)(65) = 195 \text{ cm.}$$

En este reactor se utiliza agitación para mantener una temperatura constante en la mezcla y los criterios utilizados para diseñar el agitador son los siguientes:

La longitud total del propulsor es de 60 a 80% la longitud del tanque.

$$L_{TP} = (0.80)(195 \text{ cm}) = 156 \text{ cm.}$$

La anchura de las paletas del propulsor es 1/6 a 1/10 de la longitud del tanque.

$$A_P = (1/8)(195 \text{ cm}) = 24.375 \text{ cm} = 25 \text{ cm.}$$

El diámetro de la turbina es 30 a 60% el diámetro del tanque.

$$D_T = (0.60)(65 \text{ cm}) = 39 \text{ cm.}$$

La anchura de los baffles es:

$$A_B = (1/6)(65 \text{ cm}) = 10.83 \text{ cm} = 11 \text{ cm.}$$

Como este reactor trabaja a bajas presiones el cálculo del espesor del cuerpo se hace bajo presión externa.

La presión de diseño es la atmosférica, es decir $P_D=11.2 \text{ Lb/pg}^2$

La temperatura de diseño es $T_D=1.10T_{Top}=1.10(250^\circ\text{C})=275^\circ\text{C}=527^\circ\text{F}$

El algoritmo de cálculo del espesor es el siguiente:

1. Suponer un espesor, por ejemplo $t=3/16 \text{ pg}=0.47625 \text{ cm}$. y determinar

$$L/D_o=195 \text{ cm}/65 \text{ cm}=3; D_o/t=65\text{cm}/0.47625 \text{ cm}=136.4829$$

2. Entrar a la figura 5-UGO-28.0 con L/D_o

3. Muevase horizontalmente hacia la línea que coincida con el valor de D_o/t calculado anteriormente y en donde se haga intersección muevase verticalmente hacia abajo para determinar el valor del factor A.

$$A=0.00025$$

4. Con el valor de A entre en la gráfica 5-UCS-28.2 para acero inoxidable (se usa acero inoxidable porque se utiliza como catalizador NaOH, que es muy corrosivo). Muevase verticalmente hacia la intersección con la línea de temperatura de operación.

5. En la intersección muevase horizontalmente a la derecha y lea el valor de B.

$$B=3700$$

6. Usar el valor de B para calcular la máxima presión ejercida sobre el recipiente.

$$P=4B/3(D_o/t)=((4)(3700))/((3)(136.48))=36.14 \text{ Lb/pg}^2$$

7. Comparar el valor de la presión obtenido anteriormente con la atmosférica, si son iguales o es un poco mayor el calculado entonces el espesor supuesto es el adecuado, si no es así entonces suponga otro espesor t y vuelva a realizar el mismo procedimiento.

Como la presión calculada resulto mayor que la atmosférica entonces hay que suponer otro espesor.

1. A. $t=1/8\text{pg}=0.3175 \text{ cm}$

$$L/D_o=3; D_o/t=204.7244$$

2. A. $A=0.00015$

3. A. $P_{cal}=2AE/3(D_o/t)=((2)(0.00015)(29 \times 10^6))/((3)(204.72))=14.16 \text{ Lb/pg}^2$

4. A. $P_{atm}=11.2 \text{ Lb/pg}^2$ es aproximadamente igual a la calculada $P_{cal}=14.16 \text{ Lb/pg}^2$.

Por lo tanto el espesor calculado para este reactor es $t=1/8$ pg más $1/16$ de pulgada de espesor por corrosión nos da un espesor recomendado de $3/16$ pg en acero inoxidable tipo 410.

El tiempo de residencia de la mezcla de Nilón-6 y NaOH en el reactor es de 4.5 hr pero el tiempo de diseño $T_{PD}=1.20(T_{PO})=1.20(4.5)=5.4$ hrs.

Como el reactor trabaja a presiones menores a la atmosférica, entonces se recomienda utilizar tapas toriesféricas y estas deben tener un espesor igual al del cuerpo, es decir $t=3/16$ pg en acero inoxidable tipo 410.

DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE SOLIDIFICACION Y SOLUBILIZACION FA-001.

En este tanque los productos que se obtienen son enfriados a una temperatura de 60°C. La solución que se forma en este tanque es de 62 % p/p de e-caprolactama. En este tanque se tienen los siguientes componentes:

Impurezas = 23.8809 Kg/c.	$W_1 = 0.0345$
$C_6H_{11}ON = 413.3562$ Kg/c.	$W_2 = 0.6016$
$H_2O = 248.6625$ Kg/c.	$W_3 = 0.3602$
Gases = 2.4316 Kg/c.	$W_4 = 0.0035$

Se puede despreciar la densidad de los gases con respecto a los demás componentes, además de que estos son extraídos hacia la trampa de vacío.

$$\rho_{\text{mezcla}} = (0.9618)(1.04258 \text{ Kg/L}) + (0.0345)(1.2316 \text{ Kg/L}) = 1.0452 \text{ Kg/L.}$$

Entonces el volumen que ocupa la mezcla es:

$$\rho = M/V ; V = M/\rho ; V = (690.3312 \text{ Kg})/(1.0452 \text{ Kg/L}) = 660.4776 \text{ L.}$$

Ahora como el volumen de diseño es igual a 1.20 el volumen real por el factor de escalamiento tenemos,

$$V_d = 1.20 V_r = (1.20)(660.4776 \text{ L}) = 792.5731 \text{ L.}$$

El volumen de un cilindro es $V = \pi r^2 h$, pero el $D = 2r$; $r = D/2$, sustituyendo este radio en la ecuación de volumen obtenemos $V = \pi(D/2)^2 L$, para este tipo de tanques se recomienda una $L/D=2$; $L=2D$, sustituyendo esta longitud en la ecuación de volumen y despejando el diámetro obtenemos:

$$D^3 = 4V_d/2\pi; D^3 = 4(792.5731 \text{ L})(1000 \text{ cm}^3 / 1 \text{ L}) = 504567.7065 \text{ cm}^3.$$

$D=79.61 \text{ cm}$ se redondea a 80 cm, por lo tanto $D_{\text{tanque}}=80 \text{ cm}$. y como $L=2D$ entonces $L=(2)(80)=160 \text{ cm}$.

Este tanque necesita agitación para poder solubilizar completamente la e-caprolactama obtenida y para mantener una composición homogénea, por lo tanto se diseña el agitador mediante los siguientes criterios:

$$\text{Longitud del propulsor} = (0.70)(160 \text{ cm}) = 112 \text{ cm.}$$

$$\text{Anchura de las paletas del propulsor} = (1/8)(160 \text{ cm}) = 20 \text{ cm.}$$

$$\text{Diámetro de la turbina} = (0.60)(80 \text{ cm}) = 48 \text{ cm.}$$

$$\text{Anchura de baffles} = (1/6)(80 \text{ cm}) = 14 \text{ cm.}$$

Este tanque trabaja a bajas presiones por lo tanto el cálculo del espesor del cuerpo se hace por presión externa.

$$\text{Presión de diseño } P_b = 11.2 \text{ Lb/pg}^2.$$

La temperatura de diseño es $T_D = 1.15 T_{op} = 1.15(60^\circ\text{C}) = 69^\circ\text{C} = 156.2^\circ\text{F}$.

Algoritmo de cálculo del espesor del cuerpo.

1. Suponiendo $t = 3/16 \text{ pg} = 0.47625 \text{ cm}$.

$$L/D_o = 160 \text{ cm} / 80 \text{ cm} = 2; \quad D_o/t = 80 \text{ cm} / 0.47625 \text{ cm} = 167.97$$

2. De la figura 5-UGO-28.0 se obtiene $A = 0.0003$

3. De la figura 5-UCS-28.4 para acero al carbón tipo SA-537.

$$P = (2AE) / (3(D_o/t)) = ((2)(0.0003)(28.8 \times 10^6)) / ((3)(167.97)) = 34 \text{ Lb/pg}^2$$

4. $P_a = 11.2 \text{ Lb/pg}^2$ es diferente de $P_{ca1} = 34 \text{ Lb/pg}^2$

Como las presiones son diferentes se supone otro espesor.

1. A. Suponiendo $t = 1/8 \text{ pg} = 0.3175 \text{ cm}$.

$$L/D_o = 2; \quad D_o/t = 80 / 0.3175 = 251.96$$

2. A. De la figura 5-UGO-28.0 se obtiene $A = 0.00017$

3. A. $P = 2AE / 3(D_o/t) = ((2)(0.00017)(28.8 \times 10^6)) / ((3)(251.96)) = 12.95$

4. A. La presión $P_a = 11.2 \text{ Lb/pg}^2$ es aproximadamente igual a la presión calculada $P_{ca1} = 12.95 \text{ Lb/pg}^2$

Por lo tanto el espesor del recipiente es $t = 1/8 \text{ pg}$ más $1/16 \text{ pg}$ de espesor por corrosión nos da un espesor total $t = 3/16 \text{ pg}$ de acero al carbón tipo SA-537.

Como este recipiente trabaja a una presión menor de la atmosférica, entonces se recomienda utilizar tapas torisféricas con espesor igual al del cuerpo, es decir $t_{tapa} = 3/16 \text{ pg}$ en acero al carbón tipo SA-537.

DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE TRATAMIENTO FA-002.

La carga total en este tanque es de 795.9736 Kg. La mezcla que se forma en este tanque tiene la siguiente composición:

$$W_{C_6H_{11}ON} = 0.5490$$

$$W_{H_2O} = 0.3751$$

$$W_{IMP.} = 0.0377$$

$$W_{CARBON.A} = 0.0376$$

La densidad de la solución de $C_6H_{11}ON$, H_2O y carbón activado con estas composiciones se determinó experimentalmente obteniéndose un valor de $\rho_m = 1.06303$ g./ml.

$$\rho_m = (1.06303 \text{ Kg/L})(0.9617) + (1.2316 \text{ Kg/L})(0.0377) = 1.06874 \text{ Kg/L.}$$

Como $\rho = M/V$, entonces $V = M/\rho$ y por lo tanto el volumen que ocupa la mezcla es:

$$V_R = (795.9736 \text{ Kg})(1.06874 \text{ Kg/L}) = 744.7775 \text{ L.}$$

El volumen de diseño es igual a: $V_D = 1.20V_R$ por el criterio de sobrediseño por escalamiento de equipo, entonces $V_D = (1.20)(744.7775 \text{ L}) = 893.7331 \text{ L}$

Se tiene que el volumen de un cilindro es $V = \pi r^2 h$, pero $r = D/2$, entonces sustituyendo tenemos $V = \pi (D/2)^2 h$ y como para estos tanques se recomienda una $L/D = 2$, se llega a la siguiente expresión $D^3 = 4V_D/2\pi$, y sustituyendo valores obtenemos:

$$D^3 = 4(893.7331 \text{ L})(1000 \text{ cm}^3/1 \text{ L}) / (2\pi) = 568968.1667 \text{ cm}^3$$

$$D = 82.86 \text{ cm, redondeando a } D = 83 \text{ cm. y como } L = 2D = (2)(83) = 166 \text{ cm.}$$

Este tanque de tratamiento necesita agitación para homogenizar la mezcla y de esta manera lograr que el carbón activado absorba todas las impurezas coloridas presentes en la solución. Las dimensiones del agitador diseñado son las siguientes:

$$\text{Longitud total del propulsor} = (0.80)(166 \text{ cm}) = 133 \text{ cm.}$$

$$\text{Anchura de las paletas del propulsor} = (1/8)(166 \text{ cm}) = 21 \text{ cm.}$$

$$\text{Diámetro de la turbina} = (0.60)(83 \text{ cm}) = 50 \text{ cm.}$$

$$\text{Anchura de los baffles} = (1/6)(83 \text{ cm}) = 14 \text{ cm.}$$

Este tanque trabaja a presión atmosférica por lo tanto el cálculo del espesor del cuerpo se hace por presión externa.

$$\text{Presión de diseño } P_D = 11.2 \text{ Lb/pg}^2$$

$$\text{Temperatura de diseño } T_D = 1.15 T_{op} = 1.15(25^\circ\text{C}) = 28.75^\circ\text{C} = 83.75^\circ\text{F}$$

Algoritmo de cálculo del espesor.

1. Suponiendo $t=1/8$ pg $=0.3175$ cm

$$L/D_o=166\text{cm}/83\text{ cm}=2; D_o/t=83\text{ cm}/0.3175\text{ cm}=261.41$$

2. De la figura 5-UGO-28.0 se obtiene $A=0.00015$

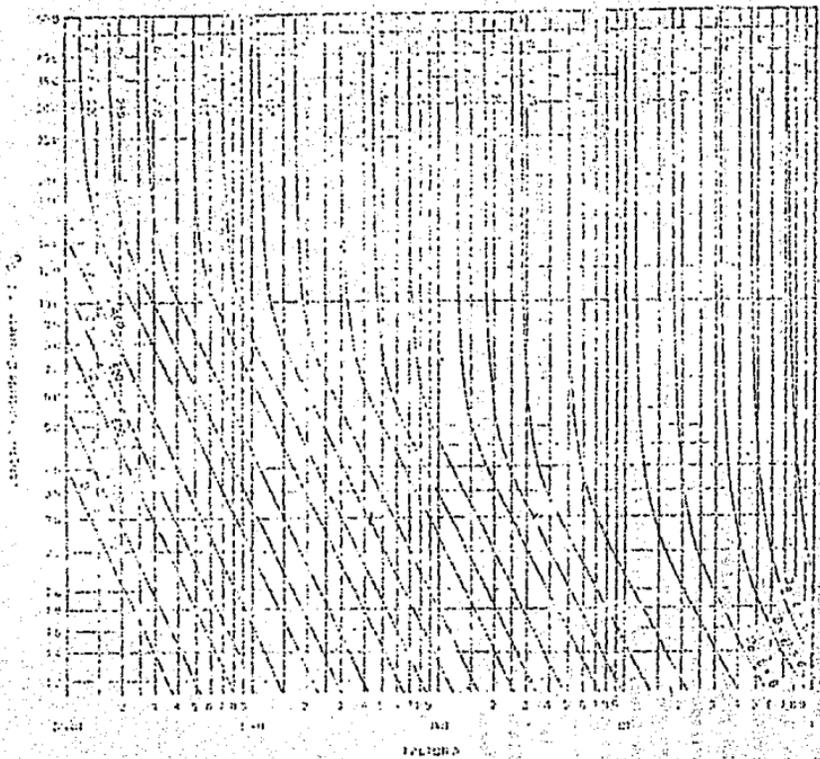
3. De la figura 5-UCS-28.4 para acero al carbón tipo SA-537.

$$P=2AE/3(D_o/t)=((2)(0.00015)(28.8 \times 10^6))/((3)(261.41))=11.01$$

4. La presión atmosférica $P_a=11.2$ Lb/pg² es aproximadamente igual a la calculada $P_{ca1}=11.01$ Lb/pg²

El espesor total es la suma del obtenido por presión externa más el recomendado por corrosión, es decir $t_r=1/8$ pg + $1/16$ pg $=3/16$ pg. Por lo tanto el espesor recomendado para este recipiente es $t=3/16$ pg de acero al carbón tipo SA-537.

Por la presión a la que se trabaja en este recipiente se recomienda utilizar tapas torlesféricas y el espesor debe ser igual al del cuerpo, es decir $t=3/16$ pg en acero al carbón tipo SA-537.



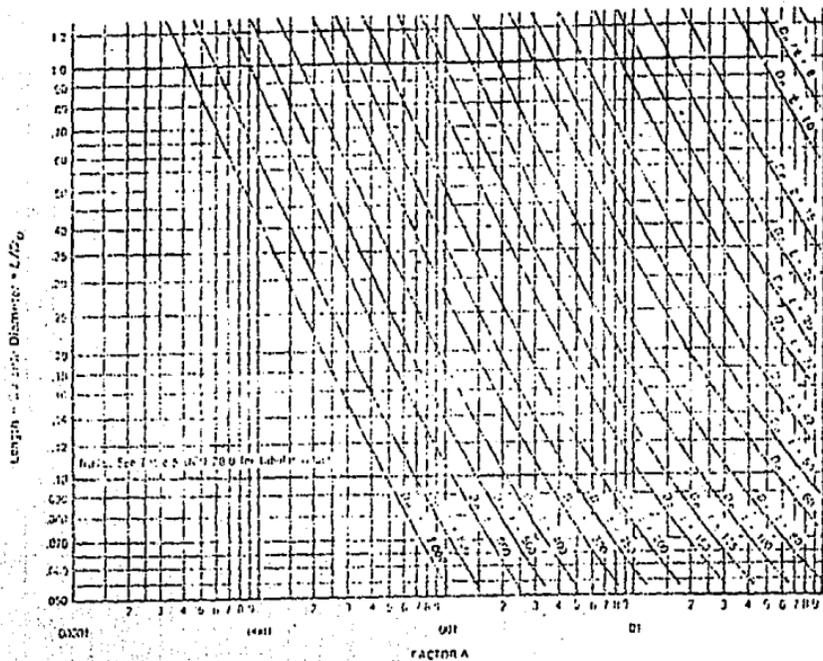


FIG. 5-UG-25.0 GEOMETRIC CHART FOR CYLINDRICAL VESSELS UNDER EXTERNAL OR COMPRESSIVE LOADINGS (FOR ALL MATERIALS)

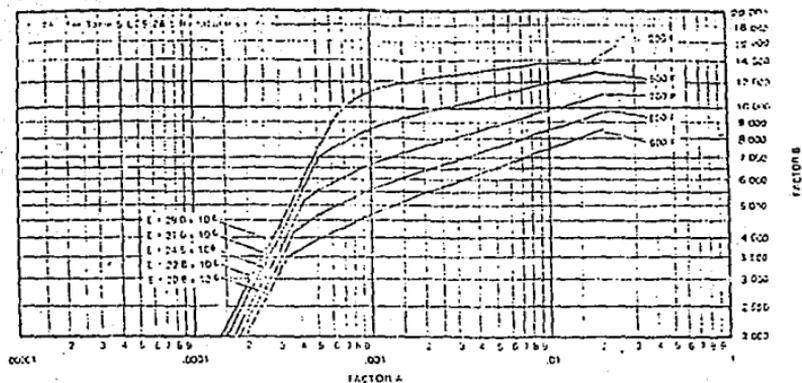


FIG. 5-UCS-26.1 CHART FOR DETERMINING SHELL THICKNESS OF CYLINDRICAL AND SPHERICAL VESSELS UNDER EXTERNAL PRESSURE WHEN CONSTRUCTED OF CARBON OR LOW ALLOY STEELS (SPECIFIED MINIMUM YIELD STRENGTH 24,000 PSI TO, BUT NOT INCLUDING, 50,000 PSI) (1)

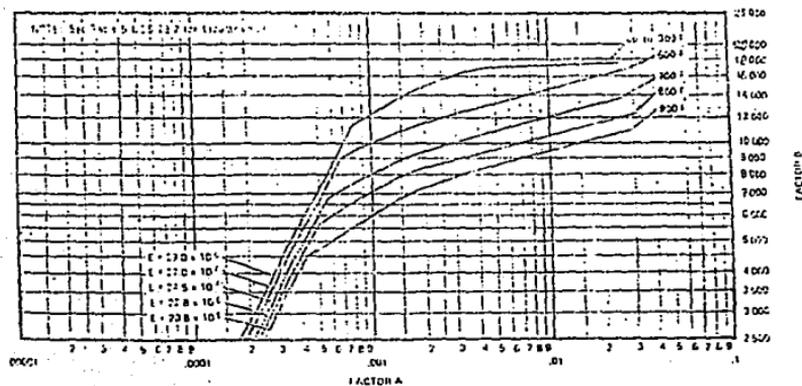


FIG. 5-UCS-26.2 CHART FOR DETERMINING SHELL THICKNESS OF CYLINDRICAL AND SPHERICAL VESSELS UNDER EXTERNAL PRESSURE WHEN CONSTRUCTED OF CARBON OR LOW ALLOY STEELS (SPECIFIED MINIMUM YIELD STRENGTH 30,000 PSI AND OVER UNLESS OTHERWISE SPECIFIED) AND TYPE 304 AND TYPE 316 STAINLESS STEELS (NOTE (2))

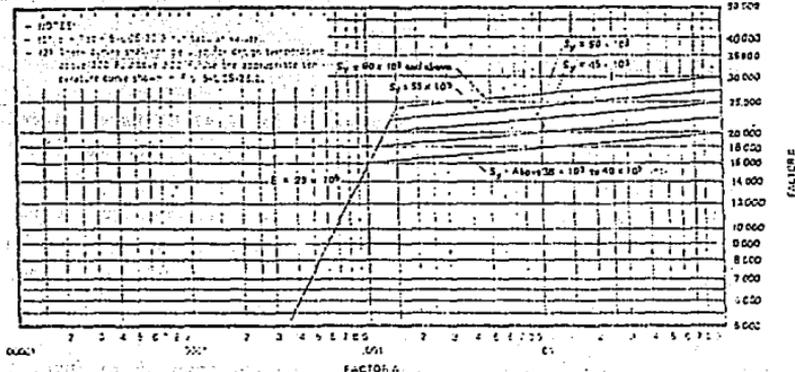


FIG. 5-UCS-25.3 CHART FOR DETERMINING SHELL THICKNESS OF CYLINDRICAL AND SPHERICAL VESSELS UNDER EXTERNAL PRESSURE WHEN CONSTRUCTED OF CARBON STEEL, LOW ALLOY STEELS, OR STEEL WITH PROPERTIES ENHANCED BY HEAT TREATMENT (SPECIFIED MINIMUM YIELD STRENGTH OVER 33,000 PSI FOR MATERIALS WITHIN THIS RANGE WHERE SPECIFIC CHARTS ARE NOT REFERENCED) (CFECS (1), (12), AND (13))

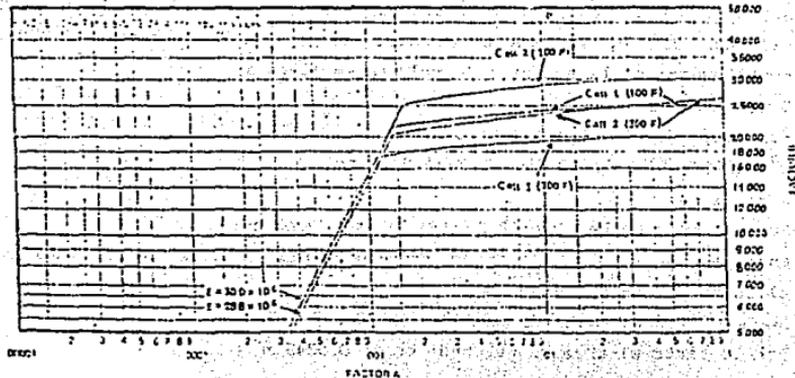


FIG. 5-UCS-25.4 CHART FOR DETERMINING SHELL THICKNESS OF CYLINDRICAL AND SPHERICAL VESSELS UNDER EXTERNAL PRESSURE WHEN CONSTRUCTED OF SA-567 (INCONEL 600)

DIMENSIONAMIENTO DEL FILTRO DE SOLUCION DEL REACTOR FD-001.

El volumen que se va a filtrar de solución es de 97.41 L. Este volumen es bombeado a razón de 19.48 L/min. al filtro con una velocidad recomendada de 1 ft/s.

Suponiendo que la solución empieza ha ser filtrada una vez que se han bombeado los 97.41 L. al filtro, entonces tendríamos que diseñar un filtro que pueda recibir este volumen más un porcentaje de sobrediseño, por escalamiento del equipo, por lo tanto se tiene:

$$V_D = 1.10 V_R = (1.10)(97.41 \text{ L.}) = 107.151 \text{ L} = 107151 \text{ cm}^3$$

El filtro que se va a diseñar puede ser calculado como un cilindro y tendríamos:

$$V = \pi D^2 L / 4.$$

Ahora como lo que se quiere es efectuar un filtrado rápido, entonces se supone una $L/D = 0.25$ para tener una mayor área de contacto de la malla de filtrado con el volumen a filtrar, despejando L tenemos $L = 0.25D$ y sustituyendo en la ecuación de volumen se llega a:

$$D^3 = (4V) / (0.25\pi).$$

Sustituyendo el valor del volumen de diseño se tiene,

$$D^3 = (4)(107151 \text{ cm}^3) / (0.25\pi) = 545715.5618 \text{ cm}^3$$

$$D = 81.71 \text{ cm.}$$

$$\text{Sustituyendo en } L = 0.25D = (0.25)(81.71 \text{ cm}) = 20.43 \text{ cm.}$$

Entonces el área de filtrado correspondería al área de la tapa del cilindro que se ha diseñado.

$$A_{\text{tapa}} = \pi r^2 = \pi (D/2)^2 = \pi (81.71 \text{ cm}/2)^2 = 5243.73 \text{ cm}^2 = 0.5243 \text{ m}^2.$$

Por lo tanto el área de filtrado es de 0.5243 m^2 .

DIMENSIONAMIENTO DEL FILTRO DE SOLUCION TRATADA FD-002.

Se va a filtrar un volumen de 770 L. de solución conteniendo carbón activado en suspensión, este volumen es bombeado a razón de 21 gal/min. al filtro con una velocidad recomendada de 1 ft/s. por una tubería de 3 pg. de diámetro.

Por el caudal que se maneja y el volumen que se tiene, esta solución es descargada al filtro en aproximadamente 10 minutos, por lo tanto diseñando el filtro para que contenga el volumen que se descarga en tres minutos por el tiempo de residencia que tiene el líquido a su paso por el filtro, entonces el volumen manejado para diseñar el filtro es el siguiente:

$$21 \text{ gal/min. (3 min.)} = 63 \text{ gal.} = 238455 \text{ cm}^3.$$

$$\text{Entonces el volumen de diseño es } V_D = 1.20V_R = (1.20)(238455 \text{ cm}^3) = 286146 \text{ cm}^3.$$

El filtro que se va a diseñar puede ser calculado como un cilindro, por lo tanto:

$$V = \pi D^2 L / 4.$$

Como se quiere efectuar un filtrado rápido para de esta manera no tener un filtro muy grande, entonces se necesita un área de filtrado grande y para lograr esto se escoge una $L/D = 0.25$, despejando $L = 0.25D$ y sustituyendo en la ecuación de volumen obtenemos:

$$D^3 = 4V / 0.25\pi$$

Sustituyendo el valor del volumen de diseño se obtiene:

$$D^3 = (4)(286146 \text{ cm}^3) / (0.25\pi) = 1457329.611 \text{ cm}^3.$$

$$D = 113.37 \text{ cm} = 115 \text{ cm.}$$

$$\text{Sustituyendo el valor de } D \text{ en } L = 0.25D = (0.25)(115 \text{ cm}) = 28.75 \text{ cm} = 30 \text{ cm.}$$

Entonces el área de filtrado corresponde al área de la tapa del cilindro que se ha diseñado.

$$A_{\text{tapa}} = \pi r^2 = \pi (D/2)^2 = \pi (115 \text{ cm}/2)^2 = 10386.89 \text{ cm}^2 = 1.0386 \text{ m}^2.$$

Por lo tanto el área de filtrado es de 1.0386 m^2 .

DIMENSIONAMIENTO DEL CRISTALIZADOR FD-003.

De los tipos de cristalizadores existentes se diseña aquel que provoca la sobresaturación de la solución por evaporación del disolvente con enfriamiento, llamados evaporadores cristalizadores o evaporadores cristalizantes.

Se introduce al cristalizador una solución acuosa de e-caprolactama al 60% p/p. con un peso de 735.59 Kg. y una densidad de 1.0385 Kg./L. Con estos datos se puede obtener el volumen de la solución en litros.

$$V=M/\rho=(735.59 \text{ Kg})/(1.0385 \text{ Kg/L.})=708.32 \text{ L.}$$

El volumen de diseño es igual a 1.20 veces el volumen real. Este sobrediseño se debe al escalamiento de este equipo.

$$V_D=1.20V_R=(1.20)(708.32 \text{ L})=849.98 \text{ L.} \quad V_D=850 \text{ L.}$$

Partiendo del volumen de un cilindro.

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

Sustituyendo $r=D/2$.

$$V=\pi(D/2)^2 L.$$

Como lo que se quiere es que la mayor parte de la solución este en contacto con las paredes del recipiente, para de esta manera tener una temperatura homogénea y tener mayor área de transferencia en la solución, se recomienda para este tipo de equipos una $L/D=0.50$, despejando $L=0.50D$ y sustituyendo en la ecuación de volumen tenemos:

$$V=0.50\pi D^3/4.$$

Despejando de esta ecuación el diámetro obtenemos:

$$D^3=4V/0.50\pi.$$

Sustituyendo valores.

$$D^3=(4)(850 \text{ L})(1000 \text{ cm}^3/1 \text{ L})/0.50\pi=2164507.226 \text{ cm}^3.$$

$$D=129.35 \text{ cm}=130 \text{ cm.}$$

$$\text{Por lo tanto } L=0.50D=(0.50)(130 \text{ cm})=65 \text{ cm.}$$

En este cristalizador se utiliza agitación para mantener uniforme la temperatura de la solución y éste se diseña utilizando los siguientes criterios:

$$\text{Longitud total del propulsor}=(0.70)(65 \text{ cm})=45.5 \text{ cm se redondea a } 50 \text{ cm.}$$

$$\text{Anchura de las paletas del propulsor}=(1/8)(65 \text{ cm})=8.125 \text{ cm}=8 \text{ cm.}$$

$$\text{Diámetro de la turbina}=(0.60)(130 \text{ cm})=78 \text{ cm.}$$

$$\text{Anchura de los baffles}=(1/6)(130 \text{ cm})=21 \text{ cm.}$$

Para todo tipo de cristalizadores se calcula el espesor del cuerpo como recipiente bajo presión externa, entonces se tiene:

Presión de diseño $P_D=11.2 \text{ Lb/pg}^2$

Temperatura de diseño $T_D=1.15(T_{op})=1.15(95^\circ\text{C})=109.25^\circ\text{C}=228.65^\circ\text{F}$.

Algoritmo de cálculo del espesor.

1. Suponiendo $t=1/8 \text{ pg}=0.3175 \text{ cm}$.

$$L/D_o=65/130=0.5; D_o/t=130/0.3175=409.44$$

2. De la figura 5-UGO-28.0 se obtiene $A=0.00036$

3. De la figura 5-UCS-28.2 para acero inoxidable tipo 410 se obtiene:

$$B=5000$$

4. $P=4B/3(D_o/t)=((4)(5000))/((3)(409.44))=16.28 \text{ Lb/pg}^2$

Se puede tomar este valor de la presión como adecuado para este recipiente, por lo tanto el espesor del cuerpo del recipiente es $t=1/8 \text{ pg}$
Se adiciona un espesor por corrosión al ya calculado y el espesor total queda de la siguiente manera:

$$t_r=1/8 \text{ pg} + 1/16 \text{ pg} = 3/16 \text{ pg}.$$

Se utiliza acero inoxidable tipo 410.

Por el tipo de presión a que se trabaja en este recipiente y por ser un cristizador se recomienda usar tapas cónicas porque la finalidad de una tapa cónica es el flujo por gravedad de sólidos secos.

El espesor de estas tapas se recomienda sea igual al del cuerpo, es decir $t=3/16 \text{ pg}$.

DIMENSIONAMIENTO DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO EF-001.

Primero se calcula el calor intercambiado entre el agua y la e-caprolactama obtenida en el tanque de solubilización, para lo cual el gasto de la e-caprolactama es de 415.3562 Kg/c.

$$w \text{ e-caprolactama} = 415.3562 \text{ Kg/c} \left(\frac{1}{113.16} \text{ Kg/mol/Kg} \right) = 3.670521386 \text{ Kg/mol/c.}$$

$$= 3670.5213 \text{ gmol/c.}$$

$$Q_{c_6H_{11}ON} = (3670.5213 \text{ gmol/c}) (47.90 \text{ cal/gmol}^\circ\text{K}) (373.15^\circ\text{K} - 342.35^\circ\text{K}) +$$

$$(3830 \text{ cal/gmol}) (3670.5213 \text{ gmol/c}) = 19473290.06 \text{ cal/c.}$$

$$Q \text{ cedido por } c_6H_{11}ON = Q \text{ ganado } H_2O.$$

$$Q_{c_6H_{11}ON} = w_{H_2O} c_p H_2O \Delta T_{H_2O}.$$

$$w_{H_2O} = Q_{c_6H_{11}ON} / c_p H_2O \Delta T_{H_2O} =$$

$$= (19473290.06 \text{ cal/c}) / (1 \text{ cal/gmol}^\circ\text{C}) (45^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}) =$$

$$= (1298219.337 \text{ gmol/c}) (18 \text{ g/gmol}) = 23367948.07 \text{ g/c} = 23367.94807 \text{ Kg/c}$$

$\rho = M/V$, despejando el volumen tenemos $V = M/\rho$.

$$V = 23367.94807 \text{ Kg/c} / (1 \text{ g/cm}^3) (1 \text{ Kg}/1000 \text{ g}) (1000 \text{ cm}^3/1 \text{ L}) = 23367.94807 \text{ L/c}$$

Se necesitan 23367.94807 L. de agua para enfriar toda la e-caprolactama obtenida de la reacción de despolimerización y como esta operación se lleva a cabo en 4 horas, entonces:

$$23367.94807 \text{ Lt}/4 \text{ hr.} = 5841.987018 \text{ L/hr.} (1 \text{ hr}/60 \text{ min.}) = 97.3664 \text{ L/min.}$$

Por lo tanto se necesitan 97.3664 L/min. de agua para enfriar la e-caprolactama en el tanque de solubilización.

Este es el flujo normal de agua que se necesita, debido a que las temperaturas normales del agua de enfriamiento son de 45 a 30°C.

Ahora para calcular el flujo máximo de agua las temperaturas del agua son de 30 a 18°C.

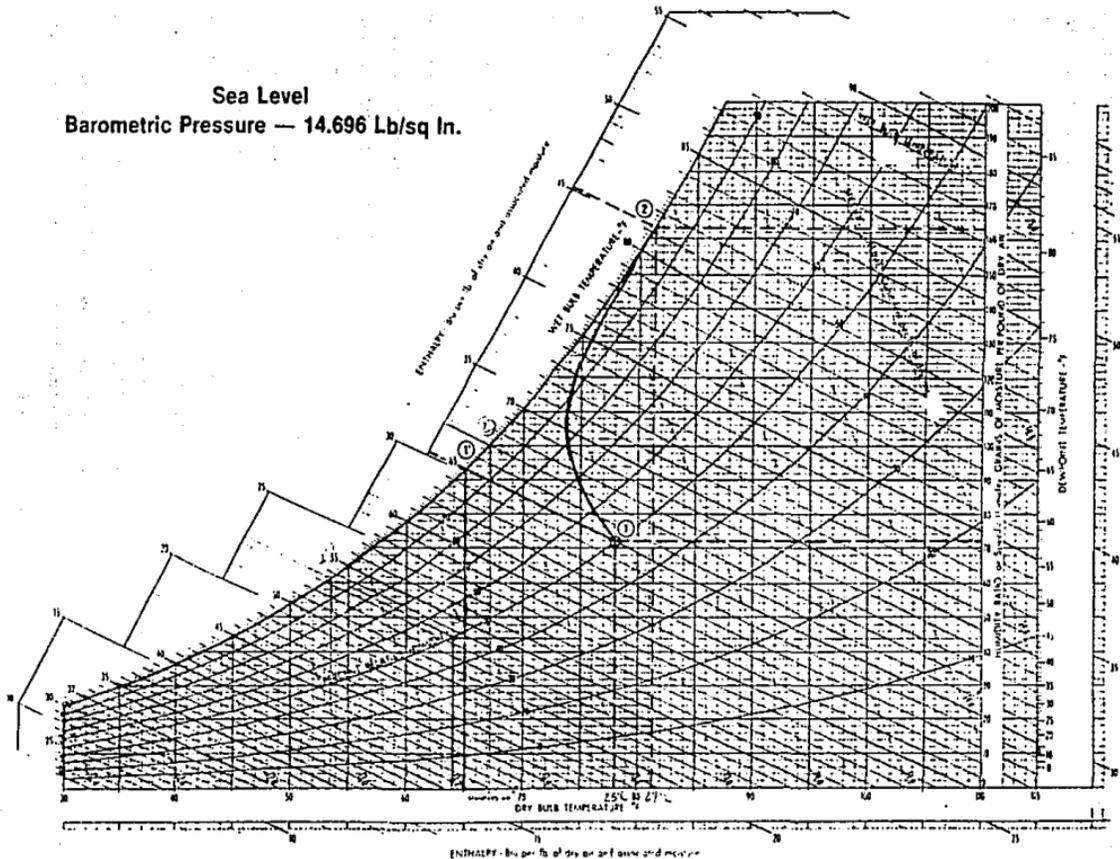
$$w_{\text{MAX. } H_2O} = 19473290.06 \text{ cal/c} / (1 \text{ cal/gmol}^\circ\text{C}) (30^\circ\text{C} - 18^\circ\text{C}) = 1622774.172 \text{ gmol/c.}$$

$$= 1622774.172 \text{ gmol/c} (18 \text{ g/gmol}) = 29209935.1 \text{ g/c.} = 29209.93 \text{ Kg/c.}$$

$$V = 29209.93 \text{ Kg/c} / 1 \text{ Kg/L} = 29209.93 \text{ L/c} / 4 \text{ hr.} = 7302.48 \text{ L/hr} = 121.709 \text{ L/min.}$$

La torre de enfriamiento es un sistema abierto de recirculación de agua de enfriamiento en la que la mayor parte del agua usada para enfriamiento se recicla continuamente a alguna instalación de enfriamiento evaporativo para remover el calor absorbido en el proceso. De los tipos de torre de enfriamiento existentes, aquí se diseña una torre de tiro inducido que cuenta con un ventilador localizado en la cúpula de la torre, de manera que se jala aire por uno o ambos costados y se expulsa por la parte superior de la torre.

Sea Level
Barometric Pressure — 14.696 Lb/sq In.



Aquí se calcula el área que se necesita para remover el calor absorbido por el agua en el proceso y obtener en ella la temperatura deseada para el reciclamiento en el enfriamiento. Esta área calculada se usa para diseñar el panel o relleno (estos normalmente son de PVC), en el cual se lleva a cabo el intercambio de calor entre el agua y el aire, éste es de tipo película y el agua se asprea a través de estas películas para que forme una capa sobre esta película.

Normalmente se necesitan 98 L/min. de agua con una temperatura de salida de la torre de 30°C y de entrada de 45°C.

Se diseña esta torre para manejar el flujo de 15 min., es decir, 98 L/min (15 min.)=1470 litros.

El calor absorbido por este volumen de agua en el proceso se puede calcular como:

$$(19473290.06 \text{ cal} / 23367.94807 \text{ L})(1470 \text{ L.})=1225000 \text{ cal.}$$

Utilizando una carta psicométrica para aire. Los cambios de condición que sufre una libra de aire cuando se mueve a través de la torre y contacta con una libra de agua tiene el siguiente fundamento. El aire entra a la torre a las condiciones del punto A (64.4°F de temperatura de bulbo seco y 50% de humedad relativa), inmediatamente empieza a ganar contenido en humedad y entalpia. El aire sale de la torre a las condiciones del punto B al 100% de humedad (veasé carta psicométrica).

Los cambios que ocurren durante la transición de la libra de aire a través de la torre son los siguientes:

1. La entalpia se incrementa de 22.3 BTU a 31.8 BTU. Esta entalpia se incrementa en 9.5 BTU ganados del agua, y por definición un BTU es igual a el calor ganado o perdido requerido para cambiar la temperatura de una libra de agua 1°F., esto significa que la temperatura de una libra de agua se reduce por la cantidad específica de 9.5°F.

2. El contenido de humedad de una libra de aire se incrementa de 44 a 100 granos (1 Lb.=7000 granos). El incremento es de 56 granos (0.008 Lb.) y representa la evaporación total del agua. Sin embargo, el calor latente de vaporización de agua a 113°F es:

$$9717 \text{ cal/gmol} (1/18 \text{ g/gmol}) (1 \text{ BTU}/252 \text{ cal}) (453.6 \text{ g} / 1 \text{ Lb}) = 971.7 \text{ BTU/Lb.}$$

Esto significa que (0.008 Lb)(971.7 BTU/Lb)=7.7736 BTU de los 9.5 BTU removidos del agua (82% del total) son utilizados en la evaporación.

3. La temperatura del agua fue reducida 9.5°F. La temperatura del aire se incrementa solamente 3.3°F, de 64°F a 67.3°F.

Como cada libra de aire gana 9.5 BTU de cada libra de agua, entonces se tiene un volumen de agua a enfriar de 1470 litros y de esta forma,
 $M = \rho V = (1470 \text{ L})(1 \text{ Kg} / \text{L}) = 1470 \text{ Kg} (1000 \text{ g} / 1 \text{ Kg})(1 \text{ Lb} / 453.6 \text{ g}) = 3240.74 \text{ Lb}$ y redondeando son 3250 libras.

Esto quiere decir que el calor intercambiado entre el aire y el agua es:
 $3250 \text{ Lb}(9.5 \text{ BTU/Lb}) = (30875 \text{ BTU}) / (15 \text{ min}) = (2058.33 \text{ BTU/min})(60 \text{ min} / 1 \text{ hr})$
 $= 123500 \text{ BTU/hr.}$

Para calcular el área necesaria para llevar a cabo el intercambio de calor entre el agua y el aire se recurre a la siguiente expresión:

$Q = UA\Delta t$, despejando A se llega a $A = Q / U\Delta t$.

La resistencia a la transferencia de calor U recomendada para intercambio de calor entre agua-aire es de 2 BTU/hr ft²°F.

La diferencia media logarítmica de temperatura Δt para flujo a contracorriente se puede calcular como sigue:

$\Delta t = \text{LMTD} = ((T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)) / (\ln((T_1 - t_2) / (T_2 - t_1)))$, y este es un promedio de temperatura a través de la torre.

Sustituyendo los datos de temperatura $T_1 = 45\text{C} = 113\text{F}$, $T_2 = 30\text{C} = 86\text{F}$, $t_1 = 64\text{F}$ y $t_2 = 67.3\text{F}$.

$\Delta t = \text{LMTD} = ((113 - 67.3) - (86 - 64)) / (\ln((113 - 67.3) / (86 - 64))) = 32.42^\circ\text{F}$.

Sustituyendo este valor y el de U en la expresión para calcular el área obtenemos:

$A = Q / U\Delta t = Q / U \text{ LMTD} = (123500 \text{ BTU/hr}) / (2 \text{ BTU/hrft}^2\text{°F})(32.42^\circ\text{F}) = 1904.68 \text{ ft}^2$
 $= 177.01 \text{ m}^2 = 178 \text{ m}^2$.

Para armar el panel o relleno se toman películas de PVC de 2 metros de alto por 1.5 metros de ancho, entonces la superficie expuesta de cada película es $A = Bh = (2 \text{ m})(1.5 \text{ m}) = 3 \text{ m}^2$, pero como se utilizan por ambos lados el área total expuesta es de 6 metros². Con estos datos podemos calcular el número de rejillas como $178 \text{ m}^2 / 6 \text{ m}^2 = 30$ rejillas. Estas rejillas tendrán una separación de 3 cm, entonces ocupan un área de $(30)(3 \text{ cm}) = 90 \text{ cm}$. se redondea a un metro por el área que ocupan las rejillas por su espesor. De esta manera el panel de la torre mide 1m de ancho por 1.5 m. de largo por 2 m. de alto.

DIMENSIONAMIENTO DE LAS BOMBAS DE PROCESO.

Lo primero que se hizo fue calcular la potencia necesaria para bombeo de cada una de las bombas por medio de las gráficas que relacionan potencia necesaria para bombeo con el caudal que se esta manejando y que se encuentran en las referencias bibliográficas 41, 42, 43, 49 y 50. Se utilizaron estas gráficas porque las soluciones acuosas de e-caprolactama que se manejan en este proceso tienen un comportamiento muy similar al del agua, ya que estas gráficas se reportan para flujo de agua. Las potencias obtenidas así son las siguientes:

Se supuso que las soluciones acuosas se van a elevar a una altura de 10 pies.

Bomba GA-001	_____	1/16 HP.
Bomba GA-002	_____	1/8 HP.
Bomba GA-003	_____	1/8 HP.
Bomba GA-004	_____	1/8 HP.

Con los datos de potencia requerida para bombeo se recurrió a la referencia bibliográfica 44 en donde se obtienen datos estandarizados sobre dimensiones de largo y ancho que ocupan estas bombas. Los datos obtenidos fueron los siguientes.

Bomba GA-001	_____	L=45 cm y A=30 cm.
Bomba GA-002	_____	L=65 cm y A=40 cm.
Bomba GA-003	_____	L=65 cm y A=40 cm.
Bomba GA-004	_____	L=65 cm y A=40 cm.

DIMENSIONAMIENTO DE LINEAS DE PROCESO.

Las líneas 1 y 2 no necesitan dimensionamiento.

LINEA 3.

Por esta línea es transportada la e-caprolactama fundida a una temperatura aproximada de 100°C. La cantidad transportada es de 439.23 Kg, la densidad de la e-caprolactama a 100°C es 0.9983 Kg/L., entonces:
 $V = M/\rho = 439.23 \text{ Kg} / 0.9983 \text{ Kg/L} = 439.97 \text{ L} = 440 \text{ L}$.

La viscosidad de la e-caprolactama a 100°C es $\mu = 4.87 \text{ mPa}\cdot\text{s}$

1. Utilizando una velocidad recomendada de 2 ft/s. La transportación de la e-caprolactama a través de esta línea se lleva a cabo en 4 horas, por lo tanto se puede obtener el gasto de la siguiente manera:

$440 \text{ L} / 4 \text{ hr} (1 \text{ hr} / 60 \text{ min}) (0.004403 \text{ gal/s} / 1 \text{ l/min}) (60 \text{ s} / 1 \text{ min}) = 0.48433 \text{ gal/min}$
 Flujo de diseño = $(0.48433 \text{ gal/min}) (1.05) = 0.50 \text{ gal/min}$.

Cálculo del diámetro de la tubería.

$d = (0.408 \text{ Q}/V)^{1/2} = ((0.408) (0.50/2))^{1/2} = 0.32 \text{ pulgadas}$.

En este caso se utiliza tubería de 1/2 pg de diámetro.

$DI = 15.8 \text{ mm} = 0.6220 \text{ pg}$.

2. La longitud lineal supuesta es de $10 \text{ m} (3.281 \text{ ft}/1 \text{ m}) = 32.81 \text{ ft}$.

3. Longitudes equivalentes de accesorios.

Accesorio	Tipo	K
1	válvula de compuerta	$K_1 = 8 \text{ Ft} = 8(0.027) = 0.216$
2	codos de 90° estándar	$K_2 = 30 \text{ Ft} = 30(0.027) = 1.62$
2	codos de 45° estándar	$K_3 = 16 \text{ Ft} = 16(0.027) = 0.864$

$K_T = 2.7, L/D_T = 135 \text{ Leq} = 7.21$

4. No hay pérdidas de presión por expansión o contracción.

5. No hay pérdidas de presión por orificios, válvulas de control, etc.

6. $NRe = d V \rho / \mu = (0.0518 \text{ ft}) (2 \text{ ft/s}) (62.34 \text{ lb/ft}^3) / (0.0032 \text{ lb/ft s}) = 1974$

(régimen laminar)

7. De la figura 2.2. de Ludwig (referencia bibliográfica 40). El factor de fricción para régimen laminar es:

$f = 64/NRe = 64/1974 = 0.0403$.

8. Caída de presión por cada 100 ft de tubería.

$\Delta P / 100 \text{ ft} = 0.0216 f Q^2 / d^5 = (0.0216) (0.0403) (0.9983) (62.3) (0.5)^2 / (0.6220)^5 = 0.145370 \text{ psi}/100 \text{ ft}$.

9. Caída total de presión.

$\Delta P_T = (32.81 + 7.482) (0.145370 / 100) = 0.0585 \text{ psi}$.

LINEA 4.

Por esta línea circula aire a 480°F y tiene esta línea una longitud equivalente de 30m=98.43 ft.

1584 L de aire=1.584 m³.

1.584 m³/5 min=0.3168 m³/min., se recomienda una tubería de 1 pg. de diámetro, con una caída de presión de 0.012.

De la figura 2-30. de la referencia bibliográfica 40.

F₁=0.0000152

F₂=0.000158

C_{D1}=10000

C_{D2}=9400

C_{r1}=1.73

C_{r2}=1.96

$$\Delta P_{\text{vacío}} = (0.0000152)(10000)(1.73) + (0.000158)(9400)(1.96) = 0.26296 + 2.910992 = 3.1739 \text{ pg de H}_2\text{O}/100 \text{ ft.}$$

$$\Delta P_{\text{vacío total}} = (3.1739/100)(98.43) = 3.1240 \text{ pg de agua.}$$

LINEA 5. Esta línea es igual a la línea 4.

LINEA 6.

Se tienen que cargar al reactor 240 litros o Kg de agua a 20°C. Se tiene programado un tiempo de carga de 10 minutos, entonces el caudal de carga es de 240/10=24 L/min.=6.34032 gal./min.

Con este valor y una velocidad recomendada de 4.43 ft/s., se entra en la tabla 2.7 de la página 58 de la referencia 40 y obtenemos un diámetro de tubería de 3/4 pg con una caída de presión de 4.3096 Lb/pg².
velocidad recomendada = 3.814192 ft/s.

2. La longitud lineal de tubería supuesta es 25m(3.281ft/1m)=82.025 ft.

3. Si tenemos en la línea.

Accesorio	Tipo	K
2	Válvulas de compuerta	K ₁ =8Ft=8(0.025)(2)=0.400
3	Codos de 90°estandar	K ₂ =30Ft=30(0.025)(2)=1.5

$$K_r = 1.9 \text{ L/D}r = 85 \text{ Le}r = 5.57$$

4. La caída de presión a la entrada del tanque se desprecia.

5. No se tienen orificios ni válvulas de control.

6. Pérdida total de presión en la línea.

$$\Delta P_{\text{total}} = (82.025\text{ft} + 5.5777\text{ft})(4.3096\text{Lb/pg}^2)/100\text{ft} = 3.77 \text{ Lb/pg}^2.$$

LINEA 7.

1. Por esta línea es transportada una solución acuosa de e-caprolactama con impurezas, con un peso total de 687.75 Kg y una densidad de mezcla de 1.0452 Kg/L., la viscosidad de esta solución es de 1.4676 cp.

$$V=M/\rho=(687.75 \text{ Kg})/(1.0452 \text{ Kg/L})=658.0080 \text{ L.}=660 \text{ L.}$$

$$660 \text{ L}/10 \text{ min.}=66 \text{ L/min}=17.43 \text{ gal/min.}$$

Flujo de diseño=18 gal/min.

Utilizando una velocidad recomendada de 5 ft/s.

Cálculo del diámetro de la tubería.

$$d=((0.408)(18/5))^{1/2}=1.2119 \text{ pg.}$$

Se aproxima a 1 1/2 pg. ya que 1 1/4 pg. no considera un factor de diseño aceptable.

La tubería es de acero comercial de 1 1/2 pg. Cédula 40, De=48.3 mm, Di=40.9 mm.

2. La longitud lineal supuesta antes de la succión de la bomba es de 5m=16.405 ft.

3. Longitudes equivalentes de accesorios.

Accesorio	Tipo	K
2	Válvulas de compuerta	$K_1=8\text{Ft}=8(0.021)(2)=0.336$
3	Codos de 90° estandar	$K_2=30\text{Ft}=30(0.021)(3)=1.89$
2	Codos de 45° estandar	$K_3=16\text{Ft}=16(0.021)(2)=0.672$

$K_T=2.898 \text{ L/D} \tau=150 \text{ Le}_{qr}=20.01\text{ft.}$

4. No hay caídas de presión por expansión o contracción.

5. No hay pérdidas de presión por orificios, válvulas de control, etc.

$$6. NRe=((0.671)(1.0452)(62.44))/(0.0009869)=44376.55 \text{ (Turbulento).}$$

7. De la figura 2.3. de la referencia 40 para un diámetro de 1.5 pg. de tubería de acero comercial se tiene.

$E/D=0.0012$ de la figura 2.2. con un $NRe=44376$ se lee $f=0.021$.

8. Caída de presión para 100 ft de tubería.

$$\Delta P/100\text{ft}=(0.0216)(0.021)(1.0452)(62.3)(18)^2/(1.6104)^5=0.8835 \text{ psi}/100\text{ft.}$$

9. Caída total de presión.

$$\Delta P_T=(16.405+20.01)(0.8835/100)=0.3217 \text{ psi.}$$

LINEA 8.

1. Esta línea transporta 687.75 Kg. de solución acuosa con una $\rho=1.0452$ Kg/L y una viscosidad de 1.4676 cp.

Volumen=660 L.

Flujo de diseño 18 gal/min.

Velocidad recomendada 6 ft/s.

$d = ((0.408)(18/6))^{1/2} = 1.1063$ pg. se aproxima a 1 1/4 pg de Cédula 40.

$D_i = 0.1151$ ft = 35.1 mm = 1.3819 pg.

2. Longitud lineal supuesta 20 m = 65.62 ft.

3. Longitudes equivalentes de accesorios.

Accesorio	Tipo	K
1	Válvula de compuerta	$K_1 = 8Ft = 8(0.022)(1) = 0.176$
1	Válvula Check	$K_2 = 100Ft = 100(0.022)(1) = 2.2$
3	Codos de 90° estandar	$K_3 = 30Ft = 30(0.022)(3) = 1.98$
2	Codos de 45° estandar	$K_4 = 16Ft = 16(0.022)(2) = 0.704$

$K_T = 5.06$ $L/D_r = 240$ $Le_{qT} = 28.87ft$

4. No hay caídas de presión por expansión o contracción.

5. La caída de presión recomendada para el indicador de presión es 0.8 psi.

6. $NRe = (0.6906)(1.0452)(62.44)/0.0009869 = 45673.43$ (turbulento).

7. De la figura 2.3. de la referencia 40 para un diámetro de 1 1/4 pg para una tubería de acero comercial.

$E/D = 0.0013$ de la figura 2.2. y un $NRe = 45673$ se lee $f = 0.0215$

8. Caída de presión para 100 ft de tubería.

$\Delta P/100ft = (0.0216)(0.0215)(1.0452)(62.3)(18)^2/(1.3819)^5 = 1.9442$ psi/100ft

9. Caída de presión total.

$\Delta P_T = ((65.62 + 28.8728)(1.9442/100)) + 0.8 = 2.6371$ psi.

LINEA 9.

Entran 50 Kg. o L. de H_2O a 20°C. Suponiendo un caudal de 10 l./min. o 2.6418 gal/s. y tomando una velocidad recomendada de 6 ft/s.

1. De la tabla 2.7 de la página 58 de la referencia 40, para un diámetro de 3/8 pg se tiene una caída de presión de 11.27 Lb/pg².

2. La longitud lineal de tubería supuesta es de 20m = 65.62 ft.

3. Dos válvulas de compuerta totalmente abiertas.

$\beta = 1$, $\theta = 0$ $K_1 = 8Ft = 8(0.027)(2) = 0.432$ $L/D = 17$ $Le_q = 0.21$ m. = 0.68901 ft.

4. La caída de presión a la entrada del tanque es pequeña.

5. No se tienen orificios, ni válvulas de control.

6. Pérdida total de presión en la línea.

$\Delta P_T = (65.62ft + 0.68901ft)(11.27 \text{ Lb/pg}^2)/100 = 7.47 \text{ Lb/pg}^2$.

LINEA 10.

1. Esta línea transporta partículas sólidas en suspensión y circulan por esta línea aproximadamente 99.66 Kg. formando una solución acuosa con una densidad de 1.02302 Kg./L. y una viscosidad de 1.4694 cp.

$$V=H/\rho=(99.66 \text{ Kg})/(1.02302 \text{ Kg/L})=97.41 \text{ L.}$$

$$97.41 \text{ L/5 min.}=19.48 \text{ L/min.}=5.14 \text{ gal/min.}$$

Flujo de diseño 6 gal/min.

Velocidad recomendada 5 ft/s.

$$d=((0.408)(6/5))^{1/2}=0.70 \text{ pg. se aproxima a } 3/4 \text{ pg.}$$

$$D_i=21 \text{ mm}=0.8268 \text{ pg.}$$

2. Longitud de tubería lineal supuesta antes de la succión de la bomba es de 16.405 ft.

3. -Longitudes equivalentes de accesorios.

Accesorio	Tipo	K
1	Válvula de mariposa	$K_1=45\text{Ft}=1.125$
1	Válvula de compuerta	$K_2=8\text{Ft}=0.2$
3	Codos de 90° estandar	$K_3=30\text{Ft}=2.25$
2	Codos de 45° estandar	$K_4=16\text{Ft}=0.8$

$K_T=4.375 \text{ L/D}_r=180 \text{ Le}_{qT}=13.12\text{ft}$

4. No hay caídas de presión por expansión o contracción.

5. No hay caídas de presión por orificios, válvulas de control, etc.

$$6. NRe=(0.0689)(5)(1.02302)(62.44)/0.0009881=22272.68 \text{ (turbulento).}$$

7. de la figura 2.3 de la referencia 40 para un diámetro de 3/4 pg para una tubería de acero comercial.

$$E/D=0.0019, \text{ de la figura 2.2 y un } NRe=22272 \text{ se lee } f=0.0235$$

8. Caída de presión para 100 ft de tubería.

$$\Delta P/100\text{ft}=(0.0216)(0.0235)(1.02302)(62.3)(6)^2/(0.8268)^5=3.0143 \text{ psi/100ft}$$

9. Caída total de presión.

$$\Delta P_T=(16.405+13.124)(3.0143/100)=0.89 \text{ psi.}$$

LINEA 11.

1. Esta línea contiene los mismos componentes que se dan en la línea 10 pero ya ha pasado por la bomba.

$$\rho=1.02302 \text{ kg/lt; } \mu=1.4694 \text{ cp.}$$

$$\text{Volumen} = 97.41 \text{ lt}$$

Flujo de diseño 6 gal/min

Velocidad recomendada 1.0 ft/s debido a que este líquido es alimentado a

un separador por gravedad o filtro

$$d = [(0.408)(6/10)]^{1/2} = 1.56 \text{ pg se aproxima a } 2.0 \text{ pg.}$$

$$\text{Cédula 40 Di} = 0.1722 \text{ft} = 52.4 \text{mm} = 2.06703 \text{pg.}$$

2. La longitud supuesta es 15 m ó 49.215 ft.

3. Longitudes equivalentes de accesorios.

Accesorio	Tipo	K
1	Válvula de compuerta	$K_1 = 8 \text{ft} = 8(0.019)(1) = 0.152$
1	Válvula de check	$K_2 = 100 \text{ft} = 100(0.019)(1) = 1.9$
3	Codos de 90° estandar	$K_2 = 30 \text{ft} = 30(0.019)(3) = 1.71$
2	Codos de 95° estandar	$K_3 = 16 \text{ft} = 36(0.019)(2) = 0.608$

$$K_T = 4.37 \text{ L/D} = 230 \text{ Le}_{QT} = 39.372 \text{ft.}$$

4. No hay caídas de presión por expansión o contracción

5. Caída de presión por indicador de presión y filtro temporal 2.5psi recomendada.

$$6. NRe = ((0.1722)(1.0)(63.88))/0.0009881 = 11133.11 \text{ (turbulento).}$$

7. De la figura 2-3 para un diámetro de 2.0pg para una tubería de acero comercial.

$$E/D = 0.0009 \text{ de la figura 2-2 y un } NRe = 11133.1 \text{ se lee } f = 0.0195$$

8. Caída de presión para 100ft de tubería.

$$AP/100 = (0.0216)(0.0195)(1.02302)(62.3)(6)^2 / (2.06703)^5 = 0.0256 \text{ psi/100ft}$$

9. Caída total de presión

$$AP_T = (49.215 + 39.372)(0.0256/100) + 2.5 = 2.5226 \text{ psi}$$

LINEA 12.

No Necesita

LINEA 13.

1. Esta línea transporta 78.05Kg de solución con una $\rho = 1.0259 \text{Kg/L}$ y una viscosidad de 1.4694cp.

$$V = M/\rho = 78.05 \text{Kg} / 1.0257 \text{kg/L} = 76.09 \text{L} \rightarrow 80 \text{L. } 80 \text{L}/5 \text{min} = 16 \text{L}/\text{min} = 4.2268 \text{ gal}/\text{min}$$

Flujo de diseño 5 gal/min

Velocidad recomendada por la ecuación de continuidad 1 ft/seg

$$d = [(0.408)(5/1)]^{1/2} = 1.4282 \text{pg se aproxima a } 1 1/2 \text{ pg}$$

$$\text{Cédula 40 Di} = 0.1342 \text{ft} = 40.9 \text{mm} = 1.61 \text{pg.}$$

2. Longitud lineal supuesta es de 15 m = 49.215 ft.

3. Longitudes equivalentes de accesorios.

Accesorio	Tipo	K
2	Codos estandar 90°	$K_1=30\text{Ft}=30(2)(0.021)=1.26$
1	Codo estandar 45°	$K_2=16\text{Ft}=16(1)(0.021)=0.336$

$K_T=1.596 \quad L/D_T=75 \quad \text{Leq}_T=10.1711\text{ft}$

4. No hay caídas de presión por expansión o contracción.

5. No hay caídas de presión por orificios, válvulas de expansión, etc.

6. $NRe = ((0.1342)(1)(64.0730))/0.00098812 = 8699.51$ (Zona de transición).

7. De la figura 2.3 para un diámetro de 1 1/2 pg para tubería de acero comercial.

$E/D = 0.0011$ de la figura 2-2 y un $NRe = 8699$ se lee $f = 0.0205$

8. Caída de presión para 100 ft de tubería

$\Delta P/100 = (0.0216)(0.0205)(1.02575)(62.3)(5)^2 / (1.61)^5 = 0.06554 \text{ psi}/100\text{ft}$

9. Caída total de presión

$\Delta P_T = (49.215 + 10.1711)(0.06554/100) = 0.0388\text{psi}$

LINEA 14.

No necesita

LINEA 15.

No necesita

LINEA 16.

1. Esta línea transporta 795.65kg de solución acuosa con una $\rho = 1.0385 \text{ Kg/L}$ y una viscosidad de 1.4685 cp.

$V = 795.65\text{Kg}/1.0385\text{Kg/L} = 766.15\text{L} \rightarrow 770\text{L}$ $770\text{L}/10\text{min} = 77\text{L}/\text{min} = 20.34\text{gal}/\text{min}$
gasto de diseño 21 gal/min

Velocidad 5 ft/seg.

$d = [(0.408)(21/5)]^{1/2} = 1.31 \text{ pg}$ se aproxima a 1 1/2 pg

Cédula 40 $\rightarrow D_1 = 0.2342\text{ft} = 40.9\text{mm} = 1.61\text{pg}$.

2. Longitud lineal supuesta 10 m = 32.81 ft

3. Longitud equivalente en accesorios.

Accesorio	Tipo	K
1	Válvula de mariposa	$K_1=45\text{Ft}=45(0.021)=0.945$
1	Válvula de compuerta	$K_2=8\text{Ft}=8(0.021)=0.168$
3	Codos estandar de 90°	$K_3=30\text{Ft}=30(0.021)(3)=1.89$

$K_T=3.003 \quad L/D_T=140 \quad \text{Leq}_T=20 \text{ ft}$

4. No hay caídas de presión por expansión o contracción.
5. No hay caídas de presión por orificios o válvulas de expansión.
- 6.

$$NRe = \frac{(0.1342)(5)(1.0385)(2.205/1)(1/0.03531)}{9.8751 \times 10^{-4}} = 44065.46 \text{ (Turbulento)}$$

7. De la figura 2-3 para un diámetro de 1 1/2 pg para tubería de acero comercial

E/D=0.0011 de la figura 2-2 y un NRe=44065.46 se lee f=0.0205

8. Caída de presión para 100 ft de tubería

$$\Delta P/100 = (0.0216)(0.0205)(1.0385)(62.3)(21)^2 / (1.6)^5 = 1.1679 \text{ psi/100ft}$$

9. Caída de presión total.

$$\Delta P_T = (32.81 + 20)(1.1679/100) = 0.6167 \text{ psi}$$

LINEA 17.

1. Esta línea transporta lo mismo que la línea 16 por lo tanto sus datos son: 795.65 Kg; $\rho = 1.0385 \text{ Kg/L}$ y $\mu = 1.4685 \text{ cp}$.

Vol=766.15L → 770 L.

gasto de diseño 21 gal/min

Velocidad recomendada de diseño 1 ft/seg debido a que la solución se debe descargar al filtro.

$$d = [(0.408)(21/1)]^{1/2} = 2.9271 \text{ pg se aproxima a 3 pg acero comercial.}$$

Cédula 40 → D1=0.2555ft = 77.9mm ≈ 3.0670pg.

2. Longitud lineal supuesta 30 m=98.43 ft.

3. Longitud equivalente en accesorios.

Accesorio	Tipo	K
1	Válvula de compuerta	$K_1 = 8Ft = 8(0.018)(1) = 0.144$
1	Válvula Check	$K_2 = 100Ft = 100(0.018)(1) = 1.8$
5	Codos estandar de 90°	$K_3 = 30Ft = 30(0.018)(5) = 2.7$
1	Codo estandar de 45°	$K_4 = 16Ft = 16(0.018)(1) = 0.288$
		$K_T = 4.932 \quad L/D_T = 285 \quad Leq_T = 78 \text{ ft}$

4. No hay caídas de presión por expansión o contracción.
5. Caída de presión por indicador de presión y filtro temporal 2.5 psi.
- 6.

$$NRe = \frac{(0.2555)(1)(1.0385)(2.205/1)(1/0.03531)}{9.875 \times 10^{-4}} = 16779.02 \text{ (Turbulento)}$$

7. De la figura 2-3 para un diámetro de 3 pg para tubería de acero comercial

E/D=0.0006 de la figura 2-2 y un NRe=16779 se lee $f=0.0175$

8. Caída de presión para 100ft de tubería

$$\Delta P/100 = (0.0216)(0.0175)(1.0385)(62.3)(21)^2 / (3.0670)^5 = 0.0397 \text{ psi/100ft.}$$

9. Caída de presión total

$$\Delta P_T = (98.43 + 78)(0.0397)/100 + 2.5 = 2.5701 \text{ psi}$$

LINEA 18.

1. Esta línea transporta una solución acuosa de ϵ -caprolactama con un peso de 735.48 Kg y una densidad de 1.0385 Kg/L; $\mu=1.4685$ cp.

$V=M/\rho = 735.48 \text{ Kg} / 1.0385 \text{ Kg/L} = 708.21 \text{ L} \rightarrow 710 \text{ L} / 10 \text{ min} = 71 \text{ L/min} = 18.75 \text{ gal/min}$
gasto de diseño 19 gal/min.

$d = [(0.408)(19/1)]^{1/2} = 2.78 \text{ pg}$ se aproxima a 3 pg acero comercial

Cédula 40 $\rightarrow D_1 = 0.2555 \text{ ft} = 77.9 \text{ mm} = 3.0670 \text{ pg}$.

2. Longitud lineal supuesta 10 m = 32.81 ft.

3. Longitud equivalente en accesorios.

Accesorio	Tipo	K
1	Válvula de compuerta	$K_1 = 8 \text{ Ft} = 8(0.018)(1) = 0.144$
2	Codos estandar de 90°	$K_2 = 30 \text{ Ft} = 30(0.018)(2) = 1.08$
		$K_T = 1.224 \text{ L/D}_T = 70 \text{ Le}_q = 18 \text{ ft}$

4. No hay caídas de presión por expansión o contracción.

5. No hay caídas de presión por orificios o válvulas de control.

6.

$$NRe = \frac{(0.2555)(1)(1.0385)(2.205)(1/0.03531)}{9.8751 \times 10^{-4}} = 16779.02 \text{ (Turbulento).}$$

7. De la figura 2-3 para un diámetro de 3pg para tubería de acero comercial

E/D=0.0006 de la figura 2-2 y un NRe=16811.34 se lee $f=0.0175$

8. Caída de presión para 100 ft de tubería

$$\Delta P/100 = (0.02116)(0.0175)(1.0385)(62.3)(19)^2 / (3.0670)^5 = 0.0325 \text{ psi/100ft.}$$

9. Caída de presión total

$$\Delta P_T = (32.81 + 18)(0.0325/100) = 0.0165 \text{ psi}$$

LINEA 19.

No necesita.

LINEA 20.

No necesita.

LINEA 21.

No necesita.

LINEA 22.

No necesita.

LINEA AE-1.

Por esta línea fluye agua para enfriar el tanque FA-001. El caudal de agua de enfriamiento es de 98 L/min ó 26 gal/min. El agua tiene una densidad aproximada a esta temperatura de 1Kg/L y una viscosidad de 1cp. Tomando una velocidad recomendada de 6 ft/s.

1. De la tabla 2.7 de la referencia bibliográfica 40, para una tubería de 1 1/4 pg de diámetro se tiene una velocidad recomendada de 5.37ft/seg con un caudal de 25 gal/min y la pérdida de presión por cada 100 ft de tubería es de 4.22 psi.
2. La longitud lineal de tubería supuesta es de 25 m=82.025 ft.
3. Longitudes equivalentes de accesorios.

Accesorios	Tipo	K
3	Válvulas de compuerta	$K_1 = 8 \text{ Ft} = 8(0.022)(3) = 0.528$
1	Válvula check	$K_2 = 100 \text{ Ft} = 100(0.022)(1) = 2.2$
2	Codos estandar de 90°	$K_3 = 30 \text{ Ft} = 30(0.022)(2) = 1.32$
2	Codos estandar de 45°	$K_4 = 16 \text{ Ft} = 16(0.022)(2) = 0.704$
		$K_T = 4.752 \text{ L/Dt} = 225 \text{ LeqT} = 27.11 \text{ t}$

4. La caída de presión a la entrada del tanque es pequeña.
5. La caída de presión recomendada para el indicador de presión y temperatura es de 1.0psi. La caída de presión para la válvula de control es de 5 psi.
6. Pérdida total de presión en la línea.

$$\Delta P_T = ((82.025 \text{ ft} + 27.11 \text{ ft})(4.22 \text{ psi}/100 \text{ ft}) + 1.0 + 5.0 = 10.6055 \text{ psi}$$

LINEA AE-2.

Por esta línea fluye la misma cantidad de agua que en la línea AE-1 y con las siguientes características:

Caudal 98 L/min = 26 gal/min

$\rho = 1 \text{ Kg/L}$

$\mu = 1 \text{ cp}$

la velocidad recomendada es de 6 ft/s.

1. De la tabla 2.7 de la referencia bibliográfica 40, para una tubería de 1 1/4 pg de diámetro se tiene una velocidad recomendada de 5.37ft/seg y una caída de presión de 4.22 psi/100ft.

2. La longitud lineal de tubería supuesta es de 30 m=98.43 ft.

3. Longitudes equivalentes de accesorios.

Accesorios	Tipo	K
2	Codos estandar de 90°	$K_1=30\text{Ft}=30(0.022)(2)=1.32$
2	Codos estandar de 45°	$K_2=16\text{Ft}=16(0.022)(2)=0.704$
		$K_T=2.024 \text{ L/Dt}=95.83 \text{ LeqT}=11.54\text{ft}$

4. La caída de presión a la salida del tanque es pequeña.

5. La caída de presión recomendada para el indicador de temperatura y el registrador de temperatura es de 0.8psi, también la caída de presión por el paso del agua a través del tanque FA-001 es de 0.5 psi.

6. Pérdida total de presión en la línea

$$\Delta P_T = ((98.43\text{ft} + 11.54\text{ft})(4.22\text{psi}/100\text{ft})) + 0.8\text{psi} + 0.5\text{psi} = 5.94 \text{ psi.}$$

CRITERIOS UTILIZADOS PARA LA UBICACION DE LA PLANTA.

Para ubicar una nueva planta industrial el objetivo que se persigue es la retribución de la inversión y el beneficio económico. Este beneficio es la diferencia entre los ingresos obtenidos por la venta de bienes o servicios y el costo de producirlos. Por lo tanto se deben hacer los mayores esfuerzos para aumentar los beneficios y reducir los costos, es aquí donde la ubicación de la planta juega un papel esencial para obtener ventaja de los beneficios.

La metodología seguida para ubicar la planta es una evaluación por puntos y es la siguiente: se elabora una matriz de parques industriales seleccionados contra ventajas y desventajas que se tengan en dichos parques, a cada ventaja y desventaja se le asigna una puntuación entre 0 y 100 según esta influya en nuestra planta, se hace la sumatoria de los puntos obtenidos por cada parque industrial y el que obtenga la mayor puntuación se selecciona como el lugar idóneo (véase tabla 14).

Los factores a considerar o ventajas y desventajas son las siguientes:

1. En cuanto a cantidad de materia prima disponible de cada una de las empresas que elaboran productos de Nilón-6 tomando en cuenta que un 2 % de la producción total anual de estas empresas se desperdicia, se designa la puntuación más alta a el parque industrial en el cual se obtengan mayores desperdicios de Nilón-6 de la empresa ubicada en dicho parque. De esta manera se obtiene para el parque industrial 1-260 toneladas, 2-120 toneladas, 3-240 toneladas, 4-140 toneladas, 5-36 toneladas y 6-400 toneladas. Con estos valores se le da una puntuación de 10 al valor más alto y para los demás parques se obtiene una calificación tomando como base la más alta.

2. El segundo factor a considerar es el costo por Km. derivado del transporte de la materia prima, aquí hay que tomar en cuenta que las plantas productoras de Nilón-6 ubicadas en La Leona, Nuevo León y la ubicada en Lerma, Edo. de México, son las que polimerizan la

e-caprolactama y las demás se dedican a hacer productos terminados a partir de los pellets que estas empresas producen, por lo tanto estas dos empresas deben predominar sobre las demás, porque el proceso diseñado es para obtener e-caprolactama de los desperdicios de Nilón-6 para después repolimerizar la e-caprolactama obtenida. De aquí tomando en cuenta que Lerma es el parque industrial que está más cercano a los principales centros donde se pueda obtener la materia prima, entonces se le asigna a éste un valor de 100 y a los demás se les asignan valores menores dependiendo de la distancia de separación.

3. En cuanto al costo por Km del movimiento del producto terminado se toma el mismo criterio del punto anterior y tomando en cuenta que la planta de Lerma y la de La Leona, Nuevo León son las que polimerizan la e-caprolactama y obtienen pellets de Nilón-6, entonces se le vuelve a asignar un valor de 10 puntos al parque industrial de Lerma puesto que es el más cercano a donde se va a mover el producto de entre todas las fuentes de suministro de materia prima.

4.-En cuanto a disponibilidad y costo de agua, electricidad, combustibles, etc., en todos los parques industriales propuestos el costo es casi el mismo y la disponibilidad es buena en todos estos.

5. Bajo este criterio se toma en cuenta si en el parque industrial es necesario poner planta de tratamiento de agua propio, lo que le resta puntos al parque industrial en cuestión porque es necesario desembolsar más dinero en la instalación del sistema de tratamiento de agua, cosa que no ocurre si se tiene drenaje libre y planta de tratamiento de agua municipal. También se toma en cuenta el grado de contaminación que se tenga en los lugares donde se llevan a cabo estos desagües.

6. En cuanto al factor de disponibilidad de mano de obra en todos los parques industriales seleccionados se tienen centros urbanos cercanos y por lo tanto hay buena disponibilidad de ésta. En cuanto al costo de la mano de obra se toma en cuenta la división por zonas económicas que existe en México y ésta tiene una gran influencia en el puntaje obtenido para cada parque industrial.

7. En todos los parques industriales seleccionados se tiene buena disponibilidad de transporte para el personal, aunque en algunos es excelente. También se toma en cuenta la cantidad, costo y servicio que estos presten. Por ejemplo se puede tener gran número de unidades y rutas de transporte pero si es muy caro el costo de éste, entonces este factor le resta puntos al parque industrial.

8. Por lo que respecta a la cantidad de desechos producidos por el proceso, en este punto se asigna la mayor puntuación a el parque industrial en el cual no se tengan limites altos de contaminación ambiental y en el que se cuente con un cementerio de productos quimicos cercano. Se resta puntuación al parque industrial que presente altos índices de contaminación.

9. Bajo este factor se da la más alta puntuación al parque industrial que se ésta desarrollando y en el cual se tenga potencial de crecimiento, es decir, al parque industrial que tenga disponibilidad de terreno y ofrezca buenos atractivos a todas las empresas que hay se quieran instalar.

10. Con este factor se toma en cuenta la concentración cercana de población al parque industrial, ya que de esta manera, se tiene mayor disponibilidad de mano de obra, por lo que la puntuación más alta es para el parque industrial con mayor concentración de población cercana. Un factor que resta puntos es la concentración excesiva de industrias en dicho parque, porque de esta manera no hay mucha disponibilidad de terreno, etc.

11. En cuanto a la actitud da la comunidad hacia la instalación de nuevas industrias, en este punto se designa la mayor puntuación al parque industrial en el que la población cercana sea accesible a la instalación de cualquier tipo de industria. En algunos parques industriales la concentración excesiva de industrias y los consecuentes problemas de contaminación del ambiente hacen que las poblaciones cercanas no quieran más industrias cerca, debido a que estas agravan el problema de la contaminación ambiental.

12. En algunos parques industriales se cobran excesivos impuestos, además de que el costo del terreno es muy alto debido a que tienen gran demanda de éste. Por lo tanto se restan puntos a los parques industriales que cobren impuestos excesivos y en el que el costo del terreno es alto comparado con los demás.

13. En cuanto al clima se trata de evitar zonas donde se tengan climas extremos, es decir, climas demasiado calurosos o fríos, debido a que este factor puede afectar las condiciones del proceso.

14. Bajo este rubro se tiene que considerar el mayor puntaje para los parques industriales en los cuales haya mucha disponibilidad de terreno para prever futuras ampliaciones de la fábrica. Si la cantidad de terreno que se nos ofrece es menor que 5 veces el área en planta de los edificios, esto le resta puntos al parque industrial.

15. También es necesario hacer un examen de las industrias existentes dentro del parque industrial y ver si contaminan demasiado el ambiente o generan algún tipo de desecho que pueda afectar la producción de nuestra planta, además de que es importante observar que tipo de problemas tienen estas fábricas, ya sea con la administración del parque o con la comunidad.

16. En este punto se asigna la mayor puntuación para el parque industrial que tenga la disponibilidad para vivienda de la mano de obra que vamos a utilizar o para las personas que nos sean útiles y las vamos a desplazar hasta esas comunidades. También se toma en cuenta el costo de estas viviendas.

17. Si se requiere de mano de obra calificada es imprescindible que se tenga un buen sistema educativo local. Por lo tanto si el parque industrial tiene un buen sistema educativo local, entonces se le asigna la mayor puntuación.

18. Por último es necesario tener zonas de cultura, recreación y esparcimiento cercanas para la mano de obra, es decir, iglesias, librerías, auditorios municipales, etc., para fomentar la superación del personal empleado.

Sumando todos los puntos asignados a cada factor para un mismo parque industrial se obtiene el total de puntos para cada parque industrial. El parque industrial que obtenga la mayor puntuación es el que más nos conviene y por lo tanto es el lugar adecuado para ubicar la planta. En este estudio se obtuvo como mejor opción el parque industrial de Lerma, Edo. de México.

	LA LEONA, NUEVO LEON.	OCOTLAN, JALISCO.	LERMA, EDO. DE MEXICO	QUERETARO, QUERETARO.	MEXICO, D.F.	TLALNEPANTLA, EDO DE MEX
CANTIDAD DE MATERIA PRIMA DISPONIBLE.	6.5	3.0	6.0	3.5	1.0	10.0
COSTO POR Km. DE TRANSPORTE DE MATERIA PRIMA.	1.0	2.5	10.0	6.0	8.0	8.0
COSTO POR Km. DE MOVIMIENTO DEL PROD. TERMINADO.	5.0	2.0	10.0	2.0	1.0	6.0
DISPONIBILIDAD Y COSTO DE SERV. AUX. PARA LA PLANTA (AGUA, ELECTRICIDAD, ETC)	8.0	7.0	8.0	8.0	6.0	7.0
NECESIDAD DE INSTALAR SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS O DRENAJE LIBRE CON TRATAMIENTO DE AGUA MUNICIPAL.	7.0	6.0	6.0	7.0	4.0	5.0
DISPONIBILIDAD DE MANO DE OBRA Y COSTO DE ESTA.	7.0	7.0	8.0	8.0	9.0	8.5
DISPONIBILIDAD DE TRANSPORTE PARA EL PERSONAL.	8.0	8.0	8.0	8.0	10.0	8.0
DESECHOS Y CANTIDAD DE ESTOS.	8.0	7.0	7.0	7.0	4.0	4.0
AREA CON POTENCIAL INHERENTE DE CRECIMIENTO	8.0	9.0	8.0	9.0	3.0	5.0
CONCENTRACION DE LA INDUSTRIA Y LA POBLACION EN EL AREA ESCOGIDA.	8.0	8.0	8.0	8.0	4.0	4.0
ACTITUD DE LA COMUNIDAD HACIA LA INSTALACION DE NUEVAS INDUSTRIAS.	8.0	8.5	8.0	8.5	6.0	6.5
COSTO DEL TERRENO E IMPUESTOS SOBRE RENTA Y VENTA.	7.5	8.0	7.0	7.5	5.0	5.0
CLIMA EN LA ENTIDAD.	6.5	8.0	7.5	8.0	7.5	7.5
CANTIDAD DE TERRENO A COMPRAR.	9.0	9.5	8.0	9.0	6.0	7.0
EXAMEN DE LAS FABRICAS EXISTENTES Y SUS PROBLEMAS.	9.0	9.5	9.0	9.5	6.0	7.0
DISPONIBILIDAD DE VIVIENDA CERCANA PARA LOS TRABAJADORES.	9.0	8.0	9.0	9.5	6.0	7.0
EXCELENCIA DEL SISTEMA EDUCATIVO LOCAL	9.0	8.0	8.0	7.0	9.5	9.5
ZONAS CULTURALES, RECREATIVAS Y DE ESPARCIMIENTO.	8.0	7.5	8.5	8.0	9.5	9.0
PUNTOS TOTALES	132.5	126.5	144	133.5	105.5	124

MATRIZ DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS CONTRA PARQUES INDUSTRIALES DE LA EVALUACION POR PUNTOS PARA LA UBICACION DE LA PLANTA.

METODOLOGIA DE CALCULO DE LAS ECUACIONES DE AJUSTE DE DATOS DE PRODUCCION DE NILON-6 Y E-CAPROLACTAMA UTILIZADAS PARA HACER LAS PROYECCIONES A FUTURO.

Todas las ecuaciones de ajuste de datos se obtuvieron por el método de mínimos cuadrados multivariable, la ecuación fundamental de este método es la siguiente:

$$\beta = (X' X)^{-1} X' Y.$$

Donde:

X = Matriz que contiene todas las variables independientes, en nuestro caso es el tiempo.

X' = Matriz transpuesta que contiene todas las variables independientes.

(X' X)⁻¹ = Matriz inversa del producto de la matriz transpuesta por la matriz de las variables independientes.

Y = Matriz que contiene la variable dependiente, en nuestro caso es la producción.

A continuación se muestra un ejemplo de como funciona este método.

A partir de los datos de producción de e-caprolactama de la Tabla 2, tenemos:

Producción	Tiempo
47189	1980 - 1
48483	1981 - 2
46513	1982 - 3
49610	1983 - 4
50851	1984 - 5
52024	1985 - 6
51334	1986 - 7
57800	1987 - 8
53530	1988 - 9
62488	1989 -10
71100	1990 -11
75040	1991 -12

En este caso la matriz Y es la producción porque es dependiente del tiempo y la matriz X es el tiempo es decir.

