



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE DURANGO**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN  
INGENIERÍA QUÍMICA**

**PROTOCOLO**

**IDENTIFICACIÓN Y CONTROL DE UN TREN DE  
REACTORES POLIMÉRICOS PARA LA PRODUCCIÓN  
DE POLIETILENO DE ALTA Y MEDIA DENSIDAD.**

**PRESENTA:**

**I.Q. DORIAN SARAI CALZADA MARTÍNEZ**

**ASESOR:**

**DR. SERGIO VALLE CERVANTES**

**DURANGO, DGO.**

**MARZO DEL 2008**

## ÍNDICE

TÍTULO DE INVESTIGACIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
JUSTIFICACIÓN	1
FUNDAMENTO TEÓRICO	2
REACTORES DE POLIMERIZACIÓN	2
IDENTIFICACIÓN	3
CONTROL MULTIVARIABLE	5
CONTROL EN EL ESPACIO DE ESTADO	5
CONCEPTO DE ESTADO	7
OBJETIVO GENERAL	7
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
METODOLOGÍA	7
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	8
ALIMENTACIÓN DE CATALIZADOR	8
POLIMERIZACIÓN	9
SEPARACIÓN	11
SECADO	12
PELETIZADO	12
RECUPERACIÓN DE SOLVENTE	13
PROGRAMAS A UTILIZAR	14
MATLAB	14
SIMULINK	15
IDENT	15
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	16
BIBLIOGRAFÍA	17

## **TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN**

Identificación y Control de un Tren de Reactores Poliméricos para la Producción de Polietileno de Alta y Media Densidad.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la producción de polímeros de alta y media densidad en el complejo petroquímico Morelos de la ciudad de Coatzacoalcos, Veracruz el proceso de producción formado por dos reactores continuos tipo tanque conectados en serie, sufre de variaciones en el mismo que provocan, que el producto final no tenga las características deseadas. Esto es debido a que se cuenta con un control clásico el cual no logra controlar al proceso como se desea, debido a que es un sistema donde existe mucha interacción entre sus variables, por lo que es necesario encontrar un modelo para entender el comportamiento del proceso, para posteriormente implementar un sistema de control multivariable que permita la obtención de un producto uniforme y de alta calidad.

## **JUSTIFICACIÓN**

Aplicando control multivariable utilizando espacio-estado se permitirá elaborar productos uniformes y de alta calidad.

Debido a que en PEMEX utilizan un sistema de control muy simple, no pueden obtener un producto con las características deseadas, es por esto que se pretende encontrar un sistema de control multivariable que logre la producción de polietileno uniforme y de alta calidad, basado en la identificación de un modelo de la planta.

PEMEX Refinación, que es la división a la que pertenece el Complejo Petroquímico Morelos proporciono toda la información pertinente para llevar a cabo esta investigación. Por lo tanto se cuenta con los datos para generar el modelo y el software de aplicación para la obtención del mismo y para el desarrollo del sistema de control. Este trabajo será desarrollado totalmente en computadora.

La teoría moderna de control se desarrolla para solventar algunos de los problemas en los que presenta fuertes limitaciones la denominada teoría clásica, basada en el modelado de la relación entre una entrada y una salida de los sistemas dinámicos

lineales de parámetros constantes. Una de las ventajas de la teoría moderna de control en contraposición a la teoría clásica son fundamentalmente es que es aplicable a sistemas multivariables en los que existe un elevado grado de interacción entre las variables del sistema.

Es por lo anterior que estamos seguros de que se podrá controlar satisfactoriamente el proceso de producción de polietileno de alta y media densidad ya que se cuentan con información de primera mano y se aplicará control en el espacio de estado.

## **FUNDAMENTO TEÓRICO**

### **Reactores de polimerización**

**Polimerización** es un proceso químico por el que los reactivos, monómeros (compuestos de bajo peso molecular) se agrupan químicamente entre sí, dando lugar a una molécula de gran peso, llamada polímero, bien una cadena lineal o una macromolécula tridimensional.

Los reactores de polimerización convierten los monómeros a moléculas grandes y tienen varias características que son diferentes de la mayoría de los reactores:

1. La viscosidad del fluido es una función de conversión.
2. Las reacciones de polimerización son altamente exotérmicas.
3. La mayoría de las reacciones de polimerización están fuertemente influenciadas por trazas, las cuales afectan a las propiedades.
4. Frecuentemente involucra múltiples fases.
5. Frecuentemente usan catalizadores.
6. Polimerización por condensación produce  $H_2O$ , el cual puede causar complicaciones con la reversibilidad y debe ser removido
7. Son frecuentemente usados para producir una mezcla de muchos componentes, por lo que los reactores deben ser diseñados para conseguirlo.
8. Los solventes son muy usados para controlar velocidades y características de flujo.

## **Identificación**

Sistema de identificación. Sistema o proceso de identificación es el campo del modelado matemático de sistemas (procesos) a partir de pruebas o de datos experimentales. En términos técnicos, un sistema de identificación es definido por Zadeh (1962) como: la determinación de un modelo a partir de una entrada y una salida, dentro de una clase especificada de modelos.

En base a esta definición existen tres bases que involucran el desarrollo de sistema de identificación: los datos, un conjunto de modelos y reglas o criterios para la estimación de un modelo.

La entrada y salida de datos son generalmente obtenidos de pruebas o experimentos de identificación que son diseñados para hacer la selección de datos que proporcionen mayor información acerca de las propiedades del sistema que son de interés para el usuario.

El conjunto de modelos candidatos son obtenidos especificando sus propiedades comunes; dentro de ese conjunto se selecciona el modelo más conveniente. Esta es la parte más teórica del proceso de identificación. Es aquí que el conocimiento a priori, la intuición de ingeniería y el entendimiento tienen que ser combinados con las propiedades formales (matemáticas) del modelo.

Cuando los datos están disponibles y el conjunto de modelos es determinado, el siguiente paso es encontrar el mejor modelo en este conjunto. Para la estimación de parámetros del modelo, se debe especificar un criterio de error (función perdida).

A menudo la suma de cuadrados de algunas señales de error (residuales) es usado como el criterio.

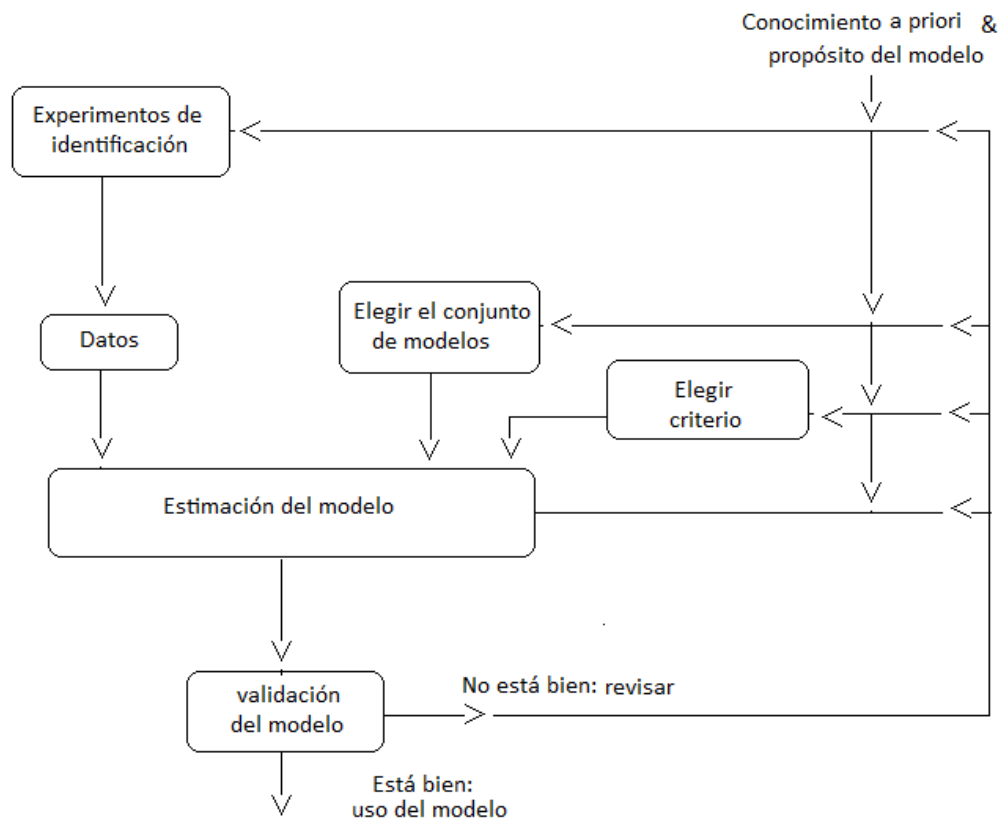
Los valores de los parámetros son determinados minimizando la función perdida.

Cuando un modelo es identificado, el siguiente paso es la validación del modelo. Este proceso es para comprobar si el modelo estimado es suficientemente bueno para la finalidad del uso del modelo.

Primero que nada, una verificación para ver si el modelo está de acuerdo con el conocimiento a priori del sistema. Después se debe de revisar si el modelo puede ajustarse bien a las pruebas o datos experimentales, preferentemente usando una secuencia de datos que no han sido usados para la estimación del modelo. La validación final es la aplicación del modelo.

Para resumir, el proceso de identificación tiene los siguientes pasos básicos:

1. Pruebas o experimentos de identificación.
2. Orden del modelo. Selección de la estructura.
3. Estimación de parámetros.
4. Validación del modelo



Proceso de identificación

Es posible que el modelo obtenido no pase el procedimiento de validación. Las causas de la deficiencia del modelo pueden ser las siguientes:

- Los datos no fueron suficientemente informativos debido a pruebas o diseño de experimentos pobres.
- El conjunto de modelos no contenía una buena descripción del sistema.
- El criterio no fue elegido correctamente.
- El procedimiento numérico no encontró el mejor modelo de acuerdo al criterio.

La mayor parte de una identificación consiste en enfocarse a estos problemas. Por lo tanto, un buen método de identificación, debería proporcionar soluciones sistemáticas a estos problemas.

### **Control multivariable**

En el mundo real frecuentemente se tienen procesos en los que se debe controlar más de una variable; éstos se denominan procesos multivariables o procesos de múltiples entradas y múltiples salidas (MEMS) (MIMO por sus siglas en inglés).

### **Control en el Espacio de Estado**

La teoría moderna de control está basada en el conocimiento del comportamiento interno de los sistemas, reflejado en las variables que influyen en su dinámica. Estas variables constituyen el concepto de *estado del sistema*. El conocimiento de la evolución de todas las variables que influyen en la dinámica del sistema, permite efectuar un control más potente de ésta y su utilización en el control de sistemas más complejos.

La teoría moderna de control se desarrolla para solventar algunos de los problemas en los que presenta fuertes limitaciones la denominada teoría clásica, basada en el modelado de la relación entre una entrada y una salida de los sistemas dinámicos lineales de parámetros constantes. Las ventajas de la teoría moderna de control en contraposición a la teoría clásica son fundamentalmente las siguientes:

- Es aplicable a sistemas multivariables en los que existe un elevado grado de interacción entre las variables del sistema, no pudiendo establecerse bucles de control entre una salida y una entrada concreta que se puedan ajustar de forma independiente según se aborda en la teoría clásica.
- Es aplicable a sistemas con relaciones no-lineales entre las variables involucradas en su dinámica y cuyo comportamiento no puede ser aproximado por un modelo lineal dentro del rango de valores que van a tomar sus variables.
- Es aplicable a sistemas en los que sus parámetros varían en el tiempo a velocidades comparables con la evolución de sus variables, en los que no se puede obtener en consecuencia un modelo de parámetros constantes válido en el rango temporal necesario para efectuar el control.
- Es aplicable a sistemas complejos de control, en los que existe un gran número de variables internas que condicionan el comportamiento futuro de la salida. La utilización de la realimentación sólo de la salida según el modelo clásico empobrece la información disponible por el regulador para controlar la planta, llegando a impedir un control de salida del sistema con prestaciones mucho mejores.

Las mencionadas ventajas diferenciadoras de la teoría son abordadas por distintas ramas del control, denominadas respectivamente: control multivariable, control no-lineal, control adaptativo, control por asignación de polos y control óptimo. Aunque cada una de estas ramas del control automático utiliza técnicas que le son propias, todas ellas confluyen en la necesidad de un modelo del comportamiento de sistemas dinámicos que incluya la evolución de sus variables internas, que pueda aplicarse a sistemas multivariables y que pueda ser no-lineal y/o de parámetros no constantes. Este modelo del sistema es el denominado *modelo de estado del sistema*.

Si los sistemas multivariables a los que se aplica la teoría moderna de control presentan un comportamiento dinámico que puede aproximarse por modelos lineales de parámetros constantes, se simplifica mucho su análisis y el diseño de los reguladores multivariables.



## **Concepto de estado**

La teoría moderna de control se basa en la representación matemática de los sistemas dinámicos por medio del concepto de estado, en contraposición con la teoría clásica de control, que utiliza únicamente la relación entre su entrada y su salida.

Se define estado de un sistema como la mínima cantidad de información necesaria en un instante para que, conociendo la entrada a partir de ese instante, se pueda determinar la salida en cualquier instante posterior.

## **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un modelo utilizando las técnicas de identificación y con los datos reales del tren de reactores conectados en serie del proceso de producción de polietileno de alta y media densidad, y en base a esto implementar un sistema de control multivariable que permita obtener un producto uniforme y de alta calidad.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar al reactor 1 e implementar su sistema de control.
- Identificar al reactor 2 e implementar su sistema de control.
- Integrar en un solo sistema el control de los dos reactores acoplados.

## **METODOLOGÍA**

- Basado en la información proporcionada por la Gerencia Técnica del Complejo Petroquímico Morelos, y bibliografía localizada en las diferentes bases bibliográficas, entender y comprender el funcionamiento del proceso de producción de polietileno de alta y mediana densidad desde el punto de vista de los operadores y de los ingenieros de la planta.
- Entender el funcionamiento de los softwares IDENT y SIMULINK que vienen incrustados en MATLAB.
- Analizar los datos reales del proceso proporcionados.
- Limpiar los datos de tal manera de trabajar sólo con aquellos que sean importantes y significativos.

- Identificar las corrientes de entrada, salida y recirculaciones para poder definir las características del modelo a generar.
- Asimilar la metodología Espacio-Estado.
- Desarrollar los modelos de la planta basados en datos.
- Con los modelos generados, utilizar datos nuevos para probar que los modelos describen adecuadamente el comportamiento del sistema de reactores.
- Si el modelo no está bien, realizar los ajustes necesarios para encontrar uno nuevo que responda adecuadamente al comportamiento del sistema.
- Desarrollar un sistema de control multivariable para cada uno de los reactores y probar que funcionan como un sistema acoplado que permita obtener un polímero con características similares durante todo el ciclo de operación.

### **DESCRIPCIÓN DEL PROCESO**

El proceso para Polietileno de alta densidad (PEAD) y Polietileno de media densidad (PEMD), está basado en el proceso de lechadas propiedad de PEMEX, utilizando un catalizador de muy alta actividad.

El proceso ofrece productos que tienen una distribución de peso molecular (DPM) bimodal, cuya amplitud es libre y fácilmente controlada, ajustando el arreglo de reactores sin cambiar el sistema de catalizadores, desde el tipo de alto peso molecular (APM) hasta el tipo de alta fluidez. La química de un catalizador innovador es combinada con un sofisticado proceso de polimerización y su sistema de control para permitir una operación muy estable, fácil y precisa de la planta. Adicionalmente el sistema de catalizadores simple y la sencilla operación de polimerización permite un fácil intercambio de producto, lo cual resulta en un tiempo de transición corto y una cantidad despreciable de producción fuera de especificación durante dicha transición.

El proceso consiste en:

#### ***Alimentación de catalizador.***

El sistema de catalizadores consiste de dos compuestos llamados : catalizador A para producir PEAD o catalizador B para producir PEMD).

Los catalizadores son preparados por separado en un tanque de tratamiento con hexano a diferentes concentraciones y a presiones con nitrógeno, después son alimentados al reactor o a los reactores mediante la bombas de alimentación de catalizador.

### ***Polimerización***

El Etileno, Hidrógeno y Comonomero (si se usa) son alimentados al primer y segundo reactores, los cuales son alineados en paralelo o en serie, y la polimerización es llevada a cabo en dichos reactores bajo las condiciones moderadas de polimerización de menos de 8 kg/cm<sup>2</sup>m. de presión y de 70 a 85 °C de temperatura.

El monómero de etileno, el cual es la materia prima principal, comonomero (si se usa), hexano deshidratado (para ajuste de la concentración de la lechada), y el catalizador, son continuamente alimentados a flujos específicos a los Reactores. El hidrógeno (como controlador del peso molecular) y el 1-buteno (para ajustar la densidad) son continuamente premezclados con etileno gas fresco, y tal mezcla es alimentada a los Reactores.

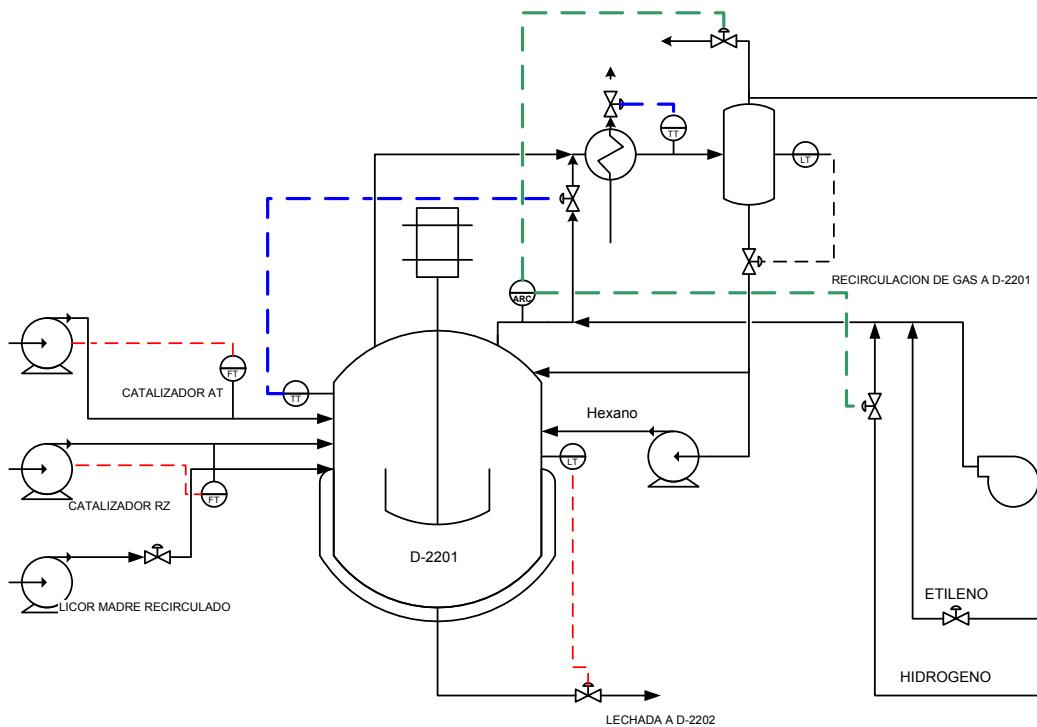
El control de las propiedades del polímero, índice de fluidez, distribución de peso molecular, densidad, se efectúa en los Reactores por medio del ajuste de las condiciones de polimerización (presión, temperatura, volumen de reacción y tiempo de residencia) y la composición de la mezcla gaseosa de reacción.

### **1er Reactor (Sistema de enfriamiento de gas de reciclo y Polimerización)**

Etileno, hidrógeno y 1-buteno frescos son mezclados con el gas de recirculación del 1er Reactor. La mezcla gaseosa de reacción recirculada es alimentada al reactor por medio de bayonetas que descargan en el fondo del seno del líquido, favoreciendo la dispersión y absorción de los reactantes en el hexano por medio del agitador. La reacción de polimerización es iniciada y propagada en la presencia del catalizador, formándose partículas de polímero las cuales se mantienen bajo una concentración

especificada. El calor generado por la polimerización es removido como calor latente, por el hexano vaporizado en la interfase líquido – gas del reactor, y como calor sensible en los enfriadores / condensadores, y también por el sistema de chaqueta de enfriamiento del reactor.

La mezcla gaseosa de reacción recirculada conteniendo bastante vapor de hexano es transferida al Condensador del 1er Reactor, donde el vapor de hexano es condensado y la mezcla gaseosa de reacción es enfriada, y además es transferida al Recipiente de Condensado del 1er Reactor donde es separado en hexano condensado y gas de recirculación. El gas de recirculación ya separado, es presurizado mediante el Soplador de Gas del 1er Reactor e introducido en el 1er Reactor. El hexano condensado separado en el Recipiente de Condensado del 1er Reactor es recirculado al 1er Reactor a través de la Bomba de Condensado del 1er Reactor.



## 2° Reactor (sistema de enfriamiento de lechada)

Etileno, hidrógeno y 1-buteno frescos son mezclados y alimentados a la fase líquida del 2° Reactor. La materia prima gaseosa alimentada es dispersada y disuelta en hexano por un agitador y la reacción de polimerización es iniciada y propagada en la presencia de catalizador y las partículas de polímero son formadas y mantenidas bajo una concentración especificada.

La lechada de polietileno es circulada a través de los 2ndos Enfriadores de Lechada mediante las Bombas de los 2ndos enfriadores de lechada, para remover el calor de polimerización junto con el sistema de chaqueta de enfriamiento del reactor.

### ***Separación***

La lechada producto es continuamente alimentada por control HC a través de la Bomba de Alimentación de la Centrifuga a una Centrifuga del tipo horizontal, la cual opera a una alta velocidad de rotación, en la cual el polímero es separado por la fuerza centrífuga, en producto y solvente hexano.

El polímero es descargado de la centrifuga en la forma de torta húmeda conteniendo hexano, y es alimentada a un Secador mediante un Alimentador de Torta Húmeda. La humedad de la torta es de 33.6% en peso (base húmeda).

Mientras tanto, el hexano derrama al vertedero, el cual es suministrado en la concavidad de la centrifuga, y fluye dentro del Recipiente del Líquido Madre. Y entonces, más del 50% del hexano separado de la lechada será recirculado dentro de los Reactores sin ningún tratamiento y el restante hexano será alimentado a la Sección de Recuperación de Hexano. La temperatura del hexano separado es alrededor de 66 °C y más alta que el caso de la planta PP original. La influencia de este punto para la sección de recuperación de solvente es discutida en la sección 700.

La tubería para transferir el hexano separado en la Centrifuga es suministrada con un trazado eléctrico para prevenir que la cera polietilénica disuelta en el hexano se llegue a cristalizar.

### ***Secado***

La sección de secado es utilizada para la operación de producción de PE con una menor modificación tal que el proceso es el mismo como la operación del proceso PP.

La torta húmeda es secada a polvo en el secador. El sistema de secado consiste de un secador flash (secador de transporte neumático) y el secador de lecho fluidizado. Ambos secadores son operados en serie. Cada secador utiliza nitrógeno incluyendo hexano vapor como el gas de secado el cual es circulado a través del sistema de tratamiento de gas independiente.

Hexano separado del 1er Lavador es transferido al Recipiente del 2° Flash.

Generalmente el secado del polvo PE es diferente del Secado de polvo PP debido a: (1) diferente estructura del cristal, (2) diferente punto de fluidez (o ablandamiento) y (3) diferencia en el tamaño de partícula del polvo.

### ***Peletizado***

PE y PP son ambas poliolefinas y básicamente las instalaciones originales de PP pueden ser aplicables sin ninguna modificación.

### **Tolva**

El producto en polvo, el cual tiene que elevarse a los secadores es transferido a las Tolva mediante un sistema de transporte neumático de gas nitrógeno. Las boquillas de inyección de nitrógeno son nuevamente adicionadas a la Tolva de Polvo tal que esta Tolva tenga al final una función de secado usando cerca de 48 m<sup>3</sup>/hN de nitrógeno (la humedad del polvo después de la Tolva es de 0.01% en peso base húmeda).

### Sistema de alimentación y medición del estabilizador

Estabilizadores sólidos y estabilizadores líquidos son automáticamente pesados de acuerdo con la relación de mezclado para los tipos de producto individual por el Sistema de Medición Estabilizador y alimentados al Mezclador Continuo. El sistema de estabilizador W (actualmente este es agua para neutralización de una muy pequeña cantidad de alquil- aluminio en polímero) es nuevamente instalado.

### Sistema de Peletizado

El polímero fundido que es descargado del Mezclador Continuo, el cual ha sido mezclado y amasado con el producto polvo y estabilizadores, es alimentado al sistema de peletización. Entonces es extruido a través de los orificios del plato extrusor dentro de una caja cortadora a través del cual, agua de enfriamientos para “pellets” es circulada. El polímero extruido es cortado en “pellets” mediante el cortador y es transferido al Cribado de “Pellets” con Agua de Enfriamiento de “Pellets” (PCW).

El material en polvo suspendido en el PCW es descargado fuera del sistema a través del derrame de salida del Recipiente de PCW mediante una alimentación continua de agua de proceso al recipiente.

Los productos “pellets” son clasificados mediante la Criba Vibratoria de “Pellets” en tamaño normal, tamaño por arriba del normal y tamaño por debajo del normal. Los “pellets” de tamaño normal son enviados mediante transporte neumático a silos de almacenamiento.

### ***Recuperación de solvente.***

Esta sección es para manejar el hexano y la cera polietilénica.

### Licor Madre

El licor madre, el cual ha sido separado por centrifugación es lavado con sosa cáustica y agua de proceso para disminuir contenido de ceniza y cloro. Entonces, es separada de

la cera polietilénica y deshidratada de tal modo que pueda ser convenientemente reutilizada.

La cera polietilénica es manejada en un sistema de manejo subsecuente.

#### Hexano agotado

El sistema de recuperación de hexano agotado es para disponer del hexano que contiene polímero y descargar líquidos de desecho fuera del sistema de proceso como un resultado de muestreo, trabajo de mantenimiento, disposición de catalizador, etc. De tal forma que el hexano pueda ser recuperado, vapor de rectificación es extraído. El hexano es recuperado en la Sección de Recuperación de Solvente.

#### Torre de Corte de OH (Equipo Nuevo)

En el caso de que el hexano agotado contenga catalizador OH, el hexano del Recipiente de Preparación de Catalizador a través del Recipiente de Hexano Agotado es recuperado en la Torre de Corte de OH. El hexano concentrado con catalizador OH proveniente del fondo de la Torre de Corte de OH es enviado a OSBL.

### **PROGRAMAS A UTILIZAR**

Los softwares que se utilizarán:

MATLAB

SIMULINK

IDENT

**MATLAB** es la abreviatura de *MATrix LABORatory* (laboratorio de matrices). Se trata de un software matemático muy versátil que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M). Está disponible para las plataformas Unix, Windows y Apple Mac OS X.

Entre sus prestaciones básicas se hallan: la manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de interfaces de usuario (GUI) y la comunicación con programas en otros lenguajes y con



otros dispositivos hardware. El paquete MATLAB dispone de dos herramientas adicionales que expanden sus prestaciones, a saber, Simulink (plataforma de simulación multidominio) y GUIDE (editor de interfaces de usuario - GUI). Además, se pueden ampliar las capacidades de MATLAB con las *cajas de herramientas (toolboxes)*; y las de Simulink con los *paquetes de bloques (blocksets)*.

Es un software muy usado en universidades y centros de investigación y desarrollo.

**Simulink** proporciona un entorno gráfico al usuario que facilita enormemente el análisis, diseño y simulación de sistemas (de control, electrónicos, etc.), al incluir una serie de rutinas que resuelven los cálculos matemáticos de fondo, junto con una sencilla interfaz para su uso. Proporciona un entorno de usuario gráfico que permite dibujar los sistemas como diagramas de bloques tal y como se haría sobre un papel.

El conjunto de componentes incluidos junto al programa Simulink, incluye bibliotecas de fuentes de señal, dispositivos de presentación de datos, sistemas lineales y no lineales, conectores y funciones matemáticas.

Matlab dispone actualmente de un gran número de funciones repartidas en diferentes "toolboxes" para la identificación y optimización de funciones.

La toolbox **Ident** de Matlab, para la identificación de sistemas proporciona un conjunto de funciones y un atractivo entorno gráfico para realizar estimación e identificación.

Permite trabajar con funciones de transferencia o con representación en variables de estado, en el dominio temporal o en el frecuencial. Realizar estimación de modelos tanto paramétricos como no paramétricos. Permite también realizar modelos ARX multivariados y modelos de variables de estado con parámetros de acoplo. Sin embargo, a pesar de sus grandes cualidades, también presenta algunas carencias.

## CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Id.	Nombre de tarea	Comienzo	Fin	Duración (semanas)	T2	T3				T4			T1			T2		T3
					jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul
1	Búsqueda bibliografica	01/02/2008	26/02/2009	56s	[Barra azul continua desde junio 2008 hasta julio 2009]													
2	Familiarizarse con IDENT y SIMULINK	03/03/2008	29/08/2008	26s	[Barra azul desde junio 2008 hasta agosto 2008]													
3	Formulación en Espacio-Estado	05/05/2008	19/09/2008	20s	[Barra azul desde junio 2008 hasta septiembre 2008]													
4	Proceso de polimerización	03/03/2008	30/05/2008	13s	[Barra azul desde junio 2008 hasta mayo 2008]													
5	Análisis preliminar de los datos	16/04/2008	13/06/2008	8.6s	[Barra azul desde junio 2008 hasta junio 2008]													
6	Generación del modelo reactor 1	04/08/2008	22/09/2008	7.2s	[Barra azul desde agosto 2008 hasta septiembre 2008]													
7	Validación del modelo reactor 1	12/09/2008	10/10/2008	4.2s	[Barra azul desde septiembre 2008 hasta octubre 2008]													
8	Generación del modelo reactor 2	06/10/2008	14/11/2008	6s	[Barra azul desde octubre 2008 hasta noviembre 2008]													
9	Validación del modelo reactor 2	14/11/2008	11/12/2008	4s	[Barra azul desde noviembre 2008 hasta diciembre 2008]													
10	Desarrollar el sistema de control reactor 1	22/09/2008	14/11/2008	8s	[Barra azul desde septiembre 2008 hasta noviembre 2008]													
11	Desarrollar el sistema de control reactor 2	03/11/2008	16/01/2009	11s	[Barra azul desde noviembre 2008 hasta enero 2009]													
12	Ajustar el sistema de control	12/01/2009	13/03/2009	9s	[Barra azul desde enero 2009 hasta febrero 2009]													
13	Escritura de tesis	04/08/2008	29/05/2009	43s	[Barra azul continua desde agosto 2008 hasta mayo 2009]													
14	Presentación en congreso	13/10/2008	17/10/2008	1s	[Barra azul vertical en octubre 2008]													
15	Presentación en congreso	08/06/2009	12/06/2009	1s	[Barra azul vertical en junio 2009]													

## BIBLIOGRAFÍA

- Control en el Espacio de Estado  
Domínguez S., Campoy P., Sebastián J.M. y Jiménez A.  
Prentice Hall, 2002  
Universidad Politécnica de Madrid.
- Control of polymerization reactors  
F. Joseph Schork  
Copyright 1993 by Marcel Dekker.
- 4th IFAC Symposium on dynamics and control of chemical reactors, distillation columns and batch processes.  
Sponsored by IFAC- The International Federation of Automatic Control  
James B. Rawlings (USA)- Chairman and editor
- Chemical Reaction Engineering and Kinetics  
Ronald W. Missen, Charles A. Mims, Bradley A. Saville  
Copyright 1999 John & Sons, Inc. all rights reserved
- Chemical Reactor Analysis and Design  
Gilbert F. Froment, Kenneth B. Bischoff  
Copyright 1979 by John Wiley & Sons. Inc.
- Chemical Reactor design, optimization, and scaleup  
E. Bruce Nauman  
Rensselaer Polytechnic Institute Troy, New York  
Copyright 2002 by McGraw-Hill Companies

- The Engineering of Chemical Reactions  
Schmidt, Lanny D.  
Oxford University Press 1998
- Industrial Catalysis  
Jens Hagen  
Copyright 2006 by Wiley-VHC Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim
- Ingeniería de la cinética química  
J.M. Smith  
Febrero de 1991, McGraw-Hill, Inc.
- Kinetics of Catalytic Reactions  
M. Albert Vannice  
Copyright 2005 Springer Science + Business Media, Inc.
- Modeling of Chemical Kinetics and Reactor Design  
A. Kayode Coken, Ph. D.  
Copyright 2001 by Gulf Publishing Company, Houston, Texas
- From Plant Data to Process Control  
Liuping Wang and William R. Cluett  
Copyright 2000 Printed and bound in Great Britain by T J International, Padstor,  
Cornwall
- Multivariable System Identification for Process Control  
Y. Zhu (editor)  
Publisher: Elsevier Science & Technology Books
- Practical Grey-box Process Identification (Theory and applications)  
Torsten Bohlin  
Springer Science- Verlag London Limited 2006 + Business Media

- Chemical Process Control: A first Course with MATLAB  
Pao C. Chau  
Copyright 2001, University of Californian, San Diego
- Control automático de procesos. Teoría y práctica  
Smith A. Carlos, Corripio B. Armando  
Editorial Limusa, primera edición 1991
- Control Engineering A. guide for beginners  
Manfred Schleicher, Frank Blasinger  
January 2003, JUMO Gmb & Co. KG, Fulda, Germany. 3 rd. edition
- Ingeniería de control moderna  
Katsuhiko Ogata  
Copyright 1998 Prentice Hall, tercera edición
- Practical Process Control of Engineers and Technicians  
Wolfgang Altmann Dipl. Ing.  
Copyright 2005, IDC Technologies.
- Principles and Practice of automatic process control  
Carl & A. Smith, Armando B. Corripio  
John Wiley & Sons, Inc., second edition
- Process- Control Systems  
F.G. Shinskey  
McGraw-Hill Book Company
- Process Systems Analysis and Control  
Donald R. Coughanowr  
Copyright 1991, McGraw-Hill, second edition

- System Identification, Theory for the user  
Lennart Ljung  
Copyright 1999 Prentice Hall PTR, second edition
- Process identification using finite impulse response models. A solution to the 1992 Canadian Chemical Engineering Conference Process Identification. J. Kirk Bailey. Copyright 1995 *Elsevier Science Ltd.*
- Model order selection for process identification applied to an industrial ethylene furnace. Rahul Bindlish. *Elsevier, Journal of Process Control* 13 (2003) 569-577.
- Operating data generation and analysis in a pulp and paper plant L. Costa, P. Santos, J. Ataide and P. Saraiva. Copyright 1996 *Elsevier Science Ltd. Computers Chem. Engng.* Vol 20, Suppl., pp 1493-1498, 1996.
- Introduction to the Process Identification Workshop at the 1992 Canadian Chemical Engineering Conference. Barry J. Cott. Copyright 1995 *Elsevier Science Ltd. J. Proc. Cont.* Vol 5, No.2, pp. 67-69, 1995.
- Summary of the Process Identification Workshop at the 1992 Canadian Chemical Engineering Conference. Barry J. Cott. Copyright 1995 *Elsevier Science Ltd. J. Proc. Cont.* Vol 5, No.2, pp. 109-113, 1995.
- Subspace state space system identification for industrial processes. Wouter Favoreel, Bart De Moor, Peter Van Overschee. *Elsevier Science Ltd. Journal of Process Control* 10 (2000) 149-155.
- Identification for control. M. Gevers. *A. Rev. Control*, Vol. 20, pp. 95-106, 1996. International Federation of Automatic Control 1997.

- Identification of state models using principal components analysis. M.K. Hartnett, G. Lightbody, G.W. Irwin. *Elsevier Science Ltd. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 46 (1999) 181-196.
- Process identification based on last principal component analysis. Biao Huang. *Elsevier Science Ltd. Journal of Process Control* 11 (2001) 19-33.
- Practical Aspects of Process Identification. R. Isermann. *Pergamon Press Ltd*, 1980.
- Databank transfer-of-information, shortcut and exact estimators used in the wastewater biological treatment process identification. Gheorghe Maria, Cristina Maria, Romualdo Salcedo, Sebastiao Foyo de Azevedo. *Elsevier Science Ltd. Computers and Chemical Engineering* 24 (2000) 1713-1718.
- Identification of Linearity in the Biofilm Process and Its Operational Utility. C. S. P. Ojha, Rajnish Shrivastava. *Civil Engineering Department, 68/2 Ravindra Lok, University of Roorkee, Roorkee-247 667, (U.P.), India*.
- Closed-loop on-line process identification using a proportional controller. Jin Hyun Park, Heung Il Park and In-Beum Lee. Copyright 1998 *Elsevier Science Ltd. Chemical Engineering Science*, Vol. 53, No. 9, pp. 1713-1724, 1998.
- Process identification using neural networks J. F. Pollard, M. R. Broussard, D. B. Garrison and K. y. San. Copyright 1992. *Pergamon Press Ltd., Computers Chem. Engng*, Vol. 16, No.4, pp. 253-270, 1992.
- Neural networks for the identification of MSF desalination plants. Ramasamy Selvaraj, Pradeep B. Deshpande, Sanjeev S. Tambe, Bhaskar D. Kulkarni. *Elsevier Science Ltd. Desalination* 101 (1995) 185-193.

- On- line process identification and automatic tuning method for PID controllers. Su Whan Sung, In-Beum Lee and Byung-Kook Lee. Copyright 1998 *Elsevier Science Ltd. Chemical Engineering Science*, Vol 53, No. 10, pp. 1847-1859, 1998.
- Control design for an industrial distillation column. M. T. Vester, R.J.P. Van der Linden and J.L.A. Pangels. *Pergamon Press Ltd. Computers Chem. Engng.* Vol 17, No. 5/6, pp. 609-615, 1993.
- Direct identification of continuous time delay systems from step responses. Qing-Guo Wang, Xim Guo, Yong Zhang. *Elsevier Science Ltd. Journal of Process Control* 11(2001) 531-542.
- Multivariable correlation analysis and its application to an industrial polymerization reactor. C.H.O. Fontes, M. Embirucu. *Elsevier Science Ltd. Computers and Chemical Engineering* 25 (2001) 191-201.
- Modeling and control of an LDPE autoclave reactor. Jae Yong Ham and Hyun-Ku Rhee. Copyright 1996 *Elsevier Science Ltd. J. Proc. Cont.* Vol. 6, No. 4, pp. 241-246, 1996.
- Identification and control of an industrial polymerization reactor. G. Mourue, D. Dochain,, V. Wertz, P. Descamps. *Elsevier Science Ltd. Control Engineering Practice* 12 (2004) 909-915.
- An experimental study for property control in a continuous styrene polymerization reactor using a polynomial ARMA model. Sang-Seop Na, Hyun-Ku Rhee. *Pergamon Press Ltd., Chemical Engineering. Science* 57 (2002) 1165-1173.
- Development of high performance operational strategies for polymerization reactor. Eduardo Coselli Vasco de Toledo, Rogerio Favinha Martin, Rubens



Maciel Filho. *Elsevier Science Ltd., Computers and Chemical Engineering* 24 (2000) 481-486.

- Experimental application of generalized predictive control of the temperature in polystyrene polymerization reactor. M. Alpbaz, H. Hapoglu, G. Ozkan. *Chem Eng. Conm*, 191: 1173-1184, 2004, *Taylor & Francis Inc.*