



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA

PRODUCCION DE NYLON No.6
EN LA PLANTA INDUSTRIAL KIMEX

S. A. DE C. V.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

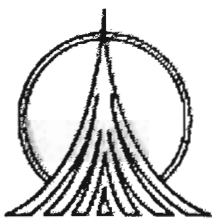
INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :

GERARDO FCO. GOMEZ ALVAREZ

ASESOR DE TESIS:

I.Q. JOSE BENJAMIN RANGEL GRANADOS



MEXICO, D. F.

ABRIL DEL 2005

m 342784



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA**

OFICIO: FESZ/JCIQ/043/03

ASUNTO: Asignación de Jurado

ALUMNO: GÓMEZ ALVAREZ GERARDO FRANCISCO

P r e s e n t e .

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

Presidente	M. en Q. Eloisa Anleu Avila
Vocal	I.Q. José Benjamín Rangel Granados
Secretario	Mtro. Genaro Altamirano García
Suplente	Biol. Guillermo González Martínez
Suplente	I.Q. Balbina Patricia García Aguilar

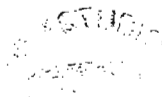
Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

A t e n t a m e n t e

“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”

México, D.F., 24 de Agosto de 2004.

EL JEFE DE LA CARRERA



M. EN C. ANDRES AQUINO CANCHOLA

DEDICATORIAS

A mi madre, Ma. Estela Alvarez, por su inapreciable cariño y lucha ante la adversidad.

A la Sra. Irene, Diana, Priscila, Paty y Juan Carlos, familia Guerra, amistad y hospitalidad en todo momento.

Sr. Ricardo Guerra Franco, ejemplo de tenacidad y como diría Román, es usted un chingón.

A María Temixoch, como el iztacihuatl, a veces agreste y a veces floresta placidez, con amor.

Abril del 2005

AGRADECIMIENTOS

Al I.Q. José Benjamín Rangel Granados, por la dirección del trabajo.

A los sinodales:

M. en Q. Eloisa Anleu Avila

Mtro. Genaro Altamirano García

Biol. Guillermo González Martínez

I.Q. Balbina Patricia García Aguilar

Por sus aportaciones para mejorar este reporte.

A todos los profesores, que aún trabajando en condiciones poco favorables, hacen de la UNAM, una vanguardia en la dialéctica del conocimiento científico y social.

Al “Mike” por su café solidario y la enseñanza de la matriz cuadrada de 2 por 2.

A los trabajadores de Kimex:

Mario Valero, Supervisor de Producción.

Ing. Fortino Garcés, Gerente de Mantenimiento.

Ing. Refugio Tufiño, Supervisor de Producción.

Abril del 2005

**PRODUCCIÓN DEL NYLON 6
EN LA PLANTA INDUSTRIAL KIMEX S.A. DE C.V.**

INDICE GENERAL

RESUMEN	3
INTRODUCCIÓN	4
PLANTEAMIENTO.....	11
OBJETIVO	12
CAPITULO I : POLIMEROS SINTÉTICOS.....	13
CAPITULO II : PRODUCCIÓN DEL NYLON 6.....	33
CAPITULO III : MECANISMO DE LA REACCIÓN.....	43
CAPITULO IV : TRABAJO EN LA PLANTA.....	50
CAPITULO V : RELACIÓN INDUSTRIA-ESCUELA.....	59
CONCLUSIONES.....	63
APENDICE A: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS	
DE MATERIAS PRIMAS, AUXILIARES Y NYLON 6	64
APENDICE B : DATOS ESTADISTICOS	69
BIBLIOGRAFÍA Y PÁGINAS WEB.....	74

Resumen:

El presente trabajo es una descripción de la experiencia profesional obtenida en el área de producción del nylon 6 en la planta industrial Kimex S.A. de C.V.

La planta esta situada en el kilómetro 26.5 de la carretera México-Querétaro.

El reporte describe como es desarrollado el trabajo como supervisor de producción, contemplando varias situaciones que se presentan.

Tales situaciones comprenden la interrelación con el personal y sus jerarquías dentro de la planta, o sea, la estructura del área de producción y las responsabilidades de cada uno en el proceso productivo.

Así como también las acciones en situaciones normales y de emergencia.

También es importante describir la vinculación con otras áreas o secciones de la planta; como el de control de calidad, mantenimiento y seguridad industrial.

Otro aspecto tomado en cuenta, es lo referente a la vinculación industria y la academia, esto es, una descripción a grandes rasgos de lo encontrado en la planta industrial y su relación con los fundamentos, asignaturas o módulos de la carrera de Ingeniería Química de la FES ZARAGOZA.

INTRODUCCIÓN:

En 1909 Du Pont empezó una investigación amplia con la nitrocelulosa. El nieto mayor del fundador, Irénée Du Pont, tiene su laboratorio experimental donde reúne información sobre la manufactura de seda artificial, cuero artificial y celulosa. La etapa orientada para los consumidores, tuvo que esperar tan pronto finalizó la primera guerra mundial.

Du Pont adquirió en 1920 las tecnologías para fabricar seda artificial a partir de la inquietud de los franceses. Ese mismo año comenzó la manufactura de la seda artificial, que después se conocería como rayón. Con esto se da inicio a los materiales sintéticos, donde también fueron los cimientos para la invención y desarrollo del nylon.

En 1924 el Dr. Charles Stine como nuevo director del departamento de Química, puso su sello característico en la dirección, al decir que debe ser de mayor peso el rol de la teoría en el laboratorio, organizando las bases científicas de los productos de la compañía Du Pont, que tenían hasta entonces bases químicas empíricas. Formó un comité ejecutivo de investigadores, de naturaleza científica.

Para Du Pont, la invención del nylon comenzó en 1928 a partir de las relaciones del Dr. Stine con el Dr. Wallace Chume Carothers, quien se desempeñaba como maestro investigador en Harvard. Del grupo de trabajo de Carothers, 6 de los 8 tenían grado Phd, produjeron la primera muestra de neopreno y la primera fibra sintética en un laboratorio. Esta fibra presentaba algunas deficiencias

El 24 de mayo de 1934, uno de los asistentes de Carothers bosquejó una muestra de fibra sintética, la cual superaba los problemas presentados recientemente. Esta fibra, era el nylon, conocida técnicamente como nylon 6,6. Fue lo primero que se preparó el 28 de febrero de 1935, durante un proceso de 81 intentos posibles de variantes de nylon.

En 1938 el comité ejecutivo autorizó una planta piloto en Seaford, Delaware. Subsecuentemente se consiguieron una serie de expansiones, hasta lograr la capacidad de producción de un millón de libras al día. Una segunda planta dedicada a la producción del nylon fue comenzada en Martinsville, Virginia en 1940. La experiencia de Du Pont con los productos basados en celulosa, rayón y acetato, fue vital para la rápida comercialización del nylon.

En mayo de 1940 se vendieron 9 millones de dólares con un 33% de ganancias, en 1941 las ganancias fueron de 7 millones de dólares por ventas de 25 millones de dólares. Du Pont llegó a fabricar arriba de 60 millones de pares de medias, que eran más que la cantidad de mujeres que había en los E.U.

Du Pont fue el pionero en las investigaciones para desarrollar los productos que más tarde serían; Orlón, cordura y Dacrón.

Los usos del nylon antes de la segunda guerra mundial eran; cepillo de dientes, hilo de pescar, corbatas, hilo para costura, cordón para joyería, pantalones para el football y vestidos. Durante la segunda guerra, toda la producción del nylon fue destinado para la guerra; Los militares usaron 3.8 millones de paracaídas, medio millón de neumáticos para los aviones y también para la sogas de los remolques, chalecos y filtros para plasma sanguíneo.

Después de la guerra, los usos del nylon se diversificaron hacia; textiles, alfombras y la industria.

Nuevas plantas de nylon se construyeron en Cattanooga, Tennessee (1948) y en Camden, Carolina del sur (1950). En 1951, produjeron 50 millones de libras por año por planta, obteniendo una ganancia de 110 millones de dólares.

El ambiente competitivo se iba incrementando, creándose una iniciativa de Ingeniería y tecnología llamada "Blue Sky Technical Nylon Technology Task Force", que comenzó en 1955, fue planeada para reducir los costos de capital y producción en un 50 % y 75 % respectivamente. Edward Kane vino a presidir a Du Pont.

Entre 1960 a 1980 el mercado mundial del nylon creció un 10.5%, al pasar de un billón de libras a 7.5 billones de libras anuales.

El consumo textil creció cerca de 7.5% por año, mientras que el consumo para alfombras y la industria creció en cerca del 12% .

Este crecimiento sostenido, se debió gracias al progresivo refinamiento del proceso de producción. La sección de fibra cruzada fue desarrollada para dar un efecto óptico y táctil. Los tratamientos antiestáticos fueron desarrollados en los 70's. La velocidad del hilado, llegó a alcanzar las 180 millas por hora.

Trabajos muy extensivos sobre la orientación molecular permitieron la resistencia al expandirse, al reducirse y a la fatiga para las fibras industriales.

A pesar del crecimiento, en los 70's comenzaron algunas dificultades para el nylon, la escasez de petróleo de 1973 y 1979 dieron un duro golpe al nylon. De tal forma que no hubo ganancias para Du Pont en 1975.

Hasta 1992 el nylon fue organizacionalmente agrupado como "fibra", que técnicamente incluía aquellos materiales químicos comunes (basados en polímeros) y usos comunes (como los hilos, cortinas o sólidos).

Después de la segunda escasez de petróleo, Du Pont adquirió CONOCO (Compañía continental de petróleo) por 7.6 billones de dólares en 1981. Esto fue realizado para asegurar la materia prima que se basaba en el petróleo.

Durante el año de 1980 la cantidad de capital disponible para las mejoras a las plantas de Du Pont , fue alrededor de 30 % menos en comparación con las

compañías 3M, Monsanto, Procter and Gamble y Kodak. Esto provocó serios daños que se reflejaron en el recorte de mano de obra de profesionales técnicos en un 50 % en 1980.

Durante 1990, tanto técnicos profesionales como personal de la fábrica fueron reducidos en un 25 %. Entre tanto los competidores instalaron las últimas plantas, con mejoras tecnológicas y económicas, más aun estas plantas contemplaban al propileno, como uno de los sustitutos del nylon.

Otra presión sobre el negocio del nylon fue marcada por una nueva filosofía en la producción de nuevos productos, llamada "soluciones específicas", que puso de manifiesto a las plantas de Du Pont, que no fueron diseñadas para tener una gran flexibilidad, ocasionando una gran desventaja ante sus competidores.

En el verano de 1994 Du Pont tomó una decisión estratégica, al parar en el negocio del nylon.

El nylon 6,6 es un tanto desplazado por el nylon 6 y poliéster, a su vez comienza una etapa en el desarrollo de las biociencias, donde se tratan de la producción de material biodegradable.

El descubrimiento del nylon, la primera fibra sintética, se le atribuye a Wallace Hume Carothers, científico de la Universidad de Harvard en 1929.

Han pasado más de 60 años de la aparición del nylon y su potencial uso en distintas áreas de la vida cotidiana, comercial e industrial es aun vigente.

El nylon es una macromolécula de los llamados polímeros, formado por muchas unidades más simples llamados monómeros. Existen los polímeros naturales como la seda, algodón, etc. y los polímeros sintéticos como el nylon, poliéster, poliestireno, adhesivos epóxicos, etc.

Algunos polímeros sintéticos han llegado a reemplazar a los naturales, como el caso del nylon 66, que en 1930 sustituyó a mucha de la seda que se utilizaba para la fabricación de las medias y después de la segunda guerra mundial se le daría el uso como plástico.

Por sus propiedades mecánicas, térmicas, eléctricas y de buena resistencia para algunas sustancias químicas abrasivas, la utilización de los polímeros es cada vez más extenso y diversificado.

En el año de 1971 arrancó la planta industrial de polimerización Kimex, para la producción de fibras sintéticas de nylon 6 y poliéster.

Kimex, se encuentra en el kilómetro 26.5 de la carretera México-Querétaro, perteneciente al municipio de Tlanepantla, Edo. de Mex. y ocupa una extensión de 64,224 m².

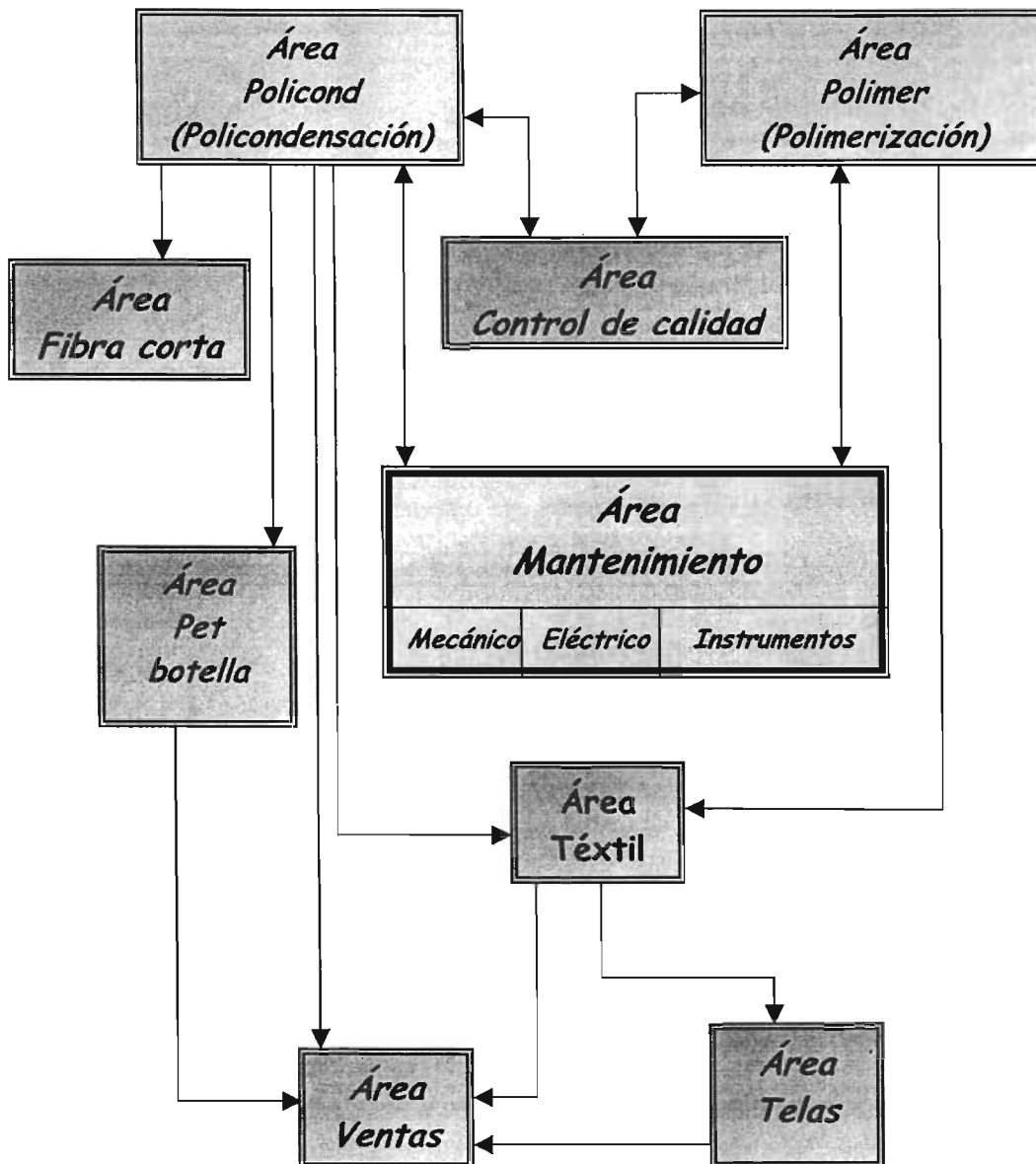
El área donde se produce el nylon 6 a partir de caprolactama, es de 630 m² y el equipo que interviene en el proceso esta distribuido en 5 niveles o pisos.

En 1994 contaba con 2300 trabajadores, constituido por obreros, supervisores, jefes, gerentes, directores y trabajadores administrativos.

Laborando tres turnos (de 6:00 a 14:00 hrs., de 14:00 a 22:00 hrs. y de 22:00 a 6:00 hrs.) en la parte productiva y un turno mixto (de 9:00 a 18:00 hrs.) para los administrativos.

Estructura Productiva :

La estructura de producción de Kimex, está dividida en las áreas que se muestran a continuación:



PET : Polietilen Tereftalato

Descripción breve de cada área:

Área Policond : Producían el poliéster polietilentereftalato (PET), por medio de la reacción de condensación del ácido tereftálico y el etilen glicol :

Después de ser checado el pet en control de calidad y si estaba por debajo de los estándares de calidad, se enviaba al área de fibra corta, por otra parte, si cumplía con la calidad requerida, se enviaban a las áreas pet botella, textil y ventas.

Área Polimer: Se encargaba de la producción del Nylon 6, por medio de la apertura del anillo de la caprolactama y la polimerización del ácido 6-aminohexanoico.

El nylon 6 se enviaba al área textil, clasificándose de primera si cumplía con los parámetros de calidad, tales como; humedad, fuerza de tensión, punto de fusión y color. O de segunda, si no se cumplían dichos estándares.

Área de control de calidad:

Tenia como tarea el aplicar pruebas físicas, químicas y mecánicas al PET y al Nylon 6 , para determinar su calidad e informar a las áreas de Policond y Polimer , para que tomen las medidas necesarias para tratar de que se cumplan con los estándares de calidad y determinar el destino del producto.

Área de Mantenimiento:

Tiene como función dar el mantenimiento eléctrico , mecánico e instrumentos en las áreas policond, polimer y textil, de equipos, accesorios e instrumentos, a solicitud hecha por las áreas mencionadas.

Área Fibra corta:

En esta sección el poliéster que no cumplía con el estándar de calidad para el área textil, pet o ventas , se procesaba por extrusión, para obtener fibra, que era cortada y se vendía como relleno de cojines, almohadas, etc.

Área PET(Polietilen tereftalato) botella:

El PET proveniente del área policond se procesaba mediante la extrusión e inyección, para obtener las botellas de plástico de diferentes capacidades. El producto se envía a ventas.

Área textil:

El nylon 6 y el PET provenientes de las áreas de polimer y policond respectivamente, se extruían y embobinaban, para ser enviado el producto al área de telas o a ventas.

Área Telas:

Con las bobinas de nylon 6 y PET provenientes del área textil se cargaban los telares circulares, para obtener las telas respectivas, que podían ser de un solo material o también se combinaban, incluso con materiales que no se producían en la planta, como el algodón, rayón etc.

PLANTEAMIENTO:

En este trabajo se informara de todo lo que en general era un día de trabajo "normal" como supervisor de producción de Nylon 6 en la planta de Kimex, contemplando además una situación de emergencia.

Ha sido dividido en los siguientes capítulos:

En el capítulo I se tratan aspectos generales de los polímeros sintéticos.

En el capítulo II se describe el proceso de producción del nylon 6 en la planta.

Haciendo también una descripción del equipo principal del proceso.

El mecanismo de la reacción es tratado en el capítulo III.

En el capítulo IV se hace un relato de las actividades que se realizan en un día de trabajo "normal" como supervisor de producción, involucrando distintas secciones del proceso:

- Recepción de la caprolactama
- Tanques intermedios
- Reactor
- Descarga del nylon 6
- Bateas y cortadora
- Lavador
- Secadores
- Tanques de almacenamiento

También abarca las acciones tomadas en una situación de emergencia.

En este capítulo, además, se trata del equipo de seguridad en cada sección del proceso productivo.

En el capítulo V se indica una forma en la cual se pueden relacionar lo observado en la industria y los módulos o asignaturas en el terreno académico.

También son tratados en apéndices los siguientes aspectos;

En el apéndice A se hace referencia a las propiedades físicas, químicas y principales usos de las materias primas, auxiliares y del nylon 6.

En el apéndice B se encuentran algunos datos estadísticos de producción, importación, exportación y consumo aparente nacional del nylon 6 en los años de 1970 a 1998.

Objetivos:

Al trabajar en una planta industrial como supervisor de producción en el área nylon 6, se puede hacer un relato de las experiencias vividas, para darlas a conocer a otras generaciones de estudiantes de la carrera de ingeniería química y así tener un panorama del entorno de trabajo en una planta industrial.

La descripción de la experiencia la podemos dividir en los siguientes objetivos:

- 1) Describir como es el trabajo desarrollado como supervisor en la producción del nylon 6.
- 2) Indicar la relación industria-academia, que hay entre el proceso de producción del nylon 6 en la planta y las materias o módulos impartidos en la carrera de ingeniería química de la FES ZARAGOZA.
- 3) Mostrar la importancia de las relaciones interpersonales en la planta.

Capítulo I: Polímeros sintéticos

Los polímeros son sustancias cuyas moléculas tienen alto peso molecular y están compuestos de un número grande de unidades repetidas, llamadas monómeros. Hay polímeros naturales como las proteínas, almidones, celulosa y látex.

De los polímeros sintéticos existe una gran variedad y tienen una gama amplia de propiedades y usos. Los materiales normalmente llamados plásticos son polímeros sintéticos.

Los polímeros son formados por reacciones químicas en las que un número grande de moléculas llamados monómeros se une secuencialmente y forman una cadena. En muchos polímeros, sólo se usa un tipo de monómero, en estos casos al polímero formado se le llama homopolímero. En otros, pueden combinarse dos monómeros diferentes y al polímero formado se denomina copolímero.

Los polímeros pueden ser clasificados de diferentes formas; por el método de síntesis, por su estructura, por sus propiedades físicas o por su uso, entre otros.

Por sus propiedades físicas los polímeros se pueden clasificar en cuatro grupos; termoplásticos, fibras, elastómeros y resinas termofijas. Sus propiedades físicas están íntimamente relacionadas con la estructura, el grado de cristalinidad, la geometría y la cantidad de enlaces cruzados.

Termoplásticos: Polímeros duros a temperatura ambiente, pero son suaves y viscosos cuando son calentados, por lo que pueden ser fácilmente moldeables, como el polietileno. Carecen o tiene pocos enlaces cruzados.

Los plastificadores son pequeñas moléculas orgánicas que actúan como lubricantes entre las cadenas, son usualmente añadidos a los plásticos para que no sean quebradizos a temperatura ambiente.

Fibras: Son hilos delgados producidos por extrusión o fusión del polímero, en los cuales la región cristalina esta orientada hacia el eje de la fibra. Esto produce considerable fuerza de tensión. El nylon y el dacrón son algunos ejemplos de estas fibras.

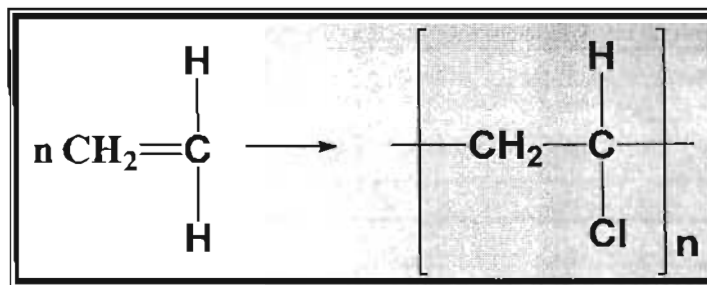
Elastómeros: Son los polímeros amorfos que tiene la capacidad de estirarse al aplicarse una fuerza y regresar a su posición original al cesar esa fuerza. Estos polímeros deben tener una modesta cantidad de enlaces cruzados. El caucho es un ejemplo de elastómero.

Resinas termofijas: Son polímeros con una gran cantidad de enlaces cruzados y muy alta dureza al solidificar, la bakelita es un ejemplo de este tipo de polímero. Por el tipo de reacción química para obtener un polímero, se pueden clasificar en polímeros de adición y polímeros de condensación.

La polimerización de adición es la reacción entre moléculas de estructura similar; estos se enlazan para formar una macromolécula y subproductos, los cuales deben ser eliminados.

Polimerización por Adición (en cadena):

En este tipo de polimerización, los monómeros reaccionan para formar la cadena de un polímero sin la pérdida neta de átomos. La forma más común en la polimerización por adición involucra la reacción en cadena de radicales libres de moléculas que tienen doble enlace C = C. Por ejemplo considere la polimerización de cloruro de vinilo (cloroetileno, CH₂ = CHCl) para formar polivinilcloruro:

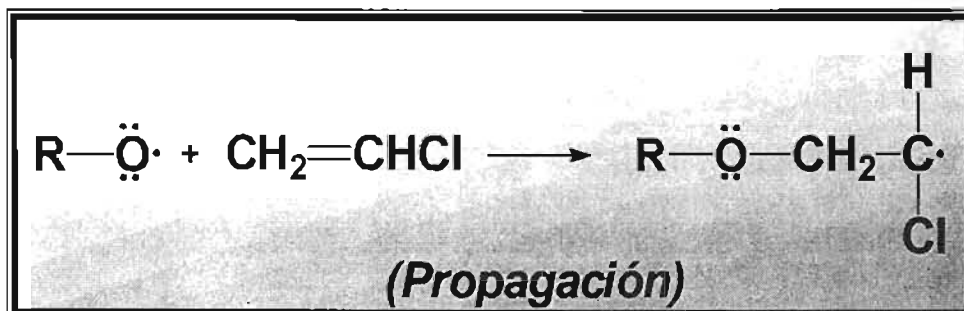


El proceso global comprende tres etapas: iniciación, propagación y terminación.

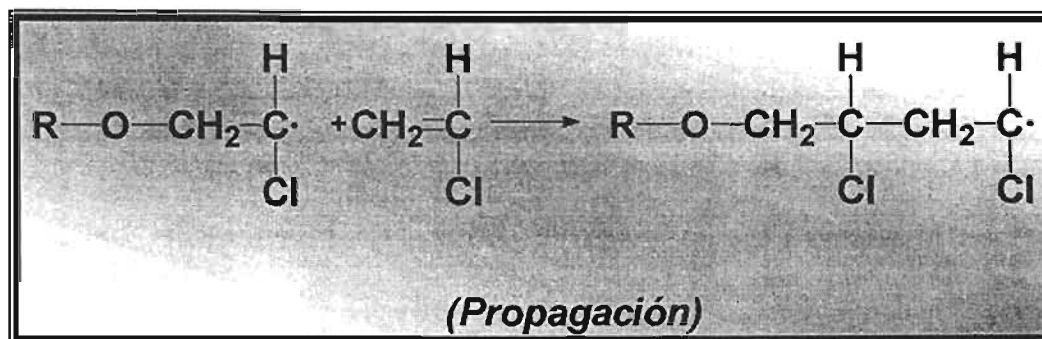
La polimerización del cloruro de vinilo, puede ser iniciada por moléculas que tengan enlaces que puedan ser rotos por la acción de la luz o calor, dando lugar a radicales. Un ejemplo de un iniciador, puede ser un peróxido, el cual puede ser representado como; R-O-O-R', donde R y R' representan grupos álcis. El enlace O-O puede romperse para dar radicales ;



Estos radicales reaccionan con el cloruro de vinilo, aceptando electrones del doble enlace, para reestablecer una configuración de electrones en los átomos de oxígeno;

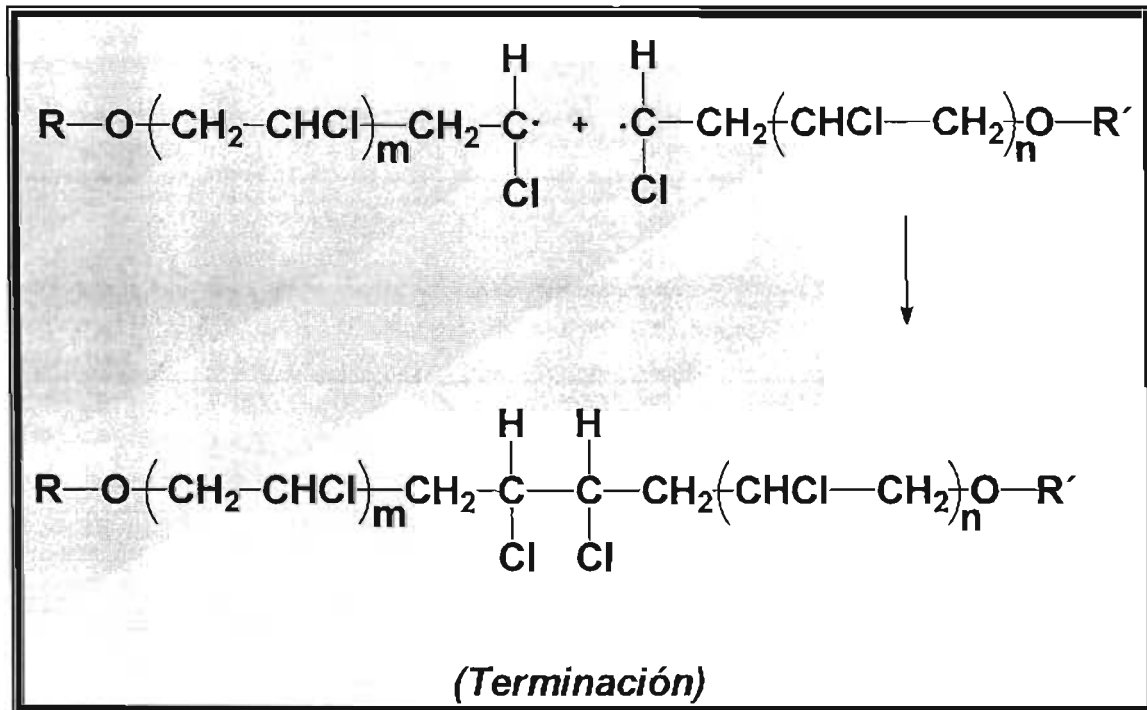


Uno de los dos electrones π en el doble enlace del cloruro de vinilo, ha sido usado para formar un sencillo enlace con el radical R-O. El otro permanece sobre el segundo átomo e carbono, permitiéndole tener siete electrones de valencia, que reaccionara con otra molécula de cloruro de vinilo;

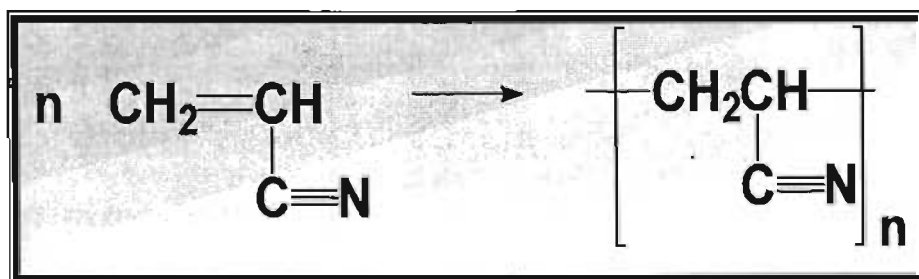


De esta forma la cadena puede ir creciendo. El monómero de cloruro de vinilo siempre ataca al crecimiento de la cadena con su grupo CH_2 , porque los electrones impares son más estables sobre un grupo terminal CHCl . Esto da al polímero una alternancia regular de grupos; $-\text{CH}_2-$ y $-\text{CHCl}-$.

La terminación ocurre cuando el radical de dos grupos terminales de dos diferentes cadenas, se unen para dar una cadena más larga;



La polimerización por adición puede ser iniciada por iones o también por radicales libres, un ejemplo de esto puede ser la polimerización del acrilonitrilo.



La terminación en la polimerización iniciada por ión, difiere de la terminación por radical libre, porque la carga negativa de los grupos en los extremos se repelen unos de otros, llevando al acoplamiento de dos cadenas activas.

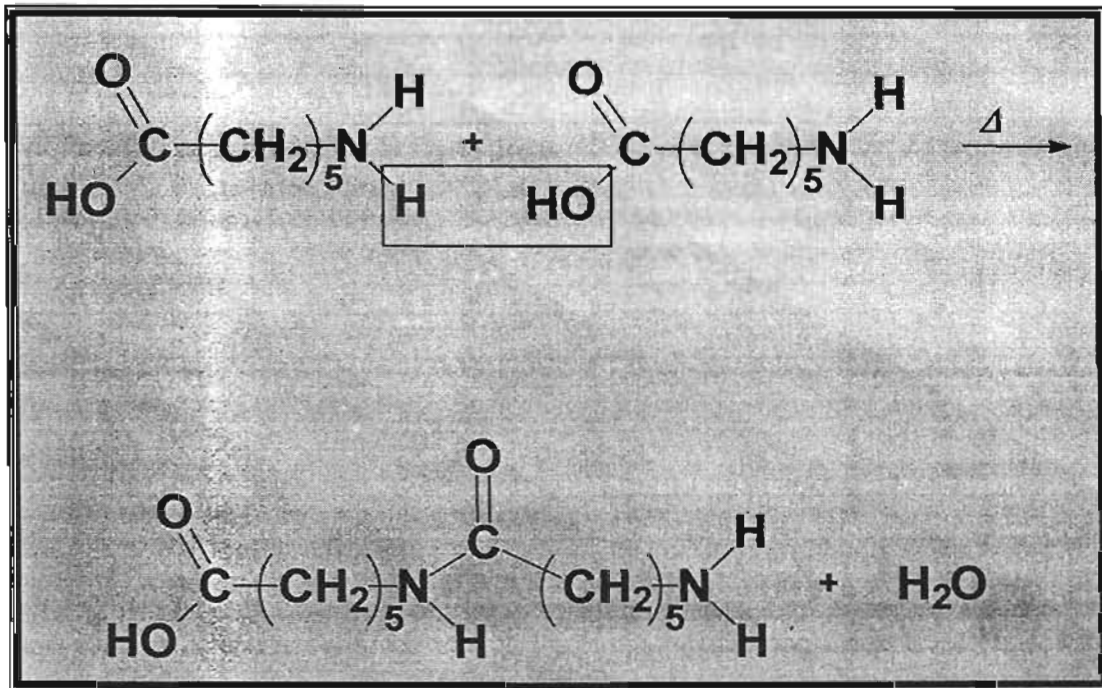
Una vez suministrado el monómero, el polímero puede existir indefinidamente con un grupo iónico en un extremo, en contraste con el caso del radical libre, en el cual alguna reacción debe actuar para terminar el proceso.

Los polímeros iniciados por ión, son llamados "polímeros vivientes", porque cuando un monómero adicional es añadido (aun meses después), genera un crecimiento e incremento de la masa molecular.

El grupo iónico al final del crecimiento del polímero, es estable en cada etapa

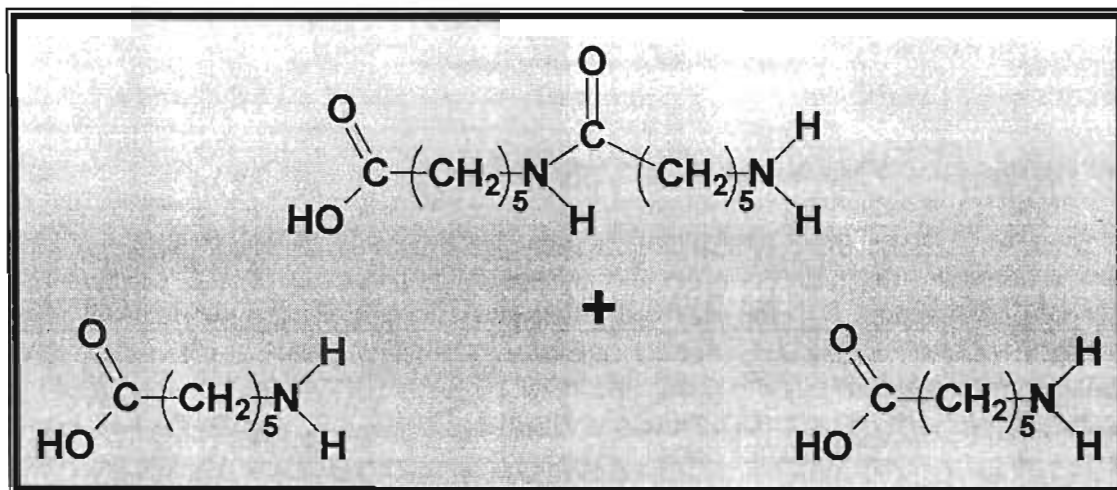
Polimerización por Condensación (por etapas):

Otro importante tipo de polimerización es por condensación, donde una molécula (frecuentemente agua) es eliminada como subproducto de la reacción, en el crecimiento del polímero. Un ejemplo de este tipo de polimerización, puede ser el del ácido 6-aminohexanoico. Las primeras dos moléculas reaccionan calentándolas;

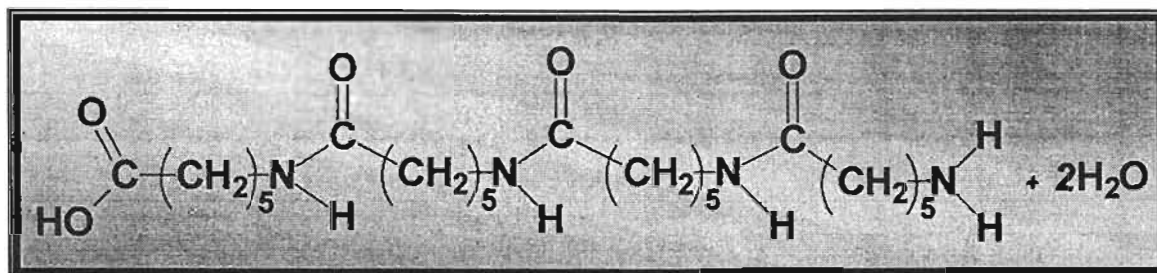


Esto es la formación de una amida y agua a partir de la reacción de una amina (NH_2) con un ácido carboxílico (COOH).

La nueva molécula tiene un grupo amino en un extremo y en el otro tiene un grupo carboxílico, tal que pueden reaccionar con otras dos moléculas más del ácido 6-aminohexanoico;



Para producir una molécula más grande;



Por cada monómero añadido, una molécula de agua es separada.

Este proceso se repite, generando el crecimiento de la cadena del polímero, que en este caso es llamado Nylon 6.

En el caso de la polimerización por etapas, no dependen de un radical libre o ión, como propagadores de la cadena, sino de grupos funcionales, como el grupo amino, el carboxílico, entre otros.

Si cada molécula del monómero sólo contiene dos grupos funcionales, el crecimiento del polímero sólo puede ser en dos direcciones, por lo que se obtiene

un polímero lineal, pero si contiene más de dos grupos funcionales, el polímero formado puede tener una estructura de red espacial o enlaces cruzados.

La polimerización de adición y condensación, difieren en la distribución de la longitud de la cadena en el transcurso de la reacción. En la polimerización por adición, la reacción comienza solamente con la puesta de un iniciador, tal que el número de cadenas poliméricas que van creciendo a un tiempo, es relativamente pequeña.

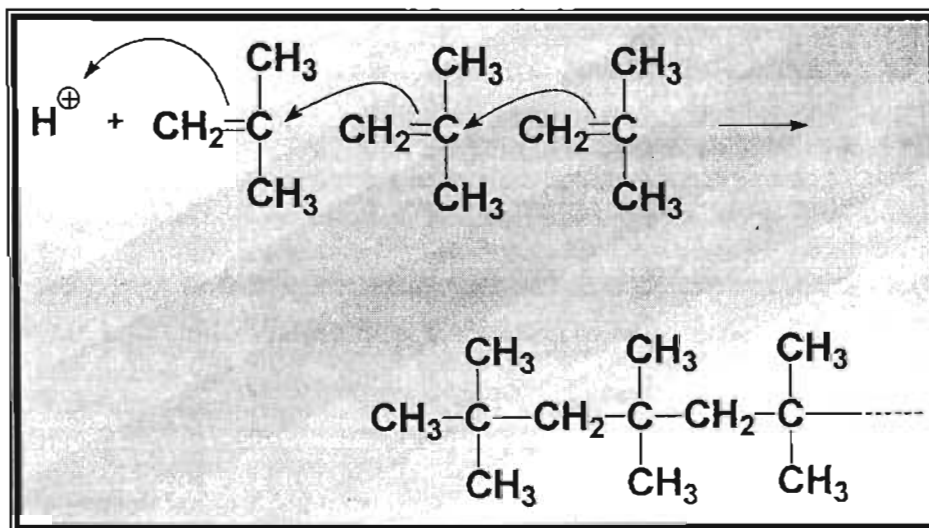
Si la reacción es parada repentinamente, cuando apenas iniciaba, el resultado es una mezcla de polímero y monómero sin reaccionar. La longitud del polímero depende del momento en que sea cortada la reacción.

En contraste, en la polimerización por condensación, cada monómero es un potencial iniciador del polímero, empezando a formarse dímeros y trímeros. Si la reacción es parada repentinamente, se encontrarán un gran número de oligómeros (moléculas conteniendo más de una unidad de monómero, pero pocas unidades de cadena del polímero).

Polimerización iónica (polímeros vivos):

La polimerización en cadena puede ser llevada a cabo con iones, en lugar de radicales libres. Dependiendo del tipo de iniciador, pueden ser cationes o aniones.

Por ejemplo la polimerización catiónica es iniciada por ácidos, como en el caso de la polimerización del isobutileno;



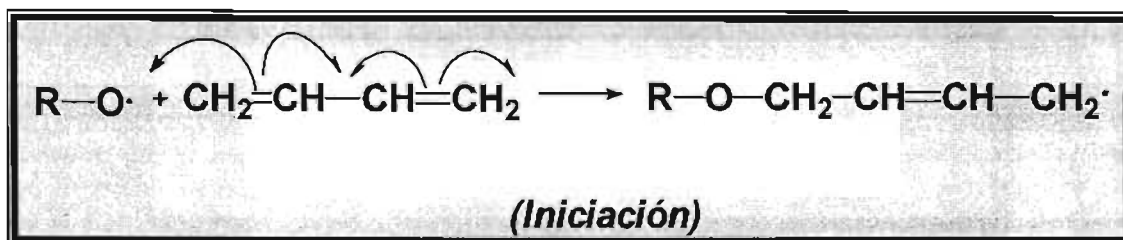
La polimerización catiónica puede ser iniciada por ácidos fuertes de Lewis (aceptadores de electrones), tales como el cloruro de aluminio ($AlCl_3$) o el fluoruro de boro (BF_3). Un co-catalizador es requerido y este es un ácido fuerte de

Bronsted y Lowry , que proporciona un protón (H^+) a la molécula del monómero. El H^+ es el iniciador.

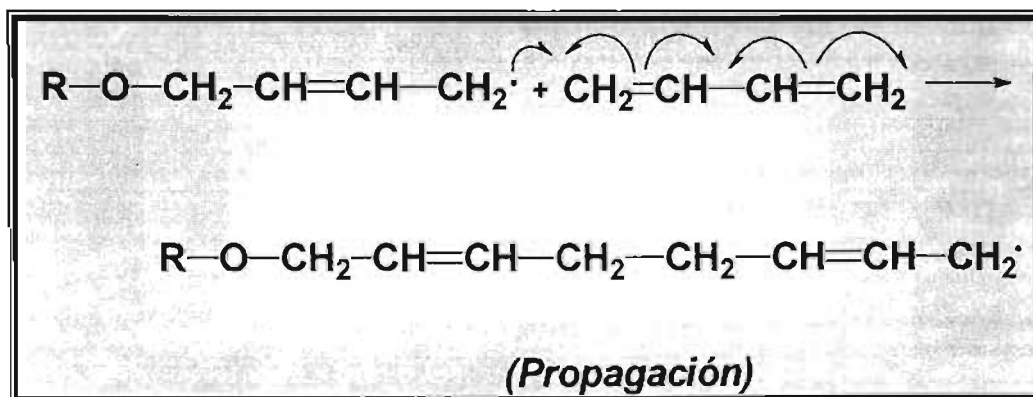
Copolímeros:

Un copolímero es un polímero formado por dos monómeros distintos. Por ejemplo en la mezcla del butadieno y estireno (vinil benceno). Cada uno de estos compuestos polimeriza sobre su propio iniciador radical libre. La molécula de estireno es como la molécula del cloruro de vinilo, excepto que tiene un anillo de benceno en lugar de un átomo de cloro.

El butadieno tiene dos enlaces $C = C$ por monómero. Los electrones π cambian en la iniciación y durante la propagación, causando una relocalización sistemática del doble enlace:



Un electrón π de cada uno de los dobles enlaces, se mueve hacia el enlace central de $C - C$, convirtiéndolo en un doble enlace. Un tercer electrón π es usado para hacer el enlace $O - C$ como iniciador, y el cuarto electrón π permanece desapareado sobre el grupo terminal $-CH_2$, dejándolo listo para reaccionar de acuerdo con:



En

el polibutadieno, que finalmente tiene la estructura $-(\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2)_n-$, todos los enlaces sencillos C-C de los monómeros se convierten en dobles enlaces C=C y todos los dobles enlaces se convierten a enlaces sencillos.

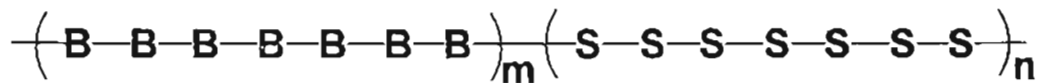
De esta forma podemos suponer como es iniciada la polimerización en una mezcla de estireno y butadieno. En este caso, el crecimiento de la cadena del polímero, resultando un copolímero aleatorio, con unidades de Butadieno (B) y Estireno (S) en una secuencia irregular en la cadena;



La probabilidad del ataque de un tipo de monómero dependerá no solo de su concentración, sino también de su inherente reactividad.

Un segundo tipo de copolímero es llamado copolímero en bloque, el cual consiste en una serie de bloques conectados y en donde cada bloque es una cadena de un tipo de monómero.

Un típico copolímero de bloque es el de butadieno y estireno, que puede ser representado como;

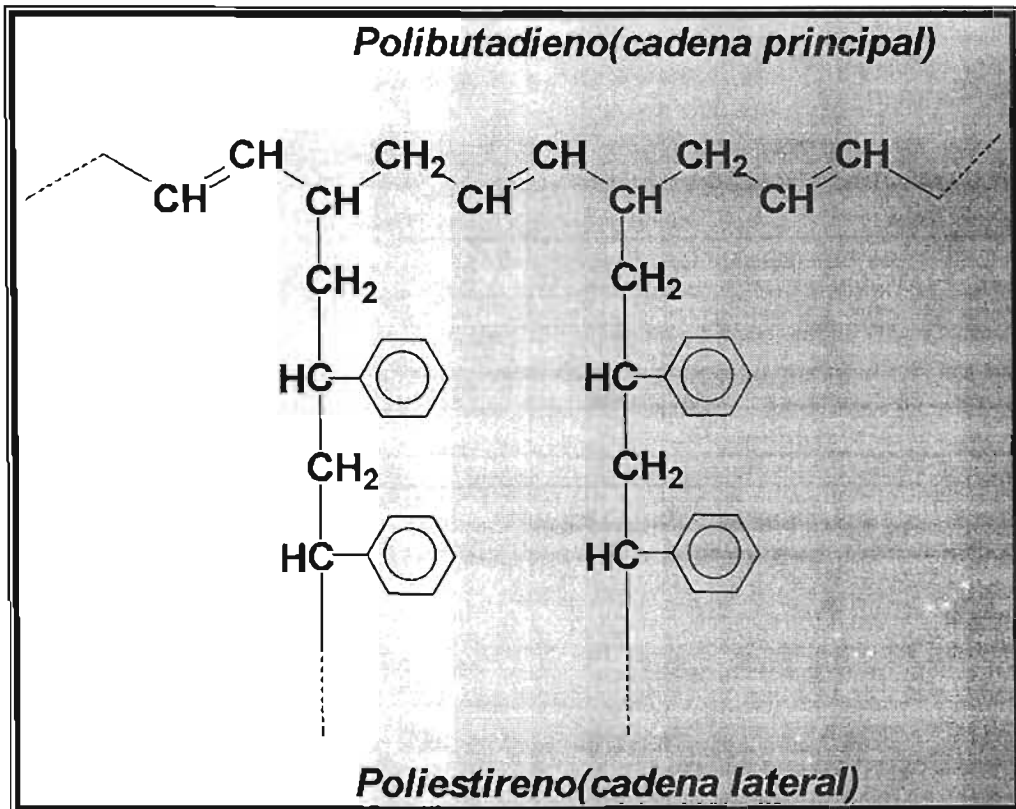


En la cual un largo bloque de unidades de butadieno (B) y un bloque de unidades de estireno (S) , están enlazados para formar la cadena del polímero.

Copolímeros más complejos en bloque, deben tener varias alternativas de bloques. Que pueden ser hechos usando el "copolímero viviente"

Los copolímeros de bloque tienen propiedades muy distintas de los copolímeros aleatorios.

Un tercer tipo de copolímero es el "copolímero de acoplamiento". El cual es hecho por la polimerización de uno de sus componentes y el acoplamiento a su cadena por parte del polímero del segundo componente, como se muestra en la siguiente figura:



Enlaces cruzados:

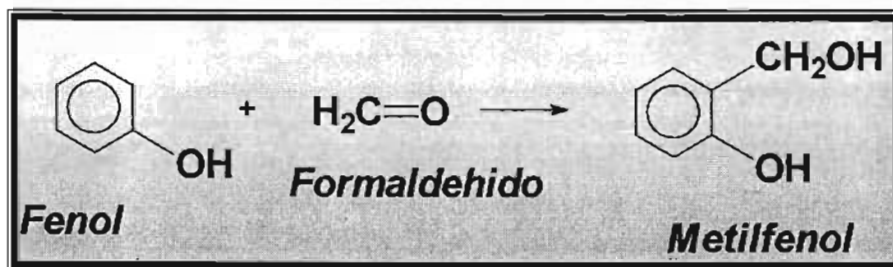
Si cada monómero que forma un polímero tiene solamente dos sitios reactivos, entonces solamente se formaran cadenas y anillos. Por ejemplo el ácido 6-aminohexanoico usado para hacer nylon 6, tiene un grupo amino y un grupo carboxílico por molécula.

Cuando ambos grupos funcionales reaccionan, un enlace es formado en la cadena del polímero, pero estos enlaces no pueden reaccionar posteriormente.

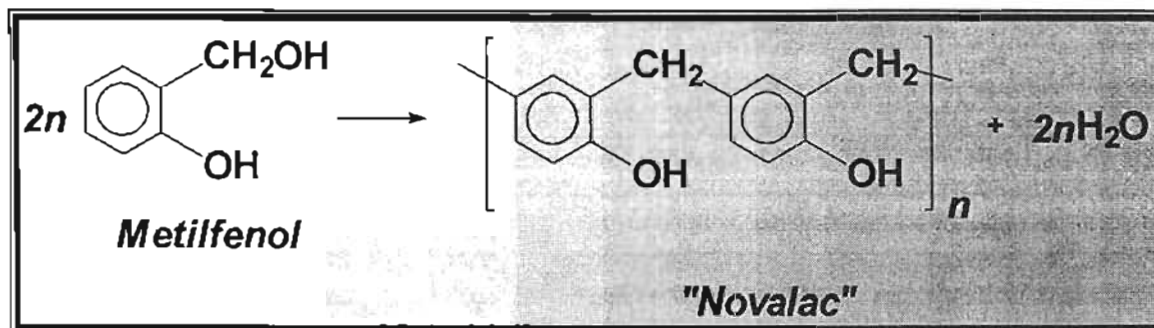
Si alguno o todos los monómeros de un polímero tienen tres o más sitios reactivos, es posible la formación de enlaces cruzados. Esto es muy adecuado en polímeros sintéticos, ya que se obtiene un material más fuerte.

Un ejemplo de enlace cruzado, involucra el copolímero de fenol y formaldehído.

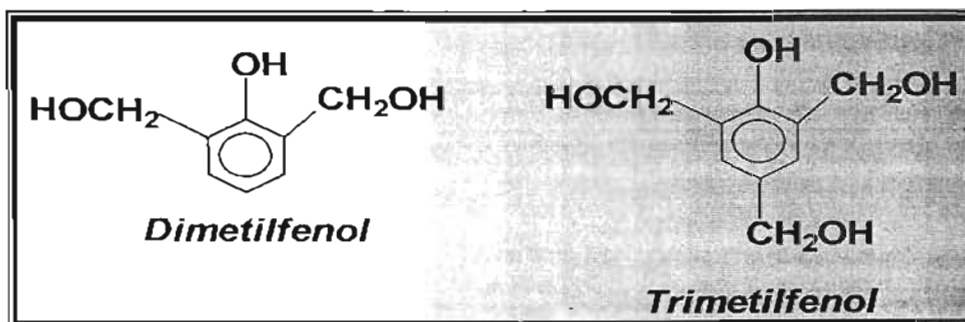
Cuando son mezclados con exceso de fenol (en presencia de un catalizador ácido), forma un polímero de cadena recta. El primer paso es la adición del formaldehído al fenol, para dar metilfenol:



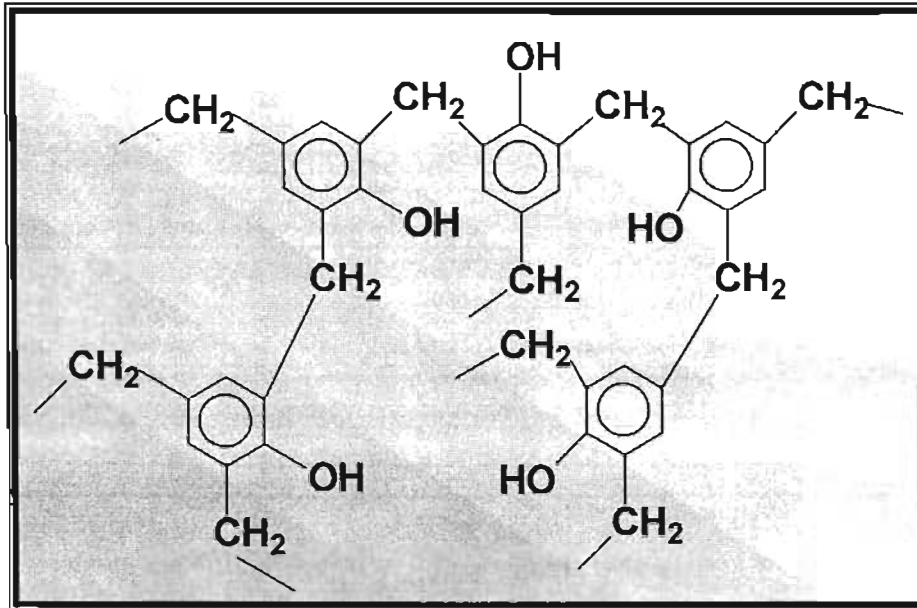
Las moléculas de metilfenol pueden reaccionar en una polimerización por condensación, donde se obtiene agua como subproducto, obteniéndose un polímero lineal llamado "novalac";



Por otro lado, si la reacción es llevada a cabo con un exceso de formaldehído, entonces se formara dimetilfenol y trimetilfenol;



Note que cada uno de estos monómeros tiene más de dos sitios reactivos y cada uno tiene la posibilidad de reaccionar hasta con otros tres monómeros, para ir formando enlaces cruzados que dan una estructura como la que se muestra a continuación ;



El polímero de enlace cruzado es mucho más fuerte que el polímero lineal. El primer plástico sintético, la bakelita, fue hecho en 1907 de un enlace cruzado entre fenol y formaldehído.

Los modernos polímeros de fenol y formaldehído, son usados extensivamente en la industria de la construcción, como adhesivos para madera.

Métodos de polimerización.

Cuatro métodos generales de polimerización son usados comercialmente: en masa, solución, suspensión y emulsión.

En la **polimerización en masa**, solamente el monómero y una pequeña cantidad de aditivo son cargados al reactor; no son usados diluentes inertes. Resultando una alta conversión del monómero en una masa muy viscosa y consecuentemente, en una baja tasa de transferencia de calor.

La velocidad de producción de la polimerización en masa es casi siempre limitado, por esta baja eliminación del calor producido.

En la **polimerización en solución**, el polímero formado puede ser casi siempre soluble o insoluble en el solvente.. Algunas veces el monómero es líquido bajo las

condiciones de la reacción y son completamente disueltos en el solvente (como por ejemplo en la producción del polipropileno).

Un monómero gaseoso debe ser primero disuelto y entonces difundirse al sitio de la polimerización. La velocidad de transferencia de masa, será afectada por el grado de polimerización y la presión del reactor.

Los catalizadores empleados en una polimerización en solución, son casi siempre solubles o insolubles en la mezcla de la reacción. Para eliminar el catalizador después de la polimerización, puede resultar difícil, dependiendo de la cantidad usada.

La viscosidad de la polimerización en solución es menor a la que se presenta en la polimerización en masa. La transferencia de calor es mejor en la polimerización en solución.

En la **polimerización en suspensión**, es usada una agitación vigorosa para dispersar el monómero en forma de gotas finas en agua o en un adecuado solvente.

La polimerización en suspensión también se le conoce como polimerización en perlas, porque el polímero está en forma de pequeñas esferas. Las partículas de una polimerización en suspensión están en el orden de .15 a 5 mm de diámetro.

Este método puede ser muy utilizado en la manufactura del polivinilcloruro. Agentes suspendidos son usados para ayudar a la dispersión del monómero y prevenir aglomeración de gotas o partículas esféricas.

El tipo y cantidad de estabilizador afectan el tamaño de las esferas de monómero y el eventual tamaño de las partículas de polímero.

Otros factores que afectan al polímero son la agitación, temperatura y la relación agua y monómero.

Este tipo de polimerización tiene la ventaja de una buena transferencia de calor y el producto formado puede ser agitado y bombeado con equipo convencional. Sin embargo tiene la desventaja de tener que separar el polímero del agua u otro solvente, por medio de una centrifuga y filtración, seguido de un secado.

Algunas veces la polimerización por suspensión es utilizada para crear un polímero con alguna propiedad en particular, como por ejemplo de un alto grado de porosidad, requerido para la adsorción de plastificadores.

La **Polimerización por emulsión** es muy similar a la polimerización por suspensión, excepto que las partículas formadas son más pequeñas y el sistema es estabilizado por emulsificadores y otros aditivos para la producción de látex.

La composición del emulsificador afecta la velocidad de la polimerización así como las propiedades del polímero.

La viscosidad de una emulsión es por lo general no muy alta y la transferencia de calor es usualmente adecuada para un diseño económico. Este método es generalmente usado cuando el producto polimérico está en forma de látex, tal como en pinturas, adhesivos y revestimiento de papeles.

Si es deseado un polímero sólido, la técnica de polimerización en suspensión es preferida porque es mayor el tamaño de las partículas y más fácil de separar y secar.

Los elastómeros tales como el caucho butadieno-estireno, copolímero butadieno-acrilonitrilo y caucho acrílico, los cuales son producidos en medio acuoso, son generalmente producidos por una polimerización por emulsión.

Cada uno de estos métodos de polimerización puede ser llevado a cabo con varios tipos de materiales iniciales y productos. Por ejemplo la alimentación puede estar en fase líquida, gaseosa o en solución y los productos pueden presentarse como solución, emulsión o lodos.

Reactores Batch y Continuo:

Las reacciones de polimerización pueden ser llevadas a cabo en reactores batch o continuos. Los trabajos sobre nuevos polímeros, son llevados a cabo con pruebas batch, los cuales son escalados a tamaños comerciales de reactores batch.

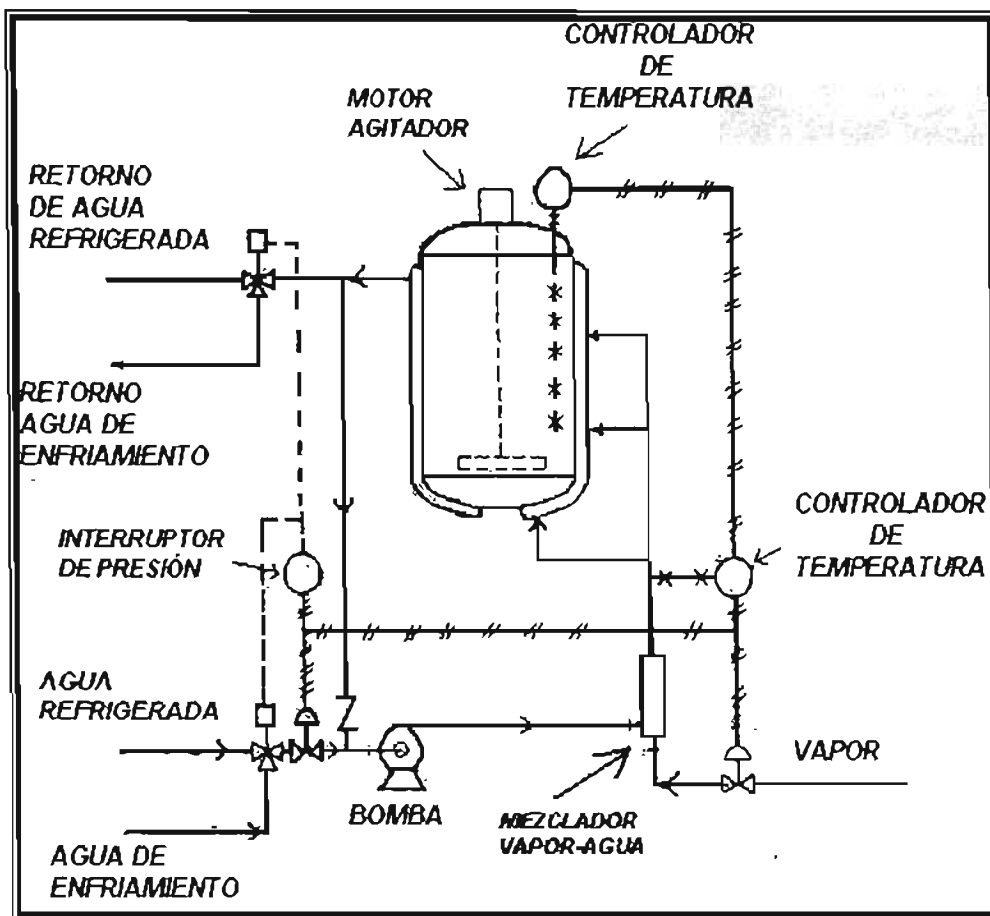
Sin embargo en muchas plantas los reactores son diseñados para una operación continua, porque puede representar una mayor facilidad de operación y menores costos. Un trabajo en planta piloto debe demostrar la mayor factibilidad de un proceso continuo. Algunas veces se encuentra que las propiedades de un polímero cambian de un proceso batch a uno continuo.

Comparaciones económicas demuestran que en un proceso batch es más atractivo para una producción a baja escala y para una producción mayor es preferido un proceso continuo.

En los reactores batch, todos los monómeros permanecen esencialmente el mismo período de tiempo, mientras que en un reactor continuo, el tiempo de residencia no es muy uniforme. Para un reactor agitado de flujo continuo en donde la reacción es llevada a cabo de un 70 a 100 % de conversión, el volumen del reactor puede ser

apreciablemente mayor que el requerido para un reactor batch, por el efecto de la distribución del tiempo de residencia.

La instrumentación para un sistema batch es usualmente más complejo que para un sistema continuo. El controlador de temperatura en un proceso batch debe ser rápido para llegar a la temperatura de reacción. Mientras que en un sistema continuo los controladores operan con datos establecidos de antemano, con unos mínimos ajustes durante el proceso.



Instrumentación para el control de temperatura de un reactor batch.

Calor de polimerización (Δp).

Probablemente uno de los factores más importantes en la determinación del diseño del sistema de la reacción de polimerización, es el calor de polimerización.

En la siguiente tabla los calores de polimerización de algunos monómeros:

MONOMERO	PESO	CALOR DE	
	MOLECULAR	POLIMERIZACIÓN, ΔH_p	
	gr / mol	Kcal / mol	Btu / lb
Caprolactama	113.16	3.0	48
Etileno	28.05	25.4 – 25.9	1630 - 1662
Propileno	42.08	24.89	1065
Isobutileno	56.10	10 – 12.8	321 - 411
Butadieno	54.09	17.4	579
Isopreno	68.11	15.7	415
Estireno	104.14	16 – 17.5	276 - 302
Cloruro de vinilo	62.5	22.9	660
Tetrafluoretileno	100.02	354	630
Formaldehído	30.03	13.23	793
Acetato de vinilo	86.09	20.1	420
Acrilamida	71.08	13.8	350

En sistemas continuos, el proceso es operado a condiciones de régimen permanente y el calor generado en cualquier punto del sistema se considera constante.

Aspectos de ingeniería en un sistema de polimerización.

Transferencia de calor:

El calor es añadido o eliminado del reactor por un medio circulante a través del enchaquetamiento. Cuando se utiliza agua como medio de la transferencia de calor, el vapor puede ser automáticamente introducido como medio circulante mientras se carga el reactor y comienza el calentamiento, conforme se llega a la temperatura deseada, se disminuye el flujo del vapor.

Con el calor de la reacción, se puede cortar el flujo de vapor e introducir agua de enfriamiento por la chaqueta para remover este calor.

El adecuado control de temperatura de la reacción es muy importante por el efecto que causan en el peso molecular del polímero.

El uso de baffles internos de enfriamiento, han sido de mucha ayuda para remover el calor de la polimerización, al otorgar mayor superficie de enfriamiento.

Como por ejemplo en la polimerización batch del acetato de polivinilo, polivinilcloruro, látex estireno-butadieno, látex polibutadieno, etc.

En los sistemas continuos la forma de remover el calor es muy similar al de un sistema batch.

El cálculo de los coeficientes de transferencia de calor para los polímeros es complejo, debido a su comportamiento como un fluido no newtoniano. Por lo general se obtienen estos datos de pruebas en plantas pilotos.

El sistema de agitación más común, es el de tipo turbina muy cercano al diseño de multicuchillas hecho de metal.

Existen especiales consideraciones en la selección y diseño de los sistemas de agitación, que incluye ; (a) en sistemas batch en suspensión la localización de la propela debe estar próxima al fondo del reactor para mantener los sólidos dispersos durante la reacción y mientras se esta vaciando el reactor; (b) el uso de cuchillas y otro diseño especial para una mejor dispersión de monómeros gaseosos en la reacción y (c) el uso de gran diámetro, propelas de velocidad suave para sistemas de emulsión sujetos a la coagulación que se presenta por la excesiva agitación.

En las especificaciones y selección del tipo y tamaño del agitador, el conocimiento del consumo de potencia es extremadamente importante. El consumo de potencia del agitador, depende del recipiente y geometría de la propela así como de las propiedades del fluido.

Instrumentación.

La instrumentación para los reactores de polimerización, puede incluir los medidores de carga de la alimentación, control de temperatura, control de presión, alarmas para temperatura y presión, indicador de viscosidad, indicador de la potencia del agitador, timers en el ciclo batch y medidor del flujo de calor.

Todos ellos pueden ser de tipo análogo y lo más reciente es un control digital, o utilizando una combinación de ambos tipos.

La viscosidad, densidad, índice de refracción y medidores de otras propiedades físicas, se pueden usar como indicativo del avance de la reacción de polimerización.

Seguridad.

Las principales consideraciones de seguridad en un sistema de polimerización, son la prevención de fuego o explosión, producido por los vapores o goteras y la sobrepresión en el reactor, causadas por una descontrolada polimerización.

Toda fuente de ignición se debe tratar de ubicar lejos de una polimerización, para evitar el contacto con los vapores flamables.

Las estructuras de acero y todo el equipo, debe ser debidamente aterrizado, para evitar la actuación de cargas estáticas.

Muchas de las reacciones de polimerización, son altamente exotérmicas, y requieren de adecuados sistemas para la remoción del calor, para mantener el control de la temperatura.

Sin embargo una sobrepresión en el reactor, se puede producir por varias causas, alguna de ellas son; corte en el suministro de agua de enfriamiento, caída en la corriente eléctrica, causando que paren la bomba de circulación de agua de enfriamiento, el agitador, fuego externo, error en la relación de las cantidades de los reactantes, o fallas en el sistema de control de la temperatura.

En estos casos es adecuado contar con dispositivos de relevo, tales como discos de ruptura y válvulas de relevo. Que en algunas ocasiones los dos son usados en serie.

Los discos de ruptura, no son considerados muy adecuados, porque descargarían el contenido del reactor con una alta temperatura.

La válvula de relevo por otra parte, debe ser eliminada después de una sobrepresión, permitiendo que una buena porción del contenido sea salvado y al mismo tiempo el escape de vapores flamables a la atmósfera. Los dos dispositivos son casi siempre usados en serie, con el disco de ruptura más cercano al espacio ocupado por el vapor en el reactor.

Estructura molecular y propiedades de los polímeros sintéticos.

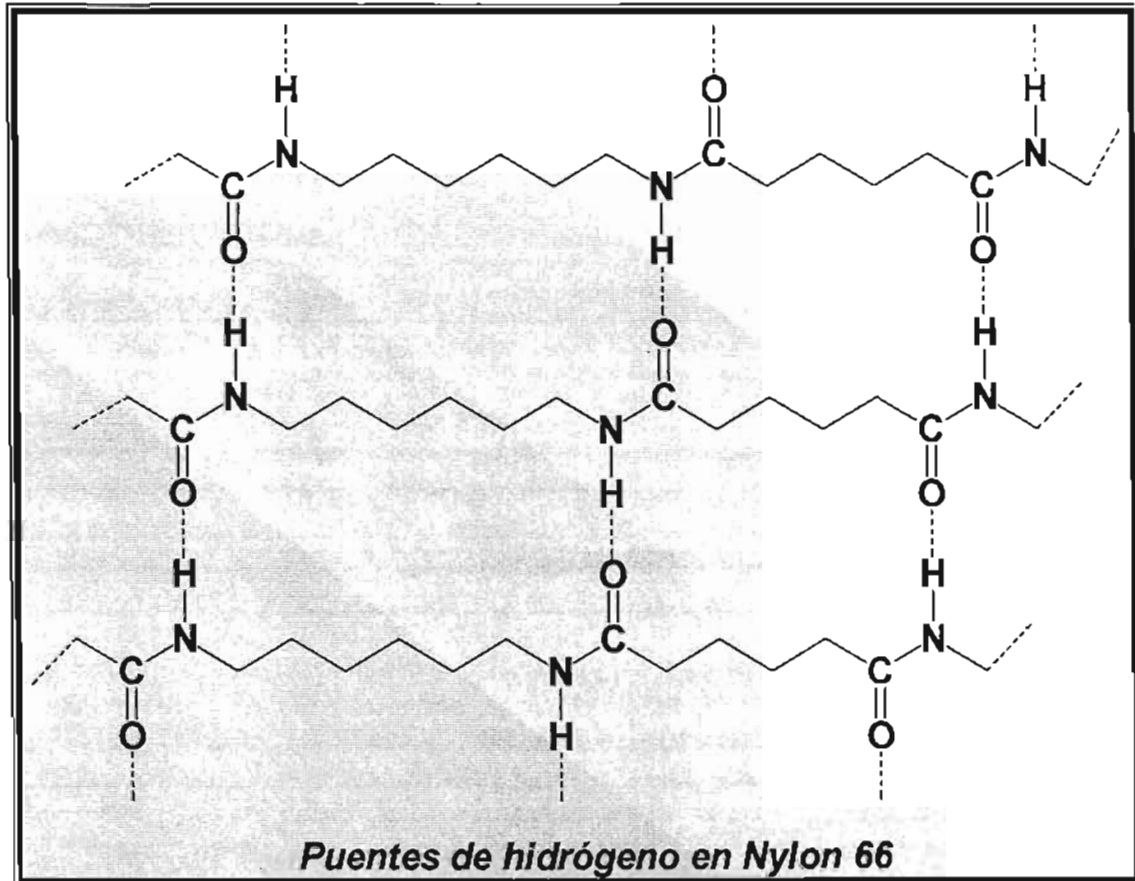
Dependiendo de la estructura molecular del polímero, se pueden clasificar en: elastómeros, fibras y plásticos.

Las **fibras** son materiales largos y delgados como hilos, que se caracterizan por su gran resistencia tensil (a la tracción) a lo largo de la fibra. Las moléculas se encuentran alineadas una con otra a lo largo de la fibra: El alineamiento se logra por un estiramiento del material polimerizado.

Además de la estructura lineal del polímero, se encuentran presentes fuerzas de atracción intermolecular, que mantienen esta alineación.

Las fibras sintéticas más importantes son poliamidas (nylon), poliésteres (Dacrón, Terylene, Vycron), poliacrilonitrilo (Orlón, Acriban), poliuretanos (Spandex y Vycra) y polipropileno isotáctico.

En el nylon y poliuretanos, las cadenas moleculares permanecen unidas entre si por medio de puentes de hidrogeno;



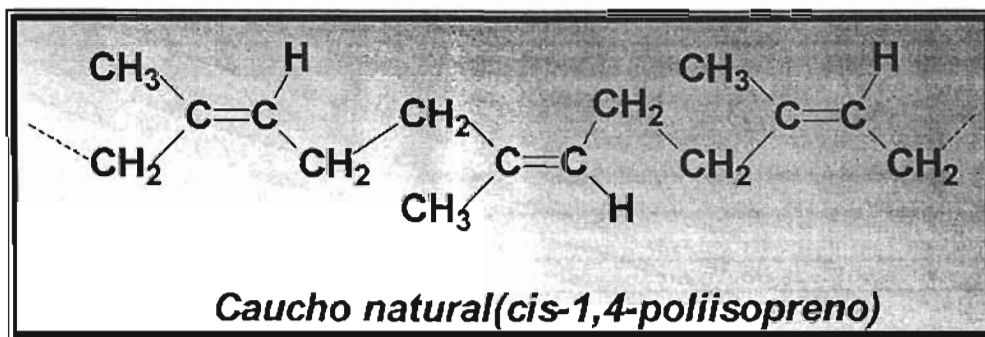
En los poliésteres y en el poliacrilonitrilo hay fuertes atracciones dipolo-dipolo, debido a los grupos carbonilo y ciano, que son fuertemente polares.

Un **elastómero** posee alto grado de elasticidad que es característico del caucho, puede ser deformado considerablemente y volver a su forma original. Sus moléculas tienen una configuración desordenada.

No contienen grupos muy polares o lugares aptos para puentes de hidrógeno. Sus fuerzas intermoleculares son más débiles que las presentadas en las fibras. No ocurre un acoplamiento entre cadenas, provocando que no sean adecuadas las fuerzas de Van der waals.

Existen algunos enlaces transversales entre las cadenas, que son lo suficientemente fuertes para prohibir el deslizamiento entre las cadenas, pero permiten la flexibilidad del polímero, al regresar a su estado original una vez que cesan las fuerzas que lo están deformando.

El caucho natural es un elastómero, que tiene cadenas largas y flexibles, con fuerzas intermoleculares débiles y enlaces transversales ocasionales. No tiene grupos fuertemente polares y su fuerza intermolecular queda en función de las fuerzas de Van der waals, que son débiles debido a la configuración cis de sus dobles enlaces;



Uno de los más importantes elastómeros, es el SBR, un copolímero del butadieno (75%) y estireno (25%) que se produce por medio de radicales libres, muy utilizado en la manufactura de neumáticos para automóviles.

La estructura molecular de los **Plásticos** es de dos tipos: moléculas largas, ya sea lineales o ramificadas y moléculas de red espacial.

Los polímeros lineales y ramificados pueden ser más o menos cristalinos e incluyen algunos de los materiales que también se utilizan como fibras: nylon, por ejemplo.

Comprenden los diversos polialquenos; polietileno, policloruro de vinilo, poliestireno. Estos polímeros se ablandan por calentamiento, razón por la cual se les denomina termoplásticos; y es en este estado que se les puede moldear o extruir.

Los polímeros de red espacial (o resinas) tienen muchos enlaces transversales, por lo que forman estructuras tridimensionales, aunque irregulares y rígidas, como en el caso de las resinas fenol-formaldehído o urea-formaldehído.

El calentamiento no los ablanda, puesto que el ablandamiento requiere de la ruptura de enlaces covalentes, sino que puede endurecer más el material, razón por lo cual se les llama termofijos.

Capítulo II: Producción del Nylon 6.

2.1: Descripción del proceso.

Si la caprolactama esta en estado sólido se pasa primero a un molino de martillo y después a un tanque fundidor , que se mantiene a una temperatura de 80 a 90°C, por medio de agua caliente que circula por un serpentín y una chaqueta , en una atmósfera inerte de nitrógeno para evitar su oxidación .

En el caso de recibir la caprolactama líquida, por medio de una pipa, esta se descarga a un tanque de almacenamiento, previa autorización del laboratorio de control técnico, donde se comprueba su calidad.

El diagrama de flujo del proceso se muestra en la página 35, que inicia de la siguiente forma:

La caprolactama es bombeada al tanque mezclador, donde se le adiciona ácido acético y agua. Después se envían al tanque intermedio, donde una muestra se envía al laboratorio de control técnico, para verificar la acidez y ajustándolo si esta fuera de estándar, de aquí se bombea hacia unos dosificadores (dosificadores de caprolactama).

Todo el sistema desde el tanque fundidor hasta los dosificadores, incluyendo tuberías, se encuentran enchaquetados, donde circula agua caliente (80-90°C) y además cuentan con aislante térmico.

En un sistema aparte se prepara con agua una dispersión de dióxido de titanio, utilizado como mateante del nylon, esta dispersión es filtrada y se bombea hacia unos tanques intermedios. Para después ser enviada a unos dosificadores (dosificadores de titanio).

La dosificación tanto de la dispersión de titanio como de caprolactama, se realiza por medio de unos pequeños recipientes cilíndricos llamados canjilones, dispuestos sobre un disco parcialmente sumergido en la dispersión de dióxido de titanio o en la caprolactama líquida.

Al girar el disco, los canjilones se llenan y descargan sobre una copa donde cae directamente al reactor.

El reactor posee un sistema de calefacción dividido en cuatro zonas y como medio de calentamiento utiliza dífilo (mezcla de difenilo y oxido de difenilo).

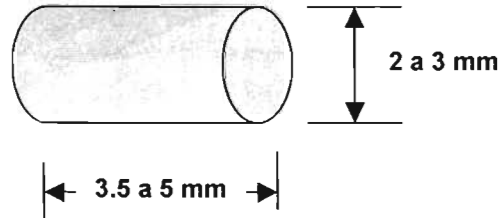
En cada zona del reactor, se utiliza un controlador de temperatura, que envía la señal necesaria a las resistencias eléctricas para calentar el dífilo, utilizado como medio de calentamiento.

En el reactor se consigue un tiempo de residencia de 20 hrs., con un grado de conversión de aproximadamente el 90 %.

El reactor es continuo y tiene acoplado un rectificador y un condensador para captar y descargar el agua que se evapora durante el proceso de polimerización, recuperando el ácido acético y la caprolactama.

El nylon sale del reactor por una serie de boquillas como un haz de hilos, en forma líquida, que es enfriado inmediatamente sumergiéndolo en agua fría (7- 15 °C) desmineralizada en unas bateas, donde se logra solidificarlo.

Este haz de hilos solidificados, son jalados continuamente por unos rodillo de tracción, que alimentan el nylon hacia una cortadora, que secciona en longitudes de 5 mm y diámetro de 3 mm aproximadamente , el cual se ajusta con los rodillos de tracción, al nylon obtenido después del corte, se le llama "chip " nylon:



El "chip" cae por gravedad a unos contenedores, de donde se envía neumáticamente con nitrógeno por medio de un soplador hacia los tanques lavadores, para remover el monómero y los oligómeros que resultan de la reacción incompleta (aproximadamente 90% de conversión).

El lavado del "chip", se puede hacer con un sistema continuo o batch. En la operación continua, se hace circular agua desmineralizada a 90°C a contraflujo con el "chip", en el tanque de lavado.

Para el sistema batch o por etapas, se llevan a cabo con cinco lavados;

Los primeros cuatro lavados es con agua desmineralizada a 90°C haciéndolo circular de abajo hacia arriba en el tanque, el quinto lavado es con agua fría de 4 a 15°C.

El agua del primer lavado (que es la que posee mayor cantidad de monómero y oligómeros) es bombeada a una columna de destilación, donde se recupera la caprolactama que no reaccionó.

Al concluir la última etapa de lavado, se descarga por gravedad el chip y agua de lavado hacia un tanque goteador, donde se separa el agua de lavado, la cual se desgasifica, se calienta con vapor y se almacena en el tanque de agua de lavado para la cuarta etapa.

El chip húmedo se descarga en un secador rotatorio, donde sale con una humedad del 0.05% como máximo.

El secador rotatorio esta enchaquetado y aislado térmicamente, utilizando difilo (aceite térmico) como medio de transmisión del calor.El agua evaporada se succiona hacia unos condensadores.

El chip seco se envía neumáticamente con nitrógeno hacia unos tanques de almacenamiento llamados "bunkers".

De los "bunkers", el chip se envía al área textil, donde se procesa hasta obtener telas de nylon o mezclarlas con otras fibras como poliéster, algodón, etc.

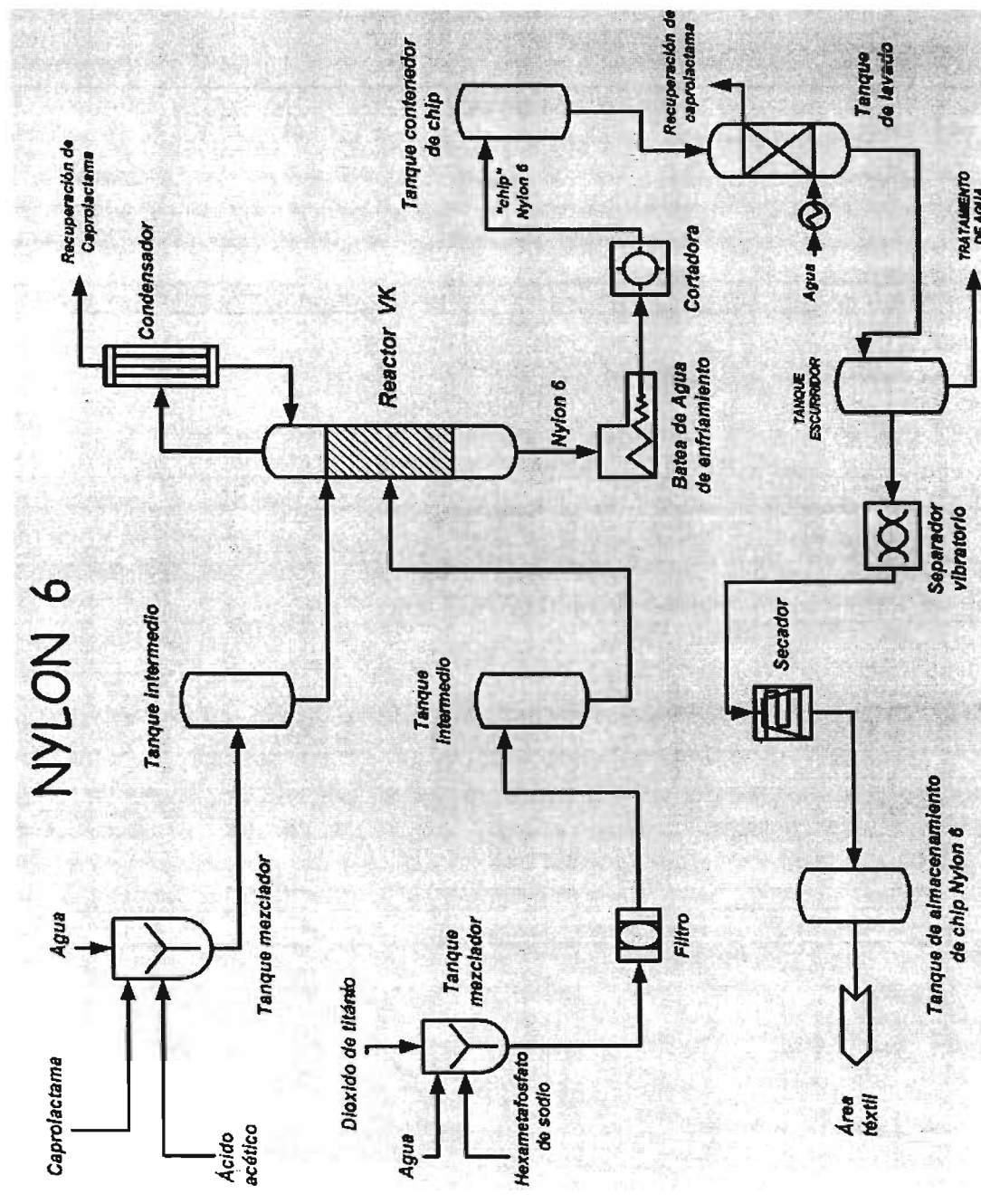


Diagrama de flujo del proceso de producción del Nylon 6

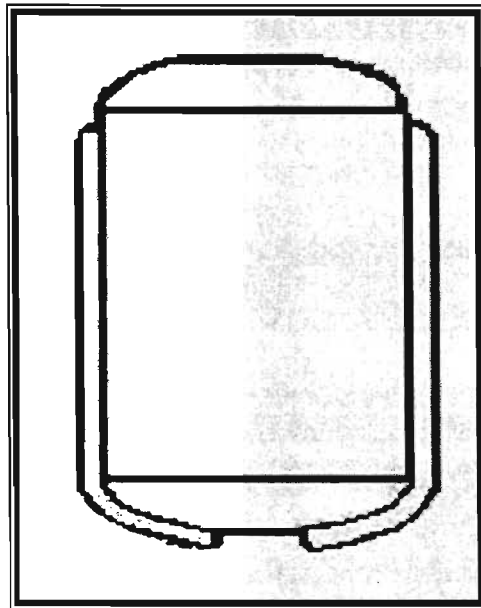
2.2 Descripción general del Equipo.

TANQUE FUNDIDOR:

Tanque cilíndrico y cabezas semiesféricas de acero inoxidable de aproximadamente 1769 litros, enchaquetado, donde circula agua a una temperatura de 80- 90 ° C y un recubrimiento exterior de aislante para minimizar la perdidas de calor hacia el medio ambiente.

Cuenta con un agitador.

En la parte superior cuenta con una tubería de alimentación de la caprolactama proveniente del molino o de la pipa, así como tuberías de entrada y salida de nitrógeno, que tiene por objetivo mantener una atmósfera inerte con el fin de evitar la oxidación de la caprolactama.



TANQUE MEZCLADOR:

Recipiente cilíndrico con cabezas semiesféricas de acero inoxidable de 1650 litros de capacidad, enchaquetado donde circula agua caliente (80-90°C) y con aislante térmico, para evitar perdidas de calor con el medio ambiente.

La función del mezclador es la de incorporar a la caprolactama el agua y el ácido acético.

También posee un sistema de agitación con una propela y una línea con nitrógeno, para mantener una atmósfera inerte.

TANQUE INTERMEDIO:

Del tanque mezclador se descarga por gravedad hacia el tanque intermedio pasando antes por un filtro.

Recipiente cilíndrico de acero inoxidable y cabezas semiesféricas, enchaquetado y con aislante térmico con capacidad de 1400 litros.

Por medio de una bomba de inmersión se pasa al los dosificadores.

DOSIFICADORES:

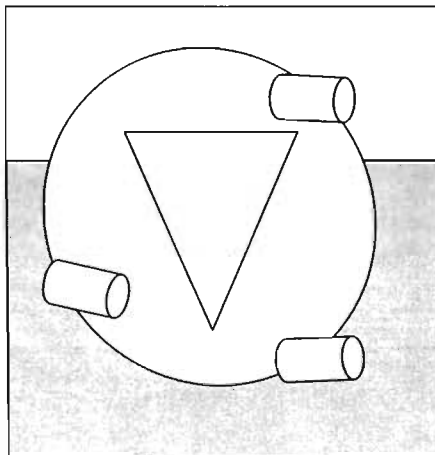
Sistema provisto de discos que tiene una serie de recipientes cilíndricos, llamados canjilones.

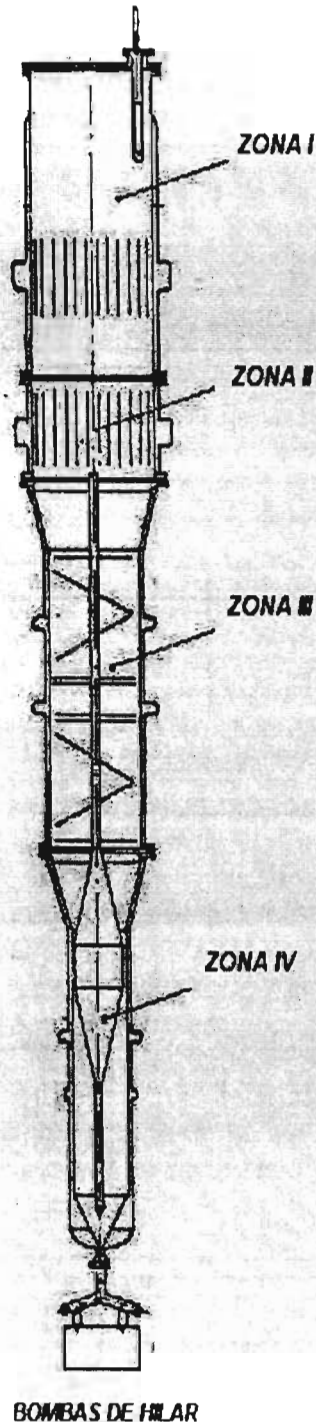
Estos discos se encuentran parcialmente sumergidos en la solución proveniente de los tanques intermedios.

Al girar el disco los canjilones se sumergen en la solución y se llenan de él, después se descargan hacia una copa, que por medio de una tubería, alimenta directamente al reactor.

Tanto el disco como los recipientes son de acero inoxidable

La dosificación se controla variando el número de revoluciones de cada disco.



REACTOR:

Recipiente tubular de acero inoxidable, con disminución en su diámetro de la parte superior a la inferior.

Esta dividido en cuatro zonas enchaquetadas y aisladas térmicamente.

En las chaquetas se utiliza como medio de calentamiento un aceite térmico calentado por medio de un sistema de calderas con resistencias eléctricas.

En la primera zona se encuentra a 273°C.

En la zona II se mantiene a una temperatura de 266°C.

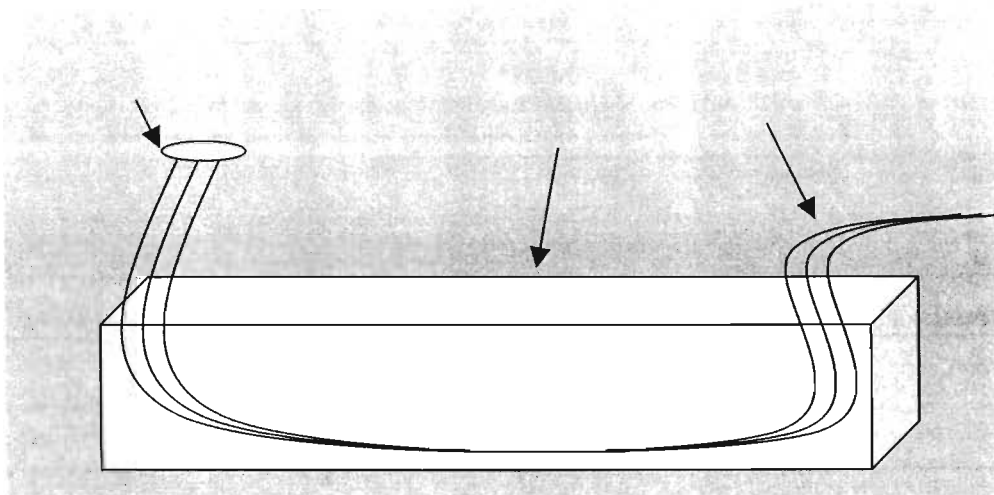
En la zona tres se encuentra a una temperatura de 256°C y en la zona IV a 240°C.

En el reactor se alcanza un tiempo de residencia de 20 hrs., con una conversión aproximadamente del 90% en la reacción.

En la parte inferior cuenta con unas bombas que hacen pasar el nylon 6 líquido por unas boquillas, para salir como un haz de hilos, que caen a una batea de agua de enfriamiento, donde se solidifica el nylon 6.

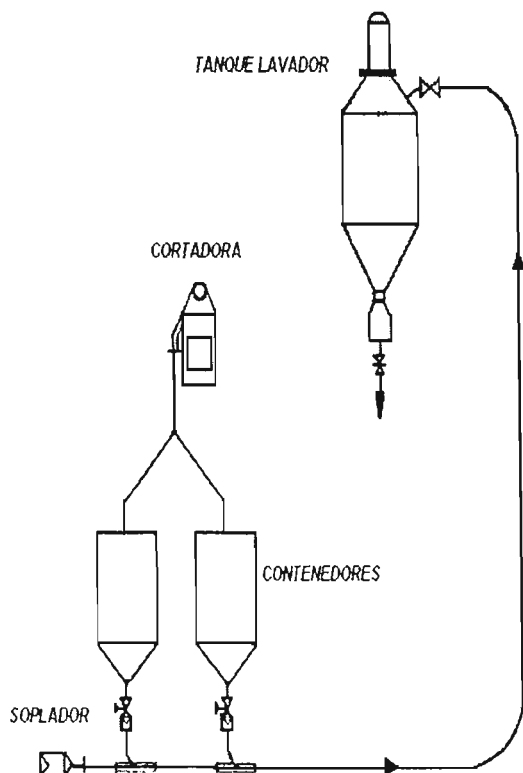
BATEA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO:

Recipiente de acero inoxidable en forma de prisma rectangular de aproximadamente 4m de longitud, 60 cm de ancho y 80 cm de profundidad.



Se utiliza para solidificar el haz de hilos del nylon 6 provenientes de las bombas de hilar del reactor, con agua desmineralizada que se encuentra a una temperatura de 10 a 15°C.

Los hilos solidificados son llevados a los rodillos de una cortadora.



CORTADORA Y CONTENEDORES:

Dispositivo electromecánico que tiene unos rodillos para jalar el hilo solidificado de nylon 6 proveniente de la batea de agua de enfriamiento y unas cuchillas de acero inoxidable para hacer cortes de aproximadamente 1mm de diámetro al nylon 6 ("chip").

Estos "chips" de nylon 6 caen por gravedad a unos contenedores de acero inoxidable, con cuerpo cilíndrico y cabezas cónicas.

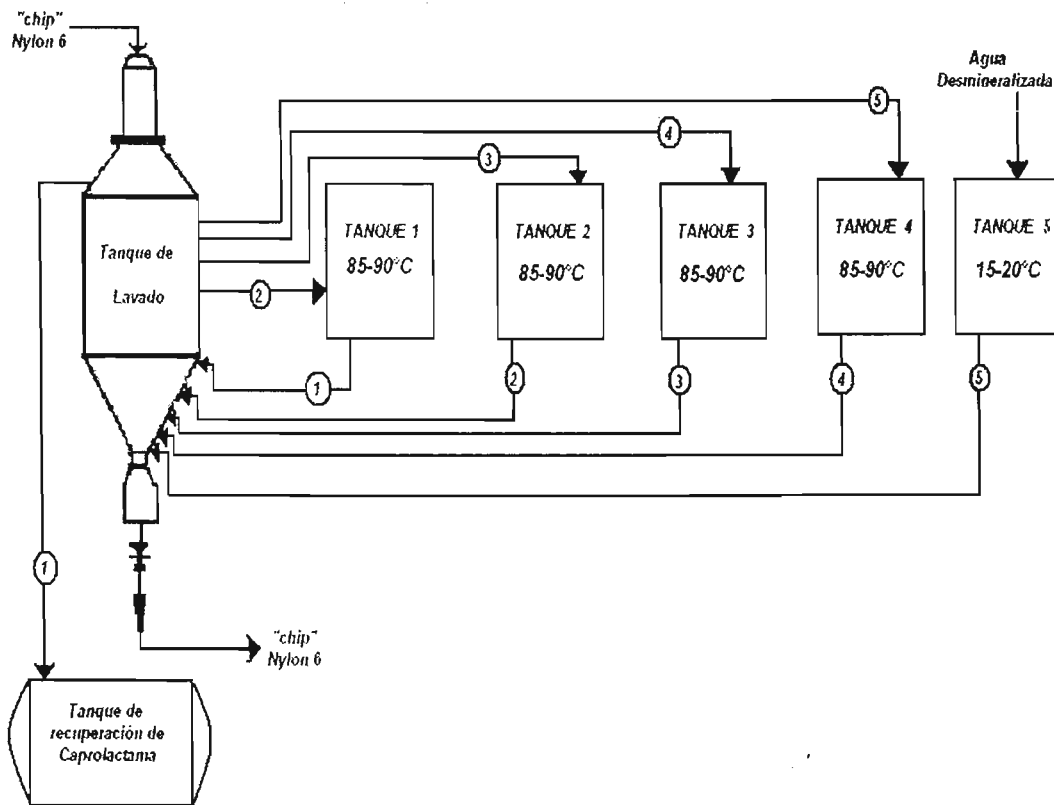
De los contenedores, el "chip" nylon 6 es enviado neumáticamente con nitrógeno por medio de un soplador al tanque lavador.

TANQUE LAVADOR:

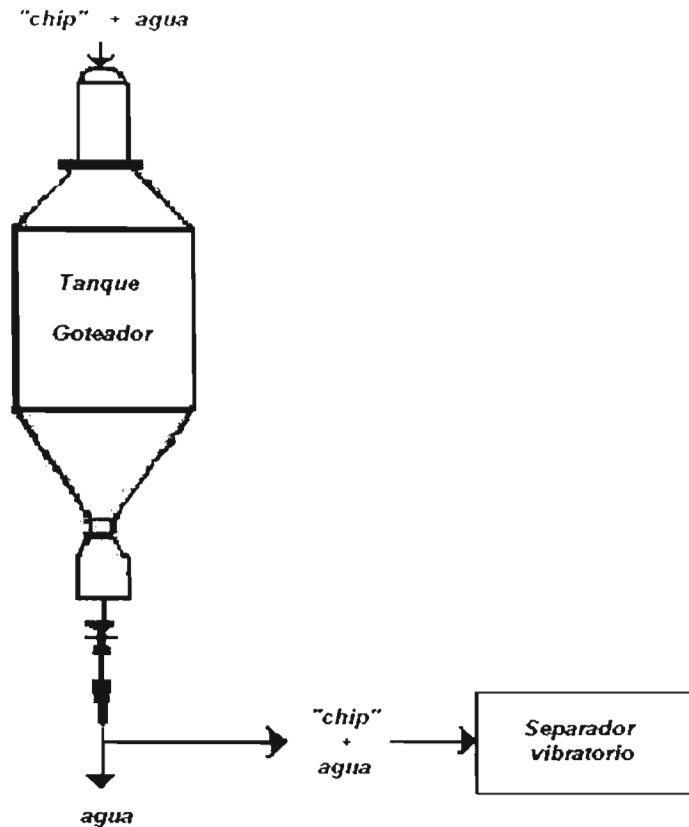
Recipiente de acero inoxidable, con cuerpo cilíndrico y cabezas cónicas.

Dado que no toda la caprolactama se convierte en nylon 6, cerca del 10% es monómero y oligómero y dado el uso textil posterior que se le da al nylon 6, es necesario eliminarlos por medio de lavados con agua.

El sistema de lavado lo complementan 5 tanques de acero inoxidable, enchaquetados y con aislante térmico, que contienen el agua que se utiliza para los lavados del "chip".



El "chip" que sale del tanque lavador se envía a un tanque goteador.

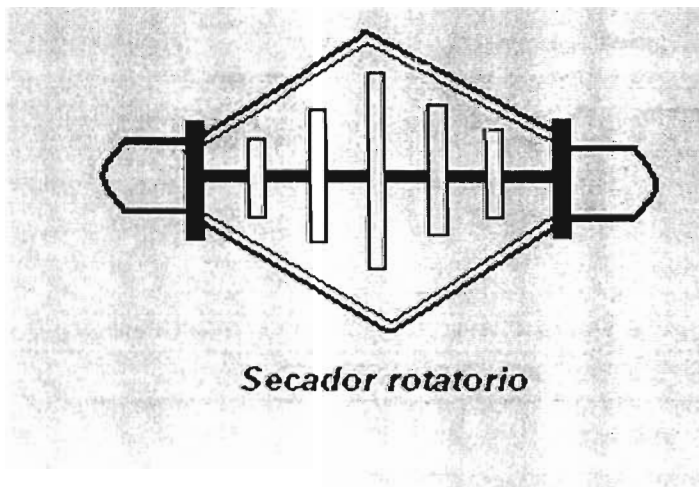
TANQUE GOTEADOR:

Recipiente de acero inoxidable, con cuerpo cilíndrico y cabezas cónicas.

Recibe el "chip" nylon 6 y agua provenientes del último lavado del tanque lavador.

Actúa como un escurridor donde se trata de separar el agua del "chip", donde el agua es llevada a un tanque de tratamiento del agua.

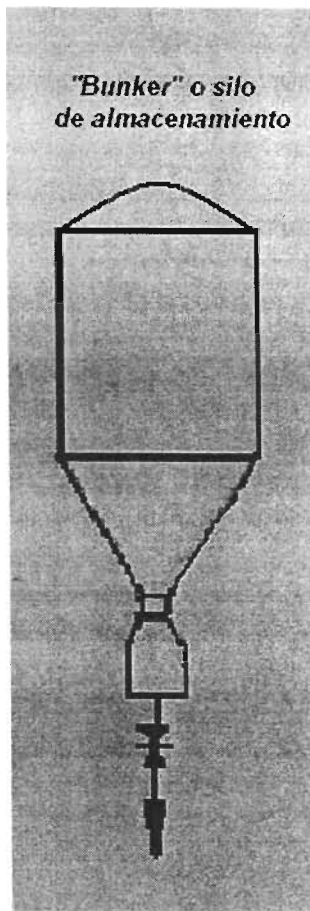
El "chip" que lleva todavía agua es enviada a un separador vibratorio, donde por medio de vibración se intenta separar la mayor cantidad de humedad del "chip" antes de ser llevados a un secador rotatorio.

SECADOR ROTATORIO:

Recipiente bicónico de acero inoxidable, encaquetado y aislado térmicamente.

En su interior contiene una serie de paletas de acero inoxidable y encaquetadas, donde circula el medio de calentamiento, para proveer al "chip" de una mayor superficie de calor.

El "chip" debe salir con una humedad menor o igual al 0.05%.

“BUNKER” O SILO DE ALMACENAMIENTO:

Recipiente de acero inoxidable, con cuerpo cilíndrico, una cabeza semiesférica y la otra cónica.

El "chip" que sale del secador rotatorio es enviado neumáticamente con nitrógeno por medio de un soplador, hacia los "bunkers" o silos de almacenamiento.

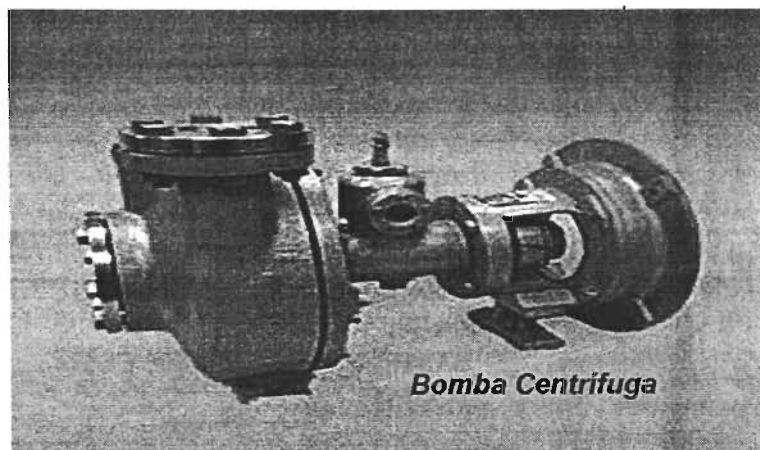
De aquí el nylon 6 será enviado al área textil.

BOMBA (TRANSPORTE DE LA CAPROLACTAMA LIQUIDA):

En la industria química se utilizan bombas de todo tipo, pero principalmente las de tipo centrífuga. Están diseñadas para tener la máxima aplicación en servicio de proceso sin la necesidad de cambios considerables en materiales, empaques, motores, etc.

Los materiales de su construcción de las partes principales incluyen bronce, hierro, aceros al carbón, plástico, grafito, porcelanas, acero inoxidable y otros materiales sintéticos resistentes a la corrosión y erosión.

Para el caso del bombeo de caprolactama líquida, el tipo de bomba utilizada es centrífuga de acero inoxidable, para evitar que no hubiera partículas de corrosión o erosión que fuera a interferir en el tratamiento textil del nylon 6.



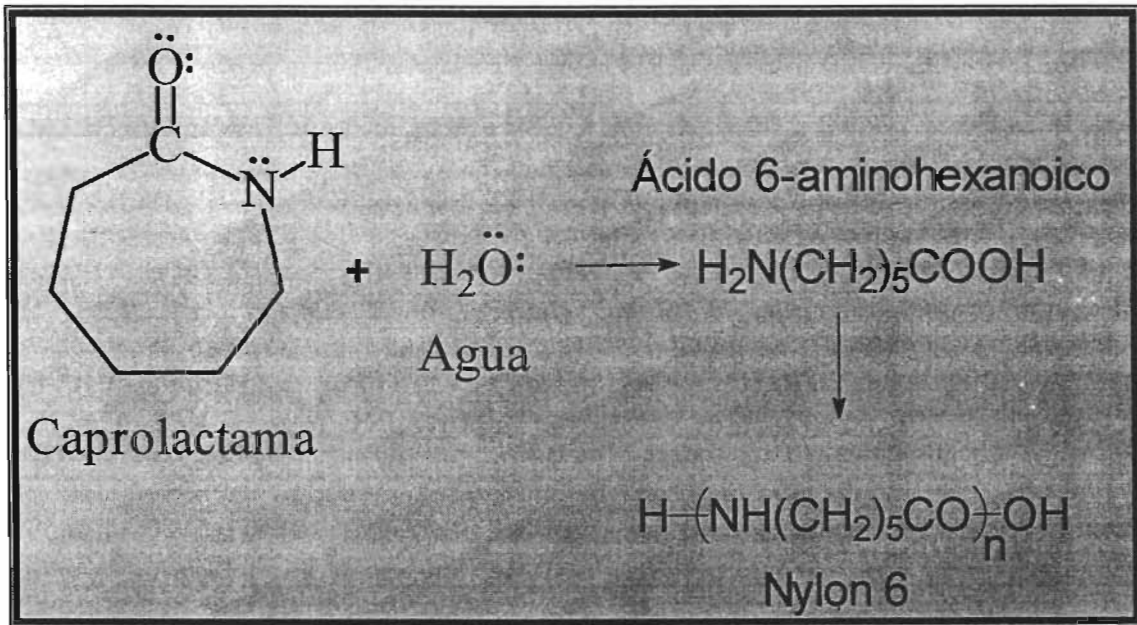
CAPITULO III: MECANISMO DE LA REACCIÓN.

El nylon 6 es la poliamida formada por la polimerización de la apertura de anillo de la caprolactama.

El agua es primero añadida para hidrolizar la caprolactama, provocando la apertura del anillo y generando el ácido 6-aminohexanoico, el cual es calentado para producir la deshidratación y polimerización.

La polimerización de la caprolactama puede ser iniciada por ácidos, bases, o agua. La polimerización hidrolítica iniciada por agua, es la más común en la industria. El proceso de polimerización puede ser llevada a cabo en un sistema batch o continuo, mediante el calentamiento del monómero en presencia de 5-10% de agua a temperaturas de 250-280°C por periodos de 12 a más de 24 hrs.

La secuencia de la reacción de polimerización, puede ser descrita como sigue:

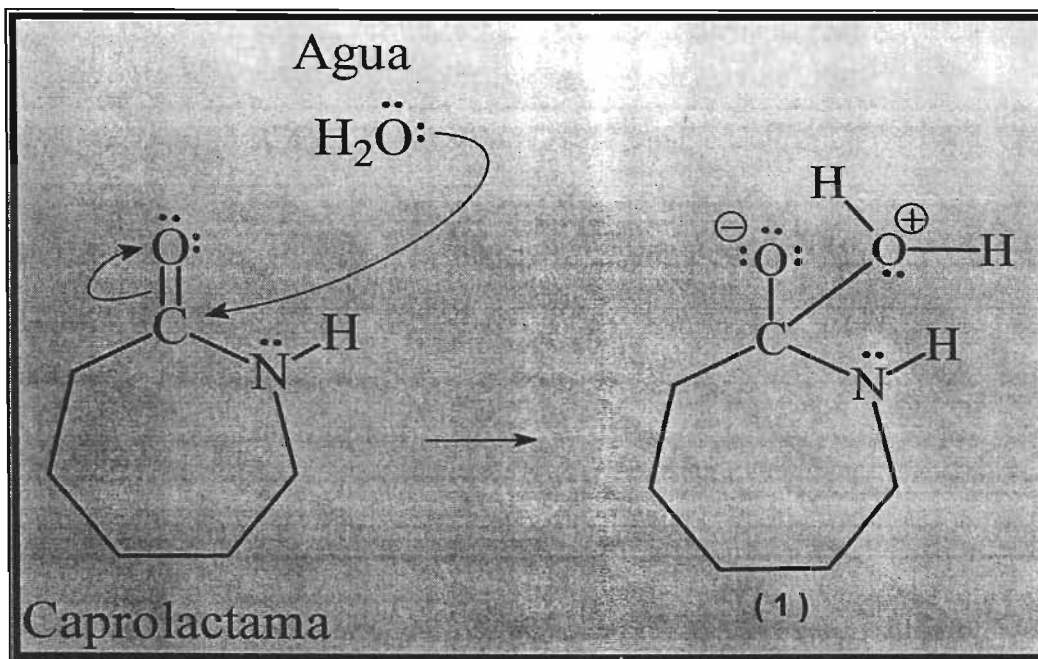


La adición de pequeñas, pero específicas cantidades de ácido monofuncional a la polimerización, es casi siempre usado para el control del peso molecular y catalizar la reacción. La polimerización es controlada para producir un peso molecular promedio de 18,000-30,000, dependiendo del uso final.

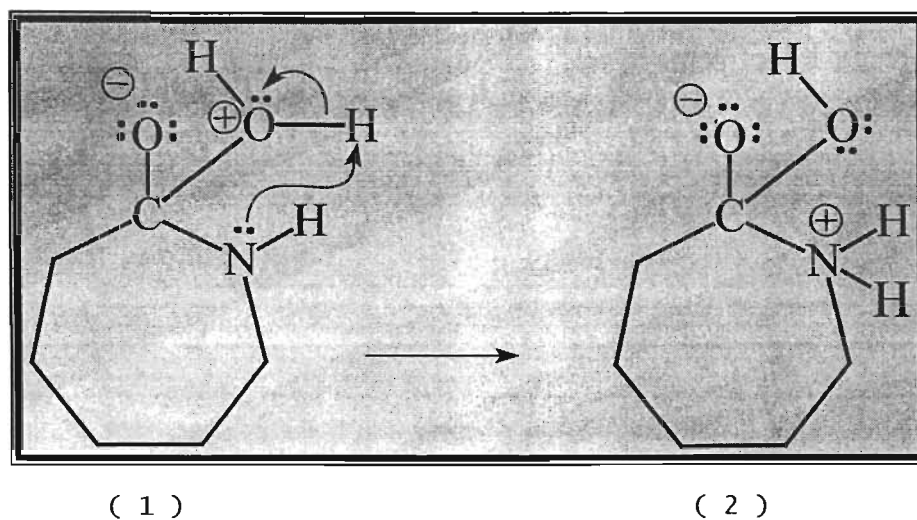
El nylon 6 puede ser fácilmente polimerizado a presión atmosférica. Un proceso continuo fue desarrollado en 1940, llamado el proceso **VK**, que proviene del Alemán *vereinfacht kontinuierlich*, o simplemente continuo. El proceso **VK** es muy utilizado en la industria.

3.1. Apertura del anillo:

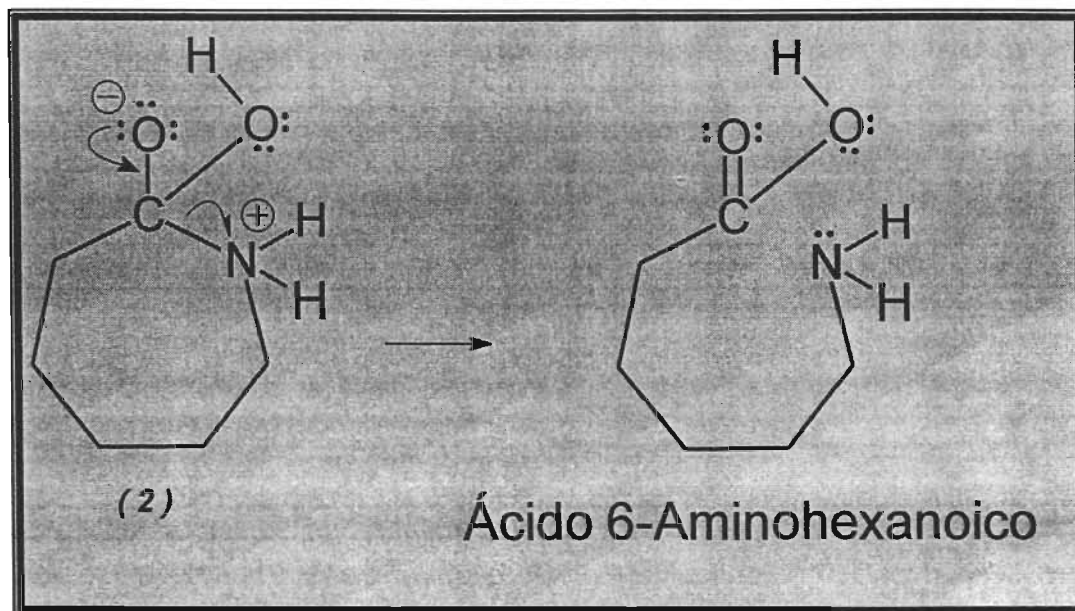
Un par de electrones del agua, que actúa como nucleófilo, ataca al carbonilo de la caprolactama, el oxígeno toma un par de electrones del doble enlace del carbonilo;



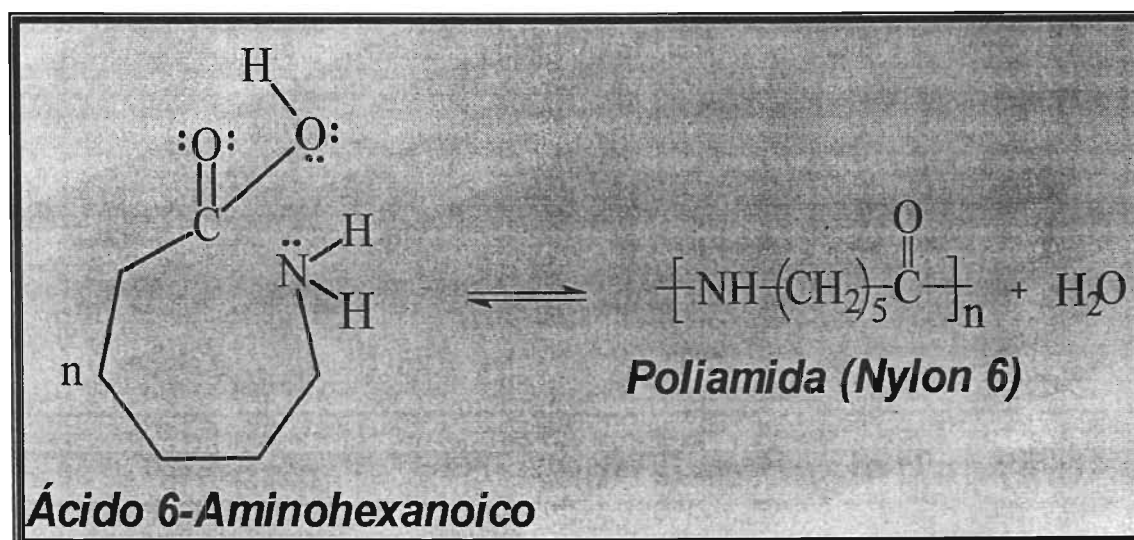
El par de electrones de átomo de nitrógeno de 1 acepta un hidrógeno, por lo que el átomo de oxígeno correspondiente, recupera un par de electrones para formar 2;



El par de electrones entre la unión C-N de **2** migra hacia el átomo de nitrógeno cargado positivamente, regenerándose el doble enlace del grupo carbonilo, dando lugar a la apertura del anillo de la caprolactama para formar el ácido 6-aminohexanoico;



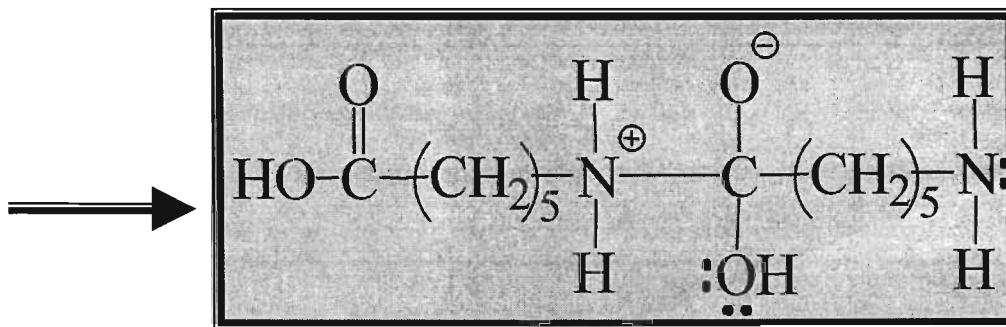
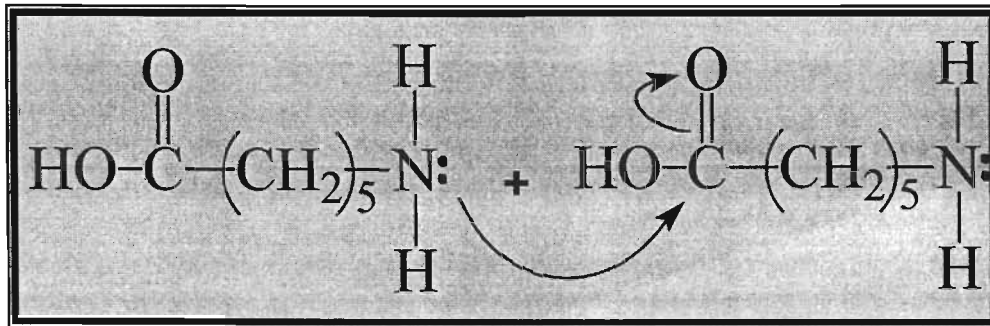
La obtención de n moléculas del ácido 6-aminohexanoico, da lugar a la producción de la poliamida nylon 6 y agua;



3.2. Mecanismo de la polimerización:

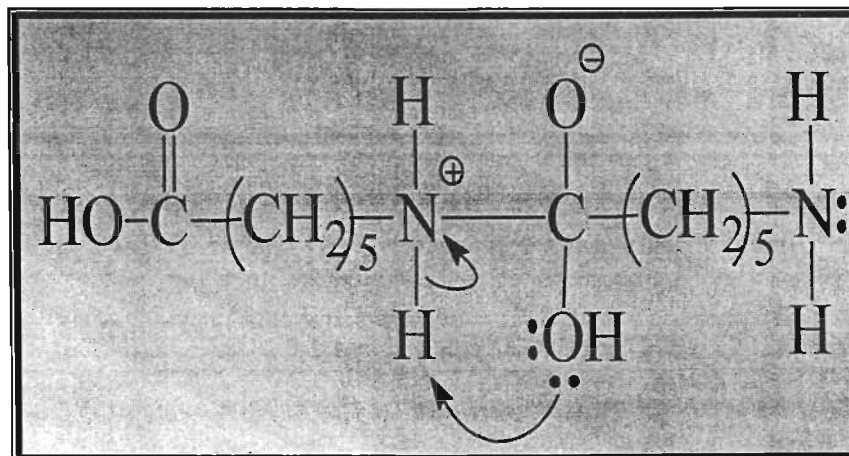
Una vez abierto el anillo de la caprolactama, se lleva a cabo la polimerización por condensación entre las moléculas del ácido 6-aminohexáico.

El par de electrones del nitrógeno de una molécula de ácido 6-aminohexáico ataca al carbono del carbonilo de la otra molécula de ácido 6-aminohexanoico, formando **3**;

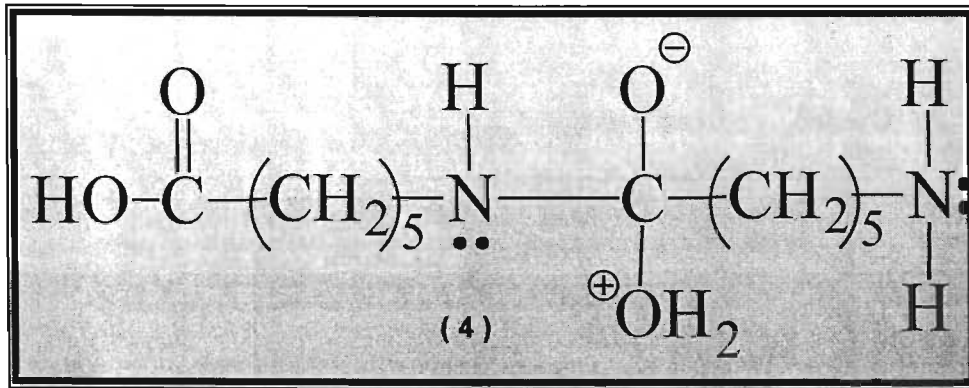


(3)

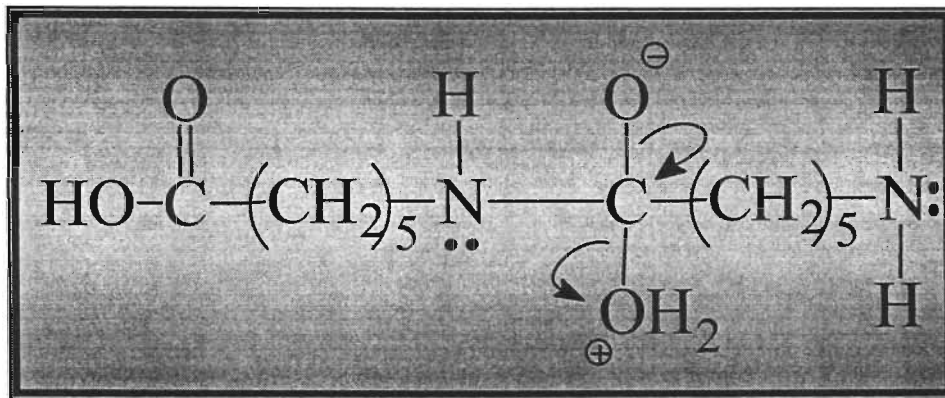
El oxígeno del grupo hidroxilo ataca al hidrógeno del nitrógeno y el nitrógeno recupera su par de electrones;



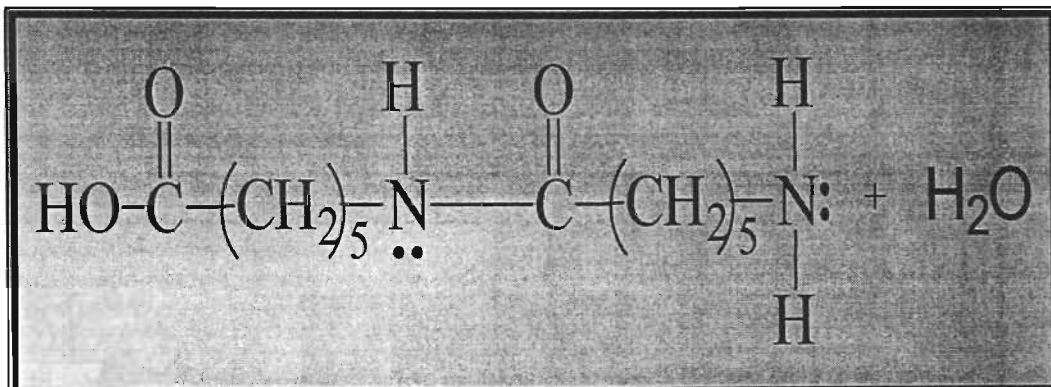
El nitrógeno queda con un par de electrones y el grupo hidroxilo queda con carga negativa, formándose 4:



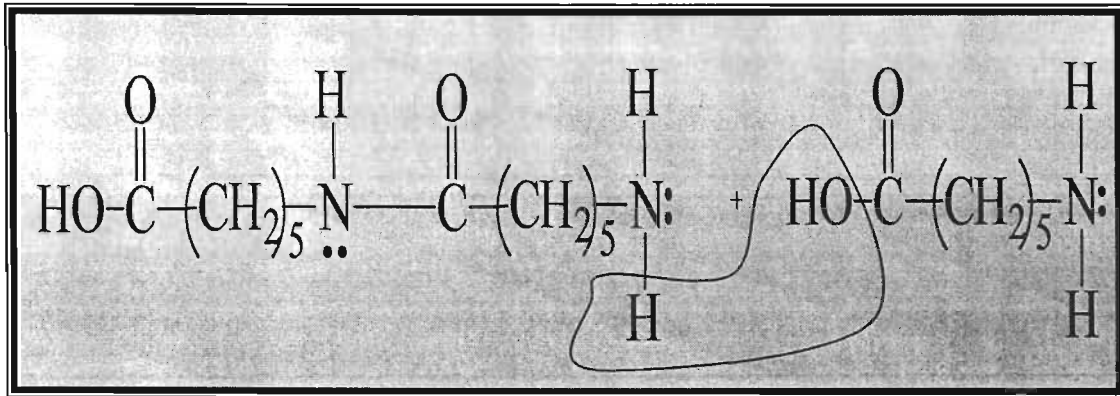
El oxígeno de carga negativa restablece el doble enlace con el carbono y el oxígeno de carga positiva atrae el par de electrones del enlace con el carbono:



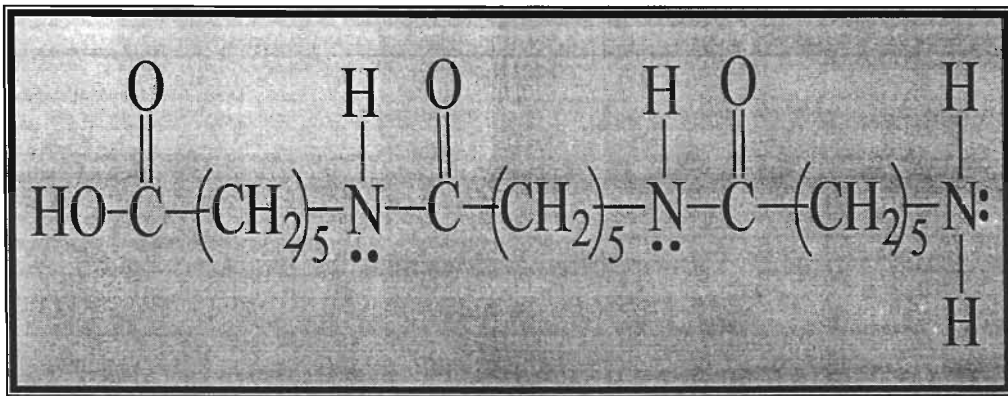
Obteniéndose un dímero (dos unidades básicas o monómeros $(\text{CO}(\text{CH}_2)_5\text{NH})_2$ y agua:



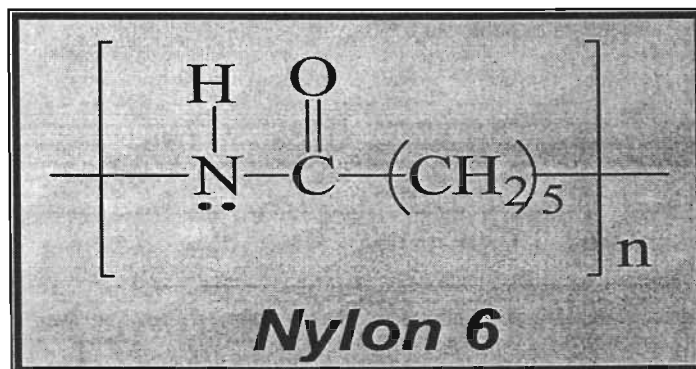
El dímero está listo para reaccionar con otra molécula de ácido 6-aminohexanoico;



Formando un trímero (tres monómeros $(\text{CO}(\text{CH}_2)_5\text{NH})_3$);

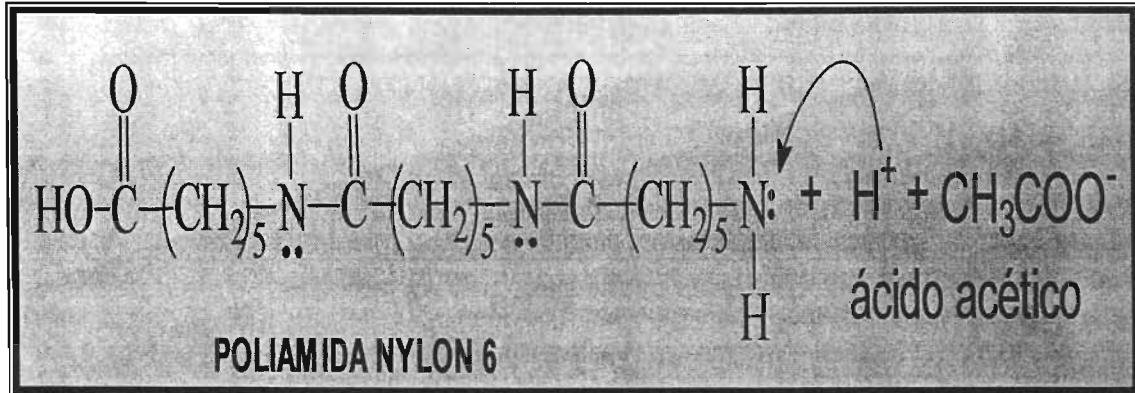


Y así sucesivamente va creciendo la cadena del polímero de la poliamida nylon 6;

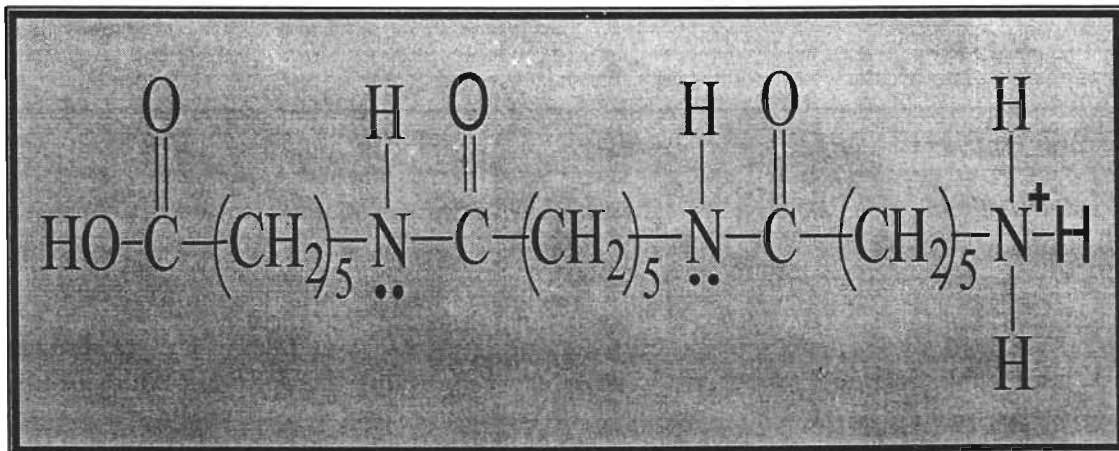


El crecimiento de la cadena es detenido por el ácido acético, que a parte de funcionar como un catalizador, actúa también como terminador de la cadena,

El ión hidrógeno del ácido acético, actúa sobre el par de electrones del nitrógeno de la amina;



Provocando que se detenga el crecimiento de la cadena , y por lo tanto, el peso molecular del nylon 6:



CAPITULO IV: TRABAJO EN LA PLANTA.

En este capitulo se describe propiamente lo que seria la experiencia obtenida en la planta industrial como supervisor de producción, contemplando un día de trabajo normal y una situación de emergencia.

4.1) Un día de trabajo Normal:

Los turnos de trabajo en la planta eran los siguientes: El primero de 6:00 AM. a 14:00 hrs., el segundo de 14:00 a 22:00 hrs. y el tercer turno de 22:00 a 6:00 hrs.

Al llegar a la planta, lo primero que se tenía que hacer era ponerse la ropa en el vestidor, para trabajar en la planta, después presentarse con el supervisor que estaba en turno. Este de forma verbal daba información del estado de las distintas secciones del proceso, además de que por escrito en una bitácora se debía hacer un recuento de lo sucedido en cada parte del proceso y los pendientes.

De esta forma, se recibía el turno, enseguida se tenía que organizar a los trabajadores a las distintas etapas del proceso. Cabe señalar que los trabajadores casi por lo general no variaban de etapa o sección.

Aunque no había un formato especial para la bitácora, podemos describir su estructura de la siguiente forma:

Área: Polímer	
Turno	Fecha
Supervisor	
Trabajadores	
Nombre: _____	Sección: _____
Nombre: _____	Sección: _____
• Tanque Intermedio de Lactama	
• Tanque Intermedio de Titanio :	
• Reactor VK :	
• Cortadora :	
• Tanque de Lavado :	
• Secadores :	

Antes de hacer un recorrido en el área del nylon, como una de las actividades del supervisor, se tenía que hacer una lectura de la bitácora para tomar en cuenta la información donde se ponía mayor énfasis o saber cuales eran las acciones o pendientes más urgentes.

En el recorrido que se efectuaba por cada una de las secciones del proceso productivo, era para detectar o ser informado por los trabajadores si había algún problema con el equipo, instrumentos o variables del proceso.

Al percatarse o ser informado por una falla en un equipo, línea o instrumento, por ejemplo una fuga en una válvula, en una bomba, etc. Se hacia un reporte o servicio de trabajo (S.T.) y se enviaba al departamento de mantenimiento.

El área de mantenimiento se dividía en mecánico, eléctrico e instrumentos.
El formato del S.T. era:

MANTENIMIENTO MECANICO	KIMEX S.A.
SOLICITUD DE TRABAJO	
AREA: _____	
EQUIPO: _____	UBICACIÓN: _____
DESCRIPCIÓN DE LA FALLA : _____ _____	
RECEPCIÓN DEL REPORTE EN MANTENIMIENTO	
FECHA : _____ HORA: _____ TURNO: _____	
_____ SUPERVISOR DE MANTO.	_____ SUPERVISOR DE PRODUCCIÓN
ENTREGA DEL EQUIPO POR MANTENIMIENTO	
FECHA : _____ HORA: _____ TURNO: _____	
_____ SUPERVISOR DE MANTO.	_____ SUPERVISOR DE PRODUCCIÓN

En estas acciones también se debía hacer un seguimiento para ver si el área de mantenimiento ya estaba reparando el daño, de no ser así se insistía de nueva cuenta, o se notificaba al jefe del área nylon ("polimer").

Descripción breve en cada una de las secciones del proceso :

La información contenida en cada parte de la bitácora, es un relato de las actividades que el supervisor realizó durante su turno de trabajo y que se podrían dividir en cada parte o sección del proceso de la siguiente forma:

***Recepción de la caprolactama:**

La caprolactama era traída por pipas y antes de ser descargada en los tanques donde se almacenaba, se enviaba una muestra al laboratorio de control de calidad, donde se le hacían algunas pruebas como de viscosidad, índice de refracción, humedad, contenido de fierro y color .

En el laboratorio daban su resultado al compararlo con unos estándares. De acuerdo con esta información el supervisor de producción daba el consentimiento o desestimiento para la descarga (liberación) de la materia prima.

Si no era aceptada la caprolactama en las condiciones que se traía, el supervisor pasaba un reporte al jefe del área, junto con las pruebas del laboratorio de control de calidad.

***Tanques intermedios :** En el caso de los tanque conteniendo caprolactama, se tenía que informar con el operador o trabajador que estaba a cargo en ese turno si todo estaba dentro de los niveles óptimos de temperatura y nivel del tanque.

Si el nivel estaba por debajo del recomendado el operador debía abrir y cerrar las válvulas adecuadas para enviar la caprolactama de los tanque de almacenamiento hasta los tanques intermedios, esta acción era reportada al supervisor que a su vez lo anotaba en la bitacora.

En los tanques intermedios del dióxido de titanio, el trabajador de esta sección preparaba la suspensión con las cantidades ya establecidas de antemano.

Se enviaba una muestra al laboratorio de control de calidad para verificar su concentración, estos resultados eran enviados al supervisor para que tomara nota. y en caso de ser necesario se realicen las adecuaciones a la suspensión. También el supervisor preguntaba al trabajador acerca de los niveles en el tanque intermedio de titanio.

***Reactor VK :**

Aquí laboraban 2 operadores que se encargaban de distintas secciones del reactor. Por ejemplo en la parte de arriba se checaban que la alimentación al reactor, provenientes de los dosificadores, sea la correcta en condiciones de flujo y temperatura.

También tenían la responsabilidad de registrar las temperaturas de cada zona del reactor, cualquier caso anormal se daba aviso al supervisor, que hacía una inspección en el sistema de control de la caldera y solicitaba a mantenimiento eléctrico e instrumentos una revisión , para que hicieran los ajustes necesarios.

Otra actividad que tenían que desempeñar era en la descarga del nylon y su paso a través de la batea de agua de enfriamiento y la cortadora.

En la batea de agua de enfriamiento se debía verificar la temperatura (debía ser menor o igual a 15°C) y reportarla al supervisor cuando salía de este rango.

En la cortadora salían los "chips" de nylon que se enviaba una muestra al laboratorio de control de calidad para que realizaran algunas pruebas. Los datos arrojados en estas pruebas eran notificados al supervisor, que a su vez lo reportaba en la bitacora.

***Tanque Lavador :** En esta etapa había un trabajador que realizaba los lavados al "chip" y su trabajo consistía en abrir y cerrar las valvulas adecuadas para dejar pasar agua y el "chip", esto también implicaba anotar la temperatura del agua de lavado y reportar con el supervisor si salía del rango establecido (85-90°C).

***Secadores :** El operador a cargo de los secadores , tenía que estar pendiente de la temperatura y tiempo del secado del "chip" nylon , el supervisor tenía conocimiento del tiempo de secado de cada uno de los secadores por lo reportado en la bitacora.

Transcurrido el tiempo de secado (12 Hrs) , el supervisor tenía que verificar con el operador el alineamiento del secador para descargar el "chip" y enviarlo en forma neumática a unos tanque de almacenamiento ("bunkers"), para ser enviados posteriormente al área textil.

Del secador, el "chip" debía salir con una humedad menor al 0.08%

En resumen , parte de esta información era vertida en la bitacora del turno de trabajo por secciones, resaltando las variables que estaban fuera del rango establecido en el proceso y las acciones que se estaban tomando, que muchas veces involucraban a mantenimiento mecánico , eléctrico o instrumentos. También se debía anotar el tiempo de secado del "chip" de los secadores y si había alguna indicación o reporte del laboratorio de control de calidad.

Otra actividad también desempeñada por el supervisor era estar al pendiente de las medidas o equipo de seguridad de los operadores . Si se detectaba alguna deficiencia, ya sea por el supervisor, seguridad industrial o por el mismo operador, el supervisor tenía que hacer un vale al almacén para que se le proporcionara el equipo de seguridad, que tenía el siguiente formato:

ALMACEN		KIMEX S. A.	
AREA : _____		FECHA: _____	
TURNO: _____			
CLAVE	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	OBSERVACIÓN
_____ SUPERVISOR PRODUCCIÓN		_____ SUPERVISOR ALMACEN	

Otra de las actividades del supervisor, eran participar junto con el departamento de capacitación, en los cursos de capacitación a los trabajadores de nuevo ingreso, o de actualización a los trabajadores que ya laboraban en la producción del nylon-6.

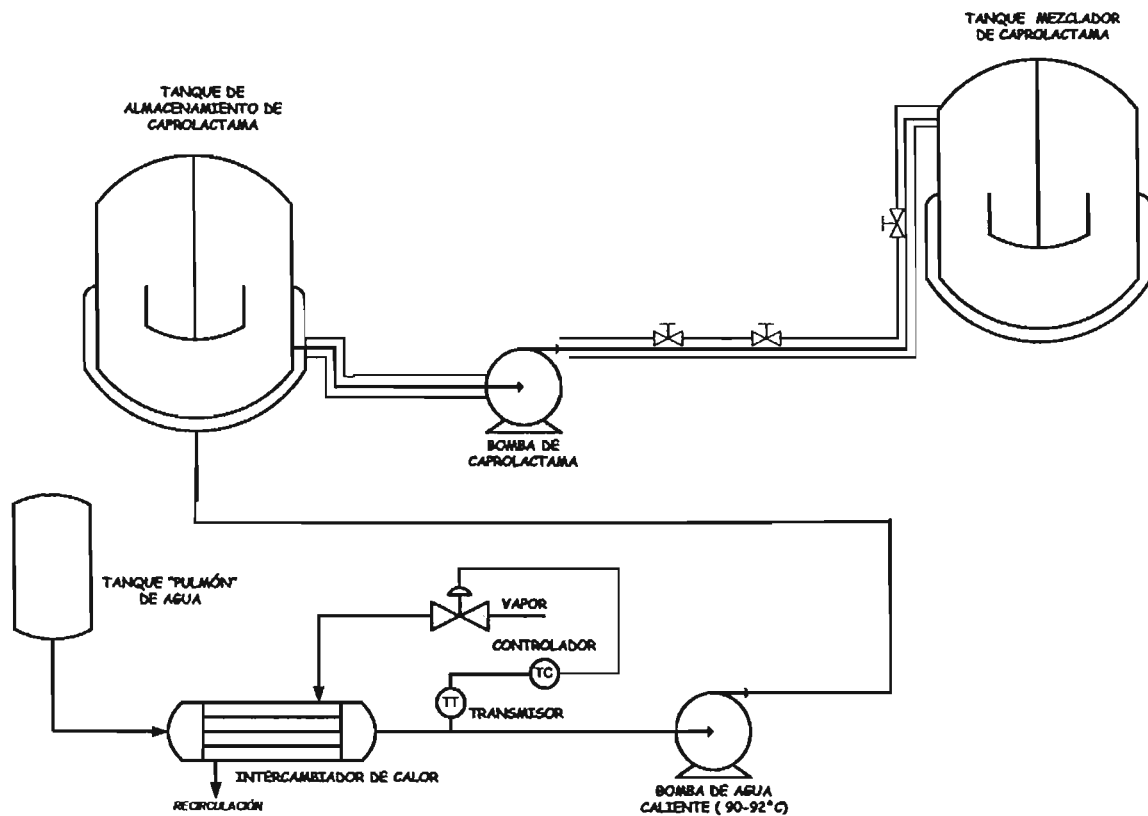
Esta capacitación consistía en dar una explicación en un diagrama a bloques de la producción del nylon-6; las materias primas que se utilizaban, sus principales características y los cuidados en su manejo, que incluían el equipo de seguridad y acciones a tomar en caso de un accidente.

Además de que físicamente se presentaban algunas sustancias que intervenían en el proceso, también se hacía un recorrido por el área para identificar el equipo, instrumentos y líneas principales.

4.2 Una situación de emergencia:

La caprolactama se bombeaba desde los tanques de almacenamiento (“playa de tanques”) hacia el tanque mezclador. Si por alguna razón se presentaba una falla en el suministro, era considerada una situación de emergencia.

En la siguiente figura se muestra el sistema almacenamiento-suministro de caprolactama:



Para poder resolver tal situación, es preciso tomar en cuenta el sistema, considerando las posibles fallas:

- 1) Falla en la bomba de suministro de caprolactama.
- 2) Falla en la bomba de suministro de agua caliente.
- 3) Falta de agua, en el tanque “pulmón”.
- 4) Falla en el intercambiador de calor del agua.
- 5) Falla en el controlador de temperatura del intercambiador.

Se podía presentar una o la combinación de dos o más fallas.

Las acciones del supervisor para resolver el problema, se describe a continuación:

Si la operación de las bombas de agua o caprolactama es deficiente o nula:

- a) Poner en funcionamiento las bombas auxiliares.
- b) Enviar una solicitud de trabajo (S.T.) a mantenimiento mecánico-eléctrico para reparar la bomba defectuosa.

Si la falla esta en el suministro de agua del tanque "pulmón" al intercambiador de calor:

- a) Purgar línea enchaquetada de caprolactama por medio de válvulas que se encuentran a lo largo del transporte hacia el tanque mezclador.
- b) Abrir o habilitar válvula que abastece de agua al tanque "pulmón".

Cuando el problema se presenta en el intercambiador de calor:

- a) Poner a trabajar el intercambiador auxiliar.
- b) Enviar S.T. a mantenimiento mecánico para reparar la avería.

En caso de que el sistema de control de temperatura del intercambiador de calor presente fallas:

- a) Habilitar el by-pass, para librar el controlador de temperatura y controlar manualmente el paso del vapor, auxiliándose del indicador de temperatura.
- b) Enviar S.T. a mantenimiento de instrumentos, para reparar el sistema de control.

4.3 Equipo de seguridad:

En esta parte creo es importante dar a conocer el equipo de seguridad en las distintas secciones de la producción del nylon 6. Es preciso señalar que un porcentaje alto de los accidentes de trabajo es debido al inadecuado o falta de los equipos de seguridad, principalmente en una planta industrial.

El equipo era obligatorio para el personal que laboraba en dichas secciones y para las personas que hacían un recorrido o visita, tenían que seguir las indicaciones dadas por el supervisor o los de seguridad industrial y al menos portar casco, lentes y zapato industrial.

Recepción de la Caprolactama: Se recibe en forma líquida a una temperatura de 90°C, por medio de pipas. El equipo de seguridad indicado es:

- Camisola y pantalón blanco de algodón.
- Zapatos industriales antiderrapantes con casco de acero.
- Casco
- Lentes
- Guantes de carnaza
- Faja

Preparación del mateante (suspensión de Dióxido de titanio): El dióxido de titanio se recibe en polvo, en sacos, para la preparación de la suspensión:

- Camisola y pantalón blanco de algodón.
- Zapatos industriales antiderrapantes con casco de acero.
- Lentes
- Mascarilla.
- Guantes de tela

Reactor VK: En esta parte habría que distinguir dos secciones, una de ellas es donde se realiza la reacción y otra en la descarga del producto. Para la primera de ellas se utiliza el siguiente equipo:

- Camisola y pantalón blanco de algodón.
- Zapatos industriales antiderrapantes con casco de acero.
- Lentes
- Casco
- Faja
- Guantes de carnaza

Y además guantes de asbesto para la sección de la descarga del producto.

Tanque de lavado: En esta sección se realiza un lavado al chip de nylon con agua desmineralizada a 90 °C, el equipo utilizado es:

- Camisola y pantalón blanco de algodón.
- Zapatos industriales antiderrapantes con casco de acero.
- Lentes
- Faja
- Guantes de tela

Secador: En esta parte se realiza un secado del chip nylon, en unos secadores rotatorios enchaquetados, para que finalmente sean enviados en forma neumática con nitrógeno, a unos tanques de almacenamiento.

- Camisola y pantalón blanco de algodón.
- Zapatos industriales antiderrapantes con casco de acero.
- Lentes
- Faja
- Guantes de carnaza
- Casco

Capítulo V: Relación Industria-Escuela

Lo descrito en este capítulo, es un intento de correlacionar la parte académica de las materias o módulos de la carrera de Ingeniería Química de la FES ZARAGOZA y el equipo u operaciones básicas en el proceso productivo del nylon-6 de la planta industrial.

Mencionare algunos ejemplos de esta relación industria-escuela ; el conocer las propiedades físicas y químicas de los reactivos, productos y compuestos involucrados en la fabricación del nylon-6; como en el caso de la caprolactama, el conocer su temperatura de fusión (70°C), explica el uso de agua de 85-90°C como medio de calentamiento, que circula en el enchaquetamiento del tanque fundidor, para obtener la caprolactama en estado líquido, esencial para llevar a cabo la polimerización en solución.

Las propiedades del nitrógeno, de proveer una atmósfera inerte, para la reacción de polimerización y transporte del nylon 6, para evitar su oxidación y consecuente deterioro en la calidad del producto.

El uso del dióxido de titanio (TiO₂), para darle un color mate al nylon 6.

De forma análoga, se pueden mencionar algunas características o propiedades de los demás componentes químicos que intervienen en el proceso para la obtención del nylon 6.

Cabe mencionar que el conocer las propiedades de los compuestos químicos también es primordial para saber y entender las medidas de seguridad que se debían tomar.

En la escuela, las propiedades de los reactivos, productos y materiales auxiliares, se investigaba desde los primeros semestres y en el transcurso de la carrera, en laboratorio de ciencia básica y en laboratorio de taller y proyectos.

También las llamadas operaciones básicas o unitarias que se encuentran en el proceso productivo, lo podemos relacionar con la escuela, por ejemplo en los siguientes casos:

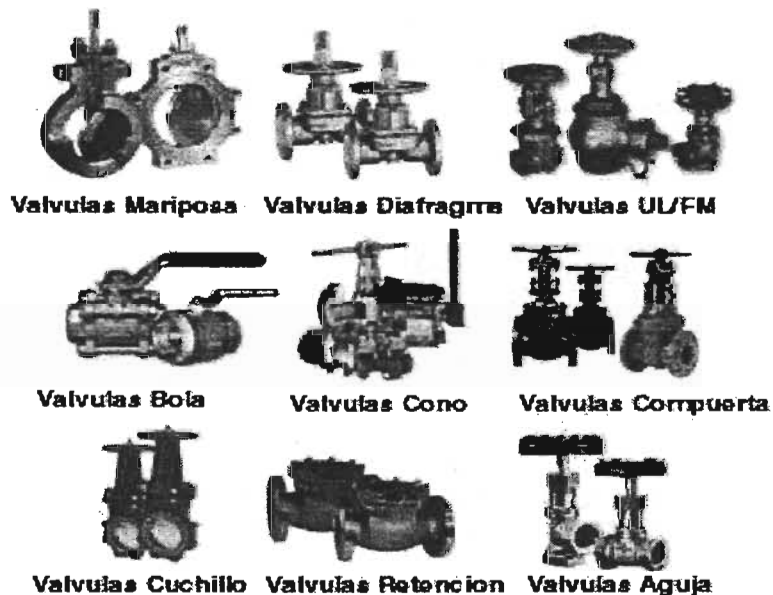
Los intercambiadores de calor utilizados para calentar el agua de los tanques de lavado del "chip" nylon 6, las tuberías y equipo enchaquetados en los tanques de almacenamiento y mezclado de la caprolactama, los secadores rotatorios para secar el nylon, son un ejemplo de la transferencia de calor, materia que se ve en 6° semestre de la carrera.

En las operaciones de separación, como la destilación de la caprolactama y agua, en la parte superior del reactor, para recuperar la caprolactama, es un ejemplo de lo que se trataba en la materia diseño de equipo de separación de 7° semestre.

Tipo de materiales de equipos, tuberías y accesorios, como por ejemplo que todos los recipientes y tuberías eran de acero inoxidable, por las características de los materiales a procesar y a transportar, como en el caso del nylon 6 que es muy susceptible a la oxidación y que resulta no adecuado para el tratamiento textil posterior.

Las bombas de tipo centrífuga, que eran las más utilizadas, para enviar la caprolactama líquida de los tanques de almacenamiento a los tanques mezcladores, el "chip" nylon 6 junto con el agua del tanque de lavado hacia el goteador y el agua de la batea de enfriamiento.

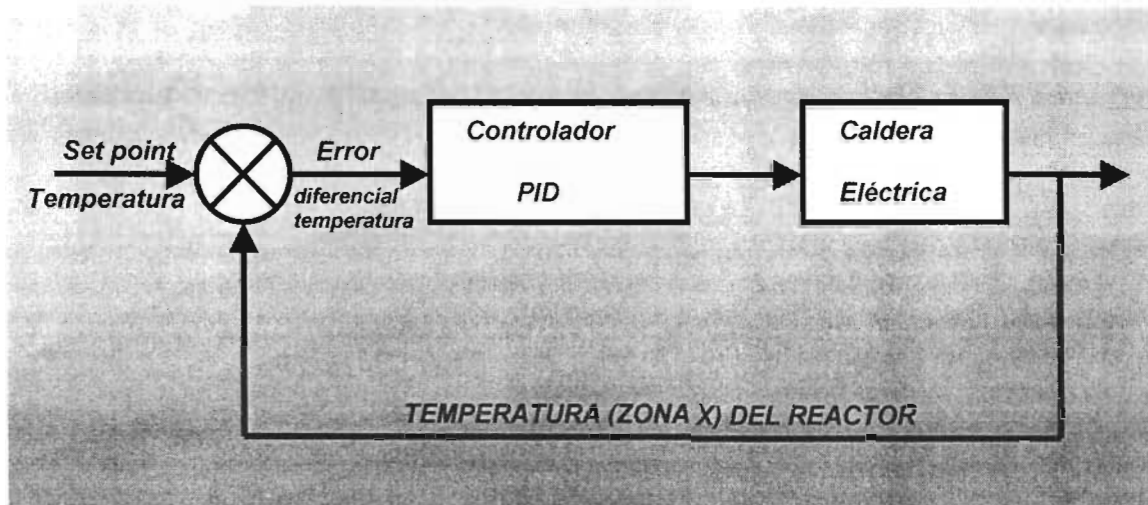
El cálculo y selección del tipo de bombas, así como también la selección de las válvulas y tuberías, son aspectos que se veían en las materias de flujo de fluidos en 5° semestre e ingeniería de servicios en 6° semestre.



Válvulas de uso industrial

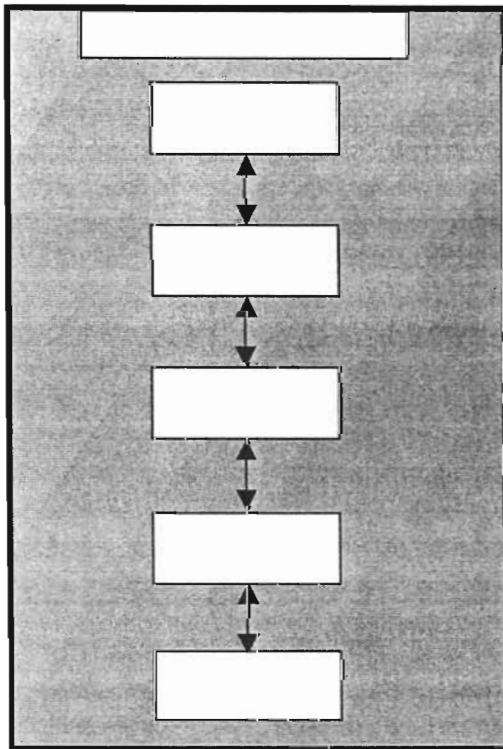
También en el caso del sistema de control de temperatura, por ejemplo en las zonas del reactor, se tenía un sistema de lazo cerrado, donde había un set point, para la temperatura deseada y que era comparada con la temperatura de una zona x del reactor y que esto producía un error o diferencial de temperatura, que era ajustado por el controlador.

El controlador podía ser uno de tipo PID (proporcional-integral-derivativo), el cual generaba un ajuste en la intensidad de corriente de la caldera de la zona respectiva de acuerdo al error diferencial de temperatura entre el set-point y una zona cualquiera del reactor.



Las bases del control eran estudiadas en la materia de dinámica y control de procesos del 8° semestre.

5.1 Relación Interpersonal en la planta:



Este tema que podría parecer a simple vista como de nula o poca importancia en el trabajo productivo que se desarrolla en la planta, tiene un impacto importante.

Por ejemplo si observamos la jerarquía de mando dentro del área de producción del nylon 6, lo podemos representar como en la gráfica de la izquierda.

Si observamos la posición de un supervisor se puede notar que se encuentra en medio, formando un enlace entre la parte del mando y la parte operativa.

De ahí la importancia del trato del supervisor al transmitir las ordenes del jefe hacia los obreros, como ejemplo podía mencionar la siguiente experiencia:

Los obreros acostumbraban a tomar café y galletas en las mañanas o en las noches , organizados de tal manera que se rotaban quién ponía el agua para el café, quien le tocaba traer galletas, café y azúcar y hasta la hora y lugar donde lo

tomaban (en la parte superior del reactor). Cuando el gerente, jefe , supervisor o los de seguridad industrial los veían, les llamaban la atención directamente o por medio del supervisor , quien también recibía parte del regaño .Más aun si levantaban un reporte, las consecuencias podían ser incluso devastadoras para la producción.

Debido a que los obreros que tenían directamente como trabajo el de abrir, cerrar o ajustar válvulas, podrían ellos como respuesta al regaño o reporte, crear perturbaciones en el proceso con consecuencias desfavorables en la producción y también el de generar un ambiente de tensión entre obreros-supervisor-jefe principalmente, obviamente el malestar llegaba hasta la gerencia y dirección., e incluso podía provocar un problema de tipo sindical-patronal.

El argumento de los supervisores y gerentes era que no debían descuidar sus zonas de trabajo, para tomar café, ya que tenían un tiempo establecido para ir al comedor. Esto podía ser entendible desde un punto de vista fríamente funcional, pero el ser humano es un ser sentí-pensante, como dijera Eduardo Galeano.

En la realidad, cuando se tomaba una postura flexible en esta situación, por ejemplo cuando incluso como supervisor hasta cooperabas con las galletas, café o azúcar, los obreros, sabiendo que era algo prohibido por la empresa, lo agradecían al trabajar de una manera más aplicada e incluso haciendo trabajo que no correspondía para sus responsabilidades, dándose resultados adecuados en la calidad de la producción y generando un ambiente de menor tensión.

Lo anterior es un solo ejemplo de cómo la relación y trato con los trabajadores tenía repercusiones en el trabajo, esta forma de actuar, tenía su precio que pagar con el gerente, ya que lo tenías que convencer de tomar una postura flexible dados los resultados en la producción, esto no siempre era sencillo y a veces la tensión se generaba entre gerente-supervisor.

CONCLUSIONES:

Considerando que en la formación académica de la carrera de ingeniería química de la FES ZARAGOZA , no están contempladas las prácticas industriales, que puedan permitir un mayor acercamiento en la teoría-práctica en un ámbito industrial y que muy probablemente sea uno de los destinos laborales de los estudiantes al finalizar el plan de estudios de la carrera, resultaría importante, que los profesores de la carrera conocieran y tuvieran un listado de los reportes de experiencia profesional , para hacerles referencia a los alumnos de testimonios concretos del trabajo desarrollado en una planta industrial.

El conocimiento de estos reportes por parte de profesores y alumnos, puede generar una discusión sobre el contenido del plan de estudios o de una materia en particular y su vinculación en la industria, incluso puede servir como base para proponer alternativas o modificaciones de los contenidos académicos de la carrera.

Así también, estos informes pueden proveer a los estudiantes de una visión más amplia del trabajo que se desarrolla en una planta, en una firma de ingeniería , en investigación, etc, según el puesto desempeñado.

Con lo que respecta a la relación industria –escuela, resulto satisfactorio encontrar los fundamentos de asignaturas o módulos de la carrera, como por ejemplo, las operaciones unitarias o básicas aplicadas en un proceso en la producción de nylon 6 a un nivel industrial.

La conocimientos adquiridos en la escuela ayuda a comprender de una forma más puntual el proceso productivo y esto permite actuar de una manera lógica para resolver un problema o la posibilidad de proponer mejoras en el proceso.

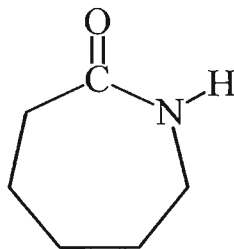
Por otra parte, y no menos importante, resulta la relación interpersonal en cualquier ámbito; social, escolar, de trabajo, etc., debido principalmente a las repercusiones que se obtienen de ellas.

A nivel industrial, puede afectar incluso en la calidad y/o cantidad de la producción, tan sólo por un ambiente tenso y hostil del personal que labora en un área productiva.

Esta situación también se observa en la escuela, cuando tiene uno que relacionarse en equipo con compañeros de diversos caracteres y dinámicas de trabajo, así como también en el proceso de enseñanza-aprendizaje, la comunicación y trabajo que se establece con los profesores y trabajadores de la escuela.

APENDICE A : PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y USOS DE MATERIAS PRIMAS, AUXILIARES Y DEL NYLON 6.

CAPROLACTAMA ($C_6H_{11}NO$): 2-OXOHEXAMETILENAMINA, LACTAMA AMINOCAPROICA .



Hojuelas blancas higroscópicas a partir de éter de petróleo.

Temperatura de fusión = 70° C.

Temperatura de ebullición = 139° C

Entalpía de fusión (ΔH_f)=29 cal/g.

Entalpía de vaporización (ΔH_v)=119 cal/g.

Soluble en agua, metanol, etanol, éter, también es soluble en hidrocarburos clorinados, ciclohexano y fracciones de petróleo.

Puede causar irritación local

Dióxido de titanio (TiO_2): Polvo blanco, insoluble en agua, ácido clorhídrico, ácido nítrico y ácido sulfúrico diluido, soluble en ácido sulfúrico concentrado y caliente y en ácido fluorhídrico.

La reactividad depende de un previo tratamiento térmico. Un prolongado calentamiento produce una menor solubilidad del material.

Posee uno de los mejores pigmentos inorgánicos blancos.

Alta opacidad y valor de tintura.

Altas concentraciones de polvo, pueden causar irritación en las vías respiratorias.

Ácido acético (CH_3COOH): Líquido de olor penetrante. Es un buen solvente para muchos compuestos orgánicos, también disuelve los ácidos sulfurosos, fosforosos y halogénicos.

Miscible con agua, alcohol, glicerol, éter, tetracloruro de carbono, prácticamente insoluble en disulfuro de carbono.

Incompatible con carbonatos, hidróxidos, muchos óxidos y fosfatos.

La ingestión puede causar severos daños en la boca, tráquea, gastrointestinal, con vómitos, diarrea, colapso circulatorio, uremia y muerte.

La exposición larga puede causar daños dentales, bronquitis e irritación de ojos.

Hexametafosfato de sodio (NaPO_3)₆ ; sal de Graham : Se presenta como polvo o gránulos blancos, de aspecto vítreo higroscópico, es muy soluble en agua. Insoluble en solventes orgánicos.

Se usa como agente defloculante y dispersante en los procesos textiles y como suavizante de agua.

Orotán: Agente dispersante para todos los pigmentos y gran variedad de cargas en medio acrílico, incluso para pintura de paredes.

Ofrece una buena capacidad dispersante y las dispersiones resultantes mantienen una buena estabilidad a la temperatura.

Recomendado tanto en la aplicación de capas de pintura mate como para capas cubrientes y brillantes.

Se debe mezclar un 1-5% de Orotán con el pigmento ya mezclado con el medio acrílico.

Su acción dispersante es lenta, pero su rendimiento es muy alto: con la mayoría de los pigmentos un 1% de Orotán es suficiente, además previene la formación de espuma.

Nitrógeno (N_2) : Gas incoloro e inodoro, punto de ebullición -195.8°C , punto de fusión -209.8°C .

Ligeramente soluble en agua, 100 volúmenes de agua absorben 2.4 volúmenes de nitrógeno a 0°C y 1.6 volúmenes a 20°C . Soluble en agua a 50, 75 y 100°C a partir de 25 a 1000 atmósferas.

Un volumen de alcohol disuelve 0.1224 volúmenes de nitrógeno a 20°C .

Usos : En la manufactura de explosivos, amonio, ácido nítrico, nitratos, para obtener una atmósfera inerte, para la preservación de materiales.

Nylon 6 ($H-(NH(CH_2)_5CO)_n-OH$) :

n= 200 aproximadamente.

Caprolan ; Enkalon; Grilon; Kapron; Mirlon; Perlon; Phrilon.

Polímero lineal, obtenido por la polimerización de la caprolactama.

Comienza a ablandarse entre 170-180°C y funde a 215°C.
Termoplástico y cristalino.

Puede ser extruido como monofilamento en un amplio intervalo dimensional.

Presenta una gran resistencia a la tensión y tenacidad.

Presenta baja absorción de agua, buena resistencia eléctrica, pero acumula cargas estáticas.

Puede ser teñido con facilidad.

Es atacado por minerales ácidos, pero resistente a los álcalis.

No es tóxico, tiene buena resistencia a grasas y aceites.

PROPIEDADES DEL NYLON 6:**Propiedades Eléctricas:**

PROPIEDAD	Valor	Unidades
Constante Dieléctrica (1 MHz)	3.6	-
Factor de Disipación (1 KHz)	0.2	-
Resistencia Dieléctrica	25	KV mm ⁻¹
Resistividad Superficial	5X10 ¹⁰	Ohm/sq
Resistividad de volumen	5X10 ¹²	Ohm/cm

Propiedades Físicas:

PROPIEDAD	Valor	Unidades
Absorción de agua en 24 hrs.	2.7	%
Densidad	1.13	gcm^{-3}
Índice refractivo	1.53	-
Inflamabilidad	Autoextingible	-
Resistencia a los rayos Alfa	aceptable	-

Propiedades Mecánicas:

PROPIEDAD	Valor	Unidades
Coefficiente de fricción	0.2-0.3	-
Dureza- Rockwell	55-88	M
Modulo de tracción	2.6-3.0	Gpa
Relación de Poisson	0.39	-
Resistencia a la tracción	78	Mpa
Elongación a la ruptura	7-460	%
Modulo de Tensión	0.3-4	Gpa
Fuerza de Tensión (última)	48-100	Mpa

Propiedades Térmicas:

PROPIEDAD	Valor	Unidades
Coefficiente lineal de Expansión Térmica (20 °C)	70-200	$\mu\text{m/m } ^\circ\text{C}$
Coefficiente lineal de Expansión Térmica (20 °C) a flujo transversal	100-200	$\mu\text{m/m } ^\circ\text{C}$
Coefficiente lineal de Expansión Térmica (100 °C)	90-105	$\mu\text{m/m } ^\circ\text{C}$

Capacidad Calorífica	1.6	J/g °C
Conductividad Térmica	0.17-0.3	W/
Punto de Fusión	193-255	° C
Temperatura de Vidrio	60	° C
Temperatura de deflección a 1.8 Mpa	40-230	° C
Temperatura mínima de utilización	-40	° C
Temperatura máxima de utilización	80-160	° C

Resistencia Química

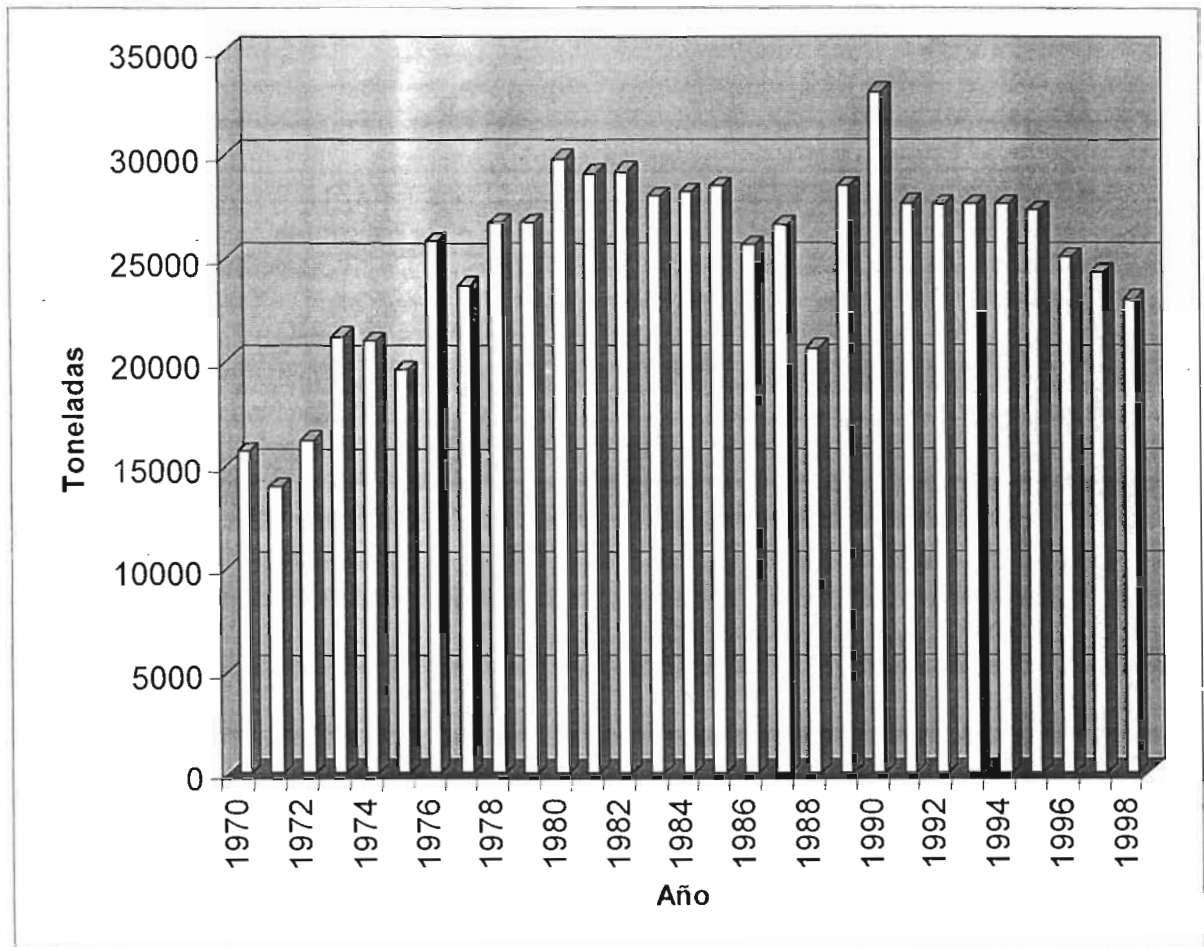
PROPIEDAD	Valor
Ácidos concentrados	mala
Ácidos diluidos	Mala
Álcalis	Buena
Alcoholes	Buena
Grasas y Aceites	Buena
Halógenos	Mala
Hidrocarburos Aromáticos	Buena
Cetonas	Buena

En resumen, por sus propiedades, algunos de sus usos son:

- Conectores eléctricos
- Vestidos, levas y cojinetes
- Cables y cintas para empacar
- Recipientes para fluidos
- Cuerda para pescar, cerda para brocha
alfombras y ropa deportiva

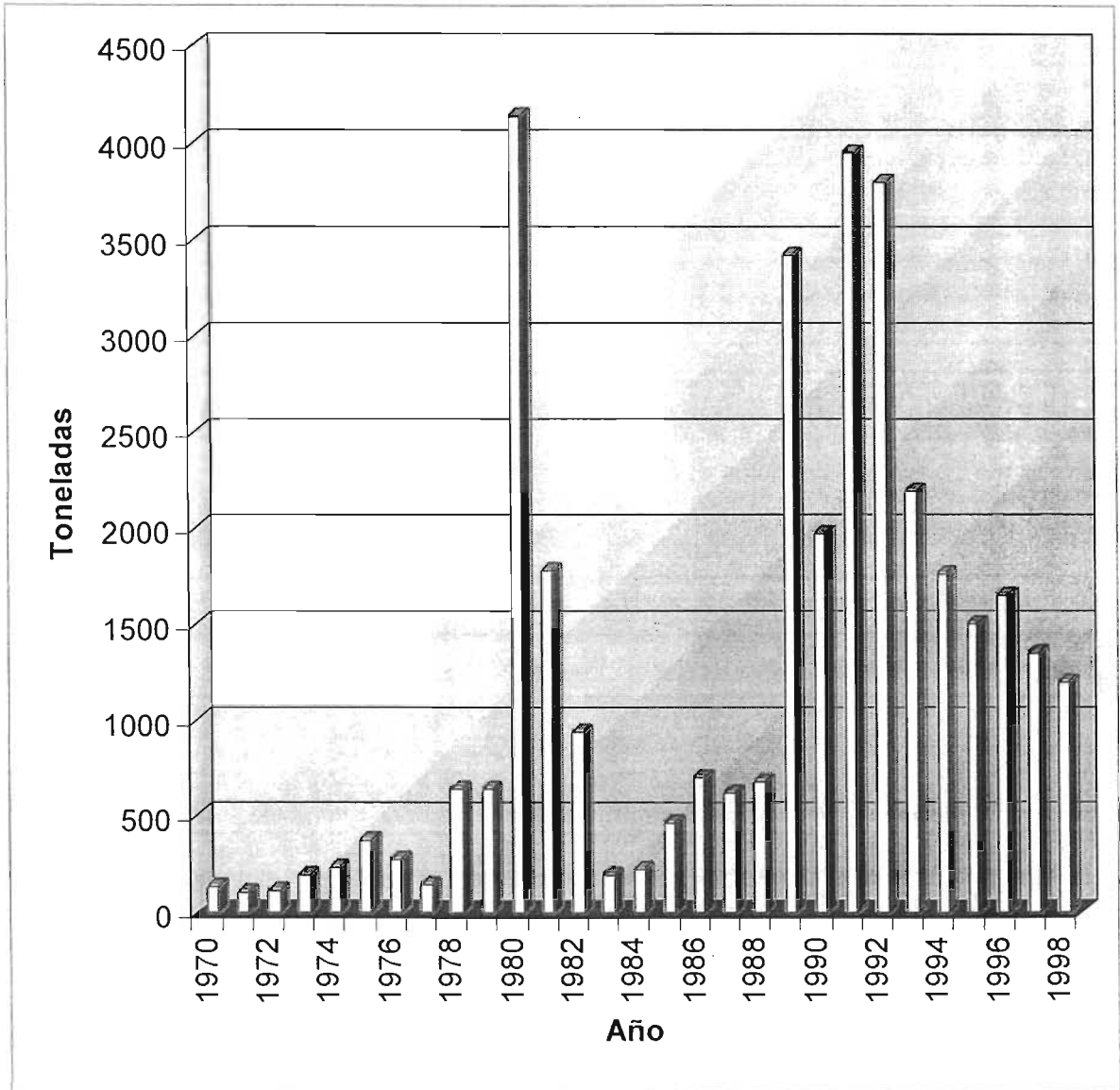
APENDICE B : Datos estadísticos.

En los siguientes gráficos, presentaremos datos de producción, importación, exportación y consumo aparente del nylon 6 en México, en el periodo de 1970-1994, que cubre el rango en que estuvo en operación el departamento de producción de nylon 6 de la empresa Kimex S.A.:

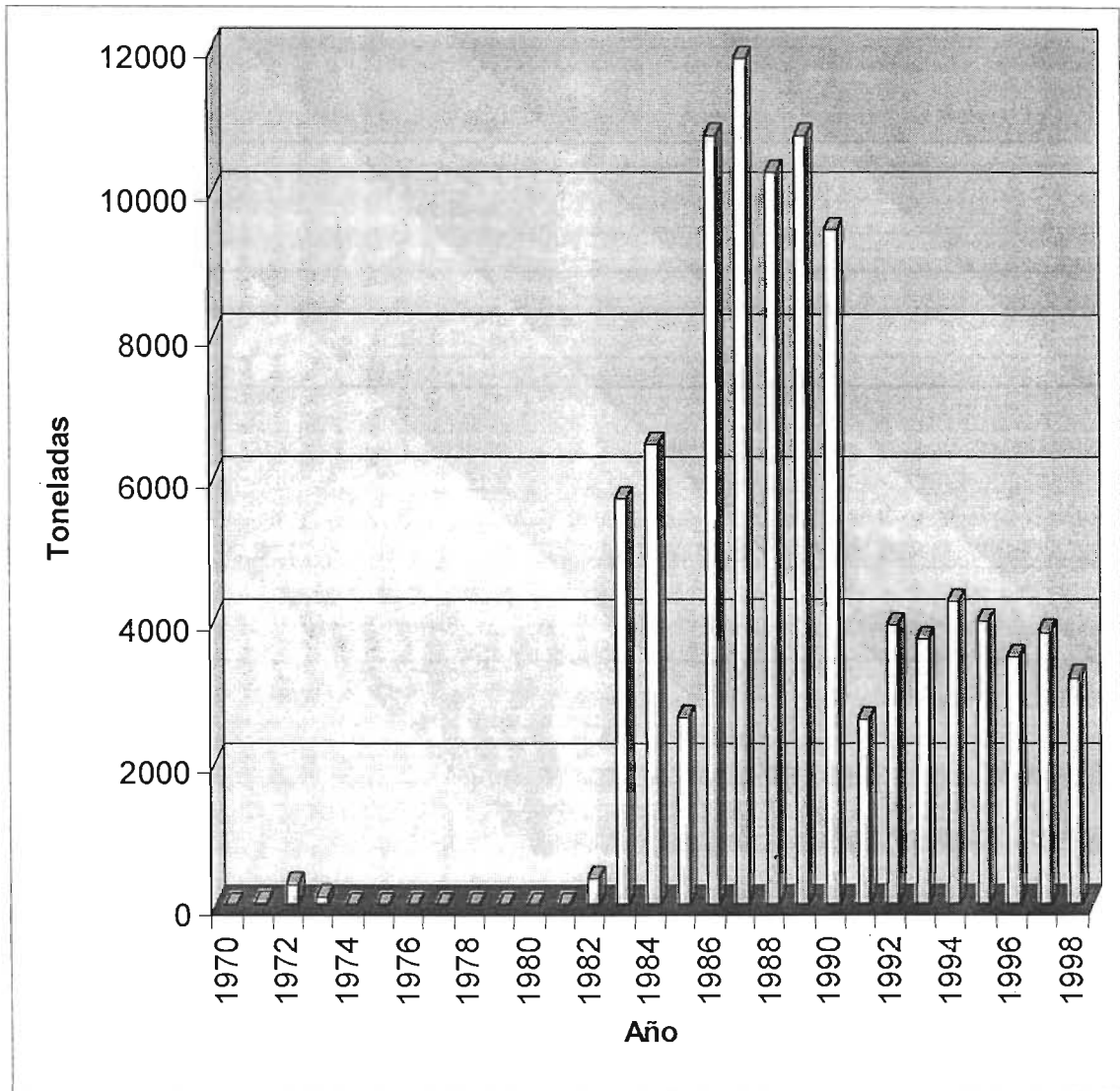


ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

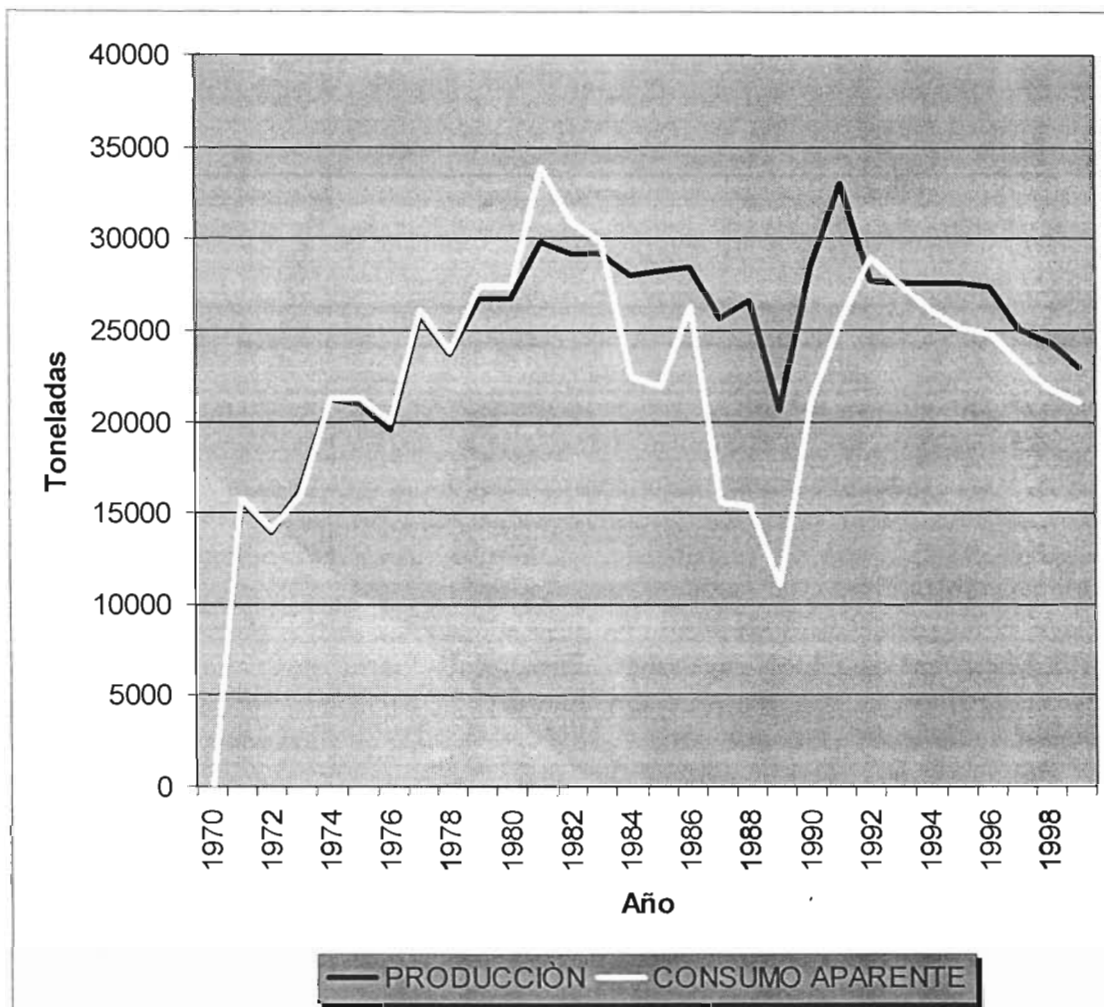
Importación
Nylon 6
(Fibra Textil)



Exportación
Nylon 6
(Fibra Textil)



**Producción-Consumo aparente
Nylon 6
(Fibra Textil)**



CA = P + I - E

Donde:

CA: Consumo Aparente	I: Importación
P: Producción	E: Exportación

Como puede observarse en la gráfica, el Nylon 6 pasa por un periodo de inestabilidad a finales de los 80's y principios de los 90's.

La empresa Univex que proveía de la materia prima (caprolactama) a Kimex, para la producción de nylon 6 , subió sus costos , y en consecuencia, para Kimex se elevaron los costos de producción.

Aunado a lo anterior, el costo de importación del nylon 6 de Corea y China, resultaba menor al costo de producción por parte de Kimex.

Concuerda lo anterior con lo descrito por Du Pont, donde señala que en los 90's el nylon empieza a perder terreno frente a otros polimeros a nivel mundial.

La empresa Kimex cierra el área de producción del nylon 6 en 1994.

Bibliografía:

* R. Norris Shrcve, Joshep A. Briak

Chemical Process Industries

McGraw-Hill

Tokyo ,Japón (1977)

* Oxtoby W. David, Nachtrieb H. Norman, Freeman A.Wade

Chemistry Science of Change

Saunders Golden Sunburst Series

Chicago, USA (1993)

* Paul G. Stecher , Martha Windholz, Dolnes

The Merck Index

Merck & Co., Inc.

N.J. , U.S.A. (1968).

*Katsuhiko Ogata

Ingeniería de Control Moderna

Prentice Hall International

Barcelona,Esp.(1974).

*Warren L. McCabe , Julian C. Smith , Peter Harriot

Operaciones Básicas de Ingeniería Química

Mc. Graw Hill

México (1996).

*Perry, John H

Manual del Ingeniero Químico

UTHEA

Barcelona, Esp(1975).

*Kira-Othmer

Enciclopedia de Tecnología Química.

LIMUSA

México(1998).

***** Paginas Web *****

<http://chemheritage.org/EducationalServices/faces/poly/activity/nylon6.htm>

http://www.polymerplastics.com/mechanical_castm.shtml

<http://www.pslc.ws/spanish/nysix.htm>