



**UNIVERSIDAD MICHOACANA  
DE  
SAN NICOLAS DE HIDALGO**



**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO PARA EL  
FLUJO Y LA TEMPERATURA EN UN REACTOR DE POLIMERIZACIÓN EN  
EMULSIÓN A NIVEL PLANTA INDUSTRIAL**

**TESIS**

**PARA OBTENER**

**EL GRADO DE LICENCIATURA EN INGENIERIA QUIMICA**

**PRESENTA**

**LUIS GILBERTO GARCIA BOLAÑOS**

**ASESOR**

**M.C. RODOLFO RUIZ HERNANDEZ**

**Morelia, Mich a Octubre del 2006**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres

José García León y Ramona Bolaños Díaz

Por su apoyo incondicional en la vida, así como, para la realización de este Logro

A mis hermanos

José Manuel, Lenin Osvaldo y Víctor Hugo

Por su amistad

A mi asesor y amigo M.C. Rodolfo Ruiz Hernández

Por todas sus enseñanzas tanto académicas y de vida

A una persona muy especial en mi vida, que me impulso para nuevamente retomar la terminación de la carrera de Ing. Química. A ti Amorsito Mayra Villalobos Cisneros

Y Por supuesto al motor de mi vida a mi Hija:

**Ana Gisela García Yáñez**

A La Facultad de ingeniería Química y la Universidad Michoacana de San Nicolás por brindarme y darme todas las herramientas y conocimientos para mi formación los cuales adquirí a través de todos mis maestros que tuve durante toda mi preparación profesional.

Y a todos los amigos que me ayudaron a la conclusión de este logro

Sinceramente

**GRACIAS**

Luís Gilberto García Bolaños



**U.M.S.N.H.**

**FACULTAD DE  
INGENIERIA QUIMICA**

2006 Año del Bicentenario del natalicio del Benemérito de las Américas, Don Benito Juárez García

Of. No. 496/2005/2006

C.  
LUIS GILBERTO GARCÍA BOLAÑOS  
PASANTE DE INGENIERÍA QUÍMICA  
P R E S E N T E

En contestación a su atenta solicitud de fecha 22 del Julio 2006 permito comunicarle a usted que se aprueba el tema de tesis propuesto para presentar Examen Recepcional en la Carrera de Ingeniero Químico.

El tema aprobado: "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO PARA EL FLUJO Y LA TEMPERATURA EN UN REACTOR DE POLIMERIZACIÓN EN EMULSIÓN A NIVEL PLANTA INDUSTRIAL" el cual se desarrollará bajo el siguiente índice:

- I. OBJETIVO
- II. RESUMEN
- III. INTRODUCCION
- IV. GENERALIDADES
- V. EXPERIMENTACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO PARA EL REACTOR DE POLIMERIZACIÓN EN EMULSIÓN A NIVEL PLANTA INDUSTRIAL
- VI. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS
- VII. CONCLUSIONES
- VIII. BIBLIOGRAFIA
- IX. APENDICE

Para tales efectos fungirán como asesor de su tesis el C. M.C. Rodolfo Ruiz Hernández Profesor de la Facultad de Ingeniería Química y su mesa de jurado para revisión y realización de este trabajo estará integrada por:

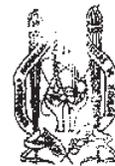
<b>PRESIDENTE</b>	M.A. DELIA MORENO JUAREZ
<b>VOCAL</b>	M.C. RODOLFO RUIZ HERNANDEZ
<b>VOCAL</b>	DRA. MARIANA RAMOS ESTRADA
<b>SUPLENTE</b>	ING. ALFONSO MARTINEZ RODRIGUEZ

ATENTAMENTE  
Morelia, Mich., 2 de agosto de 2006.

M. en A. DELIA MORENO JUAREZ  
DIRECTORA DE LA FACULTAD

C.c. p. La secc. de certificación y titulación

U.M.S.N.H.



FACULTAD DE INGENIERIA  
QUIMICA

## INDICE

	PAGINA
INDICE	i
LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE GRAFICAS	iv
LISTA DE TABLAS	v
OBJETIVO	1
RESUMEN	1
I.- INTRODUCCION	2
1.1 Antecedentes	2
1.1.1 Sistema de control PI	2
1.1.2 Sistema de control PID	3
1.1.3 Sistema de control distribuido SCD	4
1.1.4 Industrias basadas en los polímeros	5
1.1.5 Productos dirigidos a los diferentes mercados	6
1.2 Justificación	7
II.- GENERALIDADES	8
2.1 Que son los polímeros	8
2.2 Temperatura de transición vítrea	9
2.3 Homopolímeros y copolímeros	10
2.4 Reacciones de polimerización	12
2.5 Procesos de polimerización	12
2.6 Comparación entre los procesos de polimerización	14
2.7 Que es una emulsión	15
2.8 Reacciones que ocurren en la polimerización en emulsión	15
2.9 Componentes en la polimerización en emulsión	16
III.- EXPERIMENTACION E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO PARA UN REACTOR DE POLIMERIZACION EN EMULSION A NIVEL INDUSTRIAL	20
3.1 Estrategia para el control de la temperatura	21
3.1.1 Control en cascada	21
3.1.2 Control de rango dividido	21
3.2 Estrategia para el control del flujo de monómero emulsionado y Catalizador	22
3.3 Controladores “ Faceplates”	23
3.4 Indicadores	24
3.5 Overlay	24
3.6 Desplegados dinámicos de equipos instalados	26
3.6.1 Diagrama esquemático implementado para el sistema de control distribuido	29
3.7 Experimentación	30

3.7.1 Datos obtenidos experimentalmente en las corridas a nivel Industrial con diversos productos	30
3.8 Datos de la primer corrida resina estirenica	31
3.9 Datos de la segunda corrida resina estiren-acrílica	37
3.10 Datos de la tercer corrida resina estiren-acrílica	43
IV.- ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS	49
V.- CONCLUSIONES	51
VI.- BIBLIOGRAFIA	52
VII.- APENDICES	53
7.1 Apéndice I	53
7.2 Apéndice II	55
7.3 Apéndice III	56
7.4 Apéndice IV	56

## INDICE DE FIGURAS

<b>Numero</b>	<b>Titulo</b>	<b>Pagina</b>
No 1	Unidades Estructurales del Polietileno y PVC	8
No.2	Distribución del Peso Molecular de Polímeros	9
No.3	Unidades Estructurales del ABS	10
No.4	Estructura del ABS	11
No.5	Cadenas de Copolímeros	11
No.6	Control en Cascada	21
No.7	Control de Rango Dividido	22
No.8	Overlays Para el Control De Flujo	23
No.9	Faceplate Utilizado Para Todos los Equipos Utilizados	23
No.10	Grafico de Indicadores	24
No.11	Overlay Para Motores	24
No.12	Overlay Para Válvula On- Off	25
No.13	Overlay Para Medidores De Presión	25
No.14	Overlay Para Medidores de Presión de Agua de Enfriamiento	26
No.15	Grafico de Válvula de Control	26
No.16	Grafico de Válvula On – Off	27
No.17	Grafico de Motores	27
No.18	Grafico de Agitadores	28
No.19	Dinámico del Sistema de Control Distribuido Implementado	39

## INDICE DE GRAFICAS

<b>Numero</b>	<b>Titulo</b>	<b>Pagina</b>
No.1	Flujo de Preemulsion vs. Tiempo de Primer Corrida	32
No.2	Flujo de Catalizador vs. Tiempo de Primer Corrida	33
No.3	Temperatura vs. Tiempo de Propagación de Reacción de la Primer Corrida	34
No. 4	Temperatura vs. Tiempo Total del Proceso Forma Manual de Primer Corrida	35
No. 5	Temperatura vs. Tiempo Total del Proceso Forma Automático de Primer Corrida	36
No.6	Flujo de Peemulsion vs. Tiempo de Segunda Corrida	38
No.7	Flujo de Catalizador vs. Tiempo de la Segunda Corrida	39
No. 8	Temperatura vs. Tiempo de Propagación de la Reacción de Segunda Corrida	40
No. 9	Temperatura vs. Tiempo Total del Proceso Forma Manual de Segunda Corrida	41
No.10	Temperatura vs. Tiempo Total del Proceso Forma Automático de Segunda Corrida	42
No.11	Flujo de Preemulsion vs. Tiempo de Tercer Corrida	44
No.12	Flujo de Catalizador vs. Tiempo de Tercer Corrida	45
No:13	Temperatura vs. Tiempote Propagación de la Reacción de Tercer Corrida	46
No. 14	Temperatura vs. Tiempo Total del Proceso Forma Manual de Tercer Corrida	47
No. 15	Temperatura vs. Tiempo Total del Proceso Forma Automático de Tercer Corrida	48
No.16	Resultados Obtenidos de las Principales Propiedades Primer Corrida	49
No.17	Resultados Obtenidos de las Principales Propiedades Segunda Corrida	49
No. 18	Resultados Obtenidos de las Principales Propiedades Tercer Corrida	50

INDICE DE TABLAS

<b>Numero</b>	<b>Titulo</b>	<b>Pagina</b>
No.1	Puntos de Ebullición de Diversos Compuestos	8
No.2	Características Para los Diferentes Tipos de Polimerización	13
No.3	Comparación de los Tipos de Polimerización	14
No.4	Datos de Primer Corrida Experimental Resina Estirenica	31
No.5	Datos de Segunda Corrida Experimental Resina Estiren-Acrílica	37
No.6	Datos de Tercer Corrida Experimental Resina Estiren-Acrílica	43

## OBJETIVO

El presente trabajo tiene como objetivo la implementación de un sistema de control distribuido en un proceso de fabricación de resinas a nivel industrial con un sistema de reacción tipo redox ó reflujo (adición de calor), para la obtención de productos con mejores características y propiedades.

## RESUMEN

Debido a la creciente demanda de polímeros sintéticos, así como, una mayor calidad y propiedades especiales se a tenido que aplicar y utilizar otros métodos para la obtención de estos productos y uno de ellos a sido la aplicación de un sistema de automatización por medio de un sistema de control distribuido para controlar las variables mas criticas que se tienen durante el proceso de la fabricación de resinas en emulsión como lo son: el Flujo de adición de monómero en emulsión, el flujo de Catalizadores, así como, de la Temperatura tanto de inicio, adición (propagación de reacción) y terminación de reacción.

Un sistema de control distribuido es un conjunto sofisticado de programas que nos provee un óptimo control del proceso y capacidad de producción para un amplio rango de aplicaciones, este sistema esta diseñado para ajustarse fácilmente a los requerimientos específicos y necesidades de la planta, permitiendo una distribución de la facilidad de operación tanto a nivel operativa como de ingeniería.

Un sistema de control en cascada y de Rango dividido controla la temperatura del proceso, y el control del flujo tanto de catalizadores como de monómero emulsionado: esta en función de la presión de la columna de agua que nos servirá para determinar los niveles y volúmenes de cada tanque con el factor de corrección que será la densidad del material que se este utilizando, se relacionara con el setpoint y la válvula de control para tener un flujo constante e uniforme.

Los Loops de control están compuestos de tres componentes básicos:

- Elemento Primario de medición
- Control (Controlador)
- Elemento Final de Control

En el presente trabajo se presentan los resultados de la implementación de un sistema de control distribuido en un proceso de polimerización en emulsión, ya que con anterioridad este se controlaba de manera manual y los resultados se reflejaban en la calidad y propiedades de los productos. Las corridas experimentales se realizaron a nivel industrial con monómeros de ácido metacrílico, estireno y acrilato de butilo, con la implementación de este sistema de control se logro controlar el flujo de adición y temperatura de reacción que son las variables mas criticas del proceso, obteniéndose los siguientes resultados el % de Grumo se redujo en un 75%, la viscosidad en un 25% y el rendimiento aumento en 1.77% en promedio. De acuerdo con estos datos la calidad del producto se mejoro en el tamaño y distribución de las partículas del polímero.

## I.- INTRODUCCION

### 1.1 ANTECEDENTES

Los polímeros se producen por la unión de cientos o miles de moléculas llamadas monómeros las cuales forman enormes cadenas de distintas formas que se repiten a lo largo de la cadena, el proceso con el cual se trabajara en el presente trabajo es el de proceso en emulsión.

#### Las Reacciones Que Ocurren En La Polimerización En Emulsión

Iniciación: En esta etapa ocurre la descomposición térmica del iniciador

Propagación: El proceso se repite “n” veces

Terminación: Al formarse cadenas muy largas de macroradicales libres eventualmente se encuentran y se unen formando una molécula de polímero.

Las resinas en emulsión están constituidas por: Agua, Monómeros, Surfactante, Iniciadores, Catalizadores, Reguladores de acidez y Antiespumantes. Los tipos de resinas en emulsión que se realizan para su comercialización son de tipo:

- Estirenicas
- Acrílicas
- Vinílicas
- Estiren- Acrílicas
- Acril- Vinílicas

Estos productos van dirigidos a los mercados de: El Calzado, Pinturas, Recubrimientos e Impermeabilizantes, Papel, Textil y No tejidos.

Debido al aumento en demanda de polímeros sintéticos , así como, una mayor calidad y propiedades especiales se a tenido que utilizar otros métodos para la obtención de estos productos de acuerdo a las características específicas que se requieren, ya que con anterioridad se realizaban de manera manual y siempre se tenia el error de la mano de obra (error humano), ya que depende de la facilidad y pericia que tenga el operario para mantener constantes las variables mas criticas del proceso como lo son el Flujo de Monómero Emulsionado y Catalizadores, así como, la Temperatura de Reacción [1] .

Algunos de los sistemas de control que se pueden utilizar para el control de los procesos son: Los PI, PID, SCD.

#### 1.1.1 SISTEMA DE CONTROL PI

El Sistema PI es un conjunto de módulos de software para la supervisión, adquisición y el análisis de toda la data generada en planta que permite la implementación llave en mano de un paquete de recolección, historia, análisis y visualización de datos. Estos datos se requieren para soportar una variedad de aplicaciones centralizadas de control avanzado, optimización y control de calidad en línea. El principal objetivo del Sistema PI es el de permitir el acceso rápido y de precisión a la información económica y de operación de planta para el personal de operaciones, supervisión, gerencia e ingeniería En el ambiente competitivo de hoy en día, se espera que las industrias hagan productos de más alta calidad con entregas más rápidas, precios más bajos, menor contaminación y menos desechos.

Estos son algunos de los beneficios del Sistema PI que las empresas están utilizando para cumplir con estas demandas:

**Costos de Producción Más Bajos:** Las herramientas gráficas y de análisis de datos del Sistema PI facilitan la resolución más rápida de los problemas, y previenen que las condiciones menores se conviertan en grandes problemas. Los datos almacenados en PI permiten mejorar los programas de mantenimiento preventivo, incrementando la vida de los equipos. Estos usos del PI resultan en una producción más elevada y costos de operación menores.

**Más Alta Calidad del Producto:** El momento para responder a un problema de calidad es antes de que el producto salga de sus especificaciones. Algunos módulos de PI permiten descubrir las inconsistencias del producto y repararlos antes de que se conviertan en problemas serios. El PI ofrece mecanismos fáciles de usar para obtener y supervisar las mejoras continuas del proceso. Estos programas frecuentemente conducen a una calidad del producto mejorada sin incrementos en los costos de producción.

### 1.1.2 SISTEMA DE CONTROL PID

Un regulador del proporcional-integral-derivado (regulador de PID) es un componente común del lazo de regeneración en sistemas de control industriales. El regulador compara un valor medido de un proceso (típicamente un proceso industrial) con un valor del setpoint de la referencia. La diferencia (o la señal del “error”) entonces se utiliza de calcular un nuevo valor para una entrada manipulable al proceso que trae el valor medido de los procesos de nuevo a su setpoint deseado. Desempejante de algoritmos más simples del control, el regulador de PID puede ajustar las salidas de proceso basadas en la historia y el índice del cambio de la señal del error, que da un control más exacto y más estable. (Puede ser demostrado matemáticamente que un lazo de PID producirá exacto, control estable en caso de que un control proporcional simple tuviera un error de estado estacionario o hiciera el proceso oscilar). Fundamentos del lazo de control El lazo de PID intenta automatizar lo que haría un operador inteligente con una galga y una perilla de control. El operador leería una galga que demuestra la medida de la salida de un proceso, y utiliza la perilla para ajustar la entrada del proceso (la “acción”) hasta que la medida de la salida del proceso se estabiliza en el valor deseado en la galga o setpoint. Un lazo de control consiste en tres porciones: La medida por un sensor conectó con el proceso, Decisión en un elemento del regulador, Acción a través de un dispositivo de salida (“actuador”) por ejemplo una válvula de control. Mientras que el regulador lee un sensor, resta esta medida del “setpoint” para determinar el “error”. Entonces utiliza el error para calcular una corrección a la variable de la entrada del proceso (la “acción”) de modo que esta corrección quite el error de la medida de la salida del proceso. En un lazo de PID, la corrección se calcula del error de tres maneras: cancelar hacia fuera el error actual directamente (proporcional), la cantidad de tiempo que el error ha continuado sin corregir (integral), y anticipa el error futuro del índice del cambio del error en un cierto plazo (derivado)

Un regulador de PID se puede utilizar para controlar cualquier variable mensurable que pueda ser afectada manipulando una cierta otra variable del proceso, “PID” se nombra después de sus tres cálculos que corrigen, que todo agrega a y ajusta la cantidad controlada

Estos controlan a menudo solamente uno o dos lazos y todavía se utilizan para los sistemas independientes pequeños donde está innecesario un control del PLC o de computadora.

En la historia temprana del control de proceso automático el regulador de PID fue puesto en ejecución como dispositivo mecánico, energizado a menudo por el aire comprimido. Los sistemas mecánicos (una vez que el más barato) pueden utilizar una palanca, el resorte y una masa.

Los reguladores neumáticos eran una vez que el campo común, pero haya sido substituido en gran parte por los reguladores electrónicos digitales. Los reguladores análogos electrónicos son muy baratos ahora, y se pueden hacer de un amplificador de estado sólido o del tubo, de un condensador y de una resistencia. Hoy en día, se substituyen por los reguladores digitales puestos en ejecución en microcontroladores.

### 1.1.3 SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO SDC

En los últimos 10 años se ha dado una evolución importante tanto en el software como en el hardware de Autómatas Programables Industriales (APIs), tarjetas basadas en PC e instrumentación inteligente (smart sensors, smart actuators). Este avance, unido al estado del arte en algoritmos de control avanzados, ofrece grandes posibilidades para diseñar sistemas distribuidos flexibles, fiables y de altas prestaciones.

El diseño y desarrollo de sistemas distribuidos conlleva la integración de fases de análisis y simulación desde diferentes puntos de vista, desde el diseño de los propios algoritmos de control, hasta el diseño de la arquitectura software del sistema o estudios de cumplimiento funcional y de requisitos temporales. Esta integración debería implicar en alguna medida que el equipo de trabajo colabore conjuntamente en el diseño de todos los aspectos del sistema, ya que muy probablemente decisiones en un determinado ámbito, por ejemplo, la decisión del número de nodos de la arquitectura, influya de manera determinante en la realización de los algoritmos de control, o en las prestaciones de tolerancia a fallos. El diseño de sistemas distribuidos con requisitos de tiempo real en muchas ocasiones posee requerimientos críticos en términos de comportamiento temporal, prestaciones y seguridad. Este tipo de aplicaciones puede encontrarse en campos tan diversos como línea blanca, automatización de procesos de fabricación, la industria aeroespacial o en sistemas de transporte (control de automóviles, ferrocarriles, etc.).

Incluso en el campo de control de procesos industriales existen aplicaciones en que un conjunto de subsistemas deben cooperar y un subconjunto de ellos deben cumplir ciertos requisitos temporales o de seguridad. Para abordar el diseño de este tipo de sistemas resulta fundamental el disponer de herramientas que abarquen todas las fases del diseño (desde la especificación, análisis, diseño hasta la generación de código de la aplicación).

El dominio del ingeniero de control no es sólo definir modelos específicos de dominio sino también especificar cómo deben interaccionar para poder asesorar al diseñador mediante co-simulación previa a la implementación. El núcleo central del entorno lo constituye el Modelo del Sistema Distribuido, que describe la base de datos general que contiene toda la información relevante sobre el sistema.

A partir de él, se extraen los denominados Modelos Específicos de Dominio, que son utilizados y modificados por un conjunto de herramientas que realizan análisis y simulación en un determinado dominio (Por ejemplo, comportamiento temporal, comportamiento a perturbaciones, estudios de estabilidad, tolerancia a fallos, etc.).

Por lo que la aplicación de un sistema de automatización por medio de un Sistema de Control Distribuido es de gran utilidad para evitar variaciones dentro del proceso de fabricación de resinas en emulsión en lo que se refiere a: El flujo de adición de monómero en emulsión, el flujo de Catalizadores y la Temperatura tanto de inicio, adición (propagación de reacción) y terminación de reacción. Que en nuestro caso son los puntos críticos que se tienen en la fabricación de resinas en emulsión ya que en la etapa de propagación de la reacción nos pueden ocasionar condiciones no deseables que influirán en las características ó propiedades de nuestro producto final.

Un sistema de control distribuido es un conjunto programas que nos sirven para tener un óptimo control del proceso en un amplio rango de aplicaciones. La operación para los controladores se efectúa por medio de overlays (Sobre pantallas) y se puede trabajar en: automático/manual, local/remoto, arranque/paro, abrir/cerrar; según sea la aplicación que se este utilizando. Para cada controlador se registran las tres variables de proceso que son las que nos sirven para el control del proceso y son [2]:

- Medición
- Punto de ajuste
- Salida de control

#### **1.1.4 INDUSTRIAS BASADAS EN LOS POLIMEROS**

- Industria del Hule
- Industria de los Plásticos
- Industria de las Fibras
- Industria de los Adhesivos

#### **INDUSTRIA DEL HULE**

El hábito de los polímeros se remonta a tiempos de los egipcios y mayas que utilizaban el árbol silvestre de guayule el cual en sus tallos tenía una capa grisácea de hule natural. Tiempo después en USA (1839), descubrieron que al mezclar el hule natural con el azufre se producía un compuesto moldeable que al calentarlo “vulcanizado”, se obtenía un materia no pegajoso muy estable y muy adecuado para impermeabilizantes, botas de hule, llantas y pronto la industria del hule quedo asociado al del automóvil.

#### **INDUSTRIA DEL PLASTICO**

En los años de la segunda guerra mundial se tuvo que aumentar la capacidad de producción del estireno, polietileno y cloruro de polivinilo, llegando a alcanzar esto en la década de los 60's, el desarrollo de nuevos materiales y de técnicas de fabricación lleno el hueco que existía entre hule y plásticos.

#### **INDUSTRIA DE LAS FIBRAS**

La introducción del nylon, rayón, poliéster con respecto a la lana y el algodón se tienen varias ventajas principalmente respecto al costo de producción, un factor que favorece a las fibras sintéticas es la tendencia de la moda hacia telas de fácil cuidado con propiedades especiales como: resistencia a la tracción y al desgaste resistencia a las hidrófugas, impudrescibilidad, resistencia a la polilla, que sean ligeras, etc.

## INDUSTRIA DE LOS RECUBRIMIENTOS

Es la que mas a desarrollado una diversidad de productos tanto para recubrimientos, pinturas, texturizados, etc. Ya que son muy importantes en nuestra vida cotidiana. De manera semejante esta industria utiliza la tecnología desarrollada durante la segunda guerra mundial para el látex aun se utilizan plásticos y hules naturales, pero casi cada hule o plástico nuevo da origen a un adhesivo [3].

### 1.1.5 PRODUCTOS DIRIJIDOS A LOS DIFERENTES MERCADOS

#### ● EL MERCADO DE LA CURTIDURÍA Y EL CALZADO.

- Resinas de impregnación
- Resinas para acabados de pieles
- Mateantes

#### ● PRODUCTOS PARA LA INDUSTRIA TEXTILES.

- Aceites para enconado de hilos
- Resinas de engomado
- Resinas para baking de telas
- Resinas para baking de alfombras
- Resinas para bondeado
- Resinas para estampado
- Resinas para adhesivo para flock
- Resinas con propiedades antiinflama
- Espesantes
- Dispersantes
- Detergentes para preparación y descruce de telas

#### ● PRODUCTOS PARA LA FABRICACIÓN DE NO TEJIDOS.

- Resinas Acrílicas para no tejidos de dureza y tacto suave
- Resinas Vinil acrílicas para no tejidos de dureza y tacto medio
- Resinas Vinílicas para no tejidos de dureza y tacto duro
- Resinas Estiren-acrílicas para no tejidos de dureza y tacto duro
- Resinas Acrílicas para no tejidos de dureza y tacto duro

#### ● PRODUCTOS PARA RECUBRIMIENTO DE PAPEL.

- Resinas Estiren-Acrílicos
- Resinas Vinil-Acrílicos
- Resinas Acrílicas
- Pigmentos sintéticos
- Espesantes (Modificadores de reología)
- Dispersantes

#### ● PRODUCTOS PARA LA FABRICACIÓN DE PINTURAS, IMPERMEABILIZANTES Y RECUBRIMIENTOS

- Resinas Acril-Vinílicas
- Resinas Vinílicas
- Resinas Estiren-Acrílicas.
- Resinas Acrílicas.
- Espesantes.
- Pigmentos sintéticos.

## 1.2 JUSTIFICACION

La justificación de este proyecto se debe a que con anterioridad se realizaba el proceso de manera manual y por lo tanto se obtenían muchas variaciones de temperatura que dificultaba el control del proceso y esto era reflejado en el rendimiento de la reacción debido a la excesiva formación de grumos en el producto final. Por esto se optó por la implementación de un Sistema de Control Distribuido ya que este sistema es muy flexible en sus aplicaciones, así como, fácil de utilizar para controlar: la Temperatura del Proceso y el Flujo de Catalizadores y Monómero Emulsionado, ya que estas variables son críticas dentro de nuestro proceso y al no tener variaciones en estos rubros nos da como resultado la mejora de la eficiencia de la reacción y por lo tanto mejor calidad de los productos finales. Además de que se optimizan al máximo los recursos de mano de obra, tecnología y de servicios; por lo que se obtiene un ahorro considerable en insumos.

## II.- GENERALIDADES.

### 2.1 QUE SON LOS POLIMEROS

La materia esta constituida por moléculas que pueden ser de tamaño normal o moléculas gigantescas llamadas polímeros. Los polímeros se producen por la unión de cientos o miles de moléculas llamadas monómeros las cuales forman enormes cadenas de distintas formas, algunas se asemejan a redes tridimensionales o escaleras de mano.

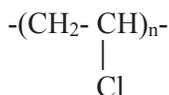
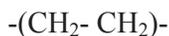
Existen distintos tipos de polímeros naturales o sintéticos entre los naturales se encuentran el algodón, la celulosa, la seda, la lana el hule natural. Sin embargo la mayor parte de los polímeros usados son sintéticos con diferentes aplicaciones y propiedades dependiendo el uso que se les valla a dar, este tipo de polímeros tienen excelente resistencia mecánica debido a que las grandes cadenas se atraen, las fuerzas de atracción intramolecular dependen de la composición química del polímero y por lo tanto pueden ser de diferentes clases.

Los polímeros en cadena contienen enlaces covalentes de energía entre ( 35-150Kcal/mol) distancias entre ( 0.11-0.16nm ) y ángulos relativamente constante entre enlaces sucesivos .Estos enlaces gobiernan la estabilidad fotoquímica y térmica de los polímeros mientras que en la moléculas o segmentos del mismo polímetro se atraen entre si por fuerzas intermoleculares (Fuerzas de Van der. Waals), que son mas difíciles de caracterizar debido al lugar donde operan (Segmento de molécula), mas que entre los átomos estas fuerzas aumentan en presencia de los grupos polares y disminuyen al aumentar la distancia entre moléculas ya que la energía de interacción varían inversamente con una distancia a la sexta potencia presentando pequeñas diferencias en estructura produciendo grandes defectos como lo es en el caso de ebullición para algunos compuestos.

MOLECULAS	PUNTO DE EBULLICION °C
CH <sub>4</sub>	-161
CH <sub>3</sub> Cl	-24
CH <sub>3</sub> OH	65
C(CH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>	9.5
CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	37

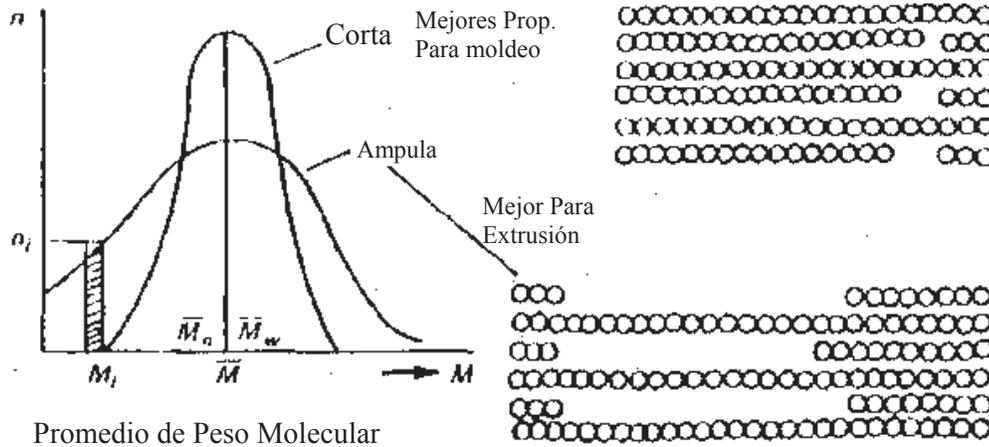
**Tabla No. 1 Puntos de Ebullición de Diversos Compuestos**

En los polímeros se distinguen estructuras que se repiten a lo largo de las cadenas, estas estructuras se llaman unidades estructurales por ejemplo podemos representar al polietileno y al PVC de la siguiente manera.



**Fig. No.1 Unidades Estructurales del Polietileno y PVC**

Por lo tanto la longitud de las cadenas seria una función del número “n”, que se llama grado de polimerización y el peso molecular del polímero es “n” multiplicado por el peso molecular de la unidad estructural. Una de las características de los polímeros es que son mezclas de cadenas de diferentes tamaños y en consecuencia tanto “n” como el peso molecular son promedios por lo tanto existe una distribución de pesos moleculares para cada muestra:



**Fig. No2 Distribución del Peso Molecular de Polímeros**

La distribución del peso molecular “n” es el numero del peso molecular M para cada especie “i” [4], [5].

$$M_n = \sum M_i n_i / \sum n_i \quad \text{Ec. No.1}$$

$$W_i = n_i M_i \quad \text{Ec. No.2}$$

$$M_w = \sum M w_i / \sum w_i \quad \text{Ec.No.3}$$

## 2.2 TEMPERATURA DE TRANSICION VITREA

A temperaturas altas los polímeros se vuelven líquidos muy viscosos en los que las cadenas están constantemente en movimiento cambiando su forma y deslizándose unas sobre las otras. A temperaturas muy bajas el mismo polímero seria un sólido duro, rígido y frágil. El polímero puede solidificarse formando un sólido amorfo o uno cristalino. Como se sabe los polímeros con fuertes irregularidades en su estructura tienden a formar sólidos amorfos y los polímeros con cadenas muy simétricas tienden a cristalizar, por lo menos parcialmente. A temperaturas altas está en forma de un líquido viscoso y al enfriarlo se vuelve cada vez más elástico hasta que llega a la temperatura de transición vítrea  $T_g$ , se convierte en un sólido duro, rígido y frágil. Lo que sucede es que conforme disminuye la temperatura el polímero se contrae porque las cadenas se mueven menos y se atraen más. Dado que va disminuyendo el volumen libre, es decir, los espacios entre las moléculas, los segmentos de las cadenas tienen cada vez menos lugar para girar hasta que al llegar a  $T_g$ , dejan de hacerlo el material se pone rígido y en esas condiciones se vuelve vítreo, es decir, frágil porque como sus cadenas aunque todavía vibran ya no pueden girar para cambiar su posición y no tienen manera de amortiguar los impactos.

A esta restricción del movimiento molecular también contribuye por supuesto la falta de suficiente energía debida a las bajas temperaturas. Evidentemente el estado vítreo lo alcanzan diferentes polímeros a diferentes temperaturas. Los que sean más flexibles con menos grupos voluminosos o con eteroátomos en sus cadenas podrán girar o permanecer flexibles a temperaturas menores que los otros. En este caso existen dos transiciones: una cuando cristaliza el polímero al enfriarlo ( $T_m$ ) y la otra cuando el material elástico resultante se vuelve vítreo ( $T_g$ ). Entre  $T_m$  y  $T_g$ , los cristalitas están envueltos en una matriz más o menos elástica y el material es correoso; pero abajo de  $T_g$  los cristales están dispersos en una matriz frágil. Abajo de  $T_g$  el material es un sólido vítreo de gran rigidez, que se manifiesta por altos módulos que generalmente alcanzan los  $10^6$  psi. La única deformación posible se debe al estiramiento y doblamiento de los enlaces covalentes que unen a los átomos en la cadena y al estiramiento de los enlaces intermoleculares. Esta deformación no es permanente ni puede ser muy pronunciada.

A temperaturas superiores a  $T_g$ , la deformación es más extensa y más dependiente del tiempo porque las moléculas ya tienen mayor libertad y cambian continuamente su forma y hasta cierto punto su posición. La aplicación del esfuerzo tiende a orientar a las moléculas en favor de configuraciones que tiendan a hacer trabajo. Por ejemplo: un esfuerzo de tensión extiende a las moléculas y las orienta en la dirección del esfuerzo aplicado porque así se produce una elongación de la muestra. Si la temperatura es mayor pero muy cercana a  $T_g$ , la deformación es prácticamente reversible y se debe al reordenamiento de segmentos cortos de las cadenas. Entre  $T_g$  y  $T_m$ , el material es huloso porque las cadenas están enmarañadas y eso dificulta su movimiento. A temperaturas cercanas a  $T_m$  y mayores, las cadenas poliméricas ya se deslizan y separan causando flujo viscoso irreversible. El material se comporta como un líquido muy viscoso [6].

### 2.3 HOMOPOLIMEROS Y COPOLIMEROS

Los materiales como el polietileno, el PVC, polipropileno y otros que contienen una sola unidad estructural se llaman Homopolímero. Los Copolímeros contienen varias unidades estructurales como es el caso de algunos muy importantes en los que participa el estireno como lo es el acrilonitrilo-butadieno-estireno "ABS".

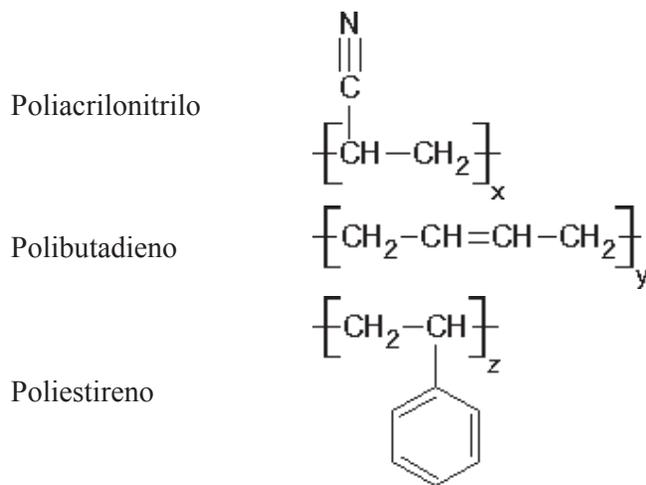


Fig. No 3 Unidades Estructurales del ABS

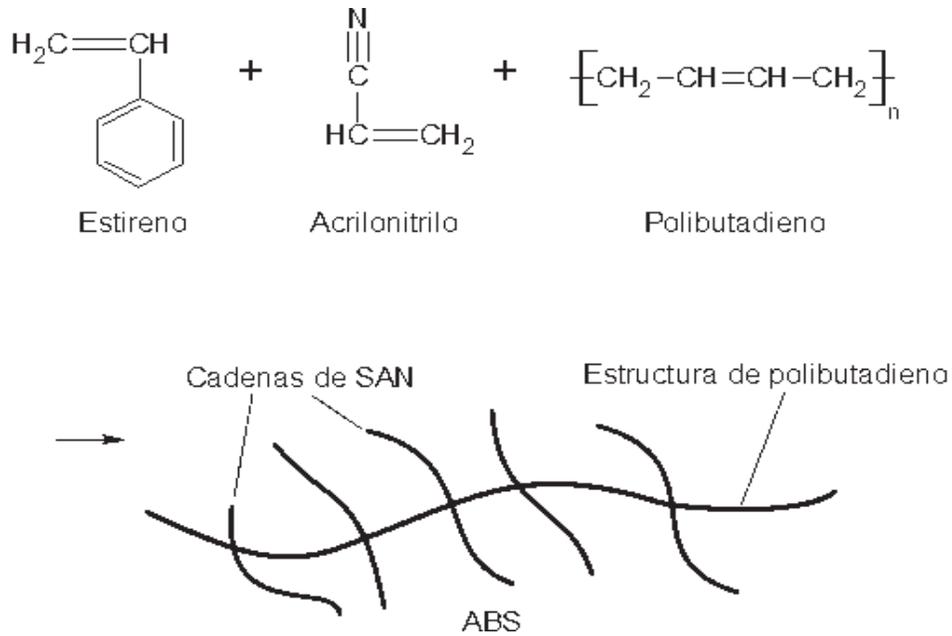


Fig. No 4 Estructura del ABS

Estas combinaciones se realizan para modificar sus propiedades y obtener nuevas aplicaciones, en el ABS el acrilonitrilo aporta su resistencia, el butadieno su flexibilidad y el estireno imparte al material la rigidez que requiera la aplicación en particular.

Al ir modificando las proporciones de los monómeros las propiedades de los copolímeros también van cambiando; al igual que también al cambiar su posición dentro de la cadena cambian sus propiedades, de manera que el proceso de copolimerización permite fabricar “polímeros a la medida” [5], [6].

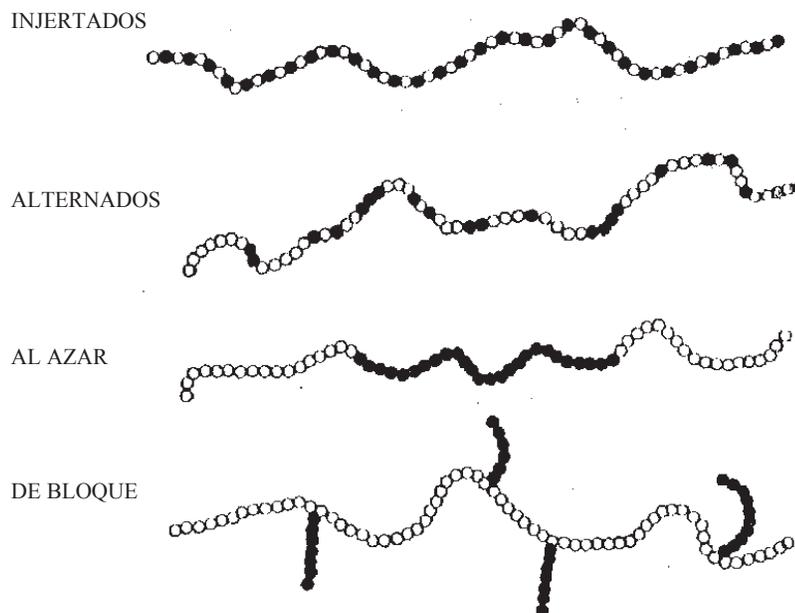


Fig. No 5 Cadenas de Copolímeros

La regularidad estructural depende de:

- La simetría
- El numero par vs. numero non de átomos de carbono entre grupos funcionales
- Tenacidad
- Configuración cis vs. trans
- Ramificaciones

## 2.4 REACCIONES DE POLIMERIZACION

El proceso para formar polímeros a partir de estas unidades simples y repetitivas “monómeros”, pueden proceder con muchas variaciones como:

- **Numero de enlaces:** cada monómero puede formar en la reacción que se use, la funcionalidad, no es más que el número de enlaces que se puede formar un monómero en un esquema de polimerización.
- **Esquema cinético:** que gobierne la reacción de polimerización ya sea en cadena o etapas. Por etapas cada polímero que se forma, puede continuar reaccionando con el monómero con otros polímeros. En cadena el polímero se forma en un tiempo corto y muere y permanece sin cambio aunque reaccione el monómero remanente.
- **Reacción química:** que se utiliza para producir nuevos enlaces.
  - Polimerización étenica o de adición: su cinética tipifica la polimerización en cadena que resulta de la polimerización de monómeros vinílicos presentando la estructura general  $\text{CH}_2=\text{CH-R}$  donde es indispensable: el doble enlace, lugar de reacción, contemplándose el ataque de una de las dobles ligaduras del monómero para convertirlo en radical libre en crecimiento el cual consumirá mas monómero hasta su terminación.
  - Polimerización de condensación: se implica la condensación de alguna parte del sistema se elimina como una pequeña molécula, aquí es fundamental la presencia de grupos “-OH -COOH ”, que reaccionan lentamente entre si para formar moléculas cada vez mas grandes o el polímero [7] .
- **Numero de monómeros:** usados en la polimerización.
- **Forma física:** Son en bulto o en masa, suspensión y emulsión.

## 2.5 PROCESOS DE POLIMERIZACION

### **POLIMERIZACION EN BULTO O MASA**

Se carga el reactor con puro monómero, se disuelve una pequeña cantidad de iniciador y se aplica calor hasta que la polimerización ocurre, la rapidez de la reacción es difícil de controlar debido a la auto aceleración y el calor de polimerización que se expide en poco tiempo, el cual no es posible remover por el aumento de viscosidad de la masa polimerizada, la eliminación del monómero no reaccionado es difícil por la baja rapidez de difusión y por lo tanto el grado de conversión es bajo. Ejemplo: poliacrilato de etilo o poliacrilonitrilo. Esta se realiza principalmente a presión normal y a temperaturas que van de temperatura ambiente hasta los 150°C.

- POLIMERIZACION EN MASA SIN AGITACION:

Se utiliza para producir materiales fuertes y con alta viscosidad cuando es fluido es ideal en operaciones para darles formas de hojas, también se denomina monómero de vaciado.

**POLIMERIZACION EN SOLUCION**

Su ventaja principal de un diluyente es para sacar el calor de polimerización de una elevación de temperatura o por evaporación, el monómero y el solvente son misibles provocando la polimerización por la adición del iniciador y aplicación de calor. Se realizan esencialmente a presión normal y a temperaturas de -70°C a 70°C.

▪ **HOMOGENEA:**

Todos son soluble entre si en el cual el monómero y el polímero formado son solubles en el solvente, así como, el iniciador como: Acido acrílico y acido poliacrilico en agua.

▪ **HETEROGENEA:**

Aquí el monómero e iniciador son solubles pero su polímero es insoluble en el solvente, presentando a una precipitación del polímero, en la interfase de la inmsibilidad. Puede agregarse agentes de suspensión o tenso activos para estabilizar la dispersión de polímero –solvente. Como el acrilato de butilo soluble en metanol pero su polímero insoluble.

**POLIMERIZACION EN SUSPENSION**

En este sistema el monómero es suspendido o dispersado como pequeñas gotas en un medio generalmente agua que se vuelve como medio de transferencia de calor, en el cual es virtualmente insoluble para evitar que haya coalescencia o aglomeración de las partículas del polímero ya que a medida se cambia del estado liquido a solidó pasando por una etapa adhesiva por los que se utiliza un coloide protector para retener las gotas con una agitación cuidadosa Debido a que las gotas tienen de 10-1000 µm de diámetro pueden tolerar velocidades de reacción rápidas sin que hierva el monómero y además puesto que la fase continua es acuosa la viscosidad cambia muy poco con la conversión y por lo tanto la transferencia a las paredes del reactor es eficiente. Se realizan a presión normal y de 60°C a 80°C.

**POLIMERIZACION EN EMULSION**

Este método es el de mayor importancia Industrial, el monómero es esparcido en el agua por medio de un surfactante y la agitación, la polimerización se efectúa por la adición de iniciador soluble en agua y por la adición de calor. El coloide protector, protectores de pH y otros aditivos también pueden estar presentes en los sistemas de emulsión o látex, el producto formado es una suspensión o dispersión de partículas sólidas pequeñísimas en un medio acuoso y no una emulsión propiamente. Esta también se realizan a presión normal a en un intervalo de temperatura que van desde los -20°C a los 60°C. [1].

TIPO DE POLIMERIZACION	TAMAÑO DE PARTICULA (MICRAS)	PESO MOLECULAR	APLICACIONES
SUSPENSION	45 – 400	24,000 a 80.000	calandreo extrusión moldeo
MASA	70 – 170	28.000 a 80.000	Calandreo extrusión moldeo
EMULSION	1- 20	8.000 a 85.000	Plastisoles

**Tabla No. 2 Características para diferentes tipos de Polimerización**

## 2.6 COMPARACION ENTRE LOS PROCESOS DE POLIMERIZACION.

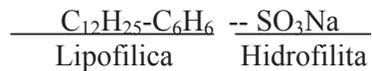
METODO DE POLIMERIZACION	VENTAJAS	DEVENTAJAS
EN MASA	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Se utiliza en operaciones para darles formas de hojas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Dificil transferencia de calor por el incremento de la viscosidad y bajas conductividades térmicas de monómero y polímero.</li> <li>➤ Dificil el control de la velocidad de reacción ya que se autoacelera debido al calor de polimerización o reacción.</li> </ul>
EN SOLUCION	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Monómero y solvente misibles.</li> <li>➤ El solvente sirve para eliminar el calor de polimerización.</li> <li>➤ Los niveles de impurezas son bajos ya que los residuos pueden lavarse.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Bajos pesos moleculares en el producto.</li> <li>➤ Dificil eliminar últimas trazas de solvente.</li> </ul>
EN SUSPENSION	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Aísla el polímero del medio de reacción.</li> <li>➤ Fácil control del peso molecular y tamaño de partícula.</li> <li>➤ La viscosidad varía muy poco con la conversión por lo que facilita el control del mecanismo de reacción.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Mucha dificultad en el control de la temperatura por la naturaleza inestable de la suspensión.</li> <li>➤ La velocidad de la reacción aumenta al ir aumentando la viscosidad de las gotas.</li> <li>➤ Genera gran cantidad de calor respecto a otros métodos.</li> <li>➤ Es crítica la agitación.</li> </ul>
EN EMULSION	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ El solvente es ideal para disipar el calor de reacción.</li> <li>➤ Mayor facilidad para el control de la temperatura ya que la viscosidad cambia muy poco con la conversión.</li> <li>➤ Velocidad de reacción controlable y el peso moleculares alto.</li> <li>➤ Estabilidad del producto final debido a sus componentes emulsionantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Alto nivel de impurezas por los residuos de sus componentes emulsionantes difícil de eliminar.</li> <li>➤ Es necesaria la agitación.</li> </ul>

Tabla No 3 Comparación de los tipos de Polimerización

## 2.7 QUE ES UNA EMULSION

Para explicar este concepto se puede partir de que el agua y el aceite son inmiscibles, la inmiscibilidad se debe a la naturaleza química y a la gran diferencia entre las tensiones superficiales de cada uno, se puede lograr casi una solución sin agregamos un tercer componente a la mezcla agua-aceite un emulsionante apropiado dependiendo el tipo de monómero a utilizar.

Los emulsionante, surfactante o tenso activos son compuestos químicos los cuales tienen dos comportamientos: Hidrofilito y Lipofilico, como se muestra a continuación con el emulsionante comercial como lo es el Dodecil Bencen-Sulfato de sodio:



La primer parte es lipofilica y la segunda hidrofilita, por lo que la parte lipofilica es altamente soluble en aceite mientras que la parte hidrofilita es soluble en agua. El comportamiento de la mezcla agua-aceite cambiara al agregar el emulsionante serán “Solubilizados”, porque la parte lipofilica del emulsionante se solubilizo en el aceite y la hidrofilita en el agua. El resultado de la mezcla no es propiamente una solución realmente se forman gotitas microscópicas de aceite distribuidas en el agua o viceversa y no se separan debido al puente generado por el emulsionante. Al hablar de emulsiones se refieren a dos fases no misibles “Unidas” por un emulsionante, de tal manera la polimerización en emulsión se presentan cuando el monómero es dividido en finas gotitas microscópicas en una fase que generalmente es agua.

## 2.8 REACCIONES QUE OCURREN EN LA POLIMERIZACION EN EMULSION

La iniciación de la polimerización empieza en la fase acuosa continua además se requiere de una agitación de nivel mínimo para romper la fase del monómero puro, pero alcanzado este nivel mínimo la agitación puede variar ampliamente hasta el punto en el que ocasiona la coagulación de las partículas en emulsión, la agitación ordinariamente no afecta el tamaño de partícula o distribución de tamaños. En la mayoría de estas polimerizaciones su mecanismo lleva en las partículas monomeras de la emulsión donde los radicales que crecen son menos móviles e incapaces de reaccionar con radicales de partículas vecinas.

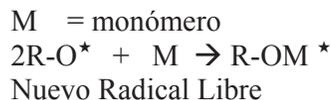
Las reacciones que se llevan a cabo son:

### ● INICIACION

En esta etapa ocurre la descomposición térmica del iniciador



Los radicales libres tienen una gran reactividad química debido a la presencia de un electrón desapareado y al encontrarse con moléculas de monómero se adicionan a el.



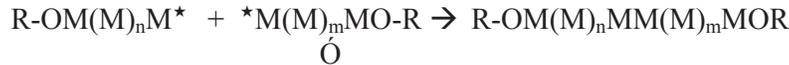
● **PROPAGACION**

El proceso se repite “n” veces



● **TERMINACION**

Al formarse cadenas muy largas de macroradicales libres eventualmente se encuentran y se unen formando una molécula de polímero.



Es conveniente hacer notar que en la tercera etapa los radicales pueden ser de cualquier tamaño, porque su encuentro es puramente accidental es por eso que al hablar de peso molecular de un polímero estamos hablando de su peso molecular promedio. El resultado neto es una fuerte reducción de la velocidad a la que los radicales libres se pueden combinar hasta parar el crecimiento de una cadena, por lo tanto aumentara la velocidad de reacción y el peso molecular [3].

## 2.9 COMPONENTES EN LA POLIMERIZACION EN EMULSION

Todas estas reacciones y todo el proceso esta enfocado a obtener un polímero en emulsión también denominado látex o resina. Las emulsiones o látex están compuestas de dispersiones de partículas de polímeros extremadamente finas en un medio no solvente “Agua”, están casi siempre preparadas con: monómeros, agua, coloide protector, surfactante, iniciadores, catalizadores, reguladores de acidez y antiespumantes.

● **MONOMEROS**

Son los materiales a polimerizar la elección del monómero(s) adecuada dará por resultado la obtención de una película o recubrimiento con propiedades adecuadas al uso que se quiera dar. Existen tres restricciones en los monómeros vinílicos polimerizable:

- 1.- El monómero debe ser muy ligeramente soluble en la solución acuosa del surfactante.
- 2.- El monómero debe ser polimerizable a las temperaturas donde esta solución ocurre.
- 3.- El monómero no debe ser reactivo en el grado significativo con el agua, surfactante u otros aditivos.

Los monómeros imparten propiedades y características a la película después de haber sido polimerizado, la selección de monómero tiene mucho que ver con el uso final que se vaya a dar a las emulsiones ó látex, el costo es otro factor que interviene en la selección, la disponibilidad y su reactividad. Existen un gran número de monómeros en el mercado algunos de ellos se citan a continuación:

- Estireno
- Acrilato de etilo
- Acrilato de butilo
- Acetato de vinilo
- Ácido acrílico

- Ácido metacrílico
- Metil metacrilato
- Metacrilato de butilo
- Metacrilato de metilo
- Archilamida
- Acrilonitrilo
- Etileno
- Etc.

### ● AGUA (FASE ACUOSA)

El agua no solo prevé el medio de dispersión para las partículas finales de la emulsión, sino también sirve como medio solvente y difusor para las pequeñas cantidades de monómeros, como solvente de los surfactante, iniciador, catalizadores y soluciones reguladoras de acidez. Otra de sus funciones importantes es la de servir como medio para la transferencia de calor disipado de las reacciones exotérmicas de polimerización.

### ● SURFACTANTE

El emulsionante o surfactante promueve la solubilidad del monómero y a veces al iniciador en la fase acuosa donde se tiene la iniciación, según la concentración del emulsionante en la fase acuosa donde se tiene la iniciación o reúne suficiente emulsionante para formar una nueva partícula, debido al grupo funcional final polar del iniciador, actúa como un radical de jabón y emigra a la interfase de las partículas que existen en la emulsión. De tal manera que es necesario para lograr la emulsión utilizar sustancias de peso molecular relativamente bajo de gran actividad superficial, es decir, que rebajan marcadamente la tensión interfacial, también dan estabilidad al polímero formado, así como, tiene que ver con el tamaño de las partículas de polímero y la viscosidad final del látex.

Algunos de los emulsionantes mas usados son:

#### ➤ **Aniónicos**

Lauril Sulfato de Sodio	$C_{12}H_{25}OSO_3$
DodecilBencen Sulfato de Sodio	$C_{12}H_{25}C_6H_6SO_3Na$
LaurilEter Sulfonato de Sodio	$C_{12}H_{25}O(CH_2-CH_2-O)_nSO_3$

#### ➤ **No Aniónicos**

Alcohol Laurico Etoxilado	$C_{12}H_{25}O(CH_2-CH_2-O)_n-H$
Octal Fenol Etoxilado	$C_8H_{17}C_6H_6-O-(CH_2-CH_2-O)_n-H$

### ● INICIADORES Y CATALIZADORES

Hay sustancias capaces de reaccionar entre si para formar radicales libres por el sistema oxido- reducción a estas sustancias se les denomina iniciadores por ejemplo: el sistema “Persulfato- Metabisulfito”.



Los radicales libre generados inician la polimerización, los catalizadores mas empleados son los tipo Peroxido [Agua Oxigenada  $H_2O_2$ ] y los tipos persulfato [Persulfato de amonio  $(NH_4)_2S_2O_8$ ]. Se debe de tener mucho cuidado con las cantidades a manejar de catalizador porque tiene influencia directa en el peso molecular promedio del polímero formado.

### ● **REGULADORES DE ACIDEZ (BUFFERS)**

Frecuentemente en las polimerizaciones en emulsión el pH del medio tiende a bajar debido a los subproductos de la descomposición térmica de los catalizadores, las reacciones de polimerización ocurre preferentemente en pH ácido, si a esto se le suma la anterior acidez el pH desciende a varios valores que afectan a los surfactantes y se puede terminar en una floculación (Precipitación) del polímero, para evitar esto se utilizan estabilizadores de pH (Buffer), siendo los más utilizados son: amoníaco, acetato de sodio, acetato de calcio.

### ● **ANTIESPUMANES**

Para asegurar una buena formación del polímero generalmente los emulsionantes o surfactantes se encuentran en poco exceso esto puede ocasionar la formación de espuma durante la polimerización esto se evita si se añade a la formulación una pequeña cantidad de antiespumante. Los antiespumantes son sales de ácidos grasos con silicón en la actualidad hay una amplia cantidad de estos en el mercado.

En un proceso común de polimerizaciones emulsión utiliza los siguientes componentes: Agua, Monómeros, Iniciadores, Emulsionantes, agentes para el intercambio de cadena, tapones y Coloide protector.

#### ➤ **EL AGUA:**

Constituye el medio de emulsión que permite la distribución de las sales y sirve de líquido para el intercambio térmico, la calidad del agua es importante ya que debe ser desmineralizada porque puede existir la presencia de iones que pueden tener un efecto inhibitor sobre la polimerización ó conducir a una floculación de la emulsión.

#### ➤ **LOS MONOMEROS:**

Contienen pequeñas cantidades de estabilizadores "hidroquinona u otros productos", durante su transporte y almacenamiento, en la polimerización pueden utilizarse en este estado o desestabilizarlos. En el caso de monómeros ligeramente estabilizados se recomienda utilizar monómeros tratados con Éter Monometílico de la Hidroquinona que no aporta ninguna coloración parasita de los productos finales. Para la polimerización en emulsión los ésteres inferiores son estabilizados generalmente con 15ppm de éter monometílico de la hidroquinona y esto no provoca un aumento a la cantidad de catalizador. Para monómeros desestabilizados es mejor partir de monómeros inhibidos con hidroquinona la cual puede eliminarse por destilación al vacío o por lavado alcalino mediante una solución de 5% de sosa y 20% de carbonato de sodio para acrilatos superiores de 1% de sosa.

#### ➤ **LOS EMULSIONANTES:**

Realizan la dispersión de la fase monómero inicial permite ajustar la velocidad de polimerización, el diámetro de partícula y permite obtener una buena estabilidad de la emulsión bajo la acción de una agitación mecánica eficaz, los emulsionantes dispersan el monómero en forma de gotitas que liberan la fase acuosa moléculas de monómero y constituyen un depósito de monómero durante la polimerización. Los emulsionantes desempeñan un segundo papel que consiste en solubilizar estas moléculas. Se pueden utilizar emulsionantes Aniónicos, ó Cationicos.

**Los Cationicos** .- Tienen que reaccionar con los persulfatos y son poco utilizados.

**Los Aniónicos** .- Mejoran la estabilidad mecánica de las emulsiones obtenidas son de empleo muy generalizado ya que permiten realizar polimerizaciones a cualquier temperatura, como lo es el lauril sulfato de sodio.

➤ **LOS INICIADORES:**

Juegan un papel muy importante, estos son productos preferentemente solubles en agua según el método practicado. Se puede utilizar sistemas de tipo Oxidante usando un derivado peroxidado como Persulfato de amonio o de Potasio o un tipo Redox usando Peroxido de Hidrogeno/Sales ferrosas o persulfato/ sulfoxilato (bisulfito, tiosulfato, hidrosulfito /Sales metálicas). La presencia de pequeñas cantidades de sales de Fe ó Cr aumenta la velocidad de reacción, sin embargo varios productos insolubles en agua pero solubles en los monómeros como el Peroxido de benzoilo son eficaces a condición de ser utilizados como agentes reductores solubles en agua que presentan un papel de activadores.

Finalmente el empleo de catalizadores secundarios permite en ciertos casos una mejor conversión, las cantidades de catalizadores utilizadas no deben ser demasiado elevadas ya que se puede ocasionar una disminución en la estabilidad de la emulsión, la adición de sales metálicas también se debe de controlar ya que cantidades pequeñas son benéficas pero un exceso puede inhibir la reacción [5].

### III.- EXPERIMENTACION E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO EN UN REACTOR DE POLIMERIZACION EN EMULSION A NIVEL INDUSTRIAL

Un sistema de control distribuido es un conjunto sofisticado de programas que nos provee un óptimo control del proceso y capacidad de administración para un amplio rango de aplicaciones, este sistema esta diseñado para ajustar fácilmente a los requerimientos específicos y necesidades de la planta, permitiendo una distribución de la facilidad de operación.

El sistema permite al operador utilizar numerosas aplicaciones como pueden ser:

- Responder a las alarmas
- Colectar e interpretar datos
- Modificar variables de proceso
- Ejecutar tendencias en línea
- Generar reportes

La operación para los controladores se efectúa por medio de overlays (Sobre pantallas) y se puede trabajar en automático/manual, local/remoto, arranque/paro, abrir/cerrar; según sea la aplicación que se quiera utilizar. Para cada controlador se registran las tres variables de proceso:

- Medición
- Punto de ajuste
- Salida de control

El sistema de control distribuido esta diseñado para supervisar las señales de campo, así como, para tomar decisiones al nivel de control regulatorio, el sistema puede operar con diferentes modos de funcionamiento según se requiera o que el proceso lo necesite como lo es:

- **Automático.-** En modo automático un cambio de setpoint de local a remoto es hecho con un mínimo de ruido quitando dinámicas derivativas y obligando a la parte integral absorber cualquier acción proporcional.
- **Manual .-** En modo manual se puede asignar valores a la entrada y salida del controlador arbitrariamente o como el proceso lo requiera.
- **Local.-** En modo local el setpoint su valor no es asegurado y es ajustable por lo que se le designe el operador.
- **Remoto.-** En modo remoto el setpoint tomara su valor desde otro controlador como en el caso de los lazos en cascada que se utilizan el control de la temperatura.

Uno de los principales puntos en los cuales se tiene que hacer mayor énfasis el sistema de control distribuido es la operación de control de Temperatura. Durante el proceso de propagación de la reacción y por eso se tiene mucho cuidado al respecto. Para el éxito de que el producto final cumpla con las especificaciones requeridas se debe tomar en cuenta los siguientes puntos:

- a).- Controlar al máximo el flujo que se debe tener durante la propagación de la reacción del monómero emulsionado (Preemulsion), durante todo el tiempo de reacción teniendo el flujo bien dosificado.
- b).- Tener el suministro necesario de agua de enfriamiento recomendado.
- c).- Cumplir con la calidad requerida con cada uno de los componentes (reactivos) a utilizar el proceso de fabricación de resinas en emulsión.

### 3.1 ESTRATEGIAS PARA EL CONTROL DE LA TEMPERATURA

Existen dos estrategias de control que son:

- Control en cascada
- Control de rango dividido

#### 3.1.1 CONTROL EN CASCADA

Para este trabajo se utilizó específicamente para el control de temperatura en la propagación de la reacción el cual funciona de la siguiente manera. Un control de tipo maestro que controla la temperatura del producto, en función de la temperatura del producto y el setpoint deseado. Al mismo tiempo un control de tipo esclavo que mide la temperatura de la chaqueta y la compara con el setpoint remoto, en el que la temperatura del maestro y la temperatura del esclavo está relacionada con la válvula de control de agua de enfriamiento y la válvula de control del vapor por medio de un rango dividido.

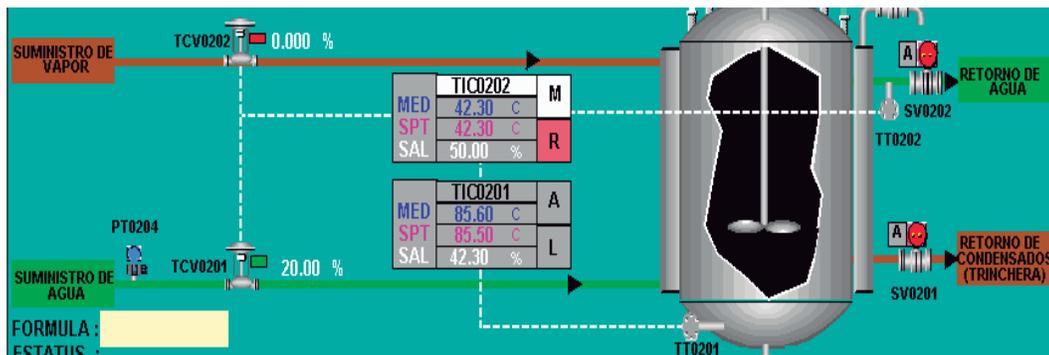


Fig. No. 6 Control en Cascada

#### 3.1.2 CONTROL DE RANGO DIVIDIDO

Es cuando la temperatura de control del esclavo es igual al 50% las válvulas de control tanto de agua de enfriamiento como la de vapor están cerradas y si la temperatura de control del esclavo es mayor de 50% hasta 100% estará abierta la válvula de control de vapor en un rango de 0-100% de apertura y la válvula de control del agua de enfriamiento permanecerá cerrada. Pero si la temperatura de control del esclavo es menor de 50% entonces la válvula de control de agua de enfriamiento abrirá en un rango de 0-100% y la válvula de control de vapor permanecerá cerrada. Es decir este control consistirá en dividir el rangos de operación para el control de temperatura de tipo cascada esto es cuando la temperatura del controlador esclavo sea 50% las válvulas de control tanto de vapor y agua de enfriamiento se encuentran cerradas y al variar a mayor de 50% la válvula de control de vapor abre y al variar debajo de 50% abrirá la válvula de control de agua de enfriamiento de este modo, cuando se requiera calentar solo abrirá la válvula de control de vapor y cuando se requiera enfriar solo abrirá la válvula de control del agua de enfriamiento pero nunca abrirán ambas al mismo tiempo.

Controlador Indicador de Vapor ó Controlador Indicador de agua  
TIC0102 ó TIC0202 ( SAL en 100% )

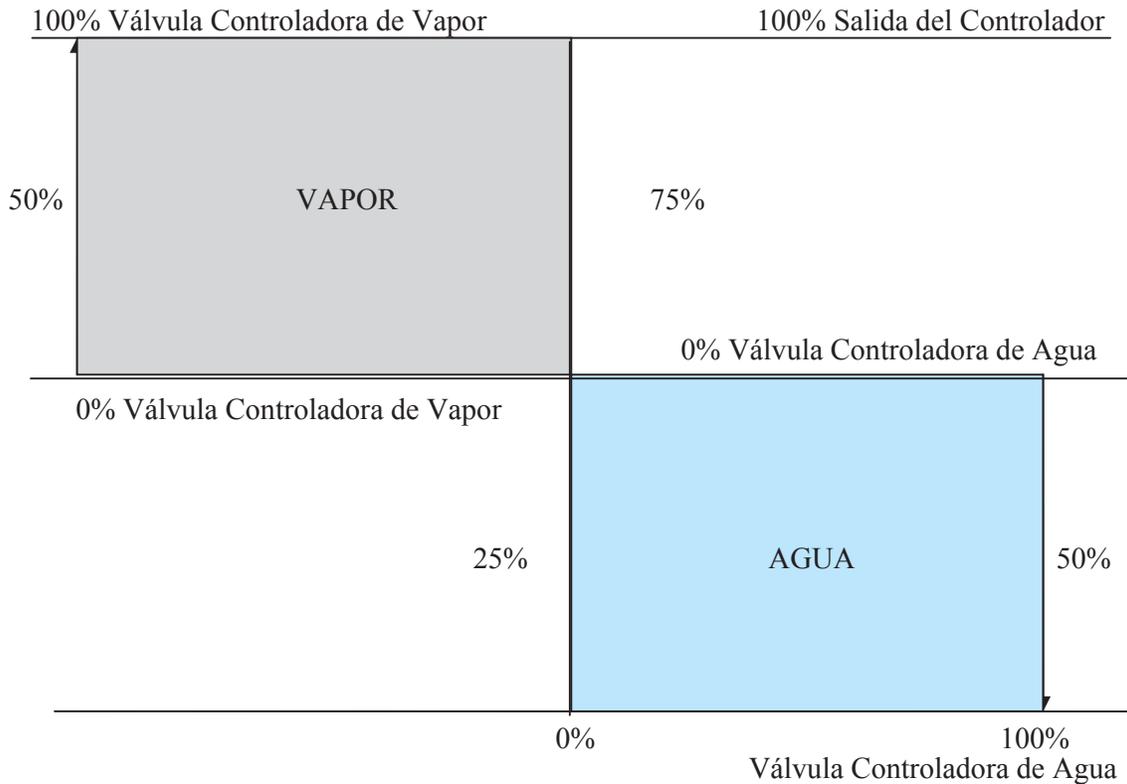


Fig. No 7 Control de Rango Dividido

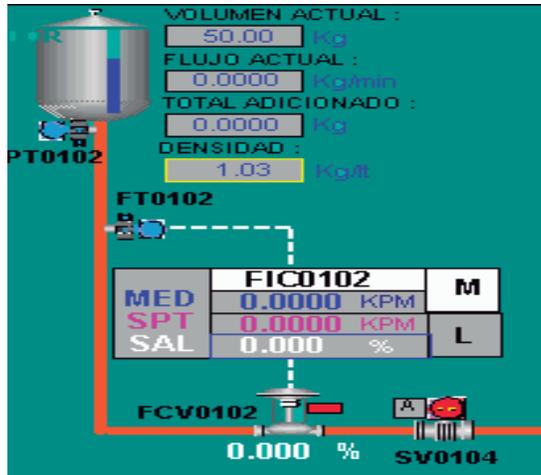
### 3.2 ESTRATEGIA PARA EL CONTROL DEL FLUJO DE ADICION DE MONOMERO EN EMULSION Y CATALIZADORES

Los overlays para indicación del nivel nos serán muy importante ya que en función de estos y la densidad del producto que se este manejando se podrá controlar y tener un flujo constante e uniforme en el transcurso de la adición en el proceso de propagación de la reacción.

La presión de la columna de agua nos sirve para determinar los niveles y volúmenes de cada tanque a utilizar en el proceso de fabricación de resinas en emulsión se toman desde donde se encuentran las tomas de los instrumentos por ello se deben instalar de manera adecuada ya que de no ser así nos puede ocasionar lecturas erróneas.

Para tener una medición correcta del flujo se debe de purgar adecuadamente cada uno de los tubos de medición de flujo ya que la condición para tener un buen funcionamiento es; que los tubos no tengan aire entrampado en su interior, las razones por las cuales los transmisores de flujo se van a falla y es por tener vació el tanque, por estar cerrada la válvula de dren y de control o por tener basura en su interior.

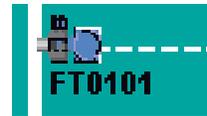
Cabe mencionar que para la medición de flujo para la mezcla de monomera en emulsión va de 0 – 200 Kg./min. y para el flujo de catalizadores va de 0 – 15 lt/min.



(A)



(B)



(C)

- i. La figura (A) nos muestra todas las indicaciones del tanque, que están relacionadas, por ejemplo para la indicación de Volumen Actual, del tanque se necesita la indicación de densidad (Factor de corrección para el volumen), la medición de nivel en pulgadas de agua y su correspondencia en kilogramos, para el Total Adicionado se necesita la medición de flujo actual, así como el lazo de control de flujo.
- ii. La figura (B), muestra el Overlay de Volumen Actual, Flujo Actual y el Totalizado.
- iii. La figura (C) se muestra un transmisor de flujo.

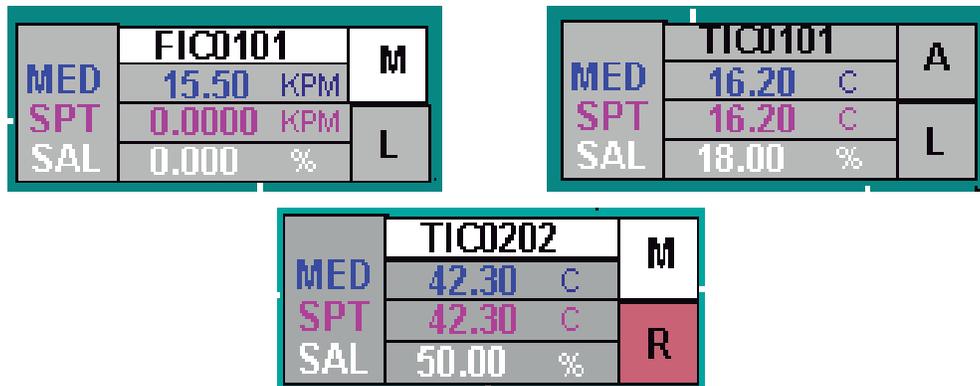
**Fig. No 8 Overlays para el Control del Flujo**

### 3.3 CONTROLADORES “FACEPLATES”

Este grafico aplica para todos los controladores, tiene la opción de reconocer alarmas configuradas las cuales se pueden reconocer desde el desplegado dinámico principal. Esta carátula “Faceplate”, de control aplica para todos los controladores y desde este se pueden visualizar:

- Medición
- Punto de ajuste
- Salida
- Cambio de operación “Local/Remoto”, “Manual/Automático”
- Modificar valores en tiempo real

Los faceplates para todos los controladores están de forma fija en los desplegados dinámicos en pantalla para el reactor.



**Fig. No 9 Faceplate Utilizado para Todos los Equipos Instalados**

- M** Texto que representa que el controlador se encuentra en modo de operación Manual.
- A** Texto que representa que el controlador se encuentra en modo de operación Automático.
- L** Texto que representa que el controlador se encuentra en modo de operación Cascada (Maestro) y que cuenta con un controlador en cascada como Esclavo.
- R** Texto que representa que el controlador se encuentra en modo de operación Cascada (Esclavo) o que cuenta con un SPT Remoto.

### 3.4 INDICADORES

Estos gráficos aplican para todos los indicadores, por tal razón hay un indicador general que aplica para indicación específica de temperatura, se tiene la opción de reconocer las alarmas que son configuradas en el indicador a través del desplegado dinámico principal.



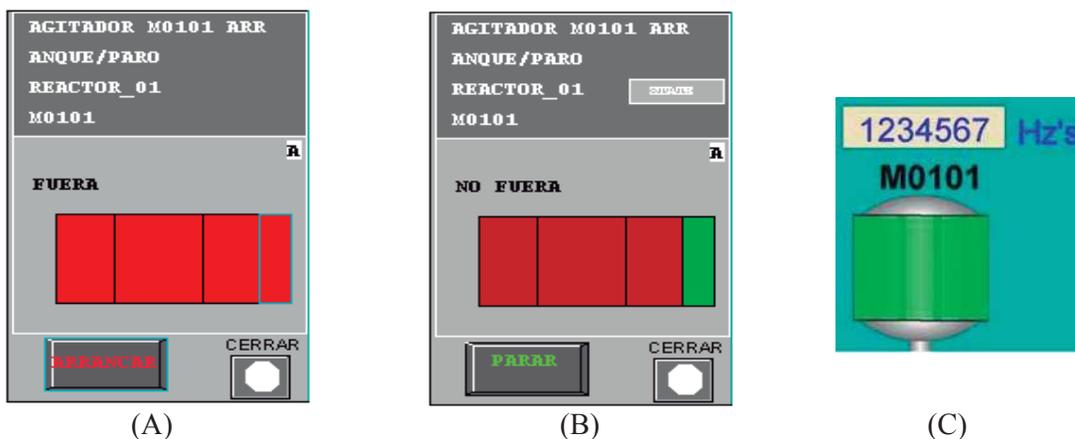
Fig. No 10 Grafico de Indicadores

### 3.5 OVERLAY

Los overlay son ventanas de aplicación específica para manipular el estado del equipo en cuestión como puede ser :

#### ● Arranque y Paro Para Motores

Pueden ser de agitador del reactor tanques de monómero emulsionado, tanques de catalizador o cualquier motor que se quisiera manipular.

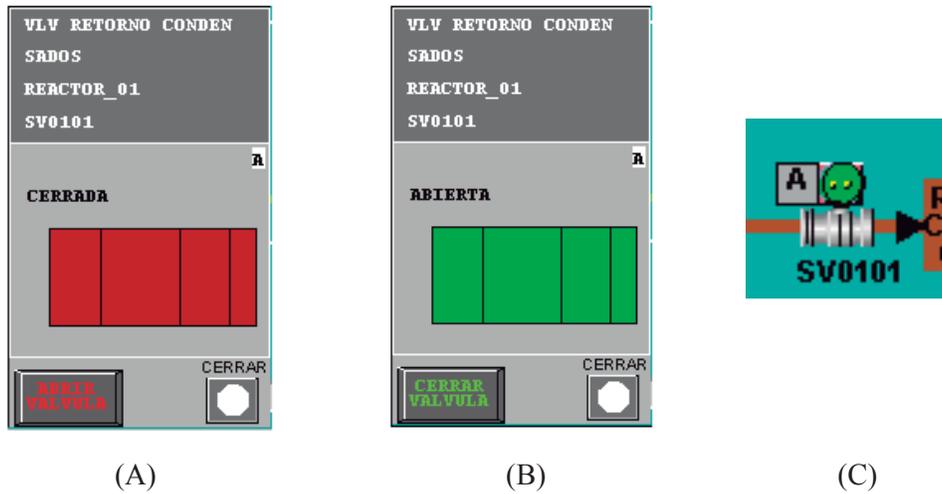


- i. La figura A, nos muestra un motor fuera de operación o parado.
- ii. La figura (B) nos muestra un motor que se mando a arrancar con el selector en manual, es por ello, que el Overlay se va a falla; y cuando el motor finalmente esta trabajando con el selector en Automático el Overlay nos indica Operando y en color verde completamente.
- iii. La figura (C) nos muestra un motor en operación (verde) y fuera de operación (rojo).

Fig. No.11 Overlay Para Motores

● Abrir o Cerrar válvulas de Corte o Solenoides

Para el control de Temperatura, dren de chaqueta del reactor, de corte de tanques de monómero emulsionado o catalizador.

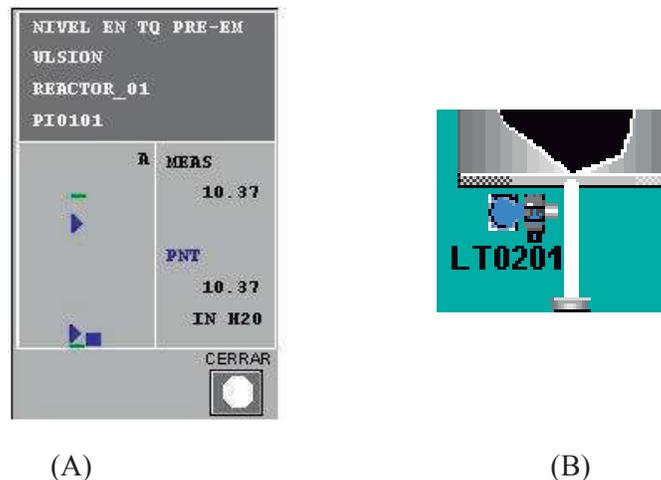


- i. La figura A, nos muestra una válvula solenoide cerrada.
- ii. La figura (B) nos muestra una válvula solenoide abierta
- iii. La figura (C) nos muestra una válvula solenoide abierta (fondo de color verde) y en modo automático.

**Fig. No 12 Overlay Para Válvulas On-Off**

● Para Ver la Presión Diferencial de la Columna de agua Para la Indicación de Nivel

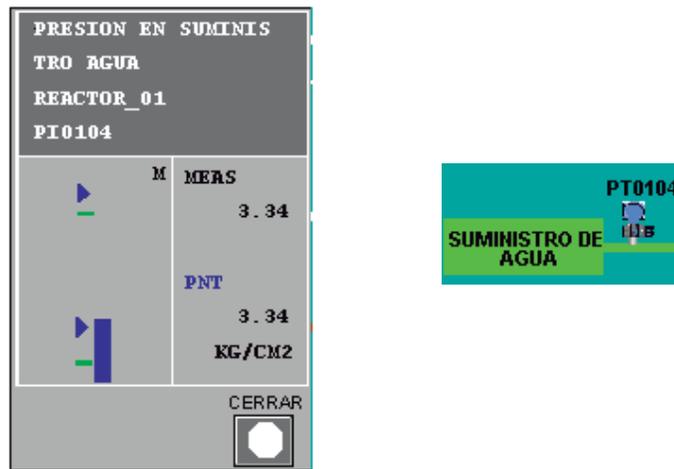
Este se utiliza para controlar el flujo de catalizador y monómero emulsionado al reactor el proceso de propagación de reacción, así como, para determinar el nivel y volumen de cada uno de los tanques utilizados en el proceso.



- i. La figura A nos muestra el Overlay con una indicación de presión diferencial a 10.37 IN H<sub>2</sub>O de columna de agua.
- ii. La figura (B) nos muestra el transmisor de nivel en modo automático y color azul normal, y cuando existe una alarma parpadea en color gris claro.

**Fig. No. 13 Overlay para Medidores de Presión**

● Para Indicar la Presión De Suministro de Agua de Enfriamiento  
 Nos sirve para visualizar que cantidad de presión de agua se tiene para el control de la temperatura que va de 0 – 10kg./cm<sup>2</sup>.



(A)

(B)

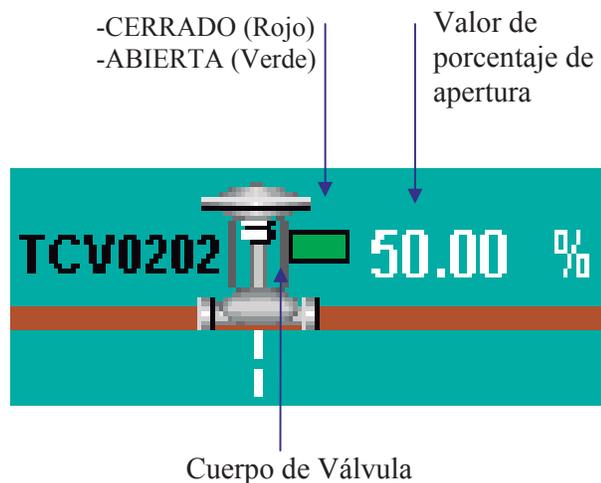
- i. La figura A nos muestra el Overlay con una indicación de presión de suministro de agua 3.34 Kg./cm<sup>2</sup>.
- ii. La figura (B) nos muestra el transmisor de presión de color azul normal, y cuando existe una alarma parpadea en color gris claro.

**Fig. No.14 Overlay para Medidor de Presión de Agua de Enfriamiento**

### 3.6 DESPLEGADOS DINAMICOS DE EQUIPOS INSTALADOS

#### ● LAS VALVULAS DE CONTROL CON POSICIONADOR

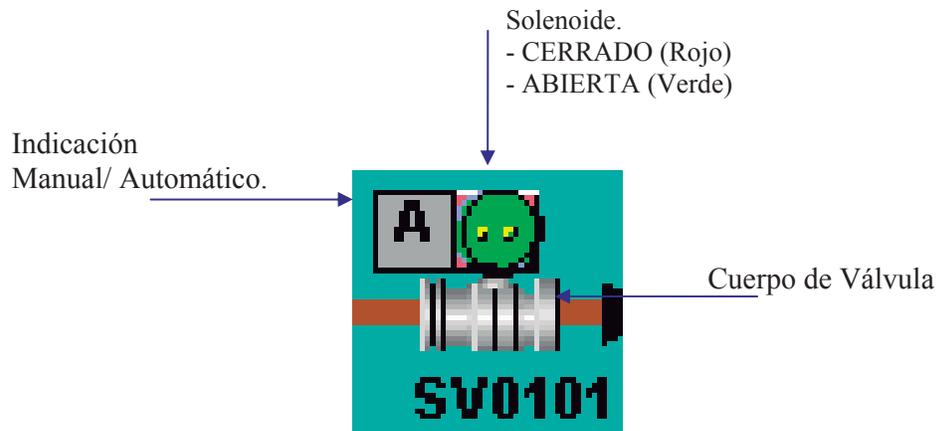
Este grafico representa una válvula de control en la cual se visualiza su estado “Abierta, Cerrada, Indefinida”, las válvulas de control tienen una apertura regulada de 0 -100 %..



**Fig. No.15 Grafico de Válvula de Control**

• **LAS VALVULAS ON- OFF. SOLENOIDES Ó DE CORTE**

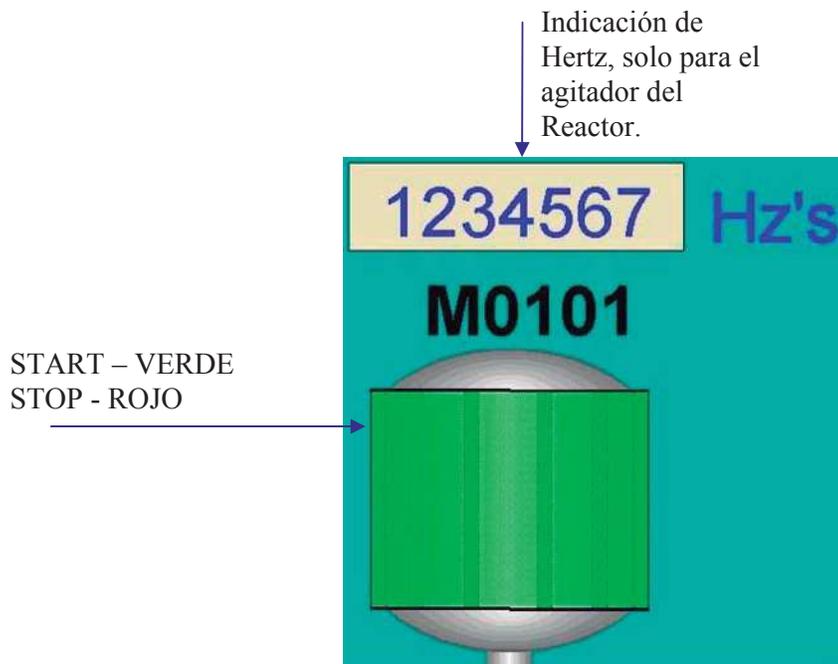
Este grafico representa una válvula de corte en el que se puede observar sus estado “Cerrada, Abierta, indefinida”, las válvulas de corte abren o cierran totalmente, es decir, solo son de paso o corte..



**Fig. No.16 Grafico de Válvula On- Off**

• **MOTORES**

Este grafico representa los motores en el cual se pueden visualizar su estado “Start – Stop”, y su modo de operación “Manual – Automático”, para el modo de operación “Local – Remoto”, es a través del selector que esta en el gabinete de interconexión y el Manual-Automático”; es a través del Sistema de control distribuido SCD, por lo que el motor debe estar en automático para operarlo desde el sistema.



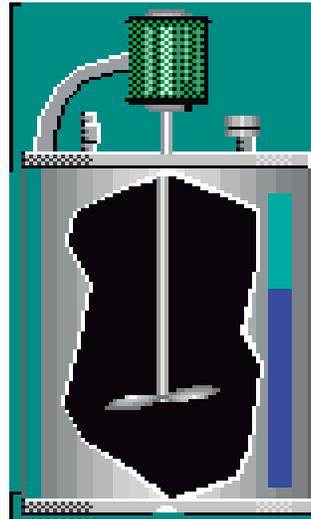
**Fig. No.17 Grafico de Motores**

● CONTROL DE VELOCIDAD

El control de velocidad para los agitadores de los reactores es un punto en el cual se debe poner demasiado énfasis ya que es importante homogenizar la temperatura dentro del reactor, es por ello que desde el sistema se puede variar la velocidad, para modificar los valores de Hertz iniciales o de salida, por lo que se tiene que estar en modo manual para poder modificar los valores de los limites y el valor del incremento por minuto puede estar en automático.



( A )



( B )

- i. La figura (A) nos muestra el agitador del reactor en operación ya que el motor esta en verde, cuando este en rojo significa que esta fuera.
- ii. La figura (B) nos muestra el agitador de tanque para preemulsion en operación.

- iii. La figura (C) nos muestra el Overlay para el control de la velocidad del agitadores hertz

Fig. No.18 Grafico de Agitadores

### 3.6.1 DIAGRAMA ESQUEMATICO IMPLEMENTADO PARA EL SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO

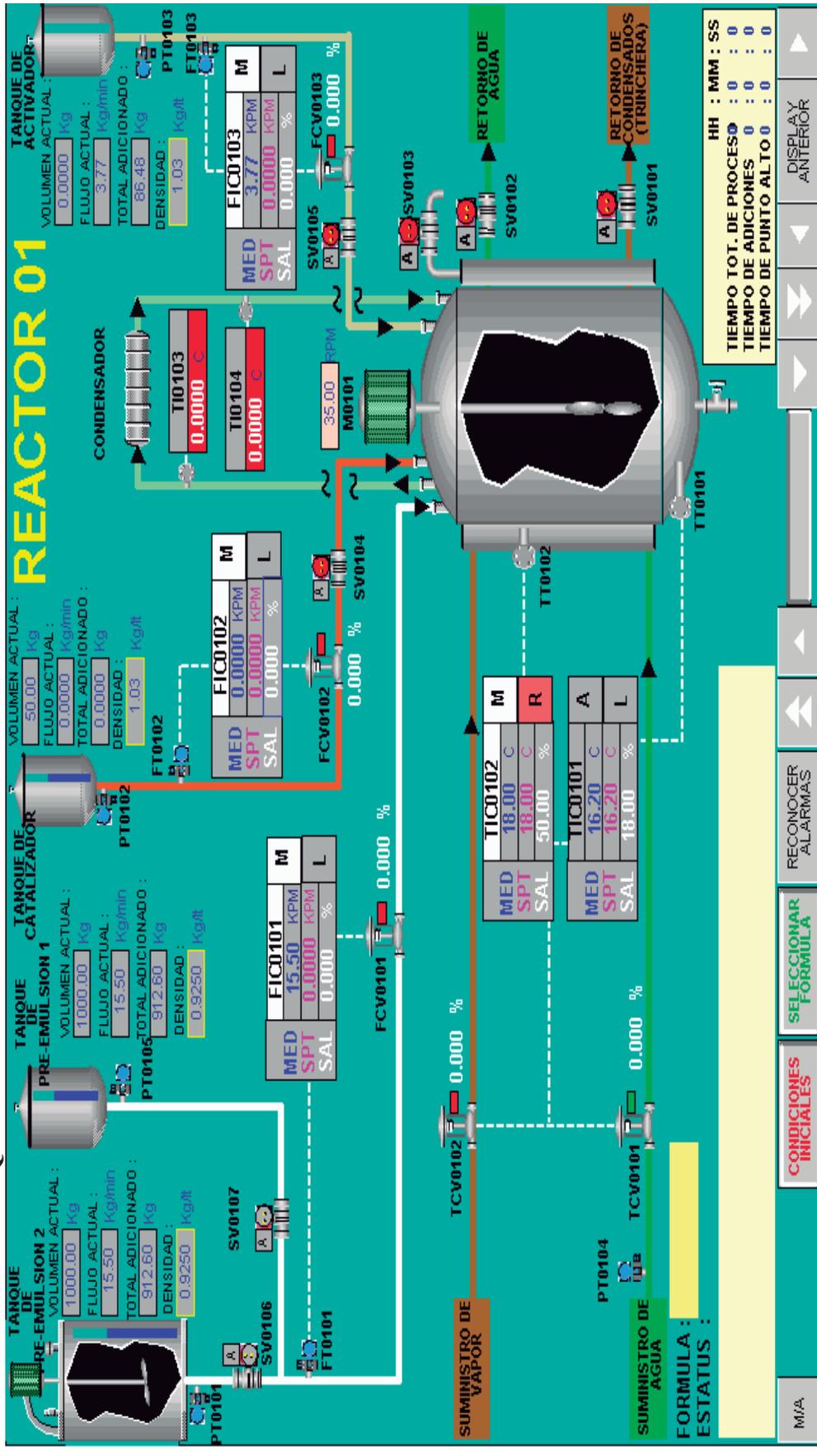


Fig. 19 Dinámico del Sistema de Control Distribuido Implementado

### 3.7 EXPERIMENTACION

Para el presente trabajo se realizaron varias corridas para diferentes productos a nivel planta industrial como:

- Polimerización Estirenica
- Polimerización Estiren- Acrílica

De acuerdo a las formulaciones de polimerización se mencionaran las condiciones y procedimientos de operación para las distintas corridas de experimentación.

#### POLIMERIZACION ESTIRENICA

##### **PROCEDIMIENTO**

- Cargar el reactor y calentar a 86 – 87°C.
- Preparar la preemulsion I y el catalizador I Empezar las adiciones I manteniendo la temperatura de 80 – 82 °C. En un periodo de 1 hr.
- Cargar la preemulsion II y el catalizador II y con el reactor a 80 – 82°C iniciar adiciones II, dejar que la temperatura suba a 85 – 87 °C durante las adiciones, las cuales deben hacerse en 2 hrs.
- Cuando hayan pasado 15 minutos de las adiciones II agregar rápidamente el neutralizador continuando adiciones.
- Al terminar las adiciones mantener el punto alto de 85 – 87°C durante 30 min.
- Después agregar el finalizador I a 85 – 87 °C En 15 min.
- Enfriar a 78 – 80 °C agregar los finalizadores II.
- Enfriar a 50 °C agregar el bactericida.

#### POLIMERIZACION ESTIREN- ACRILICA

##### **PROCEDIMIENTO**

- Cargar el reactor y calentar a 82 – 85 °C, se apreciara reacción.
- Iniciar adiciones de preemulsion y catalizador manteniendo una temperatura de 82 – 85 °C, en un periodo de 2.5 hrs.
- Al terminar las adiciones mantener la temperatura de 82 – 85°C durante 20 min. y enfriar a 56 °C.
- Agregar el finalizador I a 56 °C en 20 minutos.
- Agregar el finalizador II a 52 °C en 15 minutos.
- Enfriar a 40 °C agregar el neutralizador y el bactericida.

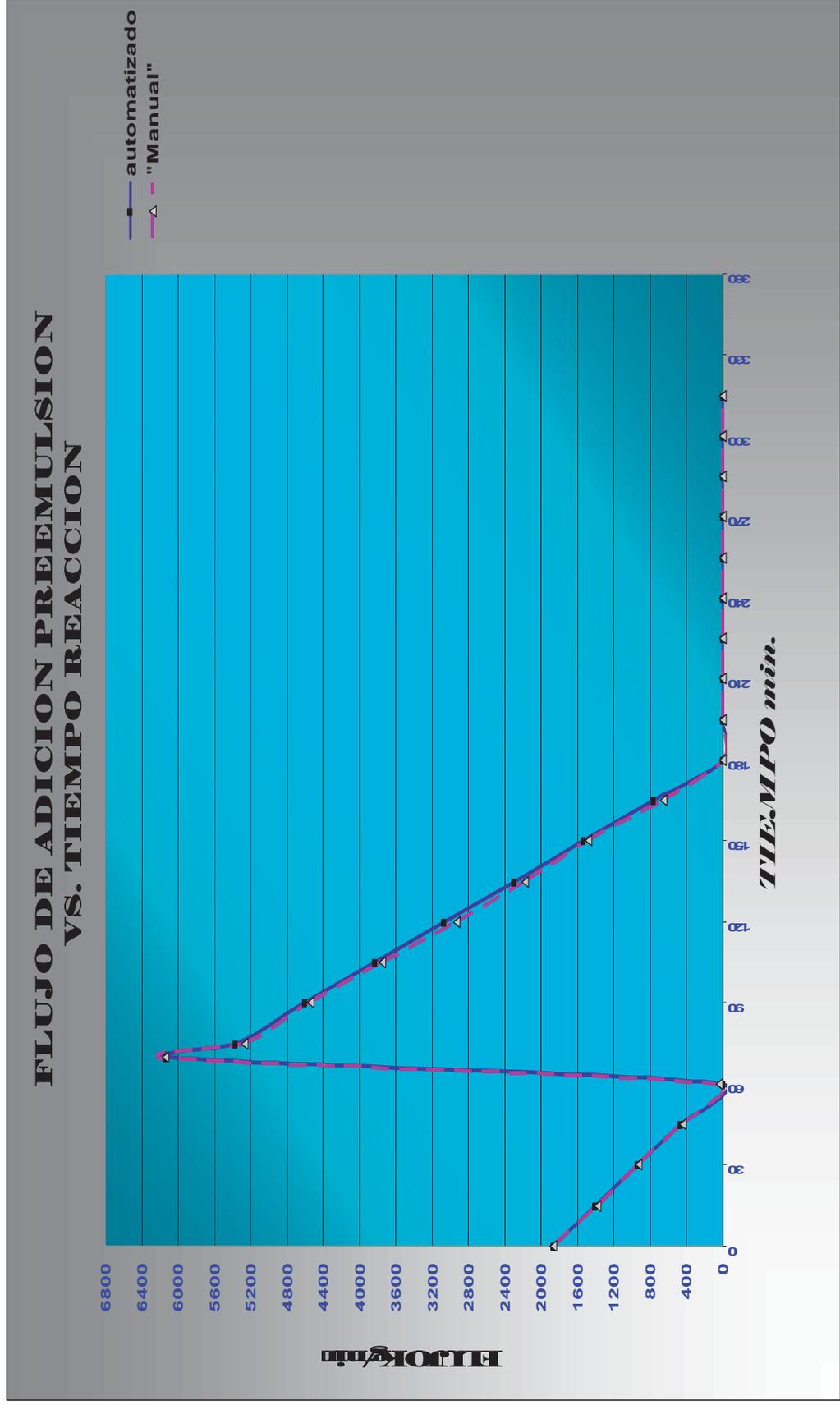
#### **3.7.1 DATOS OBTENIDOS EXPERIMENTALMENTE EN LAS CORRIDAS A NIVEL PLANTA CON DIVERSOS PRODUCTOS**

Los datos que se tomaron son los referentes a la Temperatura de reacción, Flujo de catalizadores, Flujo de monómero emulsionado (Flujo de Preemulsion), en los procesos tanto manual como automático con el Sistema de Control Distribuido durante todo el proceso, aunque hay que hacer mayor énfasis en el punto de propagación de reacción ya que este es el punto donde se pueden encontrar las variaciones mas significativas del proceso y por consiguiente la obtención de características o propiedades no deseadas de los productos finales.

**3.8 DATOS DE LA PRIMER CORRIDA RESINA ESTIRENICA.**

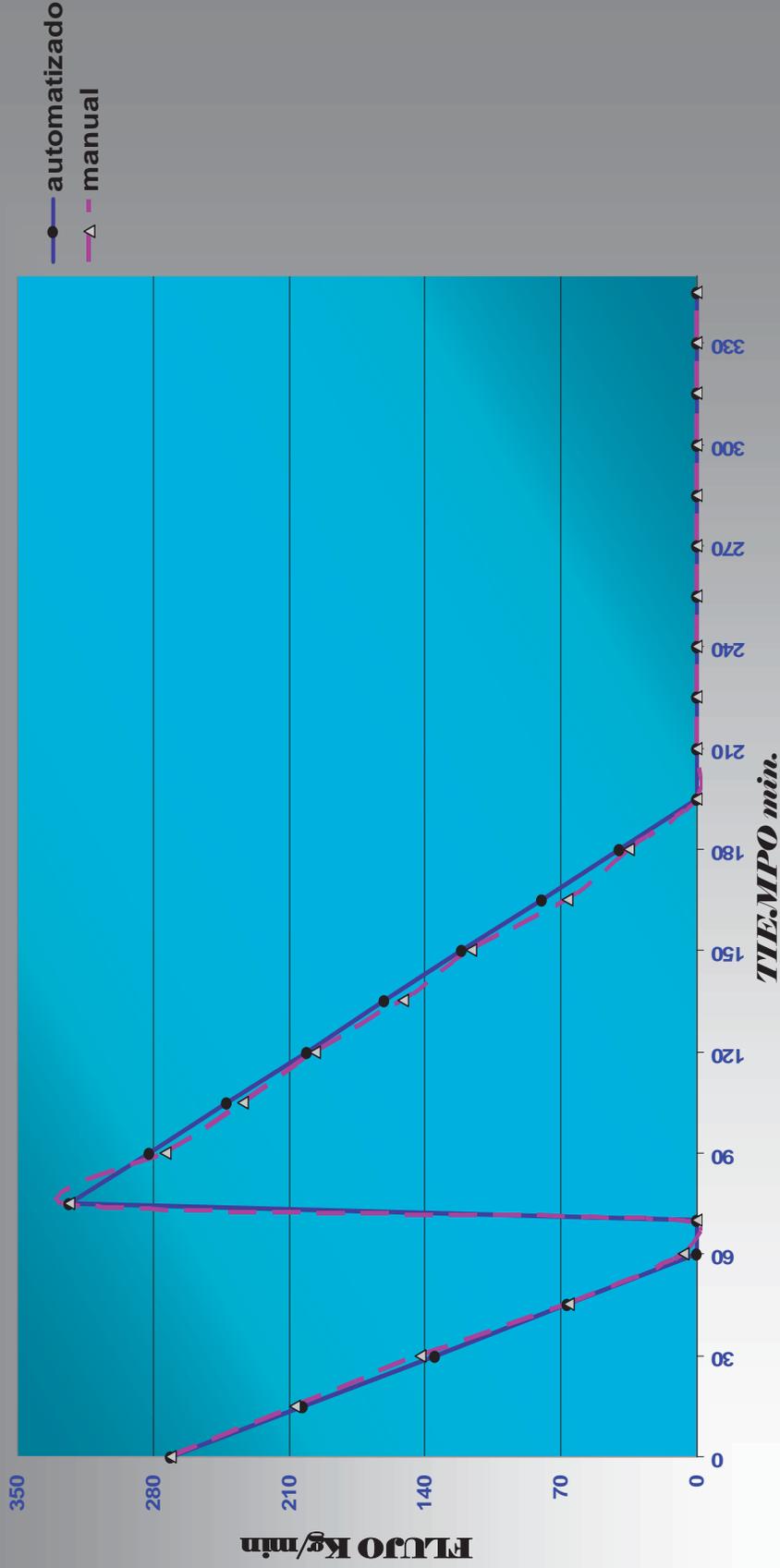
TIEMPO TRASCURRIDO DE ADICION min.	FLUJO DE PREMULSION AUTOMATICO Kg.	TEMPERATURA DE ADICION AUTOMATICO “°C ”	FLUJO DE CATALIZADOR AUTOMATICO Kg.	FLUJO DE PREMULSION “MANUAL” Kg.	TEMPERATURA DE ADICION MANUAL “°C ”	FLUJO DE CATALIZADOR “MANUAL” Kg.
0	1869.23	85.30	271	1869	85.30	271
15	1401.75	85.34	203	1382	85.30	207
30	934.25	85.29	135	930	85.80	142
45	467.25	85.54	67	444	85.50	66
60	0	85.82	0	41	85.90	7
70	6134.1	85.33	323	6134	86.20	323
75	5367.2	85.64	282	5269	86.40	274
90	4600.5	85.64	242	4536	86.50	234
105	3833.75	85.64	201	3752	86.30	197
120	3067	85.70	161	2930	85.80	151
135	2300.25	85.70	121	2177	85.70	116
150	1533.25	85.72	80	1483	85.80	67
165	766.75	85.72	40	654	85.80	35
180	0	85.72	0	0	86.20	0
195	0	85.72	0	0	86.20	0
210	0	85.72	0	0	86.00	0
225	0	85.00	0	0	85.50	0
240	0	81.00	0	0	85.00	0
255	0	77.00	0	0	83.00	0
270	0	73.00	0	0	80.00	0
385	0	69.00	0	0	75.00	0
300	0	65.00	0	0	73.00	0
315	0	61.00	0	0	60.00	0

**Tabla No.4 Datos de Primer Corrida Experimental Resina Estirenica**



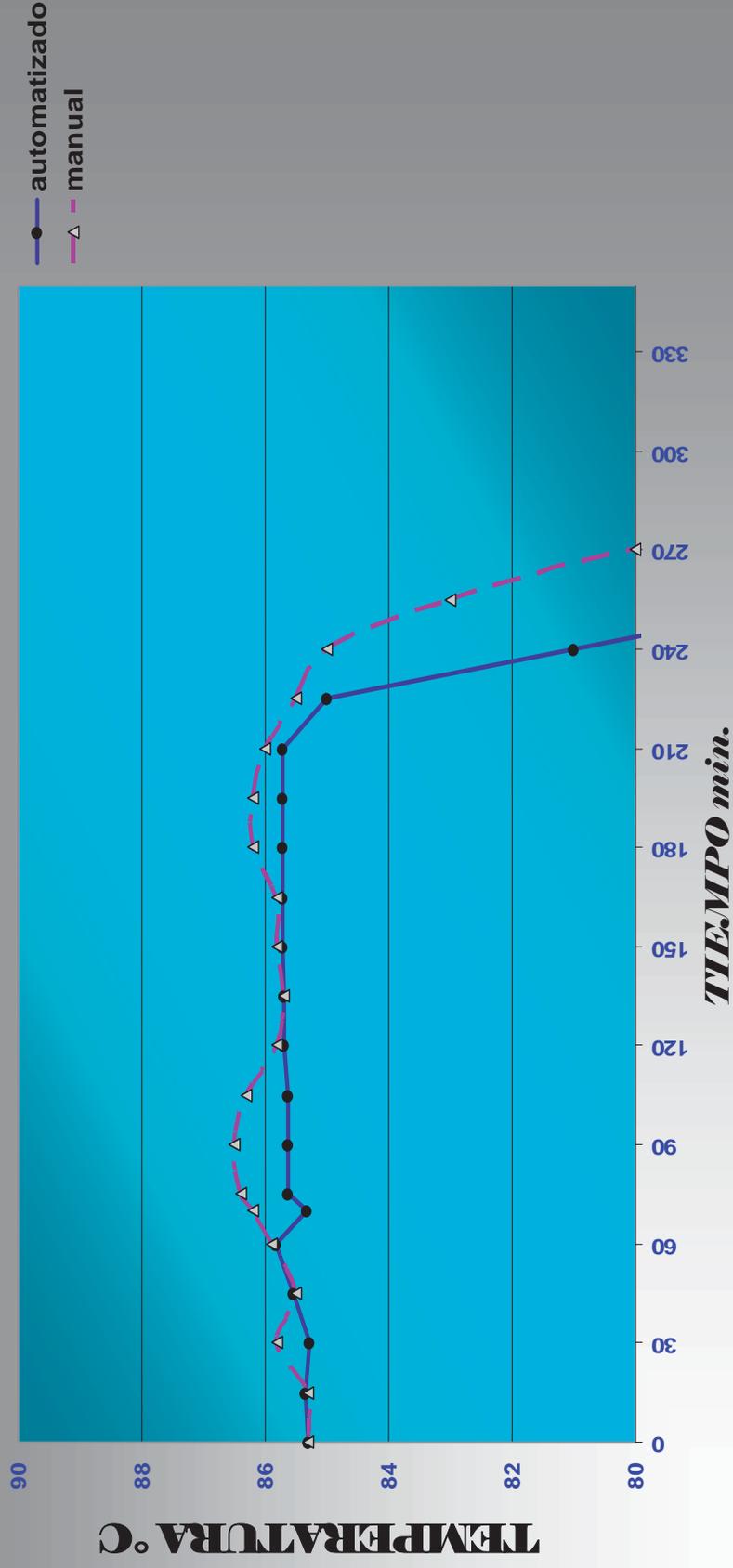
Grafica No.1 Flujo de Preemulsion vs. Tiempo de Primer Corrida

## FLUJO DE ADICION DE CATALIZADOR VS. TIEMPO DE REACCION



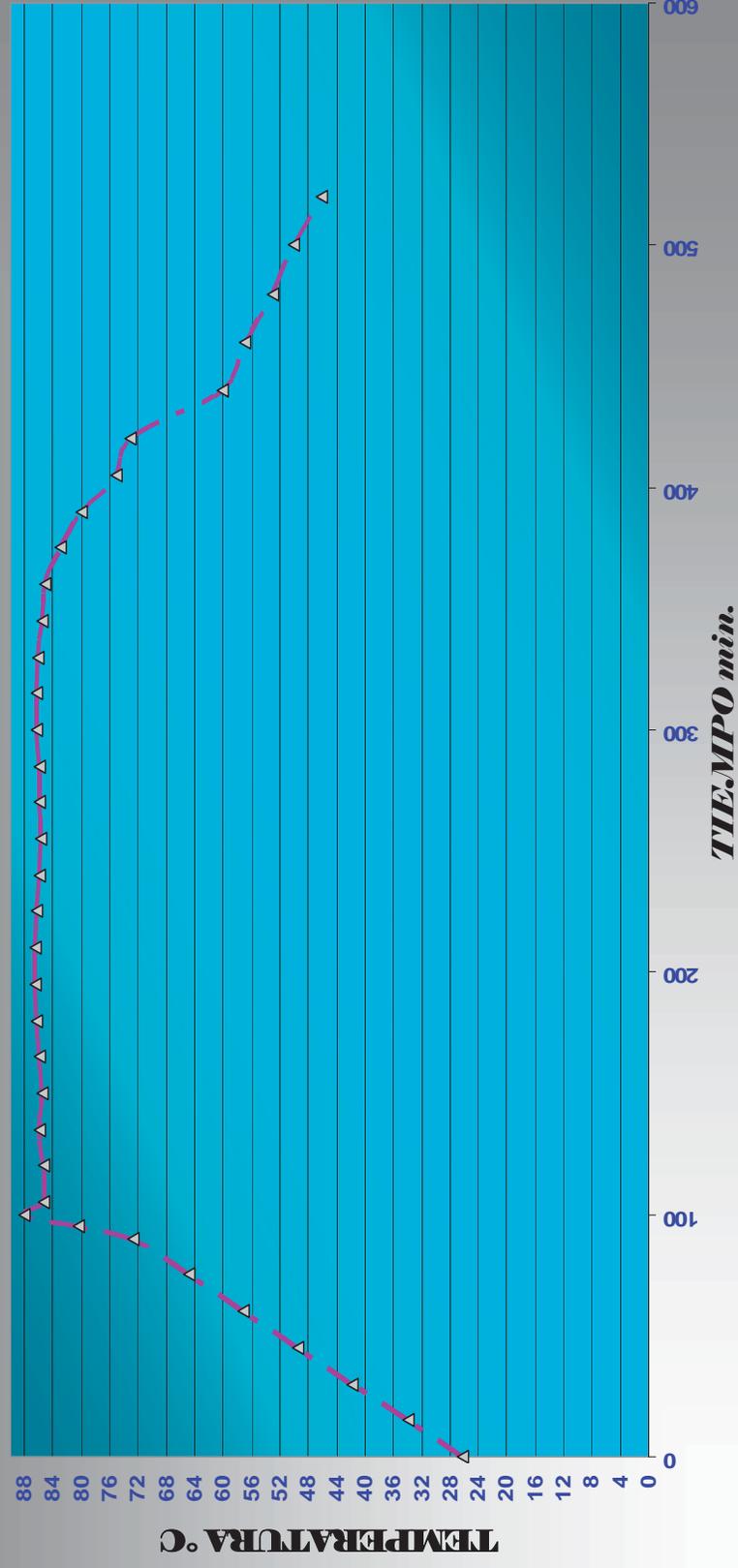
Grafica No2 Flujo de Catalizador vs. Tiempo de Primer Corrida

## TEMPERATURA VS. TIEMPO DE PROPAGACION DE LA REACCION



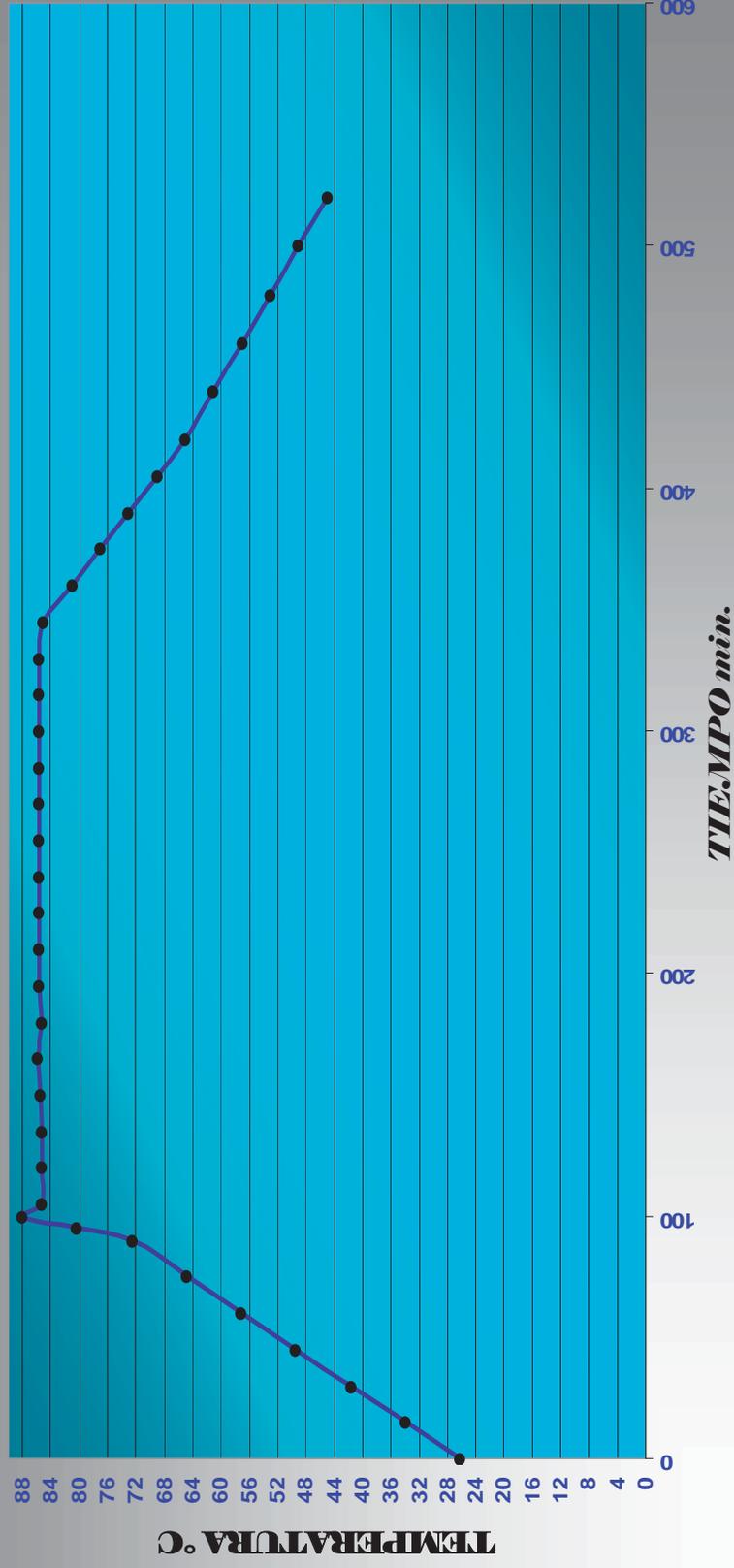
Grafica No.3 Temperatura vs. Tiempo de Propagación de la Reacción de Primer Corrida

## TEMPERATURA VS. TIEMPO TOTAL DEL PROCESO DE FORMA "MANUAL"



Grafica No.4 Temperatura vs. Tiempo Total del Proceso de Forma Manual de Primer Corrida

# TEMPERATURA VS. TIEMPO TOTAL DEL PROCESO DE FORMA "AUTOMATICO"

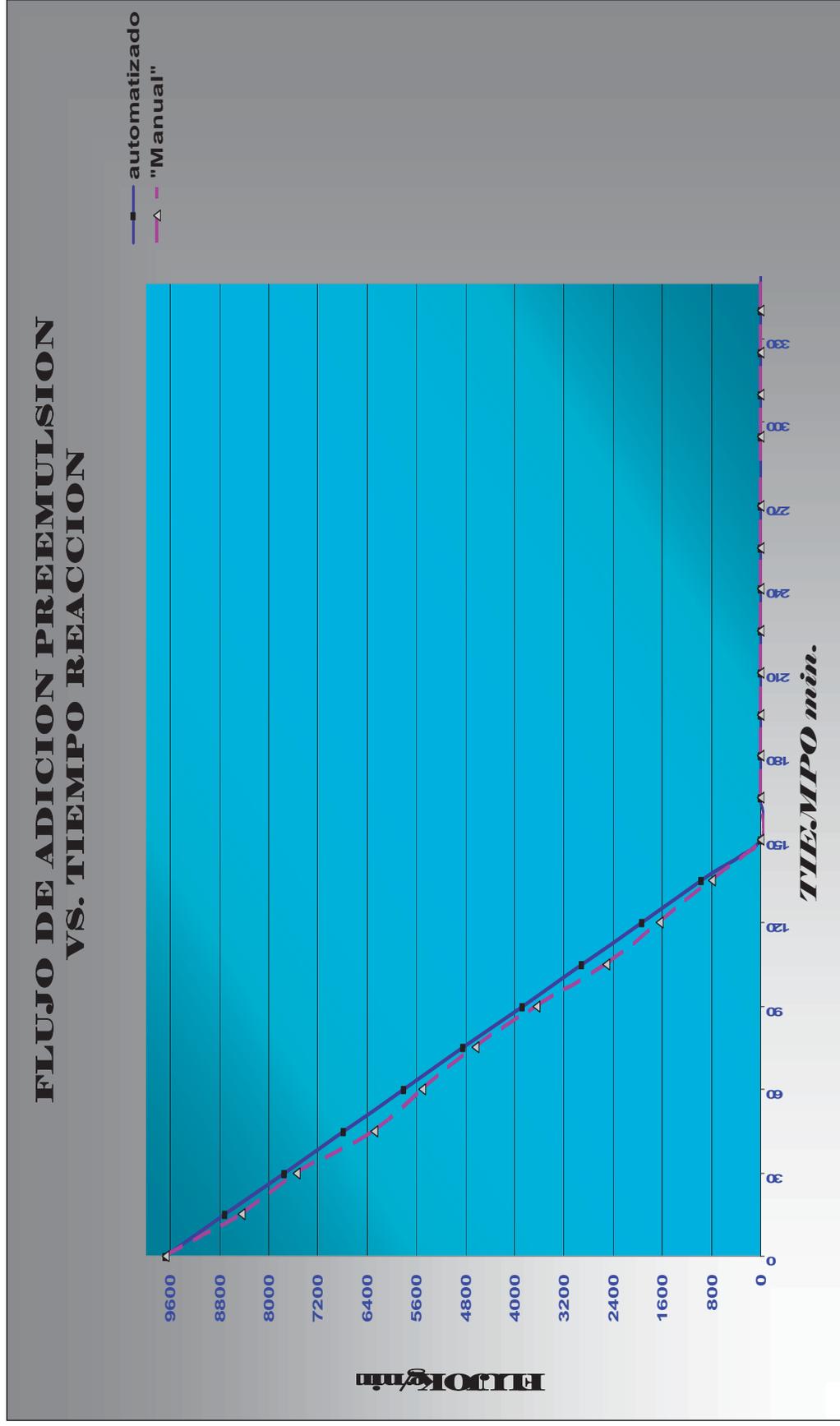


Grafica No.5 Temperatura vs. Tiempo Total del Proceso de Forma Automático de Primer Corrida

**3.9 DATOS DE LA SEGUNDA CORRIDA RESINA ESTIREN- ACRILICA**

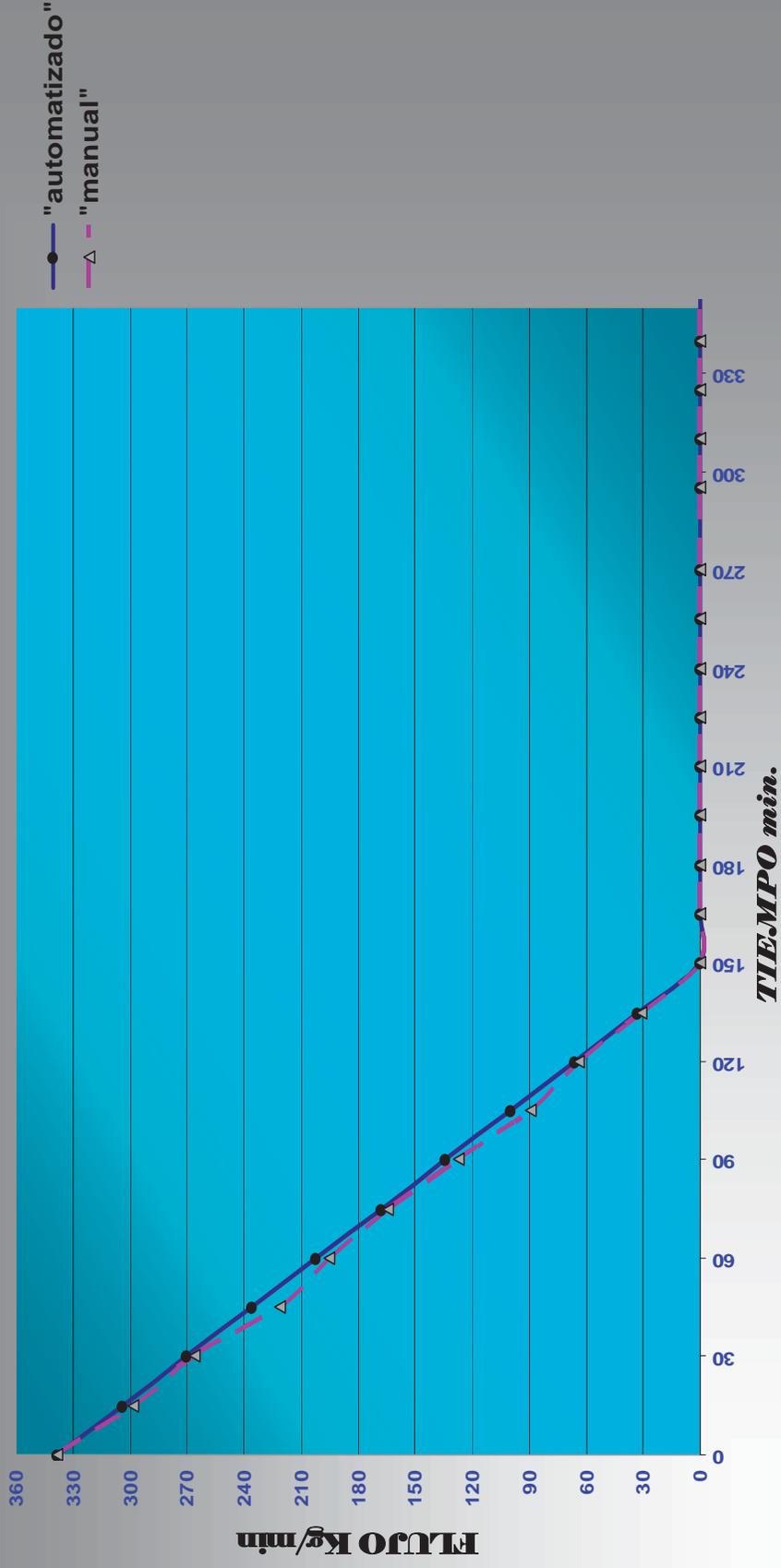
TIEMPO DE TRASCORRIDO DE ADICION min.	FLUJO DE PREMULSION AUTOMATICO Kg.		TEMPERATURA DE ADICION AUTOMATICO “°C ”		FLUJO DE CATALIZADOR AUTOMATICO Kg.		TEMPERATURA DE ADICION MANUAL “°C ”		FLUJO DE CATALIZADOR “MANUAL” Kg.	
0	9678	338	85.48	338	9678	86.10	338			
15	8710	304	85.58	304	8433	85.60	298			
30	7742	270	85.76	270	7553	85.60	266			
45	6774	236	85.90	236	6285	85.60	221			
60	5806	202	85.90	202	5500	85.70	195			
75	4839	168	85.97	168	4636	85.80	164			
90	3871	134	86.05	134	3652	86.10	127			
105	2903	100	86.05	100	2509	86.50	89			
120	1935	66	86.05	66	1651	86.70	64			
135	967	33	86.34	33	791	87.00	31			
150	0	0	86.30	0	0	87.70	0			
165	0	0	86.30	0	0	87.50	0			
180	0	0	82.19	0	0	87.00	0			
195	0	0	78.02	0	0	85.30	0			
210	0	0	73.97	0	0	81.69	0			
225	0	0	69.87	0	0	76.80	0			
240	0	0	65.75	0	0	72.72	0			
255	0	0	61.64	0	0	67.00	0			
270	0	0	57.53	0	0	63.94	0			
295	0	0	53.40	0	0	59.23	0			
310	0	0	49.31	0	0	55.45	0			
325	0	0	45.20	0	0	51.68	0			

Tabla No.5 Datos de Segunda Corrida Experimental Resina Estiren- Acrilica

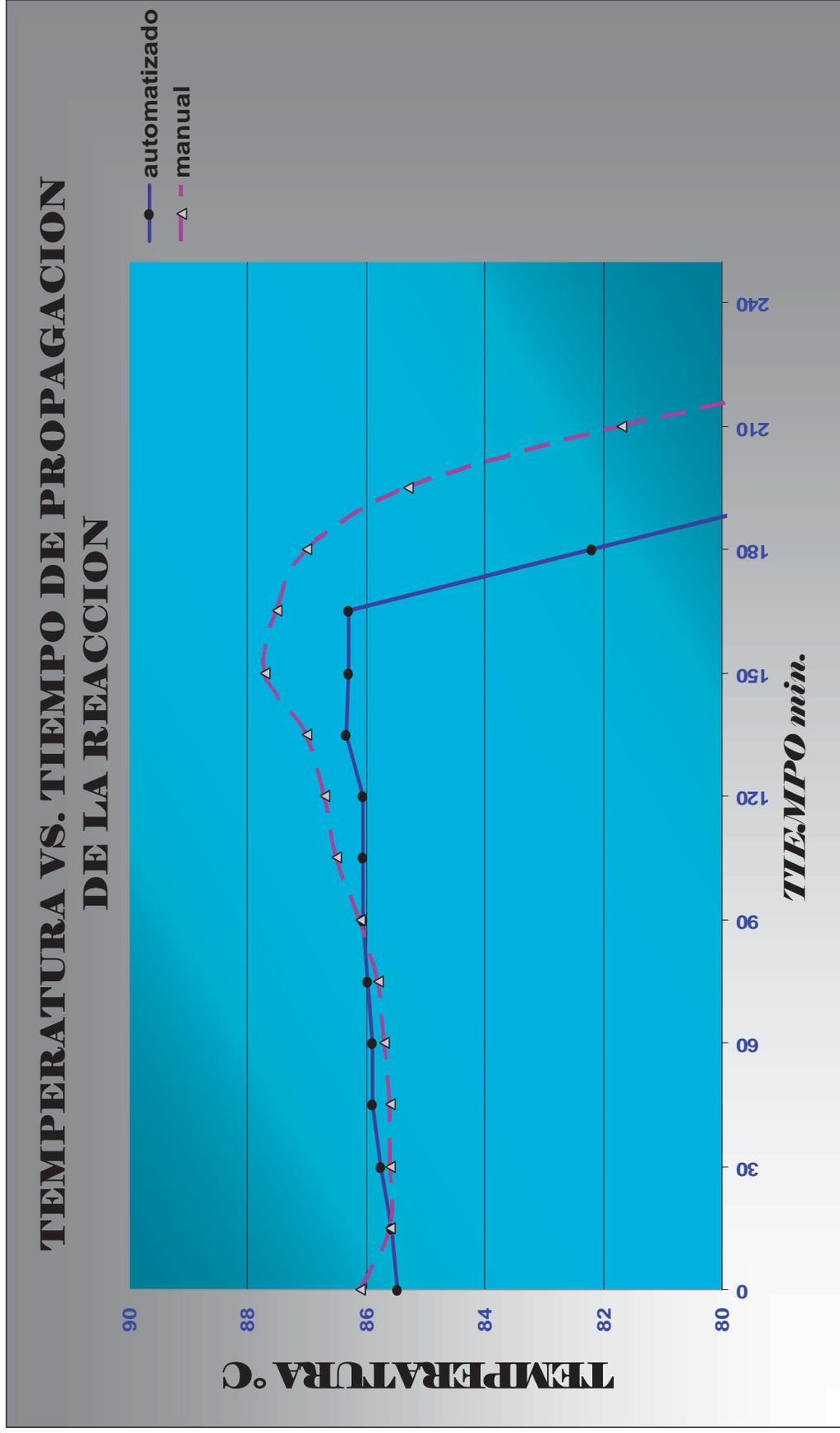


Grafica No.6 Flujo de Preemulsion vs. Tiempo de Segunda Corrida

## FLUJO DE ADICION DE CATALIZADOR VS. TIEMPO DE REACCION

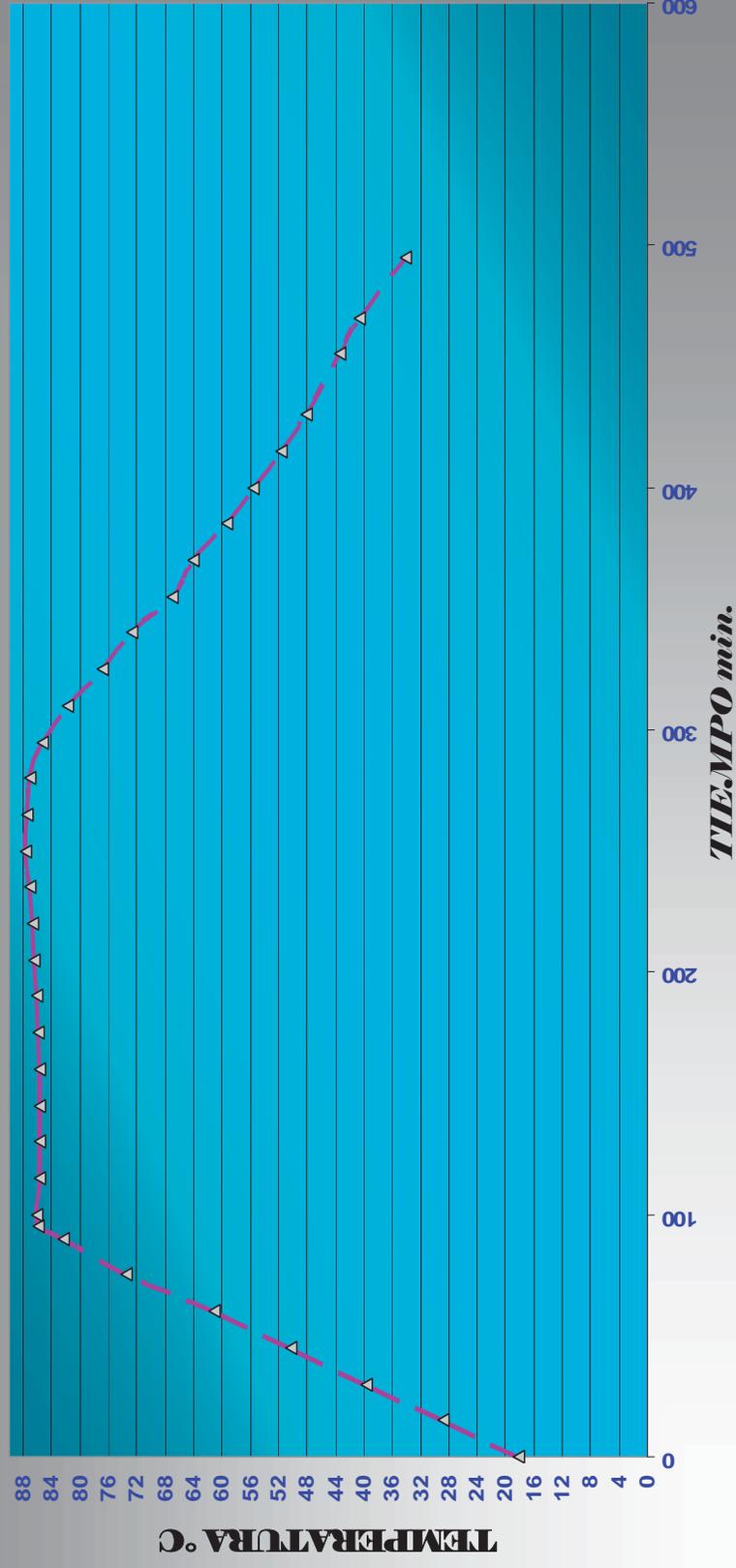


Grafica No.7 Flujo de Catalizador vs. Tiempo de Segunda Corrida



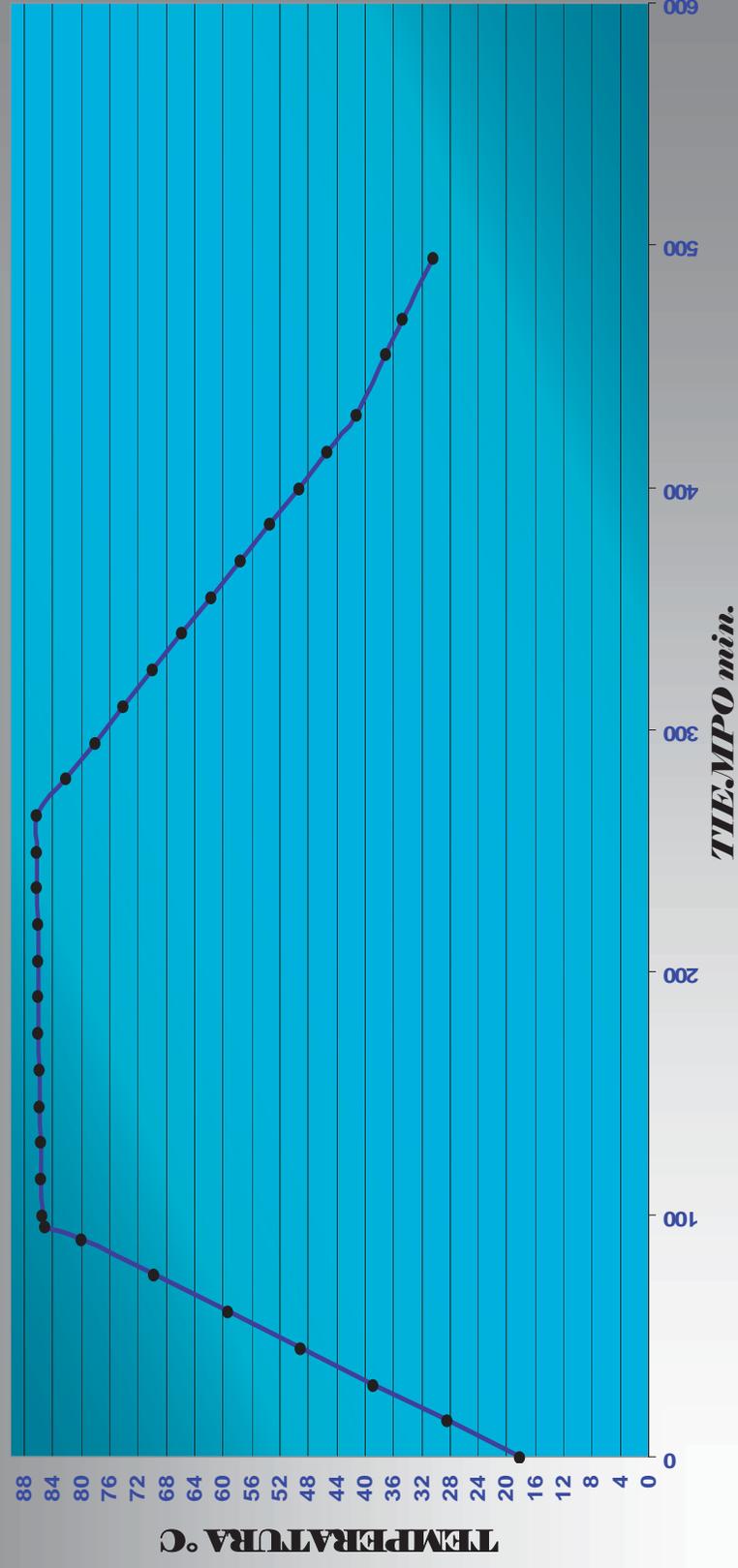
Grafica No.8 Temperatura vs. Tiempo de Propagación de la Reacción de Segunda Corrida

## TEMPERATURA VS. TIEMPO TOTAL DEL PROCESO EN FORMA "MANUAL"



Grafica No.9 Temperatura vs. Tiempo Total del Proceso Forma Manual de Segunda Corrida

## TEMPERATURA VS. TIEMPO TOTAL DEL PROCESO EN FORMA "AUTOMATICO"

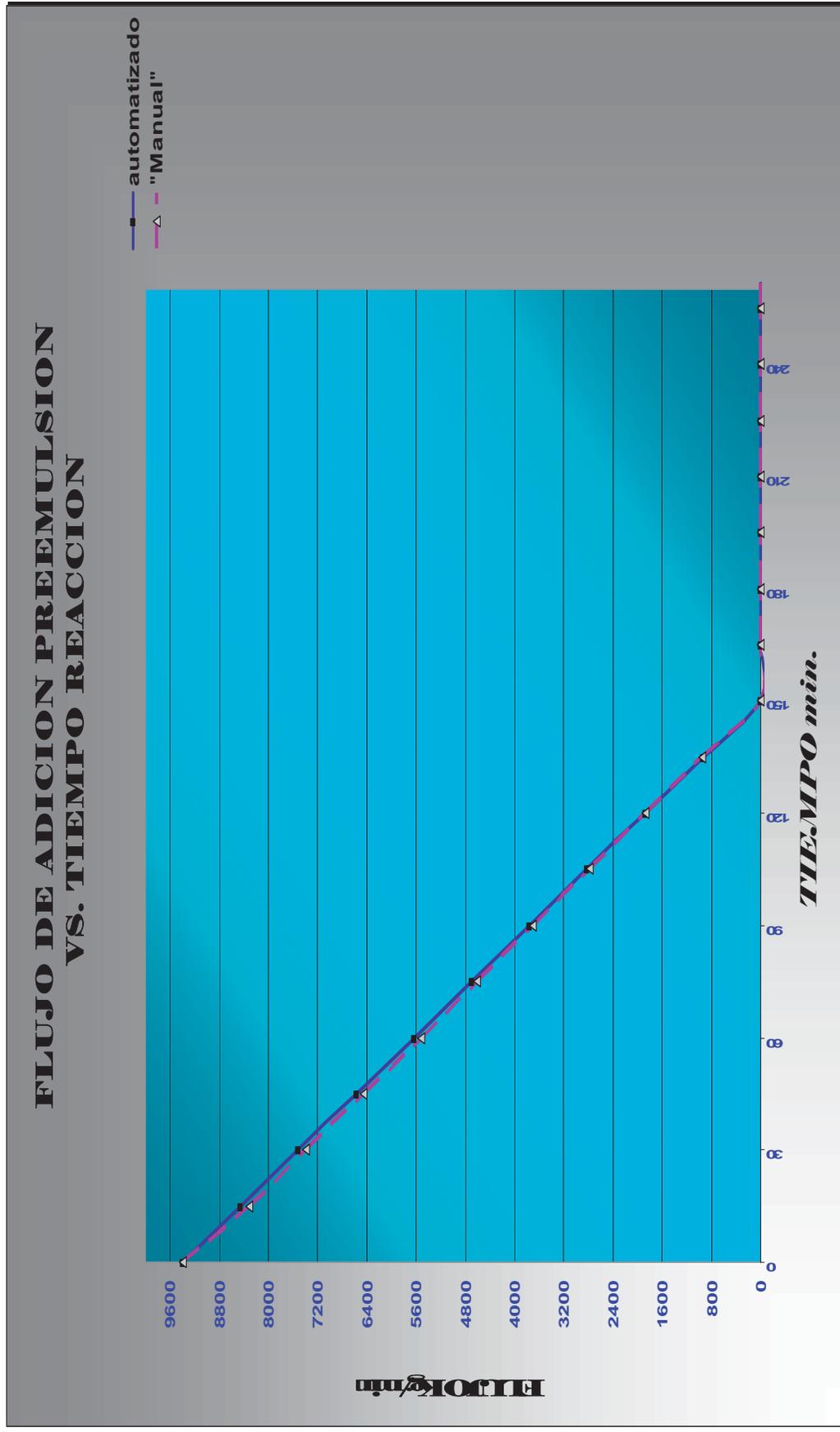


Grafica No.10 Temperatura vs. Tiempo Total del Proceso Forma Automático de Segunda Corrida

**3.10 DATOS DE LA TERCER CORRIDA RESINA ESTIREN- ACRILICA**

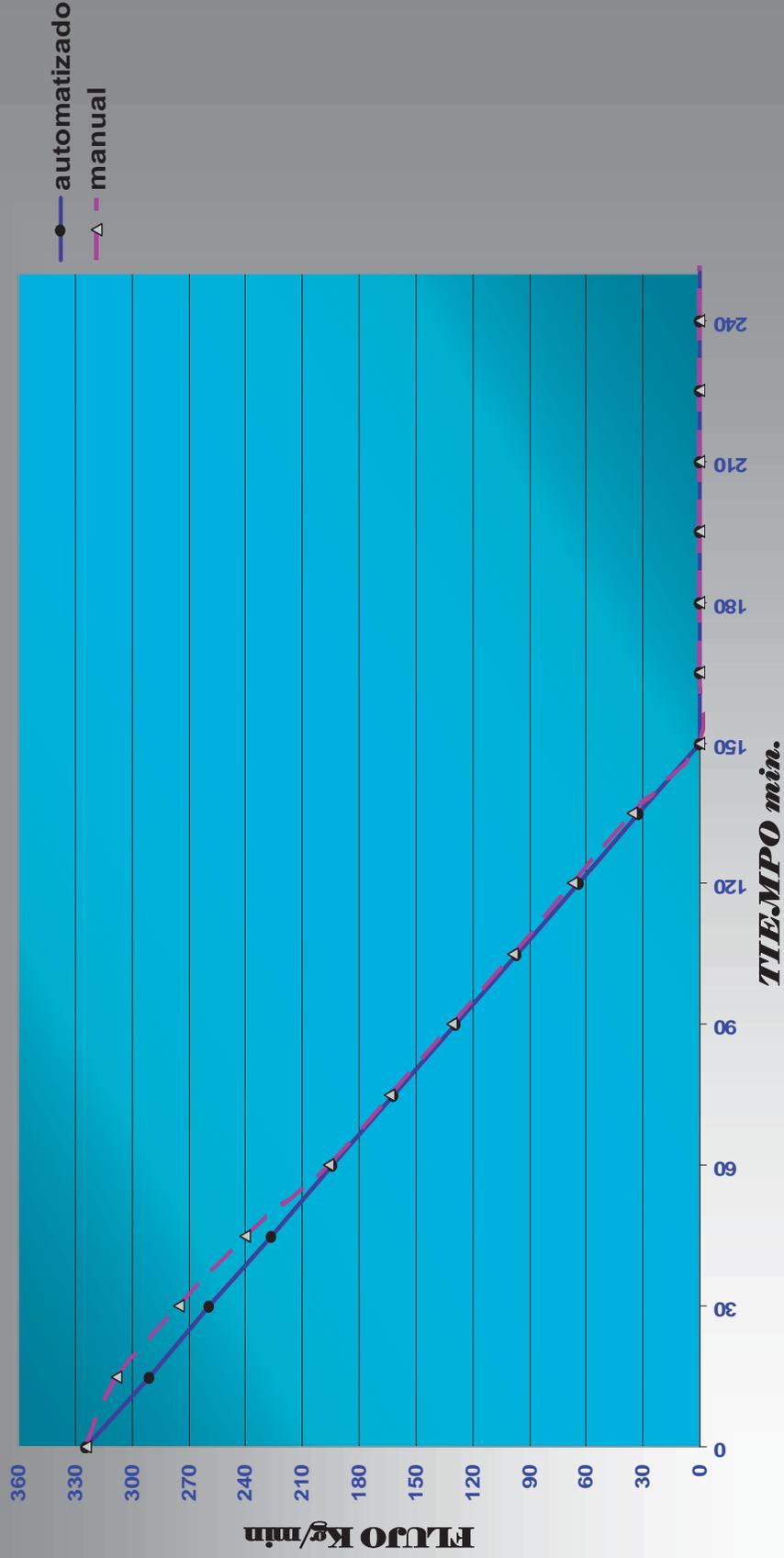
TIEMPO TRASCURRIDO DE ADICION min.	FLUJO DE PREMULSION AUTOMATICO Kg.	TEMPERATURA DE ADICION AUTOMATICO “ °C ”	FLUJO DE CATALIZADOR AUTOMATICO Kg.	TEMPERATURA DE ADICION “MANUAL” “ °C ”	FLUJO DE PREMULSION “MANUAL” Kg.	FLUJO DE CATALIZADOR “MANUAL” Kg.
0	9389	85.69	324		9389	324
15	8450	85.92	291		8319	308
30	7511	85.94	259		7389	275
45	6572	85.94	226		6450	240
60	5633	85.98	194		5519	196
75	4694	85.98	162		4617	164
90	3755	85.97	129		3705	131
105	2816	86.01	97		2786	99
120	1877	86.01	64		1878	67
135	938	86.01	32		945	36
150	0	86.01	0		0	0
165	0	86.01	0		0	0
180	0	86.00	0		0	0
195	0	82.25	0		0	0
210	0	78.50	0		0	0
225	0	74.75	0		0	0
240	0	71.00	0		0	0
255	0	67.25	0		0	0
270	0	63.50	0		0	0
295	0	59.75	0		0	0
310	0	56.00	0		0	0
325	0	52.25	0		0	0
340	0	48.50	0		0	0
355	0	44.75	0		0	0

Tabla No.6 Datos de Tercer Corrida Experimental Resina Estiren- Acrilica

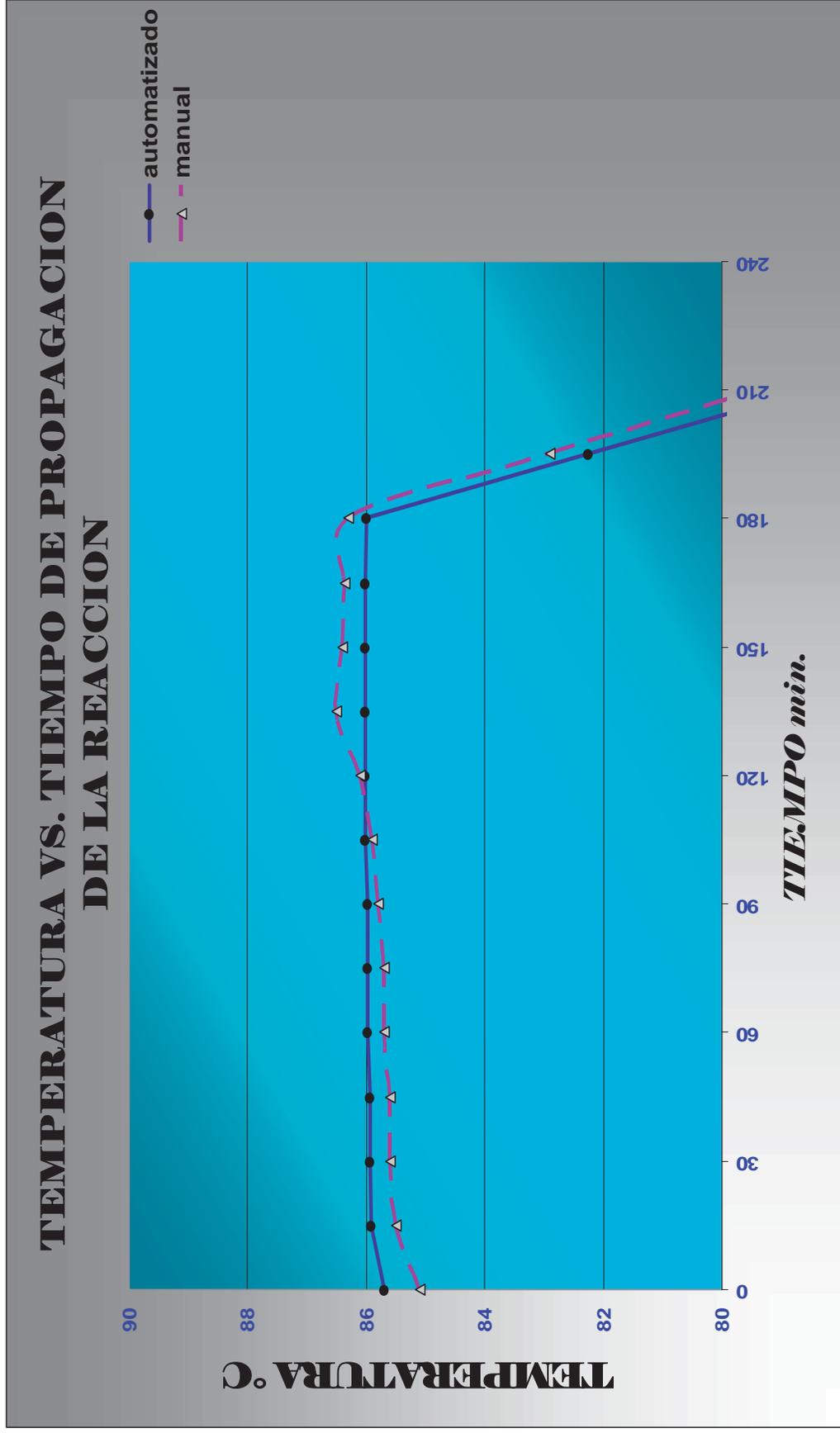


Grafica No.11 Flujo de Preemulsion vs. Tiempo de Tercer Corrida

## FLUJO DE ADICION DE CATALIZADOR VS. TIEMPO DE REACCION

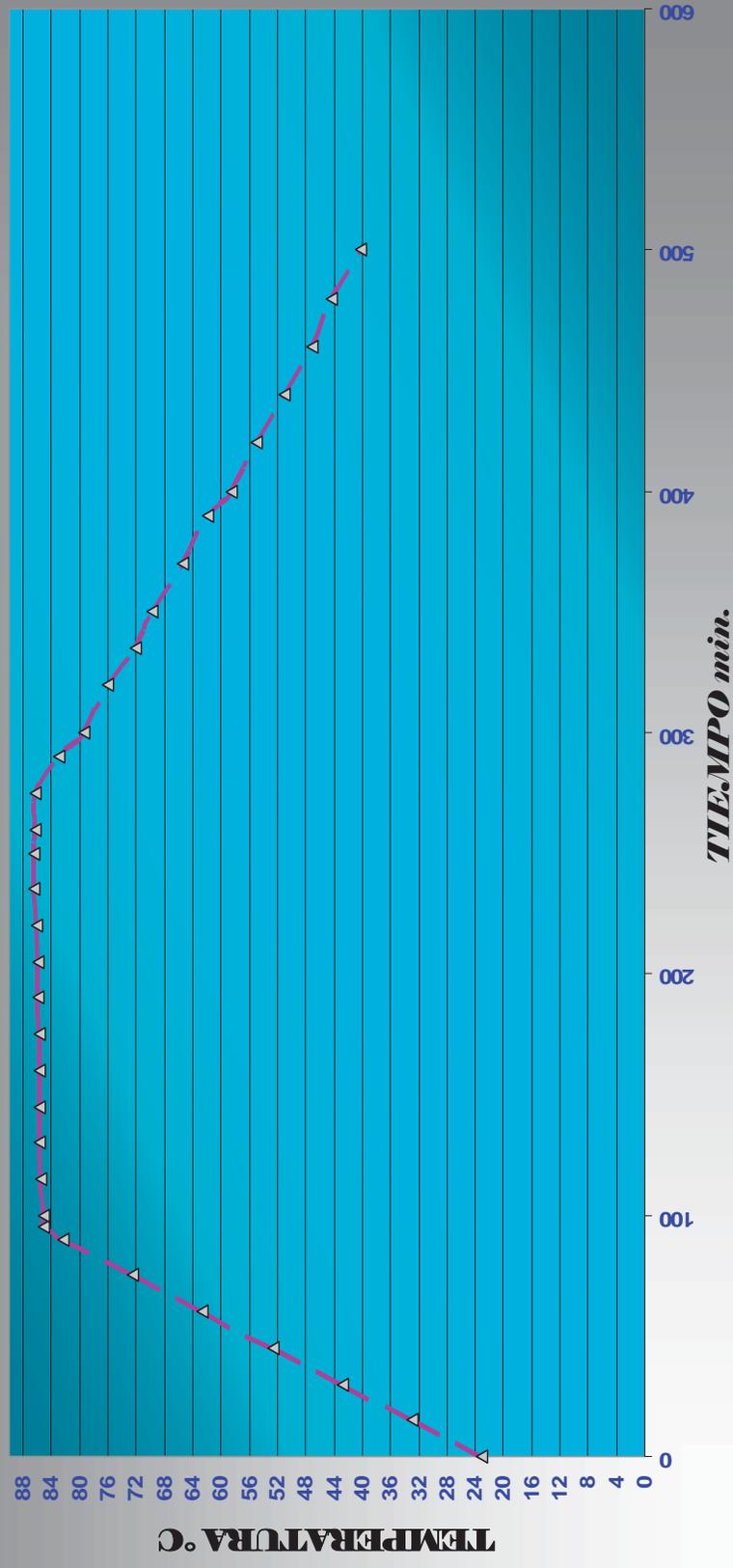


Grafica No.12 Flujo de Catalizador vs. Tiempo de Tercer Corrida



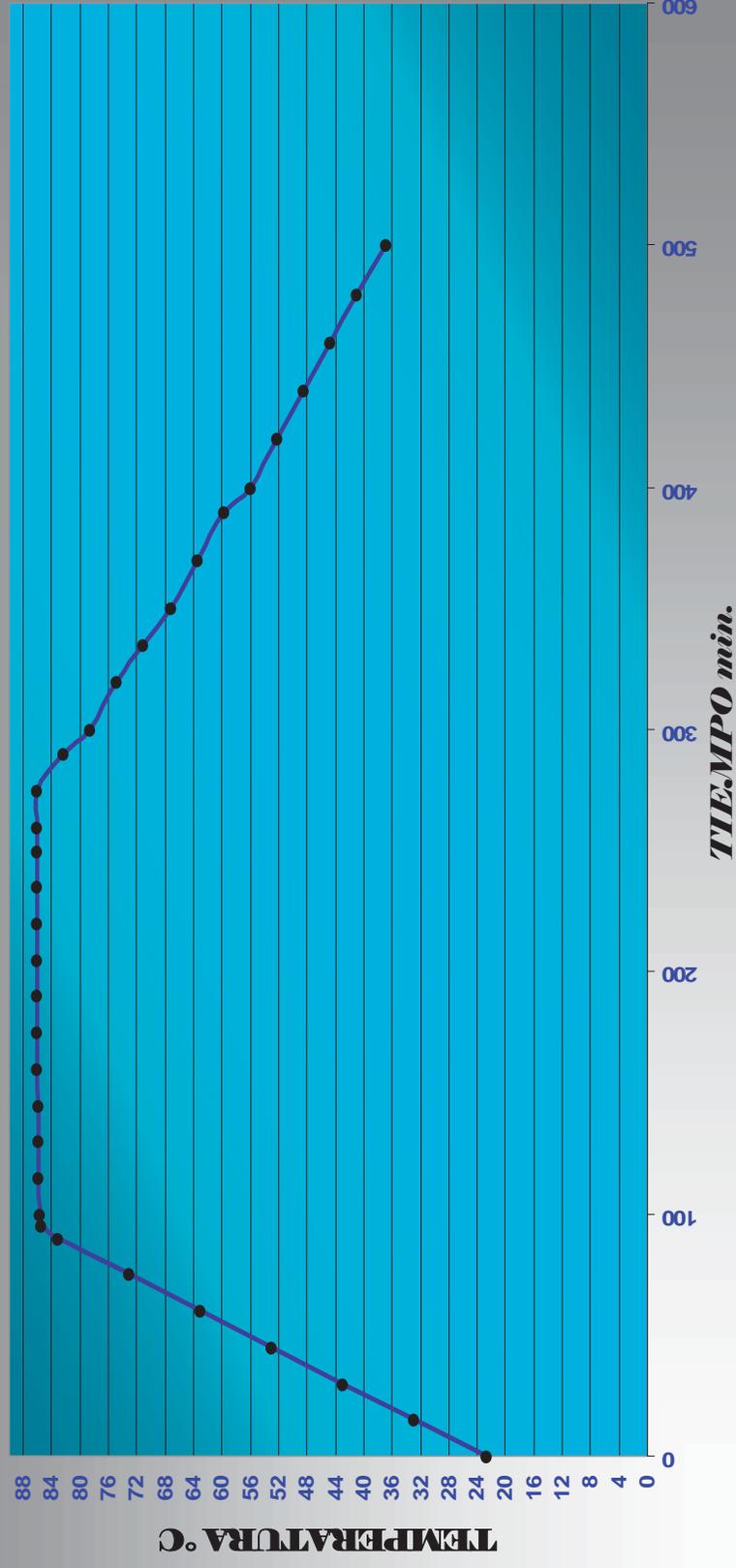
Grafica No.13 Temperatura vs. Tiempo de Propagación de la Reacción de Tercer Corrida

## TEMPERATURA VS. TIEMPO TOTAL DEL PROCESO EN FORMA "MANUAL"



Grafica No.14 Temperatura vs. Tiempo Total del Proceso Forma Manual de Tercer Corrida

## TEMPERATURA VS. TIEMPO TOTAL DEL PROCESO EN FORMA "MANUAL"

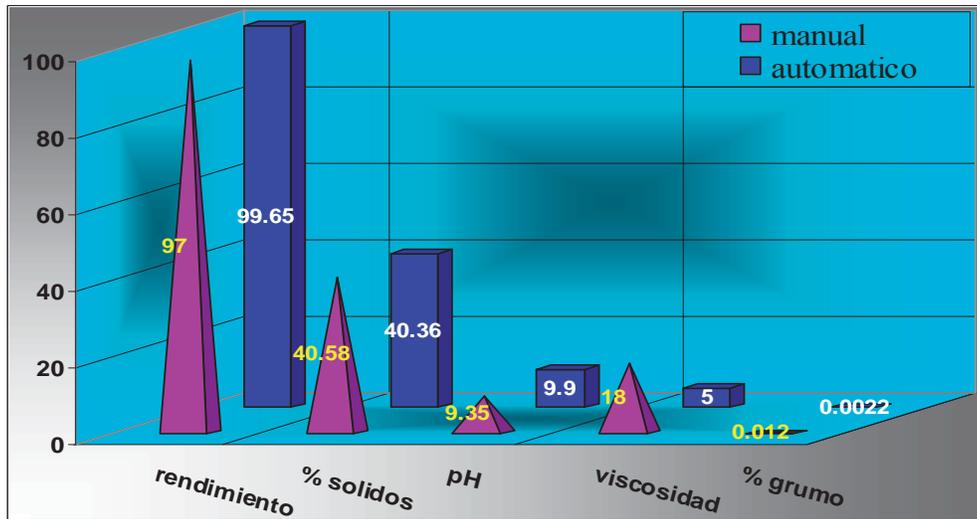


Grafica No.15 Temperatura vs. Tiempo Total del Proceso Forma Automático de Tercer Corrida

## IV .- ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

### RESULTADOS OBTENIDOS DE PRIMER CORRIDA

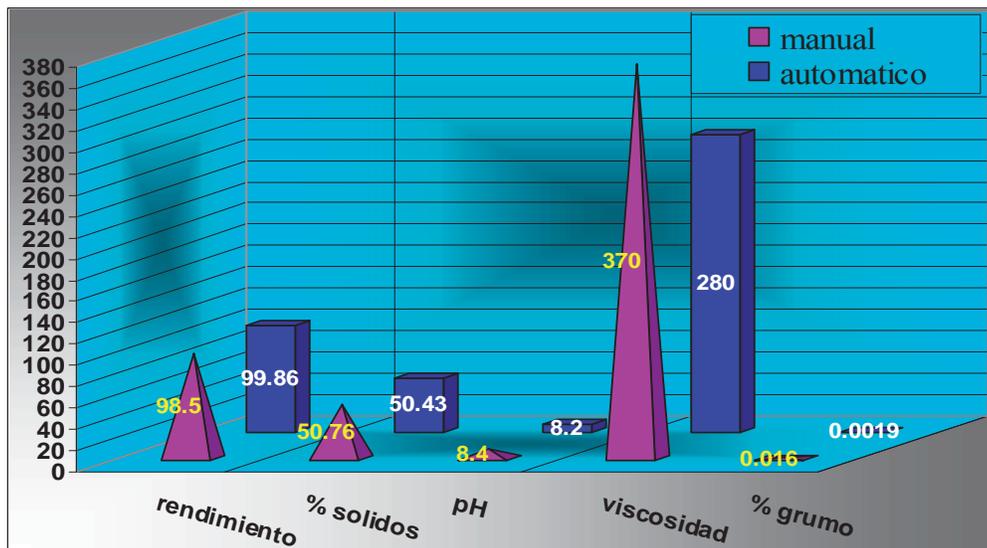
<i>MANUAL</i>	<i>AUTOMATICO</i>
% Sólidos = 40.58	% Sólidos = 40.36
% Grumo = 0.012	% Grumo = 0.0022
pH = 9.35	pH = 9.90
Viscosidad = 18 cps.	Viscosidad = 5.cps.
Rendimiento= 97-98%	Rendimiento= 99.65%



Grafica No.16 Resultados Obtenidos de las Principales Propiedades Primer Corrida

### RESULTADOS OBTENIDOS DE SEGUNDA CORRIDA

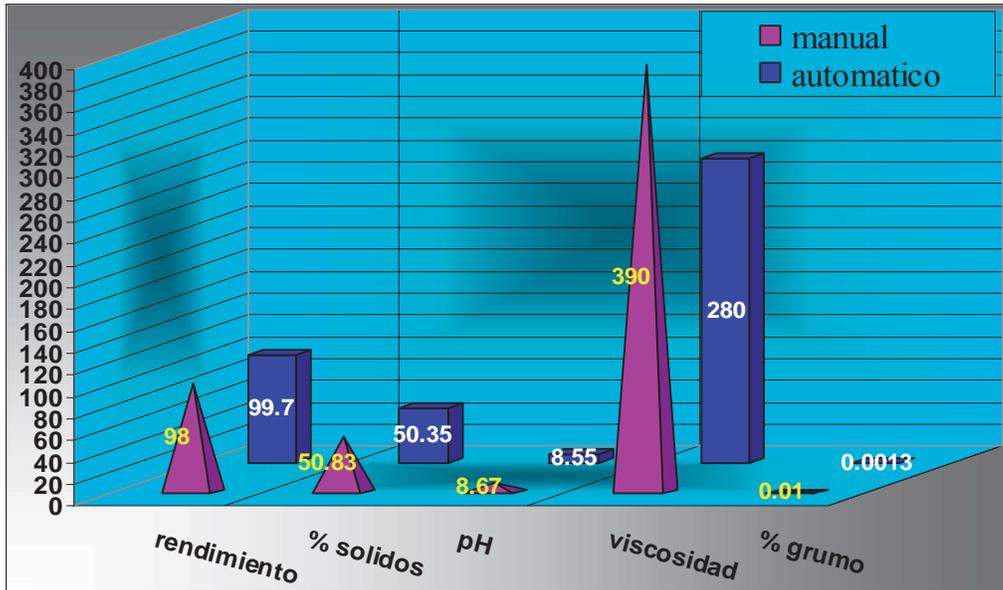
<i>MANUAL</i>	<i>AUTOMATICO</i>
% Sólidos = 50.76	% Sólidos = 50.43
% Grumo = 0.016	% Grumo = 0.0019
pH = 8.4	pH = 8.2
Viscosidad = 370	Viscosidad = 280 cps.
Rendimiento= 98-98.5%	Rendimiento= 99.86%



Grafica No.17 Resultados Obtenidos de las Principales Propiedades Segunda Corrida

**RESULTADOS OBTENIDOS DE TERCER CORRIDA**

<i>MANUAL</i>	<i>AUTOMATICO</i>
% Sólidos = 50.83	% Sólidos = 50.35
% Grumo = 0.01	% Grumo = 0.0013
pH = 8.67	pH = 8.55
Viscosidad = 390	Viscosidad = 280 cps.
Rendimiento=98-98.5%	Rendimiento=99.70%



**Grafica No.18 Resultados Obtenidos de las Principales Propiedades Tercer Corrida**

De acuerdo a los resultados obtenidos utilizando el Sistema de control distribuido, se pudo observar que se obtuvieron características mucho mejores que los que se obtenían realizando las resinas de manera manual, ya que en el rubro que se observo de manera mas palpable fue en el % de Grumo. Ya que estos se produce principalmente a que en el transcurso del tiempo de adición de monómero emulsionado ( Propagación de la reacción ), que al no ir adicionándose homogéneamente, es decir, al tiempo que se tiene que agregar la cantidad adecuada de monómero emulsionado y catalizador, se pueden forman concentraciones de monómero libre sin reaccionar dentro del reactor y que al momento que reaccionar es de forma violenta, que por consiguiente nos forma características no deseables, esto puede ser al término de la adición ó al momento de finalizar la reacción.

Con la implementación del sistema de control distribuido se evita eso, ya que al mantener homogénea tanto el flujo de monómero emulsionado y catalizadores, así como, de la agitación nos asegura una conversión efectiva de monómero y por consiguiente mejores características del producto final y de rendimiento de la reacción.

## V.- CONCLUSIONES

Al realizar este trabajo se observo que al mantener un mejor control de las variables mas criticas del proceso que son: la adición (dosificaciones) de catalizadores y monómero emulsionado, así como, la Temperatura del proceso, es decir, que se mantiene constante con la mínima variación se obtuvieron productos mas limpios, con un mejor grado de conversión, mejores propiedades como: dispersión, poder cubriente, estabilidad mecánica, % de sólidos, Viscosidad, % de Grumo, mejor distribución de partículas y tamaño de partículas, entre otras.

Por lo que concluimos que de acuerdo a los resultados obtenidos en las tres corridas se observa que el % de Grumo disminuye de centésimas a milésimas.

El % de Sólidos se observa que casi se llega al valor máximo teórico de sólidos esperado para el Látex:

- Para la primer corrida el máximo teórico es de 40.5% y se obtuvo 40.36%.
- Para la segunda y tercer corrida es de 50.5% y se obtuvo un promedio de 50.39% de manera automático.

Los resultados satisfactorios que se obtienen de manera automática, es debido, al control casi perfecto que se tiene tanto en las adiciones de catalizador y monómero emulsionado, así como, del control de la temperatura como se observan en las graficas No. 3,8,13, donde se ve como la temperatura en el proceso automático se mantiene casi constante y de manera manual existe muchas variaciones.

En las Graficas No.1,2,6,7,11,12 se observa como el control de las dosificaciones es constante y de manera manual existen inconsistencia en las dosificaciones tanto de monómero emulsionado y catalizadores.

Se obtuvo una disminución de la viscosidad en todas las corridas: En la primer corrida de 18cps -5cps, en la segunda de 370cps – 280cps y en la tercera de 390cps.- 280cps. Por lo que para su aplicación es mucho más fácil, así como, se obtiene una mejor distribución de partículas.

En lo que se refiere al tamaño de partícula principalmente para la resina estirenica de la primer corrida experimental, se llevo a obtener un tamaño mayor ó igual de una micra y una distribución uniforme de las partículas del látex que nos da como resultado mejor opacidad y poder cubriente.

## VI.- BIBLIOGRAFIA

1.- Ferdian Rodríguez. Principios de los Sistemas de Polímetros. Editorial Manual Moderno 1984.

2.- Centro de Capacitación Foxboro. Introducción a la Capacitación (2000). 2004.

3.- Alejandro Mora Mendoza. Tesis Análisis de un Reactor a Nivel Laboratorio para Polimerización en Emulsión. 1995.

4.- Ernesto Ureta Barrón. Estructura Propiedades y Aplicaciones de los Polímeros. Editorial Limusa Noriega.

5.- José Everardo Carranza Lucas. Tesis Acondicionamiento y Experimentación de un Reactor a Escala Piloto para Polimerización en Emulsión. 1996.

6.- [www. textos cientificos.com/ polímeros](http://www.textoscientificos.com/polimeros).

7.- Irja Pirma. Emulsión Polimerización. Academic Press . 1982.

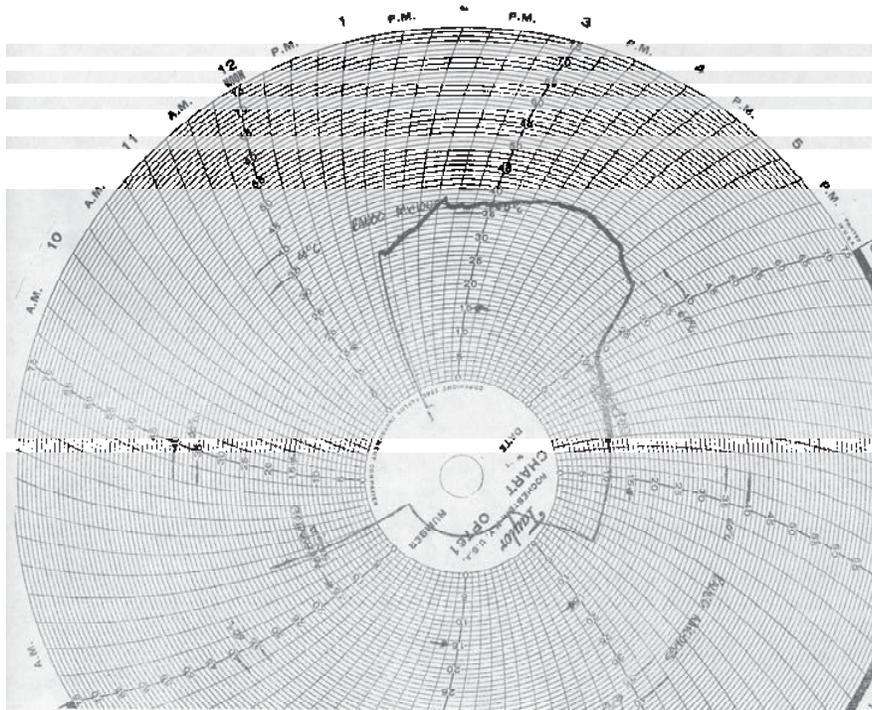
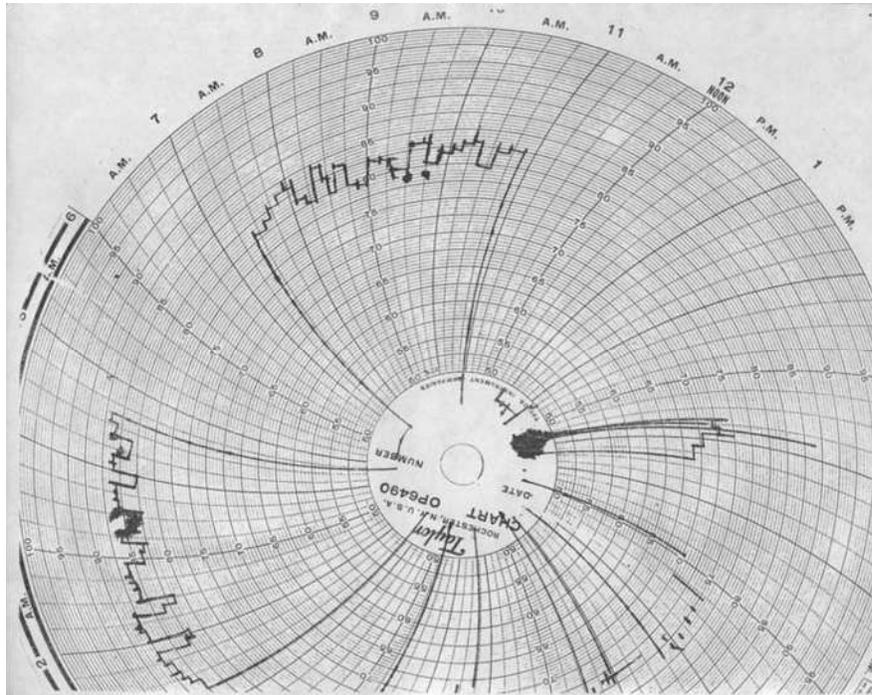
8.- Cartones Ponderosa. Curso de Transmisores. 2000- 2003.

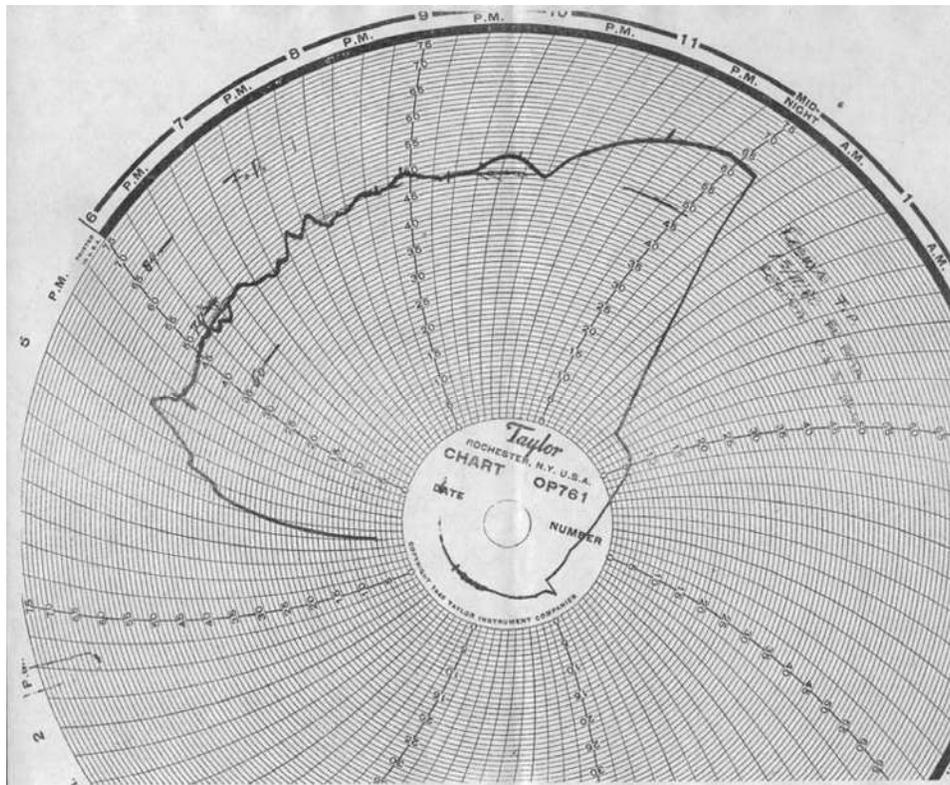
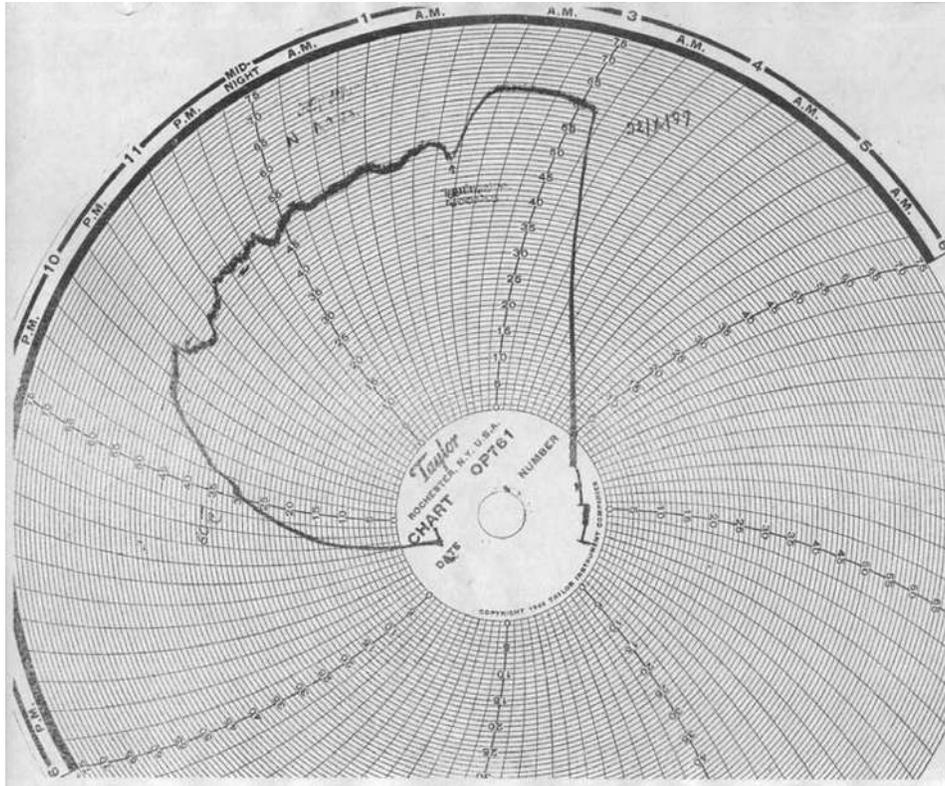
VII.- APENDICES

7.1 APENDICE I

**GRAFICAS DE DIFERENTES PROCESOS EN LA FABRICACIÓN DE RESINAS EN EMULSIÓN DE MANERA MANUAL.**

En las cuales se puede observar que el control de la temperatura en el proceso de propagación de la reacción es muy irregular.

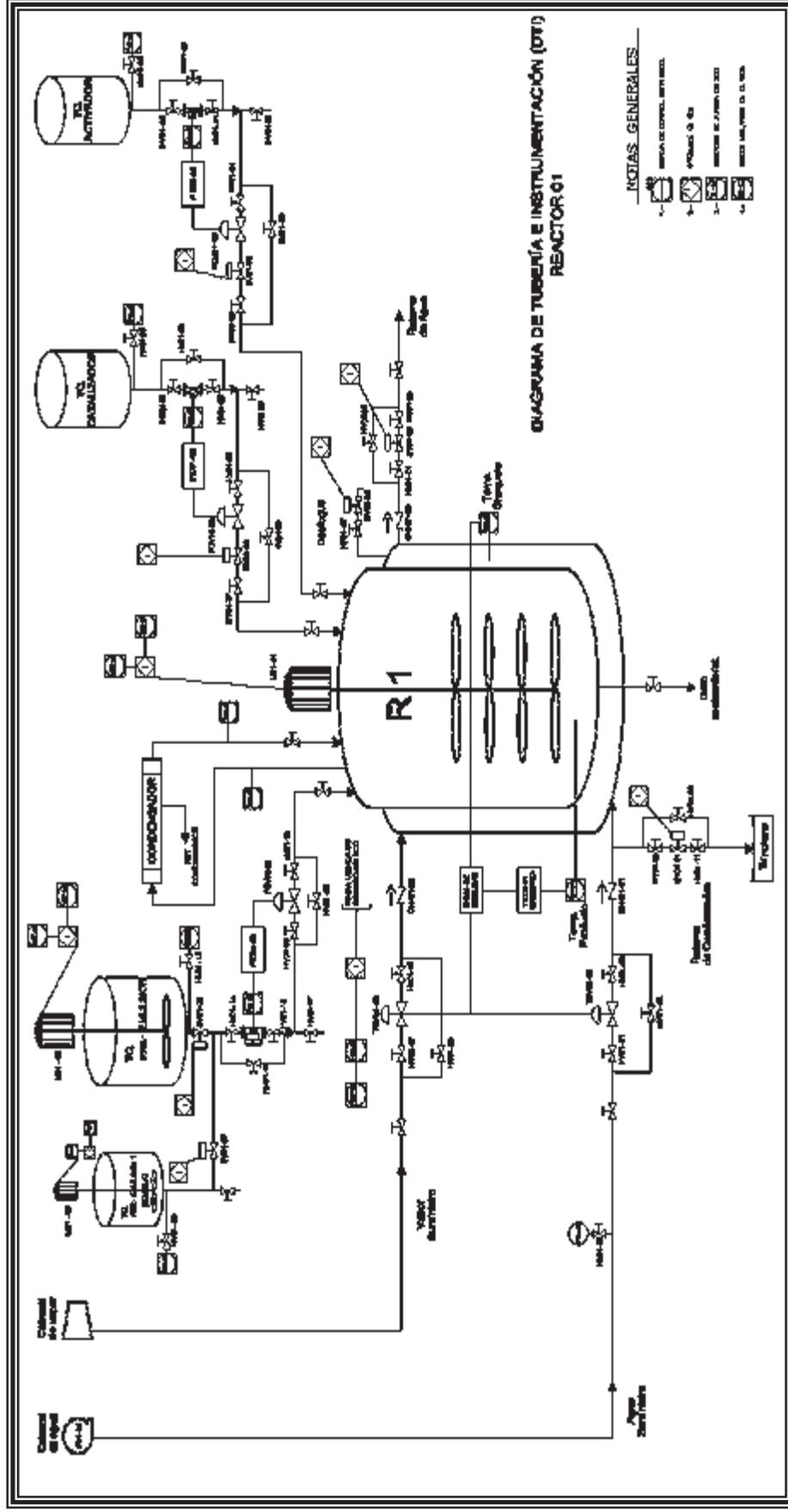




7.2 APENDICE II

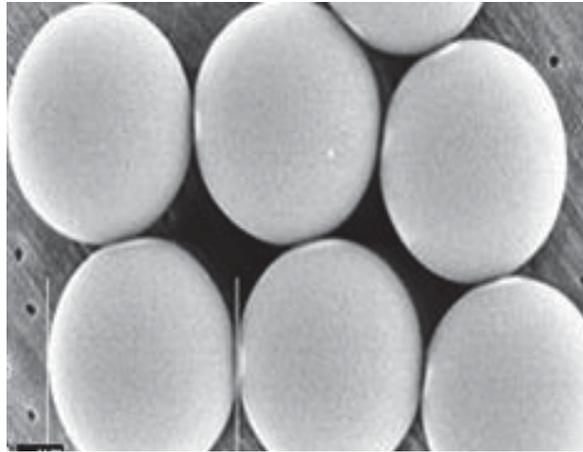
DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN Y TUBERÍA (DTI).

Utilizado en el proyecto del sistema de control distribuido para la fabricación de resinas en emulsión.



### 7.3 APENDICE III

**MICROFOTO DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS DE RESINAS EN EMULSIÓN.**



### 7.4 APENDICE IV

**PRINCIPALES EQUIPOS DE CONTROL INSTALADOS PARA EL SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO.**

**Válvula de Control de Bajo Flujo Para Catalizadores:** Este tipo de válvula de control esta instalada en las líneas de los tanques de catalizadores ya que la cantidad de catalizador que se tiene que suministrar por minuto es muy poco. También se instalaron en las líneas de alimentación vapor y de agua de Enfriamiento.



**Válvula de Control Segmentada:** Este tipo de válvula de control esta instalada en la líneas de los tanques de preemulsion (Monómero Emulsionado), ya que el flujo es relativamente considerable por minuto por ese motivo es que en su interior esta segmentada.



**Válvula on-off:** Este tipo de válvulas no son de control sino solamente son de paso ó corte y se instalaron antes de la válvula de control esto solo para efectos de mantenimiento y que pueden ser normalmente cerradas ó normalmente abiertas, van en las líneas de catalizadores, monómero emulsionado, alimentación y retorno de vapor y agua de enfriamiento y desfogue de la chaqueta del reactor.



**RTD Para medición de la Temperatura :** Este tipo de medidores de temperatura se instalo en vez de termopares por el grado de exactitud que tiene ya que son de platino.



**Medidores de Presión Diferencial :** Estos instrumentos son instalados para que nos de la lectura de la columna de agua y con esos datos poder controlar el flujo en función del volumen del tanque, ya sea de catalizadores o preemulsion (Monómero Emulsionado). También es utilizado para visualizar con que presión de agua de enfriamiento se esta trabajando.



**Medidores Magnéticos:** Este tipo de medidores de flujo se instalaron en las líneas de catalizadores, por el tipo materiales que se utilizan y el caudal que va a pasar por minuto.



**Medidores Masicos:** Este tipo de medidores son instalados en las líneas de monómero emulsionado por el tipo de materiales que pasan a través de el, además por el caudal que va a pasar por minuto.

