

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD RAFAEL URDANETA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE QUÍMICA



DERECHOS RESERVADOS

**REQUERIMIENTOS MAXIMOS DE AGUA DE ENFRIAMIENTO EN
EL AREA DE POLIMERIZACION DE LA PLANTA PVC II, EL
TABLAZO.**

**Trabajo Especial de Grado, presentado como requisito para optar el titulo
de Ingeniero Químico**

Presentado por:

BRACHO CARMONA, Mariexis Lorena

C.I 18.517.260

VAN DER BIEST RODRIGUEZ, Frederick Roland

C.I 17.368.192

Maracaibo, septiembre 2007

Este jurado aprueba el trabajo especial de grado titulado: **“REQUERIMIENTOS MÁXIMOS DE AGUA DE ENFRIAMIENTO EN EL ÁREA DE POLIMERIZACIÓN DE LA PLANTA PVC II, EL TABLAZO”** presentado por los bachilleres Mariexis L. Bracho C. C.I. 18.517.260 y Frederick R. Van Der Biest R. C.I. 17.368.192, en cumplimiento con los requisitos señalados para optar al título de INGENIERO QUÍMICO.

Maracaibo, Septiembre de 2007

DERECHOS RESERVADOS

Ing. Humberto Martínez
C.I. 3.112.555
Tutor Académico

Ing. Gines Alarcón
C.I. 5.171.423
Jurado Evaluador

Ing. Oscar B. Urdaneta
C.I. 4.520.200
Jurado Evaluador

Ing. Oscar B. Urdaneta
C.I. 4.520.200
Director de la
Escuela de Ingeniería Química

Ing. José Francisco Bohórquez
C.I. 3.379.454
Decano de la
Facultad de Ingeniería



DEDICATORIA

A DIOS, que desde el cielo ilumina mi camino guiándome siempre por las mejores oportunidades de mi vida.

A mis padres, por ser mis mayores y mejores ejemplos a seguir, a ti papi por apoyarme y ayudarme siempre, por desbordar en mí tus muchas experiencias como profesional y como estudiante, por ser mi amigo y consejero a lo largo de mi vida y mi trayectoria de estudiante; a ti mami por siempre guiarme por el mejor camino, por tu apoyo, compañía y simplemente por ser mi mejor amiga. Sin ustedes no lo habría logrado. Los AMO

A mis hermanitos, que este sea uno de los tantos ejemplos a seguir de mi parte para ustedes, sigan adelante. Los ADORO

A mis hermanos mayores toto y Samuel y a mis segundos padres tía Cruz y tío José, por brindarme siempre sus apoyos, sus consejos y su amor.

A una persona que cumple un papel muy importante en mi vida porque es quien completa mi felicidad, quien me lleno de fuerzas para luchar por lo que quiero y quien alegra mis días para seguir adelante... a ti Gustavo, por estar a mi lado en esta etapa tan importante de mi vida, por entenderme y apoyarme sobre todas las cosas. Te Amo.

A mis amigas y a todas aquellas personas que cada día me brindan su amistad y apoyo para realizar mis sueños.

Mariexis Bracho.



DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico primero que todo a dios por darme salud y las fuerzas para culminar esta etapa tan importante de mi vida, a mis padres por el apoyo de siempre estar ahí cuando mas los necesitaba, y por los grandes esfuerzos hechos al encontrarme separado de ellos durante el desarrollo de mi carrera y también agradezco a todas aquellas personas que me brindaron su apoyo incondicional.

Frederick Van Der Biest



AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Alexis y Marisela por su gran apoyo durante todo mi trayecto de estudiante.

Al Prof. ing. Humberto Martínez, que mas que un profesor fue mi tutor, amigo y quien batallo a mi lado para hacer cumplir mi sueño. Mil gracias Profesor.

Al Prof. ing. Gines Alarcón, quien de forma voluntaria apporto una gran ayuda y gracias a el se culmino esta investigación a tiempo.

Al ing. Elohim Pedraja, tutor industrial.

A la ing. De Procesos Johanna Guillen.

A la ing. De Controles Yesenia Khair.

A los grupos de panelistas de sala de control de la planta PVC II por brindarme sus conocimientos y excelente atención.

Mariexis Bracho.



AGRADECIMIENTOS

La realización de este proyecto no hubiera sido posible sin la valiosa ayuda del ingeniero Humberto Martínez, ya que siempre estuvo dispuesto para ilustrarnos con sus conocimientos en el momento en el que fue necesario, y así guiarnos por el camino correcto gracias a sus sabios consejos.

Al ingeniero Gines Alarcón por orientarnos en la determinación de la solución más acertada para este proyecto, aun cuando su tiempo disponible era escaso; y por ultimo y no menos importante rendimos gratitud a todas aquellas personas que directa o indirectamente contribuyeron con nuestro trabajo de grado.

Frederick Van Der Biest



BRACHO CARMONA, Mariexis Lorena C.I 18.517.260; VAN DER BIEST RODRIGUEZ, Frederick Roland C.I 17.368.192. **“REQUERIMIENTOS MÁXIMOS DE AGUA DE ENFRIAMIENTO EN EL ÁREA DE POLIMERIZACIÓN DE LA PLANTA PVC II, EL TABLAZO”**. Trabajo Especial de Grado. Maracaibo. Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, escuela de Ingeniería Química. Septiembre de 2007.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como propósito determinar los requerimientos máximos de agua de enfriamiento en el área de polimerización de la planta PVC II ubicada en PEQUIVEN, para el caso de un reactor adicional en el área de polimerización, lo cual se logro mediante los cálculos de caudal de agua de enfriamiento que circula a través de la chaqueta de los cinco reactores existentes en la planta, datos que fueron facilitados por el programa PI proveniente de la sala de control. Para lograr los objetivos plantados en la investigación, se realizo un muestreo de los tiempos empleados por el sistema para cada operación del ciclo de polimerización de la resina VINILEN 140, estableciendo así un nuevo escenario de operación con un sexto reactor adicional reduciendo los tiempos del ciclo.

Para el grado de polímero analizado, los ciclos de polimerización tienen una duración de seis horas con cuarenta minutos (6:40), que a través de un modelo estadístico de medidas inválidas se calcularon los tiempos de retraso para cada escenario de polimerización estudiados.

En los resultados obtenidos de caudal contra tiempo se ilustraron los requerimientos máximos de agua de enfriamiento, donde los datos de caudales fueron calculados con los intervalos de tiempo de retraso correspondientes para cada escenario de operaciones evaluadas. Los resultados finales obtenidos fueron que para cinco reactores en operación el consumo de agua de enfriamiento es de $1328,28\text{m}^3/\text{hr.}$, mientras que para un sexto reactor el consumo requerido de agua de enfriamiento es de $16660,31\text{m}^3/\text{hr}$, esto significa que para cumplir con el requerimiento máximo de un sexto reactor el flujo de agua de enfriamiento debe aumentarse un 25% con respecto al caudal máximo de agua de enfriamiento para los cinco reactores durante la secuencia normal de los ciclos. Finalmente se recomienda que este mismo estudio sea realizado para los otros grados de resinas que se produce en la planta.

Palabras Clave: Agua de Enfriamiento, PVC, reactor de polimerización

www.mariexislorena@hotmail.com
www.frolandvdb@hotmail.com



INTRODUCCION

El Cloruro de Polivinilo (PVC) es un producto formado por la polimerización del cloruro de monovinilo (MVC), y es uno de los plásticos de mayor demanda en el mercado a nivel mundial. Su producción en el país se ubica en el Complejo Petroquímico el Tablazo, en la planta de PVC II.

En la planta de PVC II ubicada en PEQUIVEN, la conversión del MVC se realiza en el interior de 5 reactores tipo “batch” en paralelo, Los cuales realizan cargas sucesivas a lo largo del día que son sincronizadas por medio de un sistema de control automático. Cada una de estas cargas genera aproximadamente 20.7 TM de producto final para la resina VINILEN 140 en forma de polvo blanco de PVC, que se comercializa en sacos de 25 Kg. y supersacos llamados jumbo de 625 Kg. Los reactores de polimerización presentan dos sistemas de enfriamiento que se encargan de controlar la temperatura de la reacción, estos sistemas son uno con agua de enfriamiento que circula por la chaqueta y uno de refrigeración con amoníaco que circula a través de unos baffles internos en los reactores

La amplia gama de productos a base de PVC, se debe a su versatilidad para adquirir propiedades fisicoquímicas diferentes, dependientes de su aplicación final. Para ello, la planta tiene la capacidad de ejecutar secuencias de carga con distintas características de operación, que le permiten sintetizar diferentes resinas (o grados) de PVC de acuerdo a las exigencias del cliente. En Venezuela, los grados de PVC se conocen con el nombre comercial de VINILEN 115,140, 145 Y 150, y de éstos, el de mayor demanda es el VINILEN 140, utilizado en la industria para hacer tuberías y conexiones de plásticos.

El VINILEN 140, al igual que el resto de las resinas que se producen en la planta, requiere condiciones específicas de operación en el



reactor. Entre los grados de PVC producidos se varía la cantidad de los aditivos, el número de lavados, temperaturas y presiones, lo que hace cada campaña un proceso único. En cada carga, el sistema debe agregar los aditivos, polimerizar el MVC, descargar el producto, recobrar el MVC que no reaccionó y lavar las paredes de cada reactor.

Cada una de estas operaciones se realiza en un tiempo determinado, que se altera como resultado de cualquier cambio en la secuencia original o cualquier falla a lo largo del proceso.

La investigación tuvo como objetivo determinar los requerimientos máximos de agua de enfriamiento con la finalidad de obtener los consumos de agua de enfriamiento que permita suplir la operación de un sexto reactor en el área de polimerización donde se evaluó a su vez las posibilidades de reducir los tiempos de retraso entre las cargas cumplidas por los cinco reactores para poder integrar un reactor de polimerización adicional a la planta de PVC II sin alterar la secuencia de las cargas. El aumento de número de reactores permite incrementar la capacidad de producción de la resina de PVC.

El trabajo se encuentra estructurado por cuatro capítulos en donde se desarrollo toda la investigación. En el primer capítulo se encuentra el planteamiento del problema y los objetivos que fueron cumplidos para la obtención de los resultados, seguidamente en el segundo capítulo se encuentran las bases teóricas necesarios que cubren el tema investigado, en el tercer capítulo se desarrollo la metodología empleada y el cuarto y ultimo capítulo muestra los resultados obtenidos a cada objetivo planteado. Culminando el trabajo de investigación con sus respectivas conclusiones, recomendaciones y anexos que ilustran los reactores de polimerización para un mejor entendimiento del tema.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Hoja de Presentación.....	i
Dedicatorias.....	II
Agradecimientos.....	IV
Resumen.....	VI
Abstract.....	VII
Índice General.....	VIII
Índice de Figuras y Tablas.....	XI
Índice de Gráficos.....	XII
Índice de Anexos.....	XIII
Introducción.....	1
CAPITULO I: El Problema.....	3
1.1 Planteamiento del Problema.....	4
1.2 Formulación del Problema.....	6
1.3 Objetivos.....	7
1.3.1 Objetivo General.....	7
1.3.2Objetivos Específicos.....	7
1.4 Justificación.....	8
1.5 Delimitaciones.....	9
1.5.1 Duración de la Tesis.....	9
1.5.2 Espacial.....	9
CAPITULO II: Marco Teórico.....	10
2.1 Descripción de la Empresa.....	11
2.2 Antecedentes de la Investigación.....	13
2.3 Bases Teóricas.....	18
2.3.1 Generalidades del Policloruro de vinilo.....	18
2.3.1.1 Síntesis de PVC.....	18
2.3.1.2 Polimerización del Cloruro de Vinilo.....	20
2.3.1.3 Producción Industrial de PVC en Venezuela.....	22



2.3.2 Descripción general de la planta de PVC II.....	22
2.3.2.1 Descripción general del proceso de producción de la planta de PVC II.....	25
2.3.3 Sistema de Polimerizadores de la planta PVC II.....	30
2.3.3.1 Descripción del Reactor.....	32
2.3.3.2 Control de la Reacción.....	35
2.3.3.3 Ciclo de Carga.....	39
2.3.4 Sistema de Control Distribuido.....	44
2.3.5 Simulación.....	45
2.4 Mapa de Variables.....	45
2.5 Definición de Términos Básicos.....	47
CAPITULO III: Marco Metodológico.....	49
3.1 Tipo y Diseño de Investigación.....	50
3.2 Unidad de Observación.....	51
3.3 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	51
3.4 Fases de la Investigación.....	53
3.4.1 Fase I.....	53
3.4.2 Fase II.....	57
3.4.3 Fase III.....	58
3.5 Instrumentos de Medición.....	58
3.5.1 Introducción al Sistema de Control Distribuido PROVOX.....	58
3.5.1.1 Arquitectura del Sistema.....	59
3.5.2 Medidores de Flujo.....	64
3.5.3 Medidores de Presión.....	65
3.5.4 Medidores de Temperatura.....	66
3.6 Presentación de Resultados.....	67
3.7 Limitaciones en la Recolección y Análisis de Datos.....	68



CAPITULO IV: Resultados.....	70
4.1 Fase I. Requerimientos de Agua de Enfriamiento en los Reactores de Polimerización.....	71
4.1.1 Selección de los días de máxima producción.....	71
4.1.2 Premisas de Cálculo.....	73
4.1.3 Estimación del Ciclo de Carga.....	73
4.2 Fase II. Desarrollo de un modelo de simulación del proceso de Agua de Enfriamiento de los Reactores de Polimerización.....	74
4.3 Fase III. Cuantificar los requerimientos máximos de Agua de Enfriamiento para los escenarios evaluados.....	77
4.4 Resumen de Resultados.....	79
 Conclusiones.....	 80
Recomendaciones.....	81
Bibliografía.....	82
Anexos.	83



ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Pág.

Figuras

Figura 1. Diagrama de ubicación exacta de la planta de PVC II.....	13
Figura 2. Descripción del proceso general de la planta de PVC II.....	24
Figura 3. PDF de los reactores de de polimerización.....	31
Figura 4. Diagrama de un reactor de tipo suspensión de la planta PVC II.....	35
Figura 5. Estrategia de control actual de la temperatura de reacción en reactores de suspensión.....	37
Figura 6. Descripción del ciclo de carga en los reactores de polimerización de la planta PVC II.....	44
Figura 7. Caudal de agua de enfriamiento. Reactor 5.....	52
Figura 8. Configuración general del sistema de control distribuido PROVOX...	60
Figura 9. Configuración de las señales desde campo hacia el sistema de control.....	62
Figura 10. Medidor de flujo de agua de enfriamiento.....	65
Figura 11. Medidores de presión en los reactores de polimerización.....	66
Figura 12. Conexión de sensor RTD a la chaqueta del reactor.....	67
Figura 13. Medidor de temperatura.....	68

Tablas

Tabla 1. Valores críticos.....	56
Tabla 2. Consumo diario de MVC para el día 09/05/2007.....	72
Tabla 3. Consumo diario de MVC para el día 13/06/2007.....	72
Tabla 4. Consumo de agua obtenido para cinco reactores.....	74
Tabla 5. Consumo de agua obtenido para un reactor adicional.....	77



ÍNDICE DE GRAFICOS

	Pág.
Grafico 1. Consumo de agua de enfriamiento para cinco reactores.....	75
Grafico 2. Consumo de agua de enfriamiento para seis reactores.....	78

DERECHOS RESERVADOS



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Método estadístico de medidas invalidas para los dos días seleccionados.....	83
Anexo 2. Reactores de polimerización.....	84
Anexo 3. Chaqueta de agua de enfriamiento.....	85
Anexo 4. Entrada de agua de enfriamiento a la chaqueta.....	86
Anexo 5. Plano de instrumentación y tuberías de los reactores de polimerización.....	87



DERECHOS RESERVADOS

Capitulo I. El Problema



A continuación se presenta la descripción detallada del problema de la investigación señalando cada uno de los objetivos cumplidos y su justificación.

1.1 Planteamiento del Problema

El PVC es una combinación química de carbono, hidrógeno y cloro. Es un material que se caracteriza por ser ligero, inerte y completamente inocuo; resistente al fuego y a la intemperie; impermeable y aislante; de elevada transparencia económico y reciclable.

Agréguese a esto que el hecho que PVC no se herrumbra y no sufre corrosión, es un aislante térmico, acústico y no propaga el fuego. Puede ser producido en cualquier color, desde transparente hasta opaco y de rígido a flexible. Además se puede combinar la resina de PVC a mucho aditivos y, por eso, logra satisfacer las exigencias de las varias aplicaciones.

El PVC contribuye con una amplia gama de artículos a una vida más fácil, agradable y segura de los usuarios. Mucho de los objetos de consumo son de PVC o contienen este polímero entre los que se incluyen: mobiliarios (tapizados de sillas y sillones), ropa (industrial, náutica y moda), calzados (industriales y de moda), equipos deportivos, toldos, carpas, sombrillas, carteras, bolsos, tarjetas plásticas (crédito, debito, teléfono), automotores, tapizados, alfombras, cables y una amplia variedad de artículos en la que se tienen en cuenta características y propiedades muy importantes del PVC.

En Venezuela el PVC a escala industrial, se produce en el complejo Petroquímico el Tablazo (PEQUIVEN), con la operación de una planta de PVC suspensión, instalada en 1998 con la producción anual de 120MTM con licencia de GEON COMPANY (USA).



La planta PVC II utiliza como insumos principales el agua desmineralizada proveniente de la planta CTA y el Monocloruro de Vinilo (MVC) proveniente de la planta MVC II. Comenzó a operar en Marzo de 1999 y la etapa más importante del proceso de obtención de PVC es la de Polimerización debido a que en ella se lleva a cabo la reacción de formación del PVC. El área de Polimerización está constituida por cinco reactores, los cuales disponen de dos sistemas de enfriamientos, ya que la reacción que se da dentro del polimerizador es exotérmica, el calor generado debe ser retirado para llevar el control de la cinética de reacción en función a la temperatura de reacción.

El sistema de enfriamiento de los reactores de polimerización de la planta de PVC II esta constituido por dos sistemas; un sistema con agua de enfriamiento que corre a través de la chaqueta y el otro sistema de refrigeración con amoníaco que pasa a través de unos baffles internos en los reactores. El sistema de agua de enfriamiento esta conformado por agua proveniente de la torre de enfriamiento. El sistema de refrigeración de amoníaco trabaja principalmente para lograr los requerimientos de enfriamiento para polimerizadores, proviene del área de compresores de refrigeración, este segundo sistema trabaja de manera de completar el enfriamiento una vez que se ha pasado el agua de enfriamiento por los reactores y no ha sido suficiente como para enfriar dicho reactor.

Actualmente PEQUIVEN desea aumentar la producción de resina para satisfacer la demanda no cubierta y para ello desea conocer los requerimientos máximos de agua de enfriamiento en el área de polimerización; de la planta PVC II con la finalidad de incrementar la capacidad de producción de la planta mediante la adición de un sexto reactor en el área de polimerización. Este será el objetivo a cumplir del presente trabajo de investigación, basándose específicamente para la producción de la resina 140.



1.2 Formulación del Problema

A través de la realización del proyecto planteado se persigue determinar los requerimientos máximos de agua de enfriamiento de los reactores de polimerización de la planta PVC II del Complejo Petroquímico El Tablazo, para desarrollar esta investigación se deberá, en primer lugar, calcular los requerimientos de agua de enfriamiento en los reactores de polimerización para poder desarrollar un modelo de simulación del proceso de agua de enfriamiento en los reactores y así cuantificar los requerimientos máximos de agua de enfriamiento adicionando un sexto reactor en el área de polimerización de la planta PVC II con el fin de incrementar la capacidad de producción.

En general la visión de este proyecto es mejorar y aumentar la capacidad de producción de la planta de PVC II a través de la adición de un sexto reactor en el área de polimerización, cual permitirá realizar un mayor número de cargas, por día de operación.



1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General:

Determinar los requerimientos máximos de agua de enfriamiento en el área de polimerización de la planta PVC II.

1.3.2 Objetivos Específicos:

- Definir los requerimientos de agua de enfriamiento en los reactores de polimerización de la planta PVC II, EL TABLAZO.
- Desarrollar un modelo de simulación del proceso de consumo de agua de enfriamiento de los reactores de polimerización de la planta PVC II, El Tabazo.
- Cuantificar los requerimientos máximos de agua de enfriamiento para un sexto reactor.



1.4 Justificación

La realización de este proyecto aportará a la empresa la posibilidad de definir los escenarios de operación probables que permitan incrementar la capacidad de producción de la planta de PVC II del Complejo Petroquímico El Tablazo (PEQUIVEN).

Esto permitirá a su vez alcanzar la optimización de la capacidad de operación de los equipos que constituyen esta planta en especial la de los reactores de polimerización. Para ello se requiere de la utilización de un modelo de simulación basado en MICROSOFT OFFICE EXCEL que nos va a generar la representación real del proceso permitiéndonos así la interpretación y uso de los resultados y documentación del estudio para cumplir con los objetivos planteados. La evaluación del agua de enfriamiento se va a llevar a cabo utilizando un programa especializado (PI) que aportará datos reales del proceso y la posterior validación de los resultados de la simulación con los valores de diseño del sistema; todo esto con la finalidad de crear mejoras y ampliaciones de la producción de la resina de PVC.

El valor teórico de la investigación radica en que, a través de ésta se aportará a PEQUIVEN una herramienta que podrá serle de gran utilidad para solventar posibles problemas operacionales que se pueden presentar en el proceso productivo. Además de aportar información que hasta los momentos no ha sido considerada en anteriores estudios sobre ésta problemática.

A su vez, con la realización de este proyecto de investigación le suministramos a la Universidad Rafael Urdaneta información que sirve como fundamentos teóricos y metodológicos que podrán ser aprovechados por parte de los estudiantes y profesores de URU para la elaboración de proyectos o investigaciones referentes al tema, así como también se aportará diferentes conocimientos de simulación de procesos e información complementaria a cerca de la industria petroquímica. Además de esto



permitirá a los estudiantes una mejor formación a optar el título de ingeniero químico fortaleciendo así la imagen de la universidad.

1.5 Delimitaciones

1.5.1- Duración de la Tesis

La tesis se realizó en un periodo de seis (6) meses, desde el 03 de febrero hasta el 03 de agosto del presente año.

1. 5.2- Espacial

Planta PVC II ubicada en PEQUIVEN; Complejo Petroquímico El Tablazo, Zulia.

1.5.3 Técnica

La presente investigación solo esta enfocada para el grado de resina VINILEN 140.



DERECHOS RESERVADOS

Capitulo II. Marco Teórico



A continuación se presentan las bases teóricas relacionadas al tema de investigación, iniciando con la descripción de la empresa y los antecedentes de temas afines.

2.1 Descripción de la Empresa

La petroquímica de Venezuela PEQUIVEN, es una empresa productora y comercializadora de productos petroquímicos en mercados venezolanos e internacionales. Su propósito es desarrollar una industria petroquímica líder regional y de alcance global sobre la base de las ventajas comparativas con que cuenta Venezuela (como la disponibilidad de grandes volúmenes de gas asociados a la producción petrolera), satisfaciendo las necesidades de sus clientes y logrando el mayor rendimiento posible para sus accionistas, todo en armonía con el medio ambiente y las comunidades en las cuales se desarrollan sus actividades.

PEQUIVEN, nacida en 1977, ha crecido y evolucionado vertiginosamente en esta última década, llegando a constituirse en una de las empresas petroquímicas más importantes del mundo, produciendo más de 40 renglones, entre materias primas básicas, productos intermedios y productos destinados al consumidor final. Sus actividades comprenden la recepción de materias primas, manufactura, almacenamiento y transporte. Es una industria que maneja gases, líquidos y sólidos.

La sede corporativa de PEQUIVEN S.A. se encuentra en Valencia, Edo. Carabobo, mientras que para sus procesos industriales la empresa cuenta con tres unidades de negocio (U.N), la primera conocida como U.N Fertilizantes, ubicada en el Estado Carabobo, Complejo Petroquímico Morón, orientado básicamente a la producción de fertilizantes de componentes fundamentales: nitrógeno, fósforo y potasio, y a la elaboración de diferentes productos industriales como mezclas en polvo, clorofluorometanos, oleum, ácido nítrico, entre otros. La segunda U.N. Productos Industriales, ubicada en

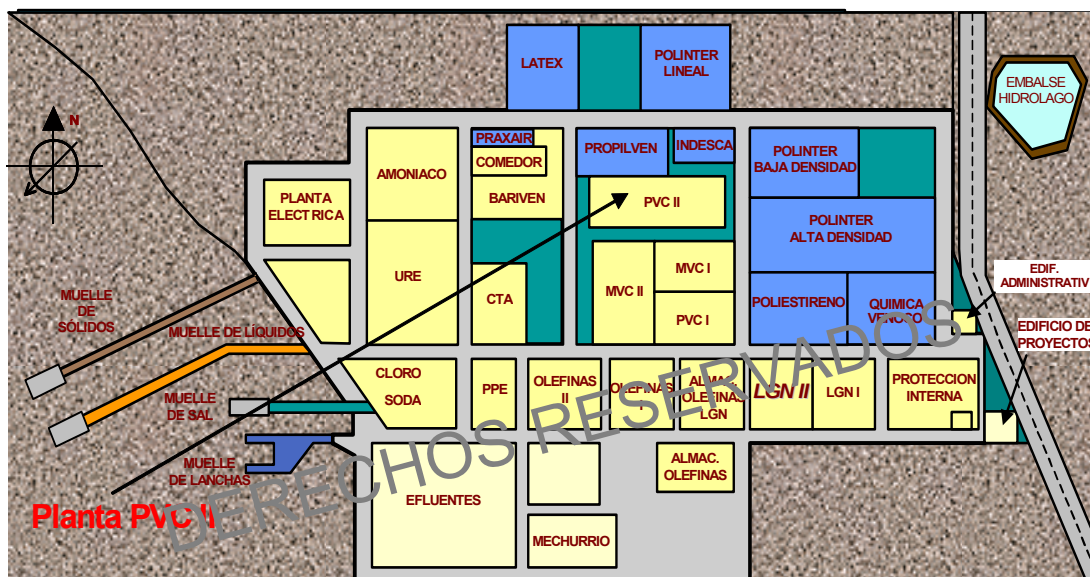


el Estado Anzoátegui en el Complejo Petroquímico Jose, orientada básicamente a la producción de propano, isobutano, metanol, Fertilizantes, entre otros. La tercera, U.N. Olefinas y Plásticos ubicada en el Estado Zulia, en el Complejo Petroquímico Zulia. Su operación básica está destinada a la producción de etileno, propileno, amoníaco, urea, cloro, soda cáustica, policloruro de vinilo, entre otros. Además de estos tres complejos petroquímicos, PEQUIVEN, posee también una planta de Aromáticos (BTX) en la refinería El Palito, un terminal portuario en Borburata en el centro del país, y una mina de roca fosfática en Riecito, en el Occidente.

El Complejo Zulia ubicado en la bahía El Tablazo, Puertos de Altagracia, Municipio Miranda, Estado Zulia, se extiende sobre una superficie de 850 hectáreas, de las cuales solo se utiliza un 60%, disponiendo de suficiente espacio para ampliación de plantas existentes y nuevos proyectos. El complejo básico se construyó entre 1969 y 1973.

Sus instalaciones se dividen en dos grupos o fajas. La faja central, en la cual se ubican plantas como las de Gas Licuado, Olefinas I, Olefinas II y Cloro Soda, que son abastecedoras a las demás plantas. La otra faja, ubicada al norte de la faja central, contiene las plantas destinadas a los procesos intermedios y finales de producción como lo son la de Urea, Amoniaco, Vinilos I, Vinilos II, PVC y empresas mixtas. Además el complejo posee instalaciones auxiliares constituidas por el Terminal portuario, telecomunicaciones, servicios médicos, edificio administrativo, talleres, bomberos, entre otras. El complejo Zulia cuenta con la gerencia de Servicios Industriales la cual suministra gas para todos los procesos del complejo.

Figura 1. Diagrama de ubicación exacta de la planta PVC II.



Fuente: Bracho, Van Der Biest.

2.2 Antecedentes de la Investigación

Méndez Velásquez, David A. (2003/LUZ) realizó una investigación de tipo experimental titulada: **“Optimización del sistema de refrigeración de Propano de la planta LGN I”**. Tiene como objetivo general incrementar la producción de etano y propano en la planta de LGN I a través de la evaluación técnico-económica de alternativas para incrementar la estabilidad operacional de la planta. Debido a que el etano producto sale fuera de especificación y se recupera menos de la mitad del propano suministrado en promedio al año. Para esto se deben cumplir los siguientes objetivos específicos: simulación del sistema de refrigeración y la planta de extracción de líquidos LGN I, en las condiciones de diseño, en condiciones reales y en las diferentes condiciones establecidas para alcanzar el objetivo principal, para ello se utilizó el simulador comercial ASPEN PLUS. Como resultados se consideró la instalación de un nuevo intercambiador de calor paralelo con el primer evaporador, es el más viable tanto técnico como económicamente, logrando alcanzar mayores



ingresos para la empresa, Esta investigación es de tipo experimental, tomando como población el complejo petroquímico el tablazo.

La información que nos aporta esta investigación a la presente se basa en los conocimientos y técnicas usadas en la simulación para el incremento operacional de la planta, obteniendo las herramientas necesarias para el aumento de producción e incremento de la capacidad del sistema de refrigeración.

Montiel Villalobos, Luis E. (2002/LUZ), elaboró la tesis de pregrado, **“Evaluación del sistema de refrigeración de Amoníaco de una Planta de Policloruro de Vinilo”**.

Este trabajo consistió en la evaluación del sistema de refrigeración de amoníaco que utiliza la planta de Policloruro de Vinilo, para esto fue necesario el uso de los programas de simulación de procesos Aspen Plus 10.2 y el simulador de intercambiadores de calor B-Jac como herramientas principales, para estudiar todos los procesos que involucran este sistema, las condiciones de las corrientes para los casos de diseño y operación de los mismos. Entre otros objetivos se encontraban:

“Determinar la máxima capacidad operativa del sistema de refrigeración de amoníaco”; “La validación del modelo de simulación del sistema de refrigeración” y “Evaluación del sistema de intercambio de calor para los reactores y su cinética de polimerización”.

Para el desarrollo de este trabajo realizó una revisión bibliográfica de la información necesaria para la comprensión del proceso de producción de la planta PVC II tipo suspensión a través del “Manual de Operaciones de la planta PVC II del Complejo Petroquímico el Tablazo”.

Así mismo, llevo a cabo la revisión de los manuales mecánicos de los equipos involucrados en el sistema de refrigeración de amoníaco para la recolección de los datos necesarios para realizar la evaluación del sistema. Por lo que la investigación es de tipo descriptiva.



Para la familiarización con el proceso de producción de PVC realizó visitas al campo a diferentes áreas como: área de servicios, área de reactores de polimerización y sala de control.

Adicionalmente realizó un análisis de los balances de masa y energía del sistema de refrigeración de amoníaco y los reactores; para lo cual fue necesario hacer la revisión de los diagramas de flujo, diagramas de proceso e instrumentación de las diferentes áreas en evaluación. Todo esto se realizó con la finalidad de desarrollar una simulación rigurosa del sistema de refrigeración de amoníaco.

Los resultados obtenidos en la validación describen la operación del sistema de refrigeración y las condiciones de los equipos. Con esto se determino que el sistema de refrigeración estaba operando por debajo de la mitad de su capacidad de diseño.

La contribución del proyecto descrito a la presente investigación se basa en el aporte de información referente al sistema de refrigeración con amoníaco, la información que presenta este proyecto brinda los conocimientos y datos básicos para el desarrollo de nuestros objetivos de simulación del sistema operacional.

Suena Eugenio. (Junio 2001/PEQUIVEN) realizó un estudio que tiene por título **“Prueba de capacidad de la planta de PVC II (Resina VINILEN 140)”** donde plantea entre sus recomendaciones evaluar de alternativas para reducir los tiempos de polimerización con la finalidad de maximizar la productividad de la planta, estableciendo así que la capacidad actual de la planta permite incrementar el volumen de la producción de resina.

El autor concluye entre otras cosas “la capacidad máxima puntual de la planta en 21 cargas/día, produciendo una resina dentro de las especificaciones requeridas para la venta, y sin detrimento de la integridad de los equipos”. Además de esto, indica que “se deben continuar las acciones correctivas y



preventivas que permitan lograr y consolidar los valores de la capacidad determinados en la evaluación”, por lo cual se hace necesario el estudio de las fallas en el proceso y la aplicación de mejoras en a producción.

Por otra parte, el autor igualmente señala la presencia de una excesiva carga del sistema de refrigeración de amoniaco, que se atribuye a deficiencias en el lado del agua de enfriamiento en los reactores. La caída de temperatura (ΔT) en el agua de enfriamiento a través de las chaquetas de los reactores no supera los 3°C operando a flujo máximo, que por diseño debe lograr un ΔT de 4.7° C. esto implica una merma de 1911 MMKcal./hr en la capacidad de remoción de calor de la chaqueta, que es absorbida por los baffles, incrementándose el flujo de amoniaco en 6.4 Tn/hr adicionales (el pico de consumo debe ser 14.46 Tn/hr en diseño). Esta disminución en la capacidad de remoción de calor de las chaquetas de los reactores se debe a problemas de ensuciamiento que vienen presentando los equipos que utilizan agua de enfriamiento. Estas deficiencias en el sistema de refrigeración limita por el momento la realización consecutivas de cargas (sin tiempo de espera entre ellas, o tiempo ocioso), ya que el sistema de refrigeración no podría suplir las necesidades de flujo de amoniaco y agua para el calor a remover.

Leal Ferrer, Ingrid F. (1995/ LUZ) elaboro una tesis de Pregrado titulada **“Evaluación del ciclo de carga de los reactores de polimerización de MVC Vía suspensión. Métodos Estadísticos”**

El objetivo general consistió en Jerarquizar las áreas críticas del Ciclo de carga de los reactores PVC suspensión, para lo cual debió; detectar y/o evaluar las causas que originan la variabilidad de dichas cargas y establecer los criterios necesarios para que el proceso cumpliera con los requerimientos de calidad y productividad. La investigación desarrollada por esta autora es de tipo descriptiva, por tal motivo, realizo un estudio sobre el comportamiento de cada etapa considerada y su influencia en el ciclo total para garantizar un producto Con las propiedades físicas y químicas correctas y un buen comportamiento de todas las etapas del proceso.



El mencionado proyecto se desarrollo utilizando la metodología de la investigación científica y la metodología Conway ligeramente modificada. El sistema de gerencia creado por Conway a la luz de los conceptos de calidad total expuestos por Edward Deming, considera entre sus pilares fundamentales la utilización de una metodología para analizar y resolver problemas tanto inesperados como de mejoramiento continuo.

Para evaluar y cuantificar el problema enmarcado en este proyecto, su análisis, resolución y prevención, se empleo la herramienta de observación visual y de datos. Para este tipo de recolección de datos se hace necesario que la persona a cargo de la investigación observe detenidamente y con suficiente tiempo el área de trabajo a fin de recoger una imagen completa de lo que esta sucediendo. Uno de los principales datos recolectados utilizando esta herramienta fueron las Hojas de control donde aparecen datos cuantificables de los ciclos de operación. De la misma forma se logro elaborar un diagnostico a través de la aplicación de una encuesta realizada al personal experto en el área con el objeto de identificar cuales eran las áreas que presentaban mayor impacto a causa de la variabilidad en ciclo de carga de los reactores.

Entre los resultados mas significativos obtenidos con la elaboración de este proyecto, se tiene que; las etapas criticas en ciclo de carga de los reactores son Reacción, Recobro-Descarga y carga de aditivos; el tiempo de reacción presenta un comportamiento cíclico y que los tanques de recuperación de Monómero de recobro no cuenta con un dispositivo adecuado para determinar el nivel de MVC contenido en el tanque. Para la determinación de los resultados se empleo el programa estadístico STATGRAPHICS 5.0, con el cual se determinaron los parámetros descriptivos, gráficos de control por medio de los cuales se lograron emitir las recomendaciones pertinentes.

La contribución del proyecto descrito a la presente investigación se basa en el aporte de información General referente a la Descripción de los reactores de Polimerización de la Planta PVC II y al ciclo de carga que



conforman al sistema de enfriamiento así como de todos los parámetros que estas unidades involucran. (Récipe, Ciclos de carga, etc.).

2.3 Bases Teóricas

2.3.1- GENERALIDADES DEL POLICLORURO DE VINILO (PVC)

El PVC es una resina termoplástica, producida cuando las moléculas de cloruro de vinilo se asocian entre sí, formando cadenas de macromoléculas. Este proceso es llamado Polimerización, y puede ser realizado de varias maneras. Hay dos procesos de obtención de PVC, llamados polimerización en suspensión y polimerización en emulsión.

Ambos usan un proceso semicontínuo, en el que los reactores se alimentan con el monómero cloruro de vinilo, con los aditivos, catalizadores y agua (la reacción de polimerización del PVC ocurre en medio acuoso).

Las diferencias entre los procesos suspensión y emulsión se manifiestan en el tamaño y en las características de los granos de PVC obtenido, y por lo tanto, cada proceso es elegido según las aplicaciones y resultados que se quieren obtener con el PVC.

Como el MVC tiene propiedades tóxicas, es muy importante que no se libere a la atmósfera ni permanezca en el producto. Por eso, varias etapas del proceso y las características de los equipamientos donde él ocurre son concebidas para evitar tales pérdidas: esto asegura s resinas que contengan sistemáticamente menos que 1g de MVC por tonelada de PVC.

2.3.1.1 Síntesis de PVC

La industria del policloruro de vinilo, se ha desarrollado de una manera no planificada hasta alcanzar el negocio de millones de toneladas/año que es hoy en día. Solo en años recientes se han realizado esfuerzos para entender



completamente el comportamiento particular del PVC y su apropiada formulación, procesamiento y transformación en la amplia gama de artículos que con él puede producirse.

Existen cuatro grandes procesos para la producción del policloruro de vinilo (PVC), estos son:

- a) **Masa:** El cloruro de vinilo se polimeriza sin la presencia de agua, esto permite utilizar reactores de menor tamaño haciendo innecesario el uso de secadores para obtener el producto deseado, sin embargo ocasiona problemas en la remoción del calor generado por la reacción y el control del tamaño del grano.
- b) **Suspensión:** El cloruro de vinilo se dispersa finalmente en agua con la adición de agentes dispersantes. La polimerización toma lugar con la adición de iniciadores solubles en la fase monómero. El tamaño de la partícula obtenida esta entre 100 y 150 micrones. La polimerización en suspensión es una reacción que se lleva a cabo en un sistema acuoso con un monómero como fase dispersa, que da lugar al polímero como fase sólida dispersa. El iniciador está disuelto en la fase monómero, cuya dispersión en gotas se mantiene por una combinación de agitación y uso de estabilizadores solubles en agua. Al completarse la reacción, se libera el polímero del MVC disuelto y se seca.
- c) **Emulsión:** El cloruro de vinilo se emulsiona en agua con la ayuda de surfactantes y las gotas son más pequeñas que las obtenidas por suspensión, permitiendo obtener tamaños de partículas de PVC entre 0,4 y 10 micrones. La polimerización comienza cuando se añaden iniciadores solubles en la fase de emulsión.
- d) **Dispersión:** También llamado microsuspensión, es una modificación del proceso de suspensión, la diferencia fundamental radica que en el proceso en dispersión el tamaño del grano obtenido esta entre 1 y 5 micrones.



Actualmente los procesos de suspensión y microsuspensión son las rutas predominantes para producir industrialmente el policloruro de vinilo, ya que a pesar de permitir una mejor productividad por unidad de volumen del reactor (en comparación con el proceso en masa) y plantear el problema del tratamiento de aguas residuales ofrece grandes ventajas sobre otros procesos, entre ellas:

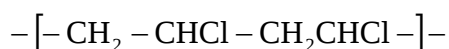
- Fácil remoción del calor y control de temperatura
- Baja viscosidad de la dispersión
- Bajo niveles de contaminación en el producto final (comparado con la emulsión)
- Bajos costos de operación (comparado con la emulsión)
- El producto final se obtiene en forma de partículas

Estas ventajas justifican el hecho de que cerca del 82% de la producción de PVC a nivel mundial, se obtenga utilizando el proceso de suspensión, mientras que los procesos de emulsión y masa cubren el 10% y 8% respectivamente.

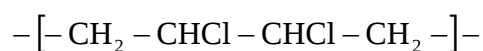
2.3.1.2 Polimerización del Cloruro de Vinilo

El PVC se forma por la adición de unidades de monómero de cloruro de vinilo ($\text{CH}_2 = \text{CHCl}$) durante la reacción de polimerización. La reacción se realiza en los carbonos de doble enlace (grupos vinílicos), por lo que se denomina polimerización vinílica. A nivel industrial la polimerización del cloruro de vinilo por vía suspensión se hace en los reactores autoclave, a temperatura y presión constante. La adición tiene lugar en tres diferentes formas:

En la adición **cabeza-cola**, los átomos de cloro se ubican en las posiciones 1,3:



En las adiciones **cabeza-cabeza** y **cola-cola**, estos átomos se ubican en las posiciones 1,2:



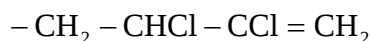
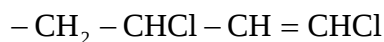
Sin embargo, la adición cabeza-cola se produce en aproximadamente el 87% de la cadena polimérica.

Las cadenas de PVC terminan por desproporción al encontrar cualquiera de los tres grupos terminales saturados:

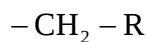


DERECHOS RESERVADOS

Pueden terminar también a través de transferencia de cadena al monómero, obteniendo finales de cadena insaturados, como:



Finalmente el iniciador y fragmentos del solvente pueden combinarse con el grupo Terminal producido para dar:



Todas estas reacciones pueden ocurrir en la fase monómero y en la fase polímero simultáneamente.

Esta reacción es exotérmica, liberando aproximadamente 1.600 kJ/Kg. de MVC. El calor que crea la reacción proviene del rompimiento del doble enlace



en el monómero de cloruro de vinilo. Este calor debe ser removido a fin de mantener la temperatura constante que a su vez, es fundamental para definir el peso molecular de la resina. En pequiven, este calor es removido del polimerizador por medio de agua de enfriamiento y amoniaco de refrigeración.

El rango normal de temperatura de polimerización que se debe mantener mediante el sistema de enfriamiento para las resinas de GEON es de 47° a 70°C.

2.3.1.3 PRODUCCIÓN INDUSTRIAL DE PVC EN VENEZUELA

El 80% de la utilización industrial del cloro y el ácido clorhídrico, va dirigido a la producción de compuestos de hidrocarburos clorados (solventes y agentes limpiadores), plaguicidas, y el plástico clorado PVC (miembros de la primera y segunda generación de productos de la sal).

El 03 de septiembre de 1997 Pequiven informó a las agencias de prensa sobre el inicio de las obras para la construcción la nueva planta productora de cloruro de polivinilo (PVC) en El Tablazo.

La planta, con una inversión de 120 millones de dólares, comenzaría a funcionar en la segunda mitad del siguiente año (1998) y alcanzar para esa misma fecha una producción de 120.000 toneladas anuales. El contrato de diseño e instalación de la planta fue ejecutado por Technipetrol, una subsidiaria italiana de Technipetrol de Francia y Jantesa de Venezuela.

2.3.2 Descripción general de la planta de PVC II

La planta PVC II tiene como finalidad satisfacer la demanda local de PVC, atender las necesidades del mercado andino y aumentar la competitividad de la empresa en el mercado de este producto. Fue construida en 1996, iniciando operaciones en 1999.



Las resinas de PVC producidas en la Planta de PVC II son del tipo suspensión, obteniéndose varios grados de resinas de PVC. Los tipos de resina producidos son cuatro el VINILEN 115 (VIN-115), VINILEN 140 (VIN-140), VINILEN 145 (VIN-145) y el VINILEN 150 (VIN-150); todos poseen características diferentes, para ser utilizados en aplicaciones distintas.

Las materias primas o insumos empleados para producir PVC son: agua desmineralizada y Cloruro de Vinilo (MVC).

La planta se encuentra configurada de la siguiente manera:

- Número de Líneas: 1
- Reactores por línea: 5 con una capacidad de 70.5 m³ C/U
- Enfriamiento: Chaqueta (Agua de Enfriamiento) y Baffles (Amoniaco)
- Control de Procesos: DCS
- Conversión de los Reactores $\approx$ 80%
- Sistema de Secado: Secador Rotatorio (quemador)
- Despacho del Producto: Sacos (25 Kg.), Súper Sacos (600 kg. y 625 kg.), Cubic Bag (1300 kg. Y 1500 kg.) y Despacho a Granel

El proceso de la planta PVC II es por cargas, y esta tiene diferentes áreas las cuales se mencionaran a continuación:

Área B. Almacenamiento y Carga de Agua Desmineralizada y MVC

Área C. Preparación y Almacenamiento de Aditivos en Solución

Área D. Despojamiento de MVC de Aguas Residuales

Área E. Polimerización

Área F. Sistema de Recuperación de Monómero (MVC)

Área G. Sistema de Despojamiento de Lechada

Área H. Sistema de Secado

Área K. Sistema de Ensacado

Área R. Sistema de Refrigeración de Amoniaco, Agua Helada y Agua Glicolada

Área S. Sistema de Vapor



Área T. Almacenamiento de Iniciador

Área U. Sistema de Aire, Nitrógeno y Aceite para sellos mecánicos

Área W. Torre de Enfriamiento

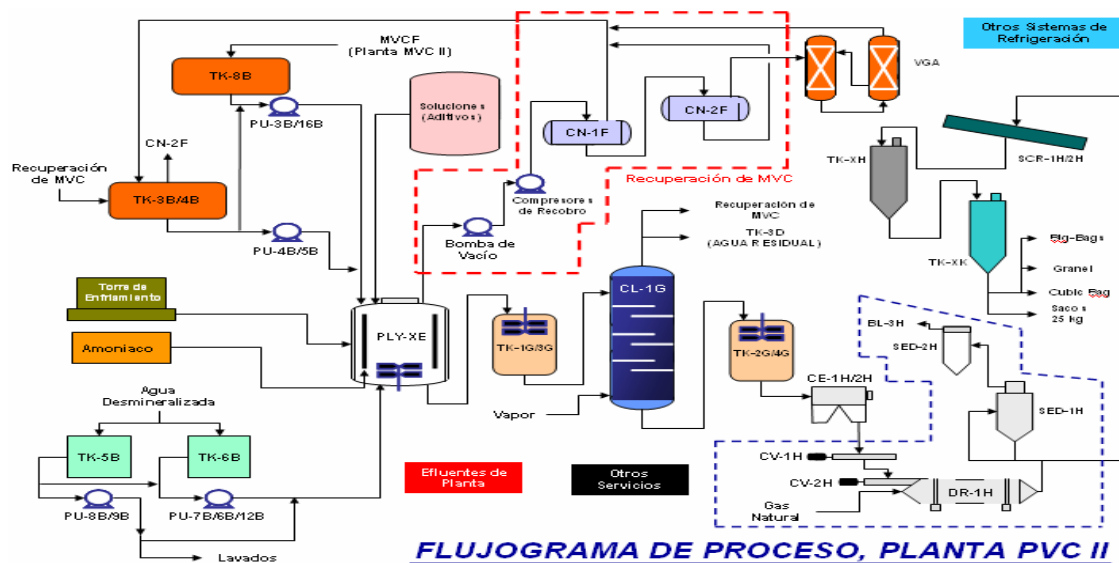
Área Z. Sistema de Efluentes Orgánicos e Inorgánicos

El MVC fresco y el agua desmineralizada se combinan en 5 reactores de polimerización donde se produce el PVC húmedo o lechada, al concluir la reacción de polimerización el MVC que no ha reaccionado es recuperado y posteriormente es comprimido y condensado para su posterior reutilización.

El producto final es llevado al secador rotatorio donde se elimina el agua a la lechada posteriormente pasa a un sistema neumático hasta los silos de chequeo y luego a los silos de ensacado. Y por último el PVC es ensacado y almacenado.

La planta PVC II tiene una capacidad de producción de 120MTMA lo que corresponden a un máximo de 18 cargas por día. A continuación se ilustra un diagrama del proceso general de la planta.

Figura 2. Descripción del proceso general de la planta de PVC II



Fuente: Pequiven.



2.3.2.1 Descripción general del proceso de producción de la planta de PVC II

La polimerización en suspensión, como se mencionó anteriormente, es una reacción en un sistema acuoso con un monómero como fase dispersa, que da lugar al polímero como fase sólida dispersa. El iniciador está disuelto en la fase monómero, cuya dispersión en gotas se mantiene por una combinación de agitación y uso de estabilizadores solubles en agua. Al completarse la reacción, se libera al polímero del MVC disuelto y se seca.

En la planta de PVC, la reacción de polimerización por suspensión se lleva a cabo en cuatro reactores, mediante la distribución del monómero en la fase acuosa (fase continua) por medio de agitación; iniciando el proceso de carga en el reactor cerrado con el lavado y la aplicación de anti-incrustante.

El proceso de PVC consta de cinco áreas principales de operación, ellas son:

i. Preparación de Aditivos y Carga

Los aditivos en resinas tipo suspensión, (iniciadores, dispersantes y solución amortiguadora), se introducen al reactor simultáneamente con el agua desmineralizada. Estos aditivos se preparan en solución a concentraciones adecuadas, en los tanques de preparación de aditivos.

Las cantidades a agregar de éstos por cada carga, se miden y se mezclan en un tanque antes de ser pasados al reactor. Esto, siguiendo las instrucciones dadas en el “Recipe de Producción”.

Posteriormente, el aire del reactor es evacuado, para eliminar la mayor cantidad de oxígeno del aire, y evitar la formación de peróxidos de vinilos; los que al actuar como iniciadores, desestabilizan el sistema propio de los



iniciadores utilizados para el proceso, causando cargas fuera de control y ensuciamiento de las paredes del reactor.

Finalmente, se carga el MVC y el agua caliente en proporciones que dependen del grado de producto que se desea obtener. La carga de aditivos se hace en forma automatizada a través de un sistema de control distribuido TDC-3000.

En esta área también se prepara el desactivador, el cual será inyectado al sistema cuando se quiera detener la reacción de polimerización, y el agente incrustante para evitar incrustaciones de polímero en las paredes del reactor.

ii. Polimerización

Una vez finalizado el proceso de carga, se procede a inyectar vapor, siempre y cuando, el calor cedido por el agua caliente, no sea el suficiente como para propiciar las condiciones necesarias de presión y temperatura, que darán inicio a la reacción.

La temperatura de reacción, debe permanecer constante; lo cual se logra, al remover el calor generado en la reacción de polimerización (reacción exotérmica), mediante la agitación constante del producto y la circulación de agua helada por la chaqueta y los baffles internos del reactor.

De acuerdo al producto, la temperatura de reacción se mantiene en un rango comprendido entre 50 y 70 °C y la presión en un intervalo de 7 a 13 kg/cm². Con la temperatura de reacción se controla el peso molecular de la resina, propiedad de suma importancia en los procesos de transformación del PVC.

El tiempo de reacción está entre 4 y 4:30 horas; tiempo en el cual, se detecta la caída de presión en el reactor. Cuando se alcanza la caída de presión en el reactor, preestablecida en el “Récipe de polimerización”; se



inyecta el desactivador para detener el avance de la reacción; obteniéndose una conversión de un 80%, aproximadamente.

iii. Recobro y Despojo

En el proceso de polimerización, para la obtención de PVC suspensión, el monómero que no reacciona, es extraído del reactor en forma gaseosa (operación de recobro de MVC), y luego pasa al sistema de recobro, donde es comprimido, condensado y posteriormente almacenado para su reutilización.

La planta de vinilo, posee un sistema de despojo donde se remueve el MVC presente en la lechada. Para lo cual, se dispone de un tanque grande de mezclado y despojo, que tiene la capacidad de mezclar y contener el producto de la polimerización, y un tanque más pequeño, que mantiene un nivel mínimo de lechada, para garantizar la alimentación constante a la columna despojadora, la cual tiene veintiuno (21) platos perforados, y opera a una temperatura de tope y fondo de 90y 110 °C, respectivamente, a una presión de 1,03 Kg./cm².

En ambos tanques, se produce una expansión, producto del cambio brusco de diámetros por el que atraviesa la lechada al entrar a los tanques de baja presión, provocando que el MVC disuelto en el agua se libere en forma de gas, y sea extraído por el sistema de recobro de MVC, donde es comprimido y almacenado para ser reutilizado. El producto que sale del último tanque, tiene disueltos alrededor de 20000 ppm de MVC.

Esta lechada, es introducida a la columna despojadora por el tope, a condiciones de presión y temperatura tales, que permitan disminuir la cantidad de MVC remanente en el agua de la lechada, y remover el que está atrapado en los poros de las partículas PVC suspensión, obteniéndose así, un producto de fondo, con una concentración de MVC menor a 10 ppm (diseño). Para ello, se inyecta vapor a condiciones de saturación (14 Kg/cm² y 225 °C) desde la zona de agotamiento, éste remueve el MVC arrastrándolo hasta el tope de la



torre, donde es extraído y pasado a un tambor separador agua-MVC, y recogido por el sistema de recobro de MVC.

Para verificar la eficiencia de la columna despojadora se aplican a la lechada que sale por el fondo de la columna las pruebas de MVC residual y puntos oscuros, para garantizar la producción de PVC atóxico, y lograr una homogeneización de la calidad del producto antes de pasarlo a los tanques de almacenamiento.

IV. Mezcla y Almacenamiento de lechada

La lechada que sale de la columna despojadora, contiene de un 30 a un 35% en peso de sólidos disueltos; este producto, es pasado a uno de los cuatro tanques de los que se dispone para la mezcla y almacenamiento de la lechada. Estos tanques, tienen la capacidad de almacenar el producto de hasta cuatro cargas, cada uno; asegurando así, una alimentación continua a las centrífugas.

La mezcla del producto de varias cargas, tiene como objetivo homogeneizar la calidad de la lechada, antes de ser pasada al tren de secado y posterior ensacado.

V. Secado y Almacenamiento del Producto

La lechada, es alimentada a una de las centrífugas de los dos trenes de secado de los cuales se dispone; donde el agua removida es tal, que el producto resultante, alimentado a los secadores rotatorios, contiene de 20% a 25% de agua (pasta húmeda).

Los secadores rotatorios, utilizan aire caliente en cocorriente para secar el producto hasta lograr el contenido de volátiles especificado (0,30%); estos secadores toman el aire del ambiente, aumentándole la temperatura al hacerlo pasar por un intercambiador de calor que utiliza vapor como medio de calentamiento.



En esta sección del tren de secado, es importante controlar, a la salida del secador rotatorio, el contenido de volátiles y la temperatura a la salida del secador (ya que de ella depende la estabilidad térmica del producto).

Posteriormente, el producto que sale del secador (Aire y PVC), es introducido a un ciclón con el fin de separar los sólidos suspendidos en el aire, mediante la sedimentación centrífuga; de modo tal, que el aire cargado de polvo, penetra tangencialmente en una cámara cilíndrica o cónica, en virtud de su inercia, las partículas de polvo tienden a desplazarse hacia la pared de separación, desde la cual son conducidas a un receptor. El aire, libre ya de polvo, sale por la parte superior.

El polvo que sale del ciclón, es pasado a una tamizadora donde es separado de acuerdo a su tamaño de partícula; al grano que está dentro de especificaciones de granulometría se le realizan todas las pruebas de calidad PVC suspensión, menos la del MVC residual, antes de ser pasado al silo; ello con el objetivo de determinar si el producto se encuentra dentro de las especificaciones de calidad.

Posterior a esta operación, el producto es transportado por aire a las tolvas de almacenamiento, para ser ensacado, en empaques de 25kg y luego almacenado por lotes, en el almacén de PVC, para su posterior distribución en el mercado nacional e internacional.

Para verificar la calidad del PVC producido, se toma una muestra representativa de cada estiba y se realiza un sub acumulado de todas las estibas del lote. Si alguno de los parámetros analizados no está dentro de especificación, calificándose está como producto subestandar. Si no se detectan anomalías en el lote, se clasifica el producto como estándar.

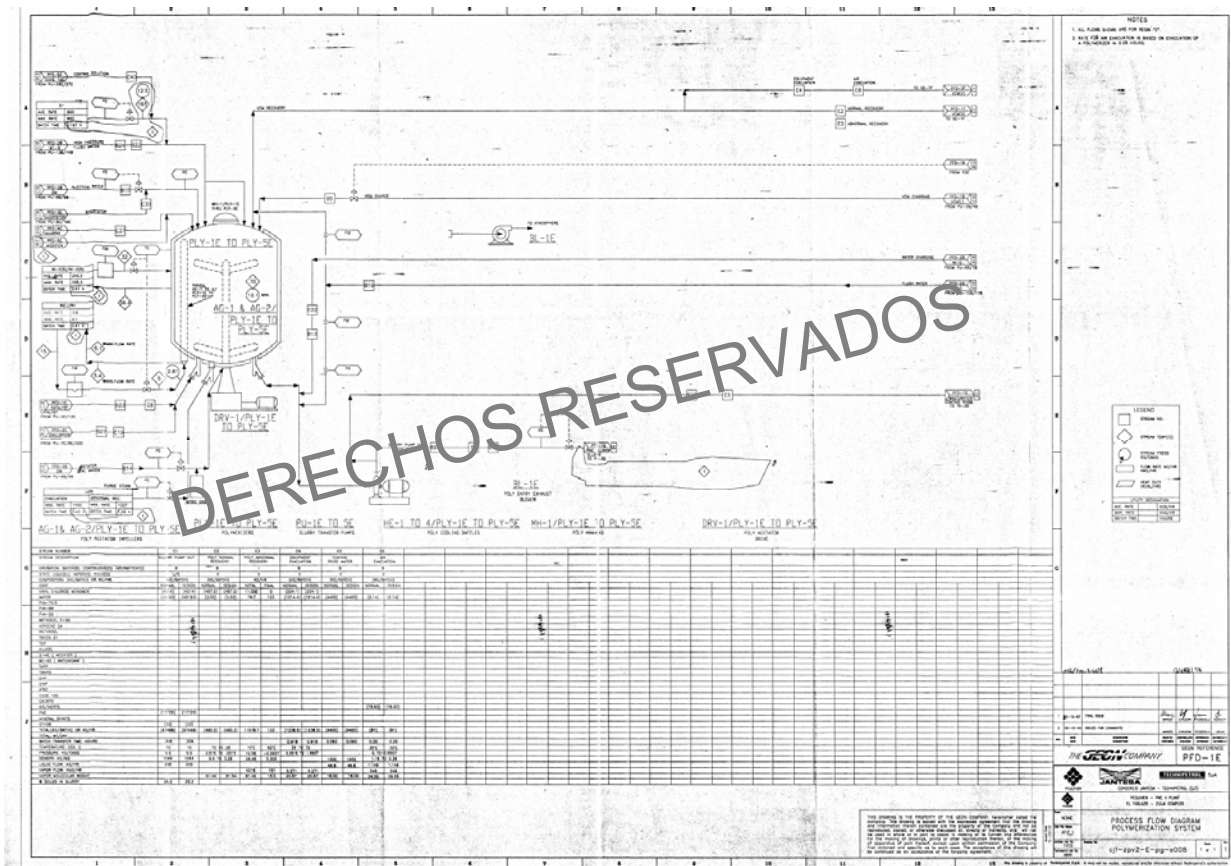


2.3.3 SISTEMA DE POLIMERIZADORES DE LA PLANTA PVC II

La planta consiste en cinco polimerizadores con agitadores y revestidos de acero inoxidable 316-L, denominados como PLY-1E hasta PLY-5E, cada uno con una capacidad volumétrica de 70.5m^3 . En la figura 2 ilustrada en la siguiente página se observa el PDF de los reactores de polimerización.

El Sistema de enfriamiento del reactor consiste de una chaqueta y cuatro deflectores refrigerados. Se utiliza agua de torre de enfriamiento a 32°C como máximo, la cual es bombeada hasta la chaqueta externa tipo espiral (del reactor) que consiste en 7 (siete) secciones de enfriamiento formadas por una tubería de media caña que sirve para mantener la reacción isotérmica, al retirar el calor generado por la exotermicidad de la reacción de polimerización. El amoníaco abastecido a 15°C es vaporizado a 5°C en los deflectores internos, para remover el calor de reacción y mantener una temperatura de reacción constante. Adicionalmente los reactores poseen un lazo de control para mantener la temperatura constante dentro del reactor durante el tiempo de reacción.

FIGURA 3. Plano DFP de los reactores



Fuente: PEQUIVEN



2.3.3.1 Descripción del Reactor

La chaqueta de enfriamiento que posee cada reactor tiene una capacidad de $1,7\text{m}^3$, a través de la cual circula agua de enfriamiento a $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ aproximadamente.

La chaqueta de enfriamiento esta fabricada de acero al carbono (ver anexos 2 y 7), al igual que el cuerpo del reactor, exceptuando su interior que esta recubierto por una delgada superficie de acero inoxidable 316, la cual recibe un tratamiento de electrolítico pulido en el momento de fabricación del reactor.

El agua proveniente de la torre de enfriamiento es suplida a la chaqueta para remover calor de reacción y mantener constante la temperatura de reacción (ver anexo 8). La temperatura de reacción es controlada variando el flujo de agua a través de la chaqueta a la medida de que la reacción progresa.

Control análogo es previsto a través del DCS para mantener la temperatura de reacción.

Cuando inicia la reacción de polimerización, la tasa de agua de enfriamiento es aumentada (mientras se requiera), hasta el flujo económico máximo.

Cuando enfriamiento adicional es requerido, el flujo de amoníaco a los baffles se inicia e incrementa tanto como se requiera para mantener la temperatura deseada en el reactor. Una máxima tasa de flujo también es asignada en los baffles para que no haya retorno de amoníaco líquido recibidor.

La máxima capacidad de remoción de calor sucede cuando los flujos de agua y amoníaco son los máximos en la chaqueta y baffles.



La presión de diseño para cada polimerizador será de $21.1 \text{ Kg/cm}^2 \text{g}$. Los reactores están contruidos de acero al carbono con un “clad” de acero inoxidable soldado en acero al carbono. Los baffles de enfriamiento serán contruidos de acero al carbono con recubrimiento externo cromado.

Los polimerizadores poseen entradas por la parte inferior, dos agitadores con dispositivo o motor de 150kW. El engranaje del agitador esta equipada con sellos dobles mecánicos de aceite a presión y un buje para enjuague. (Ver figura 2)

La agitación requerida por el medio de reacción, se suministra por medio de un agitador vertical de propela accionado por un motor eléctrico de 86 Kw. de potencia, que consta de una propela de 1,7m de diámetro, que a su vez posee tres aspas con un espesor de 30mm cada una, y giran con una velocidad de 105rpm.

En la etapa del reactor se dispone de una válvula telescópica (fetterolf), por medio de la cual se pueden lavar las partes internas del reactor y aplicar el anti-incrustante para evitar el ensuciamiento de las paredes internas del reactor.

En el tope de la unidad se tiene un distribuidor de carga con tres tuberías, por donde se realiza la carga de agua desmineralizada, MVC (fresco y recobro), el recobro y el vacío del reactor.

En el fondo del reactor tiene una válvula yarway por donde se le inyecta el vapor al reactor, cuando se requiera y además se utiliza para descargar la lechada producto de la reacción de polimerización.

Para mantener el nivel en el reactor es necesario mantener un flujo continuo de agua de reposición durante toda la reacción, este flujo se divide en dos corrientes: la inyectada por el tope y la inyectada por el fondo como agua



de sello; ambos son medidos por controladores de flujo, para el agua de sello y para el agua de tope.

Finalmente cuando la lechada se descarga de los reactores, se realizan varios lavados al reactor con agua, generalmente se realizan dos lavados por las válvulas feterolf y dos lavados de alto volumen en forma alterna, de ser necesario se realizarán otros lavados adicionales de cualquiera de estas formas.

Al terminar los lavados y estar el polimerizador totalmente descargado se inicia la recuperación del MVC residual hasta que la presión en el reactor sea 1.8 kgf/cm^2 , presión necesaria para iniciar la nueva carga.

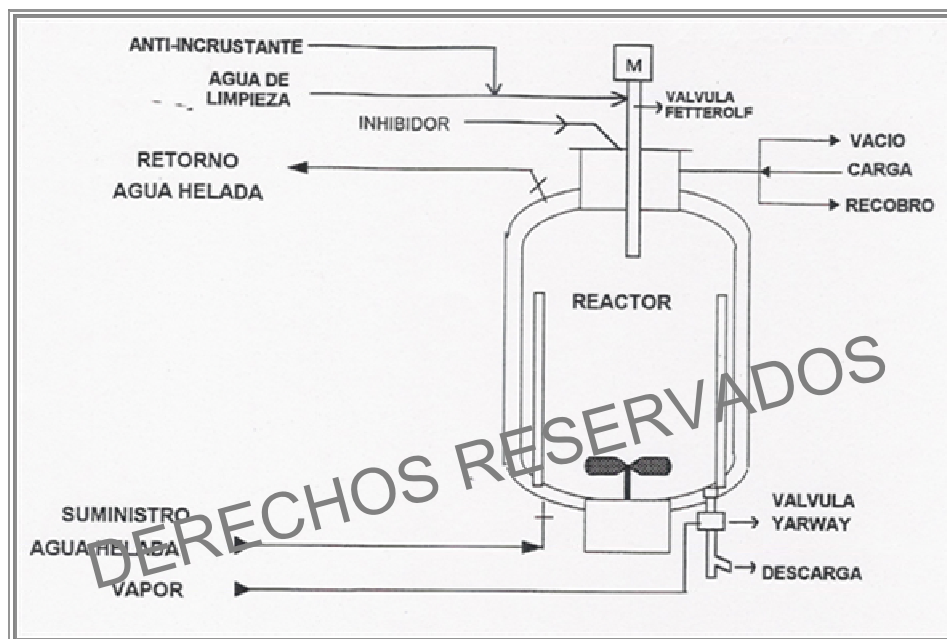
Cada reactor esta equipado con una bomba de transferencia de lechada PU-1E, etc. Para transferir el contenido del polimerizador, incluyendo el agua, al tanque TK-3G en 30 minutos. La capacidad de bombeo será de $250 \text{ m}^3/\text{h}$ con suficiente cabezal para transferir el agua de lavado desde el polimerizador a presión atmosférica, hasta el tanque TK-3G a la presión de operación máxima normal.

La descarga completa del reactor es crítica debido a que el fluido bombeado es considerado como liquido hirviendo. Por ello, se instala el reactor elevado a la tubería de succión desde el reactor se conecta directamente a la bomba duplicando la instalación típica de GEON.

El sistema de alivio de emergencia en los polimerizadores consiste en un par de discos de ruptura seguidos por una válvula de alivio, completado con un detector de ruptura y derrame para el disco y válvula de alivio, respectivamente. El tamaño del sistema fue determinado considerando desde la más baja temperatura a la que se opera en el reactor hasta la más alta de acuerdo con las recetas.



FIGURA 4. Diagrama de un reactor de tipo suspensión de la planta PVC II



Fuente: PEQUIVEN.

2.3.3.2 Control de la Reacción

Algunas de las propiedades de procesamiento de las resinas de PVC, y en especial el peso molecular, dependen de la temperatura de reacción; la cual debe mantenerse constante durante el transcurso de la reacción de polimerización del cloruro de vinilo, por tanto, el calor generado por la gran exotermicidad de la reacción, debe ser retirado en lo posible para evitar las variaciones en la temperatura de reacción, en la mayoría de los reactores a escala industrial esto se logra a través de un lazo de control proporcional/integral.

Sin embargo, el control de la reacción de polimerización no es fácil, debido a la variación de la viscosidad del medio reaccionante a través del tiempo de reacción, la alta generación de calor y el comportamiento altamente no lineal de la reacción.



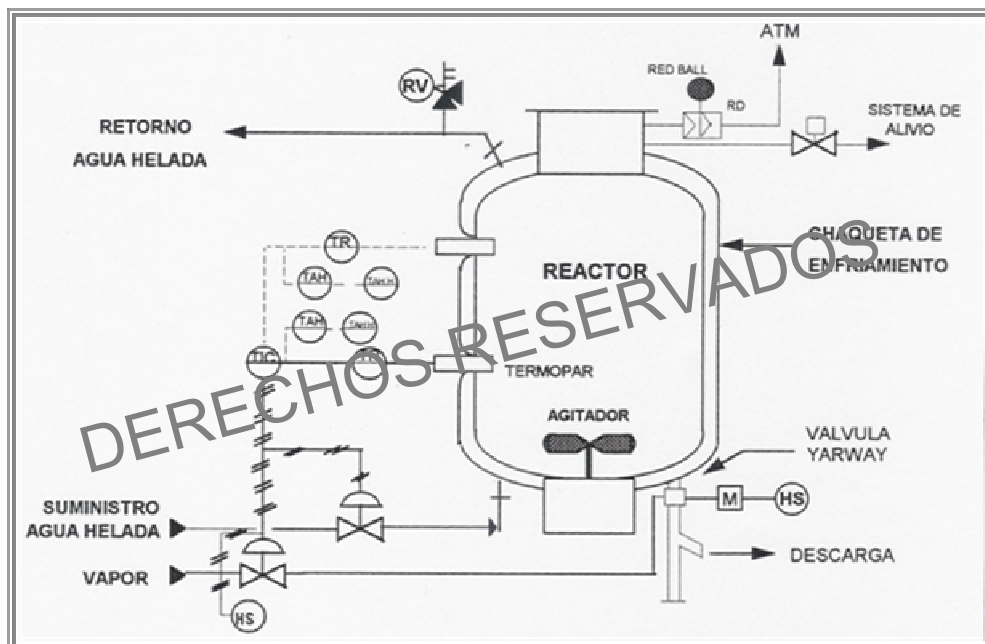
La polimerización es altamente exotérmica, pero en su etapa inicial la temperatura es baja, por lo tanto hay que agregar agua caliente y/o vapor hasta alcanzar la temperatura de reacción establecida en el recípe de polimerización, la cual varía de acuerdo al grado de resina de PVC a producir.

Cuando el sistema alcanza la temperatura de reacción es cuando el calor generado por la reacción de polimerización debe ser removido, para mantener fija la temperatura del reactor hasta el final de la reacción.

Para obtener un producto de gran calidad se deben evitar fluctuaciones mayores de 1°C en la temperatura del reactor. Cuando no se remueve el calor, la reacción se acelera rápidamente, causando variaciones en la calidad del producto e incrementando la presión y temperatura en el reactor, por lo que hay que detener la reacción en forma inmediata, operación que disminuye la eficiencia de la planta, es riesgosa y desmejora la calidad del producto. Cada reactor de polimerización de la planta de PVC en pequiven, tiene un lazo de control, la variable controlada es la temperatura de reacción, como se menciono anteriormente la principal perturbación es la exotermicidad de la reacción de polimerización. Las variables manipuladas son los flujos de agua que entran a los baffles y a la chaqueta del reactor y el flujo de vapor que se inyecta directamente al reactor, a través de la válvula (yarway).

El esquema de control utilizado es del tipo rango dividido (split range), en el que la señal de salida del controlador (output) es enviada, a través de un convertidor de señal (I/p), a dos válvulas de control ubicadas, una en la línea de suministro de agua helada y otra en línea de suministro de vapor, como se inicia en la figura que se muestra a continuación:

Figura 5. Estrategia de Control Actual de la Temperatura de Reacción en Reactores de Suspensión.



Fuente: PEQUIVEN

El sistema de control utiliza rango dividido, debido a que algunos tipos de resinas requieren vapor para elevar la temperatura de la mezcla hasta la temperatura de reacción estipulada. La forma de operar este controlador es la siguiente:

- Durante la carga, el operador coloca el controlador en manual y ajusta la salida del mismo en 50%, ajustando también el punto de operación (setpoint) a la temperatura de reacción deseada.
- Si al finalizar la carga, la temperatura de la mezcla reaccionante se acerca a la temperatura de reacción, se coloca la salida del controlador alrededor de 30% y se cambia la posición auto.
- El agua de reposición se suministra a través de un rotámetro, al igual que el agua de sello para los agitadores de los reactores.



➤ Si al finalizar la carga, la temperatura de la mezcla reaccionante no alcanza la temperatura de reacción, directamente se cambia el control a automático (auto), a la posición vapor hasta alcanzar la temperatura de reacción.

➤ Al detener la reacción (parada corta), se coloca el punto de operación (sp) a la temperatura de recobro prefijada según receta.

➤ Finalizado todo el proceso se coloca el controlador en manual.

Al mismo tiempo la temperatura en la parte alta del reactor es registrada para detectar posibles anomalías en el transcurso de la reacción, tal como la disminución del volumen de la mezcla reaccionante no compensada por el agua de reposición. Así mismo, la presión en el reactor se registra para hacer un seguimiento de la reacción. Además se registra la temperatura del agua de enfriamiento a la salida de la chaqueta del reactor, lo cual permite tener una idea de cómo se desarrolla el proceso de remoción de calor durante la reacción.

El sistema de control también incluye un sistema de seguridad que consta de una serie de alarmas visuales y sonoras las cuales alertan al operador en las siguientes situaciones:

- baja temperatura zona baja del reactor.
- alta temperatura zona alta del reactor.
- alta temperatura diferencial en el reactor.
- muy alta temperatura diferencial en el reactor.
- alta presión en el reactor.
- baja presión de vapor hacia el reactor.
- baja presión de aceite al agitador.
- agitador parado.



La parada de emergencia se efectúa inyectando solución inhibidora al reactor, para luego recuperarlo y descargar la lechada hacia el sistema de despojamiento. Este procedimiento se ejecuta manualmente.

El sistema de operación cerrada contempla la inyección de la solución inhibidora a los reactores en caso de haber incremento de la presión. Por sobrellenado o deficiencias en la transferencia de calor.

Adicionalmente, se encuentra instalado un sistema automático de alivio, el cual entra en acción cuando existe una sobre presión, aliviando el reactor hacia un tanque, utilizando para ello interruptores y válvulas del tipo on-off, donde el MVC es recuperado y almacenado en los tanques de MVC de recobro.

2.3.3.3 Ciclo de Carga

i. Agitador:

Arranca el agitador del reactor entre 7-10 KW y el agua de sello del mismo, almacenada en el TK-5B, descargada por la bomba PU-8B/9B a una presión de 20 kg/cm².

ii. Anti-Incrustante:

El Anti-Incrustante entra por el tope del reactor, colocando en el reactor en primer lugar vapor para luego introducir el código 10C y en acción con el vapor el anti-Incrustante se impregna en las paredes del reactor ya que se produce un efecto de rocío por acción de las válvulas feterolf (VSP-1X05/06), luego se inyecta vapor por el fondo (VSP-1X15) para que el anti-Incrustante que no se impregno en las paredes sea impulsado de abajo hacia arriba y conseguir el mismo efecto, siempre hay un flujo de agua de enfriamiento en la



chaqueta que es lo mismo que el vapor se condensé. El tiempo de aplicación es aproximadamente dos (2) min., el control de vapor es por flujo inyectado (a

doscientos cuarenta (240) Kg por debajo) luego de la aplicación se le realiza dos (2) lavados de quinientos (500) Kg de agua.

iii. Buffer

El buffer se encuentra en el tanque de pesada TK-3C, recirculando por medio de las bombas PU 4C/22C y luego al momento de enviarlo al reactor se cierra la recirculación y por medio de las bombas PU 15C/23C es bombeado a los reactores por el fondo, luego se abre la línea de lavado (un (1) lavado de 0.400 m^3) a la tubería del buffer para limpiar la tubería y llevarla a la línea de carga de agua, el tanque de pesada vuelve a recuperar su nivel y se prepara para una nueva carga, la carga de buffer es por receta y el sistema carga la cantidad por diferencia de peso en tanque de pesada, el buffer se carga en un tiempo aproximado de dos punto dos (2.2) min. Por medio de la válvula VSP-1X24.

iv. Emulsificantes:

Los emulsificantes se van cargando de uno en uno en el tanque de pesada y se cargan al reactor simultáneamente con el agua y el MVC; el emulsificante numero uno (N°1) Alcohol polivinilico (PVA) de ochenta y ocho por ciento (88%) de Hidrólisis se prepara en el tanque TK-21C y se almacena en el TK-22C donde estará recirculando hasta que por medio de las bombas PU 19/20C es enviado al tanque de pesada TK-6C, luego por diferencia de peso este es enviado al reactor por el fondo (válvula VSP 1X14) por medio de las bombas PU 7/8C, y se realiza un lavado al tanque (0.05 m^3 para recuperar el colchón que este debe mantener), en ese mismo instante el emulsificante numero dos (N°2) (PVA-72.5% y PVA-55%) son enviados de sus respectivos tanques de almacenaje y se pesan en el tanque TK-6C como un solo agente emulsificante y la cantidad a agregar es por diferencia de peso en el tanque



dependiendo del valor de la receta y luego este es enviado al reactor por las mismas bombas del emulsificante numero uno (N°1), se realiza un segundo lavado de 0.5 m^3 al tanque, y un segundo lavado a la tubería de 0.5 m^3 para

que limpie la tubería y arrastre todos los emulsificantes y los lleve directo a los reactores.

v. Carga de agua:

Existen dos tanques de almacenamiento de agua, el TK-5B de agua fría y el TK-6b de agua caliente, por medio de las bombas PU-6B, PU-7B Y PU-12B (spare) esta agua es enviada a los reactores, antes de entrar a los reactores existe lo que se conoce como el balance térmico del agua, donde existen dos válvulas que van graduando la temperatura del agua hasta conseguir la temperatura de reacción, luego pasaría por el filtro FIL- 2/3B y luego por dos (2) medidores del flujo (FQI-WA02) uno que mide y el otro que compara finalmente entra al reactor por el fondo por medio de la válvula VSP-1X24.

vi. Carga de MVC:

El MVC de recobro que se encuentra en los tanques TK 3B/4B el cual es bombeado al reactor por medio de las bombas PU-4B (posee una bomba spare PU-16B) para ambas estaciones, pasa por los filtros FIL 2/3B y luego por las estaciones medidoras (FQI-VC02/VC01), el MVC fresco y de recobro se carga por el tope del reactor (válvula FV-VC1X), el MVC fresco que se encuentra en el tanque TK-8B se carga al reactor por medio de la bomba PU-3B pasando por dos (2) filtros FIL 2/3B y luego por dos medidores de flujo (FQI-VC02/VC01) uno que mide y el otro que compara y van al reactor por el tope.

vii. Iniciador:

Mientras se realiza la carga de MVC y agua, el sistema de catalizador se prepara para ser cargado, el catalizador que se prepara en el tanque TK-9C,



pasa por gravedad al TK-8C que es el tanque de almacenamiento, luego por medio de las bombas PU -172C se envía al tanque de pesada TK-1C y se mantiene un reciclo en el tanque de almacenamiento, y luego por diferencia de peso se carga la cantidad en receta por medio de las bombas PU 3/13C y va al

reactor por el fondo en la misma línea donde se cargan los emulsificantes. Se le realizan dos lavados al tanque de pesada (0.05m^3) para recuperar su nivel y un lavado a la línea (0.75m^3) para limpiar la tubería y arrastrar el catalizador al reactor.

viii. Oxido nítrico

El oxido nítrico se utiliza cuando hay que abortar una carga por causa de una caída del voltaje o una falla eléctrica que produzca problema con el agitador, antes de cargar iniciador el sistema arma al oxido nítrico y lo mantiene alerta para cualquier eventualidad si el sistema no esta armado no procede a cargar el iniciador, este oxido nítrico adormece los radicales que se encuentran en el reactor por un tiempo, luego se le agrega una pequeña cantidad de iniciador para volver a activarlo y se le agrega parada corta para abortar la carga. Este se inyecta al reactor por el fondo por donde entra el agua de sello.

ix. Monitoreo de la Reacción:

Al agregar el iniciador en ese momento se dice que la reacción comienza, debido al que la reacción es exotérmica se inyecta un flujo de agua de enfriamiento por la chaqueta para mantener constante la temperatura, cuando el agua ya no puede mantener la temperatura se inyecta un flujo de amoníaco por los baffles del reactor. Siempre hay un flujo de agua entrando por el tope se denomina agua de inyección que sirve para mantener el nivel del reactor y flujo de agua de sello para mantenerlo limpio y preservarlo evitando que el PVC lo dañe, la reacción se controla por tres parámetros, conversión, caída de presión ($0.1-0.2$) y tiempo de reacción, solo los dos últimos aplicados



en estos momentos, estos son los parámetros que le indican al panelista cuando aplican la parada corta para finalizar la reacción.

x. Parada Corta:

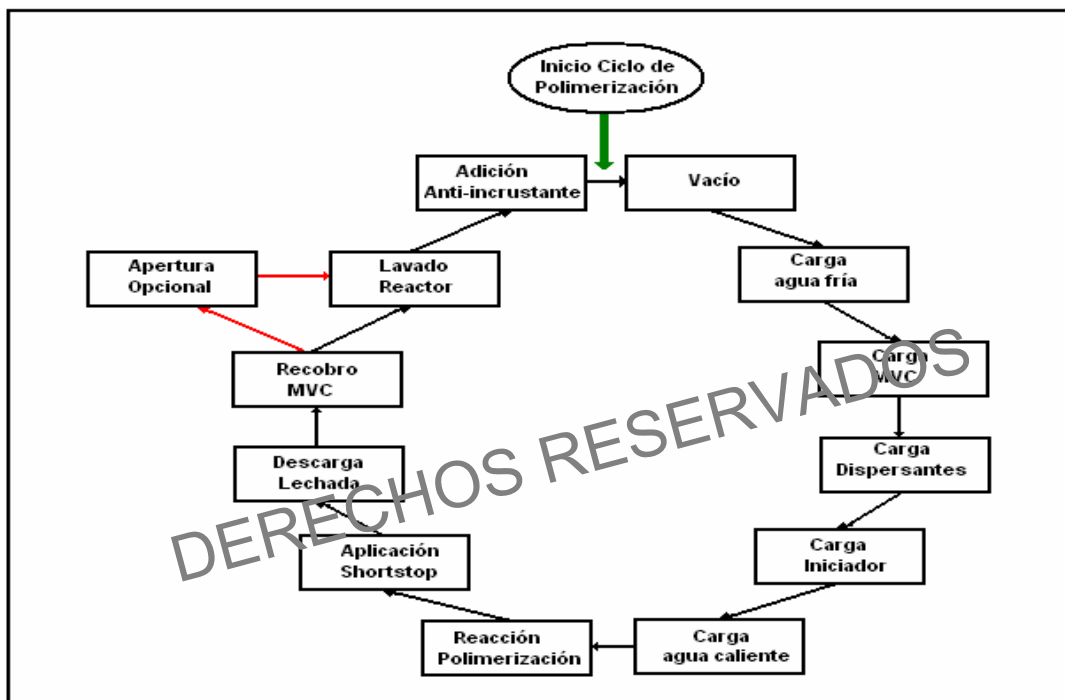
La parada corta se prepara en el tanque TK-7C, pasa por el filtro FIL-1C y luego por medio de las bombas PU 9/10C va al reactor pasando por el medidor de flujo que mide la cantidad exacta a entrar al reactor, esta parada corta se inyecta por la línea de inyección de agua entrando por el tope del reactor.

xi. Antioxidante:

El antioxidante se agrega para mantener el color blanco de la resina y evitar amarillez del producto, este se encuentra en el TK-13C y es enviado al reactor por medio de la bomba PU-28C, pasa por un medidor de flujo que mide la cantidad necesaria según receta, luego se hace un lavado a la línea para limpiar la tubería y arrastrar el antioxidante directo al reactor por el tope por la misma línea de entrada del modificador y el Bleach (aditivos que se utilizan para la resina VIN-115).

xii. Descarga:

La descarga comienza enviando toda la lechada a los tanques TK 1G/3G, y el sistema realiza cuatro lavados, dos por feterolf y dos por alto volumen en forma alternada, esos son lavados que el sistema se hace automáticamente, luego el sistema avisa al momento de realizar el ultimo lavado y pregunta cuantos lavados adicionales quiere hacerle a la descarga para dejar el reactor vacío y preparado para la carga siguiente.

**Figura 6.** Descripción del ciclo de carga en los reactores de polimerización de la planta PVC II

Fuente: PEQUIVEN.

Durante los ciclos de cargas para cada reactor existe un tiempo disponible entre el final de una carga y el comienzo de la siguiente carga, en este tiempo es cuando se procede a el lavado del reactor y el acondicionamiento para realizar su proceso de carga nuevamente. Este tiempo es denominado tiempo muerto.

2.3.4 Sistema de Control Distribuido

El sistema de control distribuido (DCS) es una tecnología de control de proceso. La tecnología usa múltiples microprocesadores y comunicación digital de alta velocidad para monitorear y controlar el proceso de PVC. El DCS de GEON incorpora lo último en tecnología de proceso así como el diseño, en coordinación con la instrumentación, requerimientos eléctricos y de diseño de proceso para asegurar que se cumplan todos los controles de objetivos en un tiempo y una manera eficiente.



La filosofía del control de proceso es usar el DSC para la supervisión, así como el Control Digital Directo (DDC), según lo requerido. El modo normal de operación será por el sistema, pero el operador supervisor del sistema siempre tendrá la opción de controlar la lógica cuando sea necesario. Un panel de control de respaldo se incluye también para operaciones de emergencia. Una función clave de control para computador es de asegurar que ninguna operación proceda sin estar satisfechas todas las correctas consideraciones de seguridad.

Las posiciones de las válvulas, temperaturas, presiones, flujos, y niveles se chequean y se comparan con los límites programados. Cuando se exceden los límites, se notifica al operador, y se señala una condición de alarma, y se pone la unidad de configuración segura. Solamente cuando la condición de alarma ha sido resuelta, se puede remover la unidad de la configuración segura y proceder en consecuencia.

2.3.5 Simulación

La simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con el mismo con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos, para el funcionamiento del sistema.

2.4 Mapa de Variables

Objetivo general: Determinar los requerimientos máximos de agua de enfriamiento en el área E polimerización de la planta PVC II, El Tablazo.



OBJETIVOS ESPECIFICOS	VARIABLE	DEFINICION	INDICADORES
Definir los requerimientos de Agua de Enfriamiento en los reactores de polimerización de la planta PVC II, EL TABLAZO.	Requerimientos de Diseño de Agua de Enfriamiento.	Características del caudal de agua de enfriamiento que debe ser suministrado a los reactores de polimerización para su operación normal bajo condiciones de diseño.	- Caudal - Presión - Temperaturas de entrada y salida.
Desarrollar un modelo de simulación del proceso de consumo de Agua de Enfriamiento de los reactores de polimerización de la planta PVC II, El Tabazo.	Modelo de Simulación de Agua de Enfriamiento.	Representación matemática del proceso real de operación de agua de enfriamiento.	- Modelo de Simulación. - Cuantificación de los tiempos de retraso. - Capacidad de diseño.
Cuantificar los requerimientos máximos de Agua de Enfriamiento para un sexto reactor.	Requerimientos máximos de Agua de Enfriamiento.	Requerimientos Máximos que permiten operar con un reactor adicional.	- Producción diaria - Cargas por día - Consumo de agua de Enfriamiento. - Tiempo de



			Retraso (Tr).
--	--	--	---------------

2.5 Definición de Términos Básicos.

Batch: termino ingles referido a carga o “por cargas”

Campaña: periodo de tiempo y ejecución de acciones para la generación de un grado específico. Una campaña de producción de un grado de PVC puede durar días, semanas o meses.

Carga: una carga corresponde a 20.5 TM de PVC formado. Esta formada por un ciclo completo de polimerización cumplido.

Chaqueta de Enfriamiento: recubrimiento externo donde circula agua de enfriamiento en los reactores de polimerización.

Ciclo de Polimerización: conjunto de operaciones que se realizan en el reactor para la obtención de la lechada de PVC + H₂O. El ciclo de polimerización incluye las operaciones de aplicación de anti- incrustante, carga de aditivos, reacción y aplicación de parada corta.

MVC: cloruro de monovinilo. Unidad monomérica que polimeriza para formar el PVC.

PI: programa automatizado que utiliza todo el Complejo EL TABAZO que arroja datos de operación de los equipos de cada planta.

PVC: cloruro de polivinilo. Uno de los plásticos de mayor uso a nivel mundial, con especialidades de aplicación en la industria de la construcción.

Reactor: recipiente o contenedor donde se ejecuta una reacción química o de mezcla.



Sistema de Control Distribuido (DCS): tecnología que usa múltiples microprocesadores y comunicación digital de alta velocidad para monitorear y controlar procesos, mediante supervisión y control digital directo (DDC).

Tiempo de Retraso (T_r): tiempo de espera entre el arranque de las cargas de un reactor.

Tiempo Muerto (T_m): tiempo en que el reactor esta disponible para la carga y el momento que es cargado finalmente.

DERECHOS RESERVADOS



DERECHOS RESERVADOS

Capitulo III. Marco Metodológico



A continuación se describe el tipo y diseño de la investigación y los procedimientos seguidos para la recolección y análisis de los datos que permitieron arrojar los mejores resultados:

3.1 Tipo y Diseño de Investigación

El tipo de investigación de este trabajo fue aplicada, según Rodríguez y Pineda (2003) exponen que “este tipo de investigación aplica el conocimiento en la recaudación de muestras y datos del problema real en las condiciones que aparece”.

Este tipo de investigación se aplicó para resolver un problema existente en la planta de PVC II, de la empresa PEQUIVEN S.A, la cual consiste en determinar los requerimientos de agua de enfriamiento de los reactores de polimerización con el fin de aumentar las cargas a los reactores de y por ende aumentar la producción de PVC, por lo tanto fue aplicativo por que la solución de este problema, puede ser aplicada a esta planta.

También fue una investigación de tipo descriptiva, debido a que según Arias (2006) “La investigación descriptiva es una investigación inicial y preparatoria que se realiza para recoger datos y precisar la naturaleza; y sirve para describir diversas pautas de comportamientos sociales de una comunidad”. Esta investigación fue de tipo descriptiva puesto que se recolectaron una serie de datos para evaluar diferentes escenarios de operación del proceso investigado con el fin de mejorar sus condiciones de operación y describir su comportamiento.

El diseño de esta investigación es de campo; Según Arias (2006) “El diseño de campo esta basado en la obtención de información de la realidad donde ocurren los hechos por parte del investigador sin alterar alguna condición existente en el sujeto investigado”



De acuerdo a la definición anterior el trabajo también se ubicó en el diseño de campo puesto que se obtuvieron datos de flujo de agua que corre por la chaqueta de los reactores en diferentes condiciones de operación de cada carga directamente de los medidores de flujo que tiene cada reactor para así estudiar el comportamiento del sistema de enfriamiento a dichas condiciones.

3.2 Unidad de Observación

La unidad de observación es el sistema de agua de enfriamiento de los reactores de polimerización de la planta PVC II del Tablazo.

3.3 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó la observación no estructurada como técnica de recolección de datos; Según Arias (2006) “La observación libre no estructurada es la que se ejecuta en función de un objetivo, pero sin una guía prediseñada que especifique cada uno de los aspectos que deben ser observados”. Para ello se utilizó como instrumentos fundamentales un diario de campo y una cámara fotográfica que permitieron un fácil entendimiento a los problemas encontrados.

Además, para la realización de esta investigación otra técnica de recolección de datos utilizada fue la de entrevistas no estructuradas; Según Arias (2006) “Las entrevistas no estructuradas se caracterizan por ser flexibles y abiertas aunque los objetivos de la investigación rigen a las preguntas, su contenido, orden, formulación y profundidad se encuentran por entero en manos de el entrevistador”. Las entrevistas no estructuradas fueron dirigidas a los ingenieros de proceso y operación, a los panelistas y operadores de la planta que arrojaron y facilitaron información importante relacionada a las operaciones del sistema de agua de enfriamiento de los reactores de polimerización. Anudando a esto fue requerido un reconocimiento del proceso



de producción de la resina de PVC, mismo que contribuyó con la fundamentación teórica de las mejoras propuestas al proceso.

También se utilizó el análisis documental como obtención de datos; Según Arias (2006) “El análisis documental es una técnica basada en la separación e interpretación de los contenidos de un documento”. Se utilizó esta técnica debido a que se apoyó principalmente en fuentes de carácter documentales para el mejor conocimiento y comprensión del proceso estudiado en la planta de PVC II tales como planos del proceso de polimerización de la planta y planos del sistema de agua de enfriamiento, agregándole a esto las consultas que hicimos a los diferentes manuales de adiestramiento y operación correspondientes al área de polimerización que describen cada uno de los procesos y operaciones de los equipos y sistemas presentes en la planta y que son nuestro principal enfoque de investigación.

A través del análisis documental también se estudiaron las distintas secuencias que componen al programa de control PROCESS BOOK (PI).

Para ello se utilizó como instrumento de recolección de datos un computador personal y sus unidades de almacenaje que permite el acceso al sistema de control de los equipos, particularmente al programador PI.

Este programa muestra o facilita datos de información de las diferentes variables de operación que permiten evaluar y monitorear el proceso de todos los equipos de la planta de manera remota, presenta esquemáticos de todas las secciones de la planta y en el se observa la interacción existentes entre el sistema de control distribuido (DCS) y los equipos de proceso.

Adicionalmente, el programa muestra en tiempo real las actividades y secuencias que se realizan en cada reactor, el orden y la duración de cada una de ellas.



Para el registro de las cargas a los reactores del ciclo de polimerización, se utilizó una planilla que se genera en el sistema de control distribuido denominada registro de cargas. Se genera automáticamente cada vez que se finaliza una carga e imprime entre otras cosas:

1. Reactor utilizado
2. Grado de Resina
3. Tiempo de inicio
4. Datos de materia prima cargada (concentraciones de aditivos, pesos, etc.)
5. Tiempo, temperatura y presión de cada operación del sistema de control distribuido.

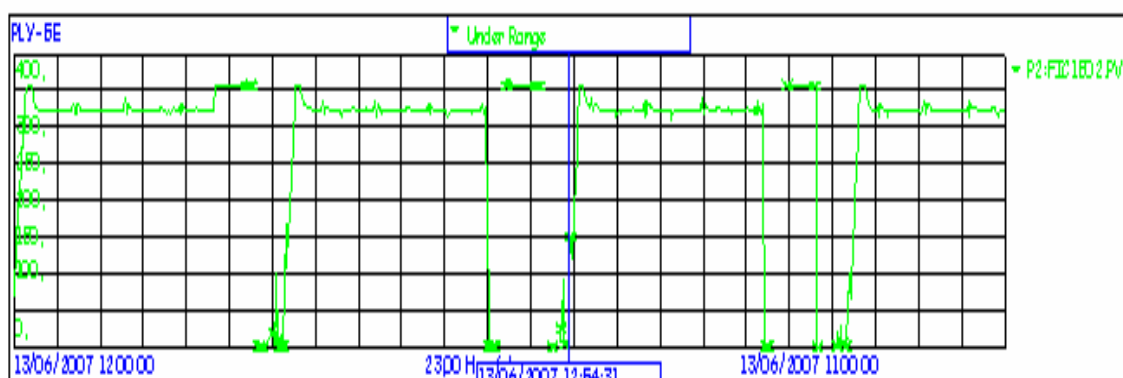
3.4 Fases de la Investigación.

Para cumplir con los objetivos planteados en la investigación, se desarrolló este trabajo en tres fases:

3.4.1 FASE I: Requerimientos de agua de enfriamiento en los reactores de polimerización.

Los requerimientos de agua de enfriamiento se calcularon a través del programa PI específicamente en el área POLY (polimerización), donde se calcularon los requerimientos de flujo de agua en la chaqueta ($m^3/hr.$) para cada uno de los reactores. Estos datos fueron calculados del gráfico que arroja el programa PI del proceso, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 7. Caudal de agua de enfriamiento. Reactor 5





Este grafico ilustra las curvas que corresponden al comportamiento del flujo de agua que circula por la chaqueta durante las cargas del reactor 5.

Como base de datos se tomaron dos (2) días que se cumplieron dieciocho (18) cargas entre los cinco (5) reactores que corresponden al numero máximo de carga por día para una producción de 120MTMA, y es cuando se ha utilizado la mayor cantidad de agua el cual da referencia sobre el consumo máximo o los requerimientos de agua para un día de operación eficiente. Los datos se obtuvieron dentro de un tiempo específico de un ciclo completo de carga para un reactor ya que como todos siguen un comportamiento similar solo se tomo como referencia el ciclo de carga para un solo reactor, para saber el rango de tiempo en que se tomaron los datos de flujo de agua a lo largo de la carga fue necesario promediar todos los tiempo reales de todos los ciclos de cargas en los cinco (5) reactores para los dos (2) días escogidos como base de datos, el método estadístico de medidas invalidas fue el método escogido para promediar todos estos tiempos y así obtener un valor confiable sacado de los promedios. El desarrollo de dicho método se baso de la siguiente manera:

1. A partir de un cuadro donde se especifica en la primera columna el numero de cargas totales por día y en la segunda columna los tiempos reales del ciclo de cargas. Estas tablas fueron realizadas 2 veces correspondientes a los dos (2) días escogidos, ver tabla 6
2. Una vez realizadas las tablas, se procedió a calcular el promedio ($\bar{X}$) de todos los tiempos de los ciclos de cargas. Para obtener dicho promedio las formulas utilizadas fueron las siguiente:

$$R = Vd^+ - Vd^-$$

Ecuación 1



Donde: R: rango

Vd^+ : valor dudoso máximo

Vd^- : valor dudoso mínimo

Obtenido el rango pasamos a calcular el valor deseado:

$$D = Vd^+ - X$$

Ecuación 2

Donde: D: valor deseado

Vd^+ : valor dudoso máximo (se realiza tanto para el
Máximo como para el mínimo)

X: promedio de los tiempos de ciclo.

Una vez hallado el valor deseado se calculo F:

$$F = D/R$$

Ecuación 3

3. F es el valor buscado para proceder a comparar con una tabla constante de la siguiente forma:

$$\text{Si } F > Ti = \text{Descartar}$$

Ecuación 4

**Tabla 1** Valores Críticos

n	Ti
3	1,53
4	1,05
5	0,86
6	0,76
7	0,69
8	0,64
9	0,60
10	0,58
11	0,56
12	0,54
13	0,52
14	0,51
15	0,50
20	0,46

donde se comparo el valor F con los valores constantes de la tabla para n unidades como se muestra en la tabla 1, en nuestro caso n=18 por ser 18 valores correspondientes a cada ciclo. Si el valor F entra dentro del rango, ese va ser nuestro tiempo buscado, en caso de no ser así, descartamos los valores máximo y mínimo tomados y se vuelve a tomar los valores para los que corresponden como máximo y mínimo.

4. El tiempo resultante que entro dentro de las especificaciones para n cargas es el lapso del tiempo promedio seguro de un ciclo de cargas.

Conocido el promedio seguro del tiempo de ciclo obtenemos el tiempo de retraso (Tr) que se halla a través de la siguiente formula:



$$Tr = Tci / n$$

Ecuación 5

Donde: Tr: tiempo de retraso

Tci: tiempo del ciclo

n: numero de reactores

El tiempo de retraso (Tr) no es más que el tiempo de espera entre el arranque de las cargas entre reactores.

Esta formula permitió iterar para n=5 y para n=6 y conocer así el lapso de tiempo numérico a seguir para tener los datos necesarios y reales en el programa, se obtuvo un Tr para un numero de (5) reactores y un Tr para un numero de seis (6) reactores con la finalidad de conocer los requerimientos de caudal de agua de enfriamiento correspondientes a dicha cantidad de reactores.

5. Una vez conocido el tiempo de retraso se procedió a calcular los datos de caudales de agua en la chaqueta de los reactores para un número de reactores igual a cinco (5) y para un número de reactores igual a seis (6) en el programa PI. Estos datos fueron tomados en el intervalo de tiempo de Tr correspondientes para cada valor de n.

3.4.2 FASE II: Desarrollo de un modelo de simulación del proceso de Agua de Enfriamiento de los reactores de polimerización.

El modelo de simulación del proceso de agua de enfriamiento de los reactores fue desarrollado mediante una hoja de cálculo en Excel donde se tabularon los siguientes datos:



1. Se tabularon los datos del lapso de tiempo de retraso para $n=5$ en la primera columna, seguidamente se tabularon 5 columnas mas donde se mostraron todos los datos de caudal de agua obtenidos correspondientes para cada reactor.
2. Una vez tabulados los datos de Tr y Q se hallaron los valores de caudal totales (QT), estos datos fueron calculados por el mismo programa de Excel a través de una sumatoria de celdas.
3. Para desarrollar el modelo de simulación y obtener resultados, se graficaron los datos tabulados a través de una opción del programa Excel para observar el comportamiento del flujo de agua de enfriamiento en función del tiempo y en función de cinco (5) reactores.

3.4.3 FASE III: Cuantificar los requerimientos máximos de Agua de Enfriamiento para los escenarios evaluados.

Recibió el mismo procedimiento de desarrollo que la Fase II con la diferencia de que se evaluó un nuevo escenario de operación para una cantidad de 6 reactores de polimerización, una vez realizado dicho escenario se cuantificaron los requerimientos máximos de agua de enfriamiento conocidos los valores mediante las graficas arrojadas.

3.5 Instrumentos de Medición.

3.5.1 Introducción al Sistema de Control Distribuido PROVOX.

El sistema PROVOX es un sistema de control distribuido, consiste en un conjunto de subsistemas que deben trabajar de forma coordinada. Estos subsistemas se encuentran distribuidos físicamente en las instalaciones y tiene la responsabilidad de ejercer control y monitoreo del proceso y proporcionar



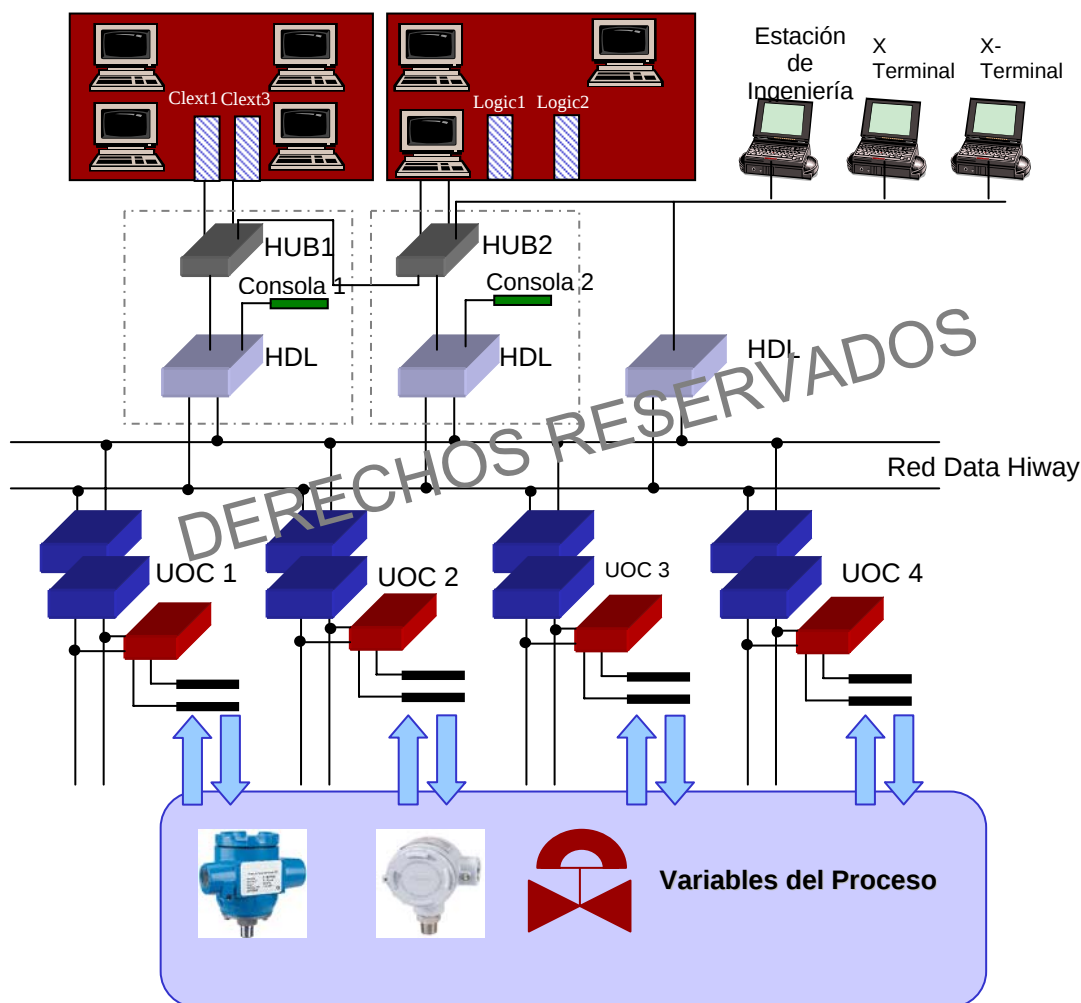
una interfaz de usuario además de guardar información histórica de las variables de proceso.

3.5.1.1 Arquitectura del Sistema

La arquitectura básica del sistema de la planta PVC II esta formada por controladores UOC principal y respaldo unidos a una red de control DATAHIWAY, se comunican a tres Data Link cada link funciona como un nodo de la red de control que hace el cambio de protocolo de comunicación de Data Hiway a Ethernet permitiendo que la información llegue a los dispositivo en la parte superior de la red, así se tiene un Data link que se comunica con la estación de Ingeniería permitiendo a esta estación recibir la data de campo para así guardar historia del sistema y dos data link para llevar la información hasta las consolas de operación, cada una de las consolas de operación tiene dos estaciones asociadas con una dirección IP propia en la red de control y a su vez ambas consolas están interconectadas entre si a través de un Hub que permite mantener redundancia entre las mismas en caso de falla. La otra parte de la red Ethernet son la estación de ingeniería y los X-terminales los cuales sirven para emular el ambiente de las consolas de operación (exceptuando alarmas sonoras) de tal manera de poder seguir el proceso fuera de la sala de control. Uno de estos X-terminales esta ubicado en la oficina de control de procesos y el otro en la oficina del supervisor de turno, además existen unas direcciones configuradas en el sistema disponibles (User1 y User2) en el caso de que sea necesario instalar otro usuario en la red. En la figura 7 mostrada a continuación se observa la forma en que se encuentra configurado el sistema de control distribuido PROVOX.



Figura 8. Configuración general del sistema de control distribuido PROVOX



Fuente: Sala de Control. PEQUIVEN

El sistema PROVOX está constituido por varios equipos que se encargan de realizar distintas tareas, a continuación se describen estos equipos.

a) Subsistema de Input/Output (Entrada/Salida)

Este sistema consiste en:



i. Termination Panel:

Son una serie de tarjetas que permiten la interfaz con las señales cableadas desde campo, existen varios tipos de acuerdo al tipo de señales, por ejemplo se tienen:

- Entradas analógicas.
- Detector de Resistencia de Temperatura (RTD).
- Entrada de Milivoltios.
- Entrada Digitales.
- Salidas Analógicas.
- Salidas Discretas.

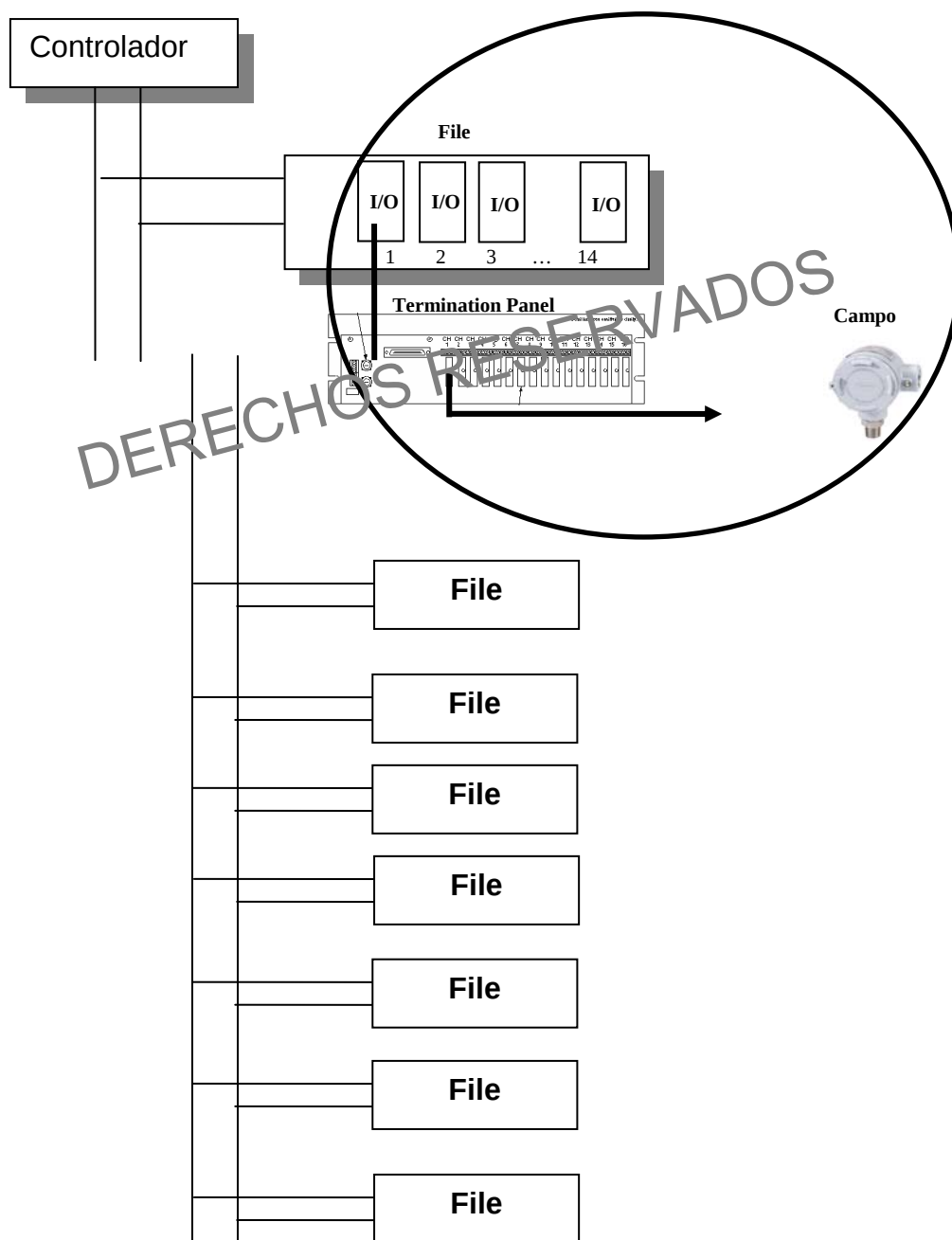
ii. Tarjetas de Input/Output (Entrada/Salida):

Los Termination Panel se conectan con tarjetas I/O que pueden tener hasta 16 señales. Cada una de estas señales se configura independientemente de acuerdo al tipo de señal que vaya a ser conectada en el mismo, estas tarjetas I/O están conectadas en un rack llamado file y de allí pasa la información al controlador, este se encargara de procesarla para llevar a cabo una función específica de control o visualización.

En cada controlador se pueden conectar hasta 8 Files para manejar señales y la conexión entre estos y el controlador redundante de tal manera de evitar que se pierda la comunicación entre el controlador y las señales asociadas al mismo como se muestra a continuación en la figura 8.



Figura 9. Configuración de las señales desde campo hacia el sistema de control.



Fuente: Sala de Control. PEQUIVEN



b) Controladores (UOC Unit Operation Controllers)

Los controladores se encargan de calcular continuamente las salidas de los lazos de control, y monitorear entradas analógicas y digitales, y también realizan las operaciones de los puntos unidad de acuerdo a los datos que reciben a través de la consola de operaciones, se puede decir que los controladores son el centro del sistema de control donde las acciones de control se envían a los dispositivos de campo. Las señales del proceso en la planta de PVCII son administradas en 4 Controladores SRX UOC redundantes, asociados a distintos gabinetes Marshalling.

c) Red Data Hiway

La red Data Hiway permite la comunicación entre los controladores de tal manera que se puedan intercambiar información entre ellos y además permite hacer llegar la información hasta las consolas de tal manera que puedan mostrar la información necesaria al operador a través de las estaciones de trabajo.

d) Hiway Data Link (HDL)

Es el dispositivo encargado de llevar la información de la red Data Hiway a un protocolo ethernet que puedan leer tanto las consolas de control como la estación de ingeniería, este dispositivo se podría decir que es un traductor de datos.

e) Consolas.

Las consolas se encargan de hacer la interfaz hombre-maquina a través de la cual se recibe la información de campo y se lleva información de la sala de control hacia los controladores de campo, en las consolas es donde se ejecutan los puntos actividad que permiten establecer secuencias de ejecución.



En la planta PVCII se tienen dos consolas de operación una dedicada al manejo del Área de Polimerización y despojo del producto y otra dedicada al área de ensacado y servicios pero a pesar de que se dividen de esta manera desde cualquiera de ellas se puede tener acceso a todas las áreas de la planta.

Cada una de estas consolas permite abrir hasta seis sesiones de consolas en diferentes Estaciones (computadoras que permiten conexión con la consola), sin embargo actualmente se tienen dos estaciones de trabajo en cada consola cada una de las cuales esta equipada con monitores duales, ratón, teclado y una unidad llamada AIU (Alarma Interfase Unidad que se encarga de realizar las señales de alarma sonora).

3.5.2 Medidores de Flujo (FIC-1X02)

Los medidores de flujos correspondientes para cada reactor fueron fabricados por la empresa Rosemount. Estos medidores reciben el nombre de Magnetic Flowmeter 8732, es el instrumento encargado de realizar las mediciones de flujo a través de un sensor magnético.

El principio de funcionamiento del sistema magnético del flujómetro es bajo sobre ley de los faraday's de la inducción electromagnética, el cual indica que un voltaje será inducido en un conductor que se mueve a través de un campo magnético, ley de los faraday's:

$$E=KBDV$$

Ecuación 6

La magnitud del voltaje inducido **E** es directamente proporcional a la velocidad del conductor **V**, la anchura **D** del conductor, y la fuerza del campo magnético **B**. Las bobinas del campo magnético colocadas en los lados opuestos de la pipa generan un campo magnético, mientras que el líquido de proceso conductor se mueve a través del campo con la velocidad media **V**, los electrodos detectan el voltaje inducido. La anchura del conductor es representada por la distancia entre los electrodos. Un trazador de líneas aislador evita que la señal ponga en cortocircuito a la pared de la pipa. La única



variable en este uso de la ley de los faraday's es la velocidad del líquido conductor V porque la fuerza del campo es controlada constantemente y el espaciamiento del electrodo es fijo, por lo tanto, el voltaje E de la salida es directamente proporcional a la velocidad líquida, dando por resultado la salida intrínsecamente lineal de un flujómetro magnético.

Figura 10. Medidor de flujo de Agua de Enfriamiento.



Fuente: Bracho, Van Der Biest.

3.5.3 Medidores de Presión (PI-1X02).

Los medidores de presión que son utilizados en los reactores es el modelo 1151DP tipo "GP" (Gage Pressure), fabricados por la empresa Rosemount. Este transmisor de presión arroja valores de presión absoluta con alta precisión. La instalación y calibración, son simplificados por diseño compacto, la caja integral de ensambladura, y ajustes locales del palmo y cero.

El líquido alternamente transmite la presión de proceso a un diafragma de detección en el centro del sensor. La función de detección del diafragma es



como un elemento estirado por medio de un resorte que se desvía mediante la presión diferenciada de la respuesta. En transmisores AP, una presión de referencia se mantiene en lado bajo. El desplazamiento del diafragma de detección es un movimiento máximo de 0.004in, es proporcional a la presión.

Las placas del condensador en ambos lados detectan la posición del diafragma de detección. La capacitación diferencial entre el diafragma de detección y las placas del condensador se convierte electrónicamente a la corriente, al voltaje, o a la señal de salida digital apropiada.

Figuras 11. Medidores de Presión en el Reactor de Polimerización



Fuente: Bracho, Van Der Biest.

3.5.4 Medidores de Temperatura (TI-1X02).

Para la evaluación de los datos de temperatura son utilizados unos transmisores y sensores de tipo “RTD” modelo 3144 correspondientes a cada reactor. El modelo 3144 fabricado por la empresa Rosemount trabaja por medio de microprocesadores electrónicos que permiten que los transmisores acepten la entrada de RTD, del diferencial RTD, del termopar, del ohmio y del milivoltio con un solo sistema de electrónica. Para la exactitud creciente, los transmisores pueden aceptar un horario calibrado de RTD y generan una curva de encargo especial en el transmisor para emparejar esa curva específica del sensor.



Los transmisores de la temperatura proporcionan colectivamente la opción más amplia de los transmisores de la temperatura de un solo surtidor, la medida de procesos se encuentra en un rango de -348°F a 2000°F . Es un acontecimiento diario para el equipo tomar la medida de millón de temperaturas en el campo.

Una medida exacta y confiable de la temperatura proporciona tres ventajas básicas del cliente: calidad del producto mejorado, costos reducidos del mantenimiento y de la operación, y una conformidad reguladora más fácil.

La variabilidad reducida en la medida de la temperatura conduce directamente a un control de proceso de calidad y mejor rendimiento del procesamiento del producto, la medida exacta de la temperatura aumenta la eficacia de la planta y proporciona una información mejor de la transferencia de calor que le ocurre al fluido.

Figura 12. Conexión de sensor RTD a la chaqueta del reactor. Modelo 3144.



Fuente: Bracho, Van Der Biest.



Figura 13. Medidor de Temperatura



Fuente: Bracho, Van Der Biest

3.6 Presentación de Resultados.

Los resultados se presentaron mediante 2 gráficas que ilustran los comportamientos del flujo de agua en la chaqueta de los reactores en lapsos de los tiempos de T_r calculados, correspondientes para una cantidad de cinco (5) reactores en operación y para un reactor adicional.

La propuesta presentada por el método de la realización de una hoja de calculo Excel fue la opción que mejor se ajusto a los datos disponibles, con esta hoja de calculo se obtuvieron representaciones graficas del flujo de agua total contra los tiempos de arranque entre cada reactor (T_r), en columnas diferentes se colocaron los flujos de los cinco (5) reactores y en una sexta columna se ubica la sumatoria de los cinco flujos obteniendo, los valores de flujo total en momentos específicos de reacción, con este mismo método se asigno un sexto reactor así pudiendo simular los requerimientos de agua de enfriamiento máximos y como afectaría este a la operación de la planta.

3.7 Limitaciones en la Recolección y Análisis de Datos.

- Imposible utilización del programa PAI fuera de las instalaciones de PEQUIVEN, debido a que es un programa especializado que arroja datos



de operación de los procesos de la planta suministrados desde la sala de control, este programa contiene un software altamente seguro que impide su uso fuera de las instalaciones de la empresa.

- Obtención de datos de días para dieciocho (18) cargas entre los cinco (5) reactores, ya que no siempre se realiza esta cantidad de cargas por día, además de esto la planta produce cuatro tipo de resinas de PVC por lo que los datos para dieciocho (18) cargas por día fueron tomados solo para la producción de resina 140 y para la campaña de producción de resina 140 no todos los días fueron 18 cargas, por lo que se tomaron solo dos (2) días.



DERECHOS RESERVADOS

Capitulo IV. Resultados



A continuación se presentan los resultados obtenidos correspondientes para cada objetivo de la investigación:

4.1 Fase I. Requerimientos de agua de enfriamiento en los reactores de polimerización.

4.1.1 Selección de días de máxima producción.

Se seleccionaron los días 09/05/2007 y 13/06/2007 debido a que en estos dos días se realizaron dieciocho (18) cargas entre los cinco (5) reactores de polimerización que corresponden a una producción anual de 120MTM de PVC, también se seleccionaron dado que el consumo de agua de enfriamiento requerido es mayor que para los días en que se trabajo con menos cargas, entre estos dos días se observo que los ciclos de cargas son altamente similares y que mantienen un mismo flujo de agua de enfriamiento a lo largo del ciclo, dichos datos de flujo de agua de enfriamiento fueron tomados del programa PI, este programa lee los datos que marcan los respectivos medidores de flujo de agua de enfriamiento para cada reactor. Los datos que se leen en el programa PI son reconocidos por los "TAG" correspondientes a cada medidor. El TAG de flujo de agua d enfriamiento es el FIC-1X02, la X corresponde al numero de reactor (varia de 1 a 5). PI toma los datos directamente de esos medidores.

Las tablas que se muestran a continuación ilustran datos de los tiempos de reacción, del tipo de resina de producción, del número de cargas total y los reactores que operaron. Estas tablas no son más que reportes de las cargas que se realizan a diario en la planta para llevar un seguimiento y control del proceso.



Tabla 2 Consumo diario de MVC para el día 09/05/2007

FECHA: 09/05/2007										
N	TIPO	PLY	# DE CARGA	MVC CARGADO			# DE RECIPE	HORA CERO	TIEMPO DE REACCION	OBSERVACIONES
				FRESCO	TK	RECOBRO				
1	140	2	1483	20358	3B	6161	168	23:04	04:23	6:10 DURACION DEL CICLO
2	140	3	1484	19425	3B	7066	168	00:31	04:45	06:15
3	140	4	1485	19571	3B	6989	168	02:07	04:45	06:20
4	140	5	1486	20926	3B	5582	168	03:37	04:45	06:17
5	140	1	1487	20847	3B	5667	168	05:13	04:45	06:45
6	140	2	1488	20005	3B	6512	168	06:48	04:45	06:32
7	140	3	1489	21532	3B	5001	168	08:06	04:45	07:00
8	140	5	1490	19251	3B	7393	168	10:00	04:45	06:30
9	140	4	1491	21982	3B	4523	168	10:46	04:45	07:00
10	140	1	1492	21397	3B	5173	168	11:40	04:42	07:22
11	140	2	1493	20716	3B	5859	168	13:20	04:45	08:00
12	140	3	1494	20703	3B	5968	168	14:36	04:45	07:40
13	140	5	1495	18386	3B	8359	168	17:21	04:30	06:30
14	140	4	1496	21748	3B	4777	168	18:16	04:30	07:00
15	140	1	1497	19555	3B	7093	168	19:31	04:45	07:00
16	140	2	1498	20411	3B	6212	168	20:53	04:42	07:18
17	140	3	1499	29870	3B	5699	168	22:22	04:40	07:00
18	140	5	1500	20565	3B	6088	168	23:44	04:45	07:10

Tabla 3 Consumo diario de MVC para el día 13/06/2007

FECHA: 13/06/2007										
N	TIPO	PLY	# DE CARGA	MVC CARGADO			# DE RECIPE	HORA CERO	TIEMPO DE REACCION	OBSERVACIONES
				FRESCO	TK	RECOBRO				
1	140	1	1773	18020	4B	6161	168	01:00	04:45	6:10 DURACION DEL CICLO
2	140	2	1774	17917	4B	7066	168	02:00	04:27	06:32
3	140	3	1775	18080	4B	6989	168	03:12	04:18	06:45
4	140	4	1776	18198	4B	5582	168	04:30	04:25	06:30
5	140	5	1777	18252	4B	5667	168	06:08	04:40	06:21
6	140	1	1778	18030	4B	6512	168	07:46	04:45	07:00
7	140	2	1779	17759	4B	5001	168	09:00	04:00	07:13
8	140	3	1780	18026	4B	7393	168	10:16	04:45	06:30
9	140	4	1781	20582	4B	4523	168	11:31	04:20	07:00
10	140	5	1782	20303	4B	5173	168	12:57	04:26	06:30
11	140	1	1783	17951	4B	5859	168	14:02	04:45	06:00
12	140	2	1784	18845	4B	5968	168	15:21	04:04	06:30
13	140	3	1785	19382	4B	8359	168	16:40	04:45	06:42
14	140	4	1786	20671	4B	4777	168	17:58	04:33	06:13
15	140	5	1787	20433	4B	7093	168	19:18	04:40	07:18
16	140	1	1788	17955	4B	6212	168	20:46	04:28	07:00
17	140	2	1789	18273	4B	5699	168	21:48	04:35	06:32
18	140	3	1790	20944	4B	6088	168	22:50	04:40	07:00



4.1.2 Premisas de Cálculo

1. Se observaron que todas las curvas de agua de enfriamiento arrojadas por el programa PI son iguales para cada reactor. Ver figura 5, tomadas directamente del programa PI, para el día 13/06/07 en el reactor 5.
2. Para facilitar los cálculos se considera que el tiempo de retraso fue definido $Tr = C_i/n$ para evitar el arranque de reactores muy simultáneos que causen unos picos de agua de enfriamiento.
3. Se mantendrán los tiempos muertos actuales en el reactor. Definidos estos como el tiempo en que el reactor esta disponible para la carga y el momento que es cargado finalmente. Esto permitió asumir de que a tiempos relativos después del arranque todos los consumos de agua son los mismos para todos los reactores.

4.1.3 Estimación del Ciclo de Carga

Para estimaciones de los ciclos de carga se utilizo el método de los promedios, estos valores fueron chequeados con el método de medidas invalidas para asegurar que todos los valores pertenecen a la serie estadística que se esta analizando. La tabla 2 en anexos ilustra las estimaciones de los ciclos de carga y los parámetros estándar de comparación mostrados en la tabla 1 de la investigación.



4.2 FASE II. Desarrollo de un modelo de simulación del proceso de Agua de Enfriamiento de los reactores de polimerización.

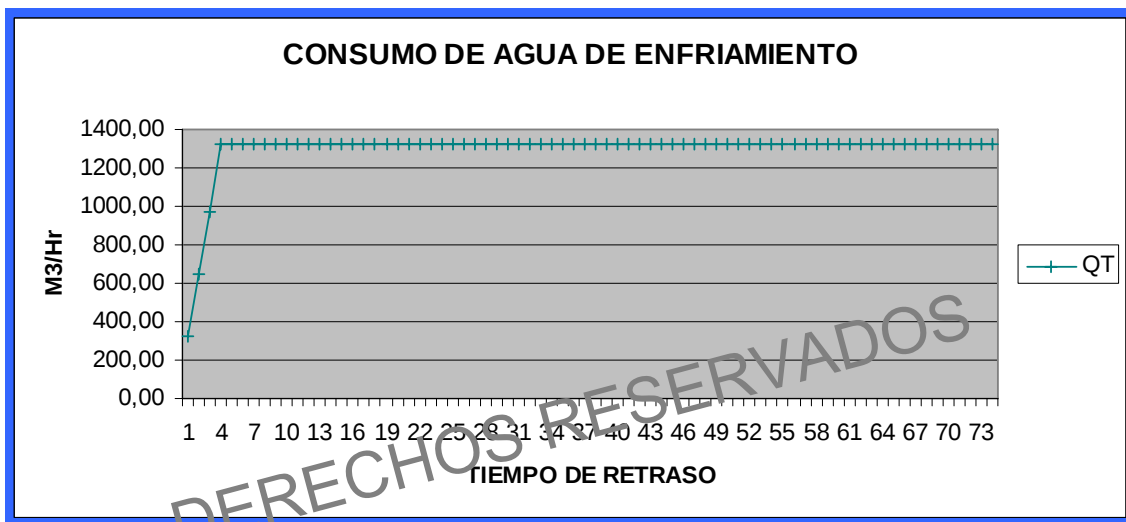
Resultados Obtenidos del consumo de agua en los cinco (5) reactores actuales de la planta:

Tabla 4

Tr	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	QT
0	0	0	0	0	0	0
1,33	324,55	0,00	0,00	0,00	0,00	324,55
2,7	324,11	324,55	0,00	0,00	0,00	648,66
4,0	322,84	324,11	324,55	0,00	0,00	971,50
5,3	356,78	322,84	324,11	324,55	0,00	1328,28
6,7	0,00	356,78	322,84	324,11	324,55	1328,28
8,0	324,55	0,00	356,78	322,84	324,11	1328,28
9,3	324,11	324,55	0,00	356,78	322,84	1328,28
10,6	322,84	324,11	324,55	0,00	356,78	1328,28
12,0	356,78	322,84	324,11	324,55	0,00	1328,28
13,3	0,00	356,78	322,84	324,11	324,55	1328,28
14,6	324,55	0,00	356,78	322,84	324,11	1328,28
16,0	324,11	324,55	0,00	356,78	322,84	1328,28
17,3	322,84	324,11	324,55	0,00	356,78	1328,28
18,6	356,78	322,84	324,11	324,55	0,00	1328,28
20,0	0,00	356,78	322,84	324,11	324,55	1328,28
21,3	324,55	0,00	356,78	322,84	324,11	1328,28
22,6	324,11	324,55	0,00	356,78	322,84	1328,28
23,9	322,84	324,11	324,55	0,00	356,78	1328,28
25,3	356,78	322,84	324,11	324,55	0,00	1328,28
26,6	0,00	356,78	322,84	324,11	324,55	1328,28
27,9	324,55	0,00	356,78	322,84	324,11	1328,28
29,3	324,11	324,55	0,00	356,78	322,84	1328,28
30,6	322,84	324,11	324,55	0,00	356,78	1328,28
31,9	356,78	322,84	324,11	324,55	0,00	1328,28
33,3	0,00	356,78	322,84	324,11	324,55	1328,28
34,6	324,55	0,00	356,78	322,84	324,11	1328,28
35,9	324,11	324,55	0,00	356,78	322,84	1328,28
37,2	322,84	324,11	324,55	0,00	356,78	1328,28
38,6	356,78	322,84	324,11	324,55	0,00	1328,28
39,9	0,00	356,78	322,84	324,11	324,55	1328,28
41,2	324,55	0,00	356,78	322,84	324,11	1328,28
42,6	324,11	324,55	0,00	356,78	322,84	1328,28
43,9	322,84	324,11	324,55	0,00	356,78	1328,28
45,2	356,78	322,84	324,11	324,55	0,00	1328,28
46,6	0,00	356,78	322,84	324,11	324,55	1328,28
47,9	324,55	0,00	356,78	322,84	324,11	1328,28



Grafico 1



Con la hoja de calculo Excel se establecieron los requerimientos de flujos de agua de enfriamiento para cinco (5) reactores en el tiempo, utilizando en la primera columna el tiempo de arranque promedio entre un reactor y el otro, este valor se obtuvo a través de la ecuación 5 dividiendo el tiempo del ciclo promedio entre los cinco (5) reactores, para hallar el valor de T_r se uso un método estadístico de medidas invalidas el cual a través de formulas matemáticas y parámetros estándar de comparación se descartaron los valores fuera de orden, hasta entrar en el rango deseado. En las cinco columnas siguientes se ubican los flujos de agua para cada uno de los reactores con sus diferentes tiempos de arranque, los flujos se obtuvieron a través del programa PI, con el tiempo de retraso se realizo un análisis secuencial de los flujos por medio de las graficas del programa, obteniendo así 5 valores estándar para los reactores. En la tabla 4 se sombrearon los primeros ciclos de polimerización cumplido por los cinco reactores de manera de ilustrar la secuencia de los caudales de agua de enfriamiento para los cinco reactores en cada intervalo de tiempo transcurrido, de esa forma se continuó sucesivamente la misma secuencia hasta obtener datos de caudales para un total de cuarenta y ocho horas (48:00) correspondientes a los dos (2) días de operación seleccionados.



En la sexta columna se ubica la sumatoria de los caudales a través del tiempo, en la representación de la hoja de calculo para cinco (5) reactores se pudo apreciar un consumo de agua de enfriamiento estable a partir de la quinta hora de funcionamiento, este comportamiento se debe a que en este instante ya han entrado en función los cinco reactores, a medida que un reactor termina su carga y disminuye su suministro de agua entra a otro reactor en operación manteniendo así el flujo de agua de enfriamiento total aproximadamente constante en el tiempo, el comportamiento normal resulto ser 4 reactores operando y uno en proceso de acondicionamiento para una nuevo ciclo de cargas. El flujo de agua de enfriamiento máximo para esta operación es de $1328,28 \text{ m}^3/\text{hr}$.



4.3 FASE III. Cuantificar los requerimientos máximos de Agua de Enfriamiento para un sexto reactor.

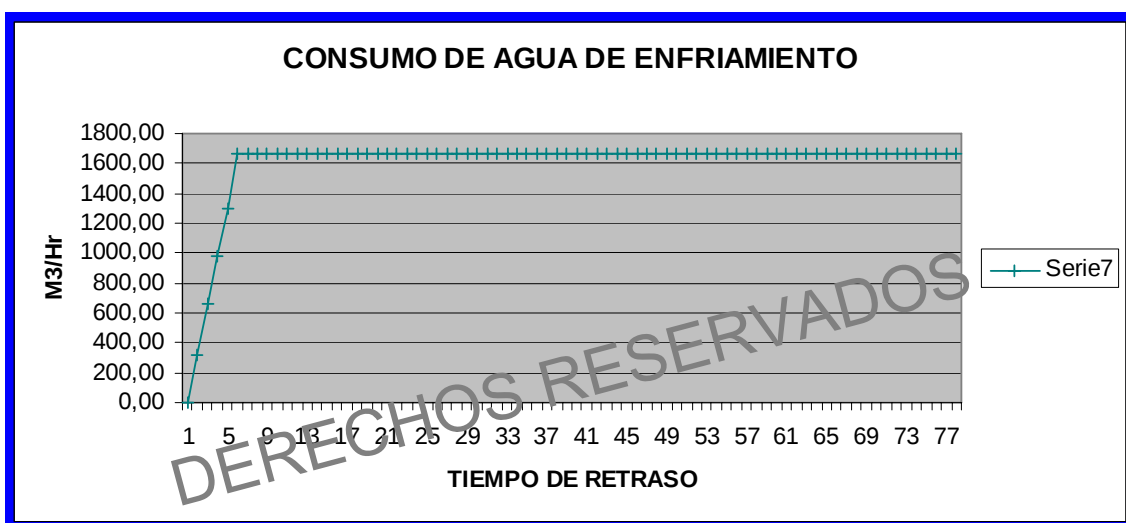
Resultados Obtenidos del consumo de agua para un reactor adicional:

Tabla 5

Tr	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	QT
0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
1,11	324,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	324,41
2,22	331,24	324,41	0,00	0,00	0,00	0,00	655,65
3,33	325,10	331,24	324,41	0,00	0,00	0,00	980,75
4,44	322,79	325,10	331,24	324,41	0,00	0,00	1303,54
5,55	356,77	322,79	325,10	331,24	324,41	0,00	1660,31
6,66	0,00	356,77	322,79	325,10	331,24	324,41	1660,31
7,77	324,41	0,00	356,77	322,79	325,10	331,24	1660,31
8,88	331,24	324,41	0,00	356,77	322,79	325,10	1660,31
9,99	325,10	331,24	324,41	0,00	356,77	322,79	1660,31
11,10	322,79	325,10	331,24	324,41	0,00	356,77	1660,31
12,21	356,77	322,79	325,10	331,24	324,41	0,00	1660,31
13,32	0,00	356,77	322,79	325,10	331,24	324,41	1660,31
14,43	324,41	0,00	356,77	322,79	325,10	331,24	1660,31
15,54	331,24	324,41	0,00	356,77	322,79	325,10	1660,31
16,65	325,10	331,24	324,41	0,00	356,77	322,79	1660,31
17,76	322,79	325,10	331,24	324,41	0,00	356,77	1660,31
18,87	356,77	322,79	325,10	331,24	324,41	0,00	1660,31
19,98	0,00	356,77	322,79	325,10	331,24	324,41	1660,31
21,09	324,41	0,00	356,77	322,79	325,10	331,24	1660,31
22,20	331,24	324,41	0,00	356,77	322,79	325,10	1660,31
23,31	325,10	331,24	324,41	0,00	356,77	322,79	1660,31
24,42	322,79	325,10	331,24	324,41	0,00	356,77	1660,31
25,53	356,77	322,79	325,10	331,24	324,41	0,00	1660,31
26,64	0,00	356,77	322,79	325,10	331,24	324,41	1660,31
27,75	324,41	0,00	356,77	322,79	325,10	331,24	1660,31
28,86	331,24	324,41	0,00	356,77	322,79	325,10	1660,31
29,97	325,10	331,24	324,41	0,00	356,77	322,79	1660,31
31,08	322,79	325,10	331,24	324,41	0,00	356,77	1660,31
32,19	356,77	322,79	325,10	331,24	324,41	0,00	1660,31
33,30	0,00	356,77	322,79	325,10	331,24	324,41	1660,31
34,41	324,41	0,00	356,77	322,79	325,10	331,24	1660,31
35,52	331,24	324,41	0,00	356,77	322,79	325,10	1660,31
36,63	325,10	331,24	324,41	0,00	356,77	322,79	1660,31
37,74	322,79	325,10	331,24	324,41	0,00	356,77	1660,31
38,85	356,77	322,79	325,10	331,24	324,41	0,00	1660,31
39,96	0,00	356,77	322,79	325,10	331,24	324,41	1660,31
41,07	324,41	0,00	356,77	322,79	325,10	331,24	1660,31
42,18	331,24	324,41	0,00	356,77	322,79	325,10	1660,31
43,29	325,10	331,24	324,41	0,00	356,77	322,79	1660,31
44,40	322,79	325,10	331,24	324,41	0,00	356,77	1660,31
45,51	356,77	322,79	325,10	331,24	324,41	0,00	1660,31
46,62	0,00	356,77	322,79	325,10	331,24	324,41	1660,31
47,73	324,41	0,00	356,77	322,79	325,10	331,24	1660,31



Grafico 2



Para la formulación del escenario para un sexto reactor se utilizó la misma hoja de cálculo al de los cinco (5) reactores, utilizando en la primera columna los tiempos nuevos de retraso, es decir el valor obtenido del ciclo total entre los seis (6) reactores, este tiempo de arranque entre un reactor y otro disminuye, en las siguientes 6 columnas se ubican los flujos de agua de enfriamiento correspondientes a cada reactor y en una séptima la sumatoria de los flujos en el tiempo.

Igualmente que en la tabla 4, se sombrea el primer ciclo de polimerización cumplido por los seis reactores para un intervalo de T_r de una hora con siete minutos (1:07) ilustrando un nuevo escenario de consumo de agua de enfriamiento debido a que se observó la secuencia de polimerización con un nuevo sexto reactor en operación. Seguidamente de los datos sombreados se observa la secuencia de los caudales para los 2 días seleccionados correspondientes a cuarenta y ocho horas (48:00).

En la representación de la puesta en marcha de un sexto reactor se apreció un aumento en el consumo de agua de enfriamiento llegando a una



cantidad de 1660,31 m³/hr, siendo el requerimiento de agua extra de 332,03 m³/hr por encima del flujo de agua de enfriamiento disponible para cinco (5) reactores, en su representación grafica se apreció que a partir de la sexta hora de operación el flujo total de agua de enfriamiento se mantiene constante igual que el escenario para cinco (5) reactores en operación, variando en que van a operar cinco (5) reactores y uno en acondicionamiento para un nuevo ciclo de cargas, esto significa que para cumplir con el requerimiento de un sexto reactor el flujo de agua de enfriamiento como se observa a través de los cálculos se debe incrementar un 25% aproximadamente con respecto al caudal máximo para cinco (5) reactores durante la secuencia normal de los ciclos. Esto hace que el flujo de agua sea constante.

4.4 Resumen de los Resultados

- El caudal de agua de enfriamiento requerido para 5 reactores en operación es de 1328,28m³/hr.
- El caudal de agua de enfriamiento requerido para un reactor adicional en operación es de 1660,31 m³/hr.

El comportamiento del flujo de agua de enfriamiento ilustrada en la grafica 1 para cinco (5) reactores se observó constante, de igual manera se comporto el flujo total de agua de enfriamiento para seis (6) reactores, ver grafica 2.



Recomendaciones

- El desfase de arranque de los reactores no debe ser menor al tiempo de retraso calculado (T_r).
- Para incorporar un nuevo reactor se recomienda evaluar la capacidad del sistema de agua de enfriamiento y poder suministrar una cantidad adicional de $360 \text{ m}^3/\text{hr}$.
- Desarrollar un estudio similar para las resinas de producción 115, 145 y 150.
- Se recomienda inspeccionar las chaquetas de los reactores debido a que se observaron manchas de corrosión en todos los reactores.



Conclusiones

- Las curvas del flujo de agua de enfriamiento contra tiempo y específicamente para la producción de resina 140 arrojadas por el programa PI son iguales para todos los reactores.
- El control de la temperatura de reacción se hace con dos sistemas de enfriamientos siendo estos el de agua de enfriamiento y el de amoníaco, el sistema de agua de enfriamiento necesita la ayuda del sistema de refrigeración para retirar con mayor rapidez el calor generado en la reacción.
- Se encontró que el ciclo de carga fue de seis (6) horas con cuarenta (40) minutos, incluyendo los tiempos muertos.
- El flujo de agua de enfriamiento requerido para cinco (5) reactores es de $1328,28 \text{ m}^3/\text{hr.}$ a la capacidad de diseño.
- El flujo de agua de enfriamiento requerido para seis (6) reactores es de $1660,31 \text{ m}^3/\text{hr.}$
- El control de la temperatura de reacción se hace regulando el flujo de amoníaco a través de los baffles internos en los reactores.



Bibliografía

1. E. L. Bauer. 1974. Chequeo de Medidas Inválidas. Manual de estadística para Químico. Primera edición Española. Editorial Alltambra.
2. S. Eugenio. 1998. Manual de Adiestramiento Operador Área Polimerización y Recobro. Sección 8. Págs. 5, 14, 21,32. PEQUIVEN
3. S. Eugenio. 2000. Prueba de Capacidad de la Planta de PVC II (Resina VINILEN 140). Pág.4. PEQUIVEN.
4. L. M. Sifontes. 2003. El trabajo de investigación. Primera edición. Caracas.
5. G. Córdoba. 2005. La Tesis y el Trabajo de Tesis. Recomendaciones Metodológicas para la elaboración de los trabajos de tesis. Editorial Limusa. México.



DERECHOS RESERVADOS

Anexos

**Anexo 1.** Método Estadístico de Medidas Inválidas para los dos (2) días seleccionados

METODO ESTADISTICO DE MEDIDAS INVALIDAS			
n	TIEMPO DEL CICLO	FECHA: 13/ 06/07	
1	6,53		
2	6,75		
3	6,5		
4	7		
5	7		
6	6,35		
7	6,53		
8	7		
9	7,21		
10	6,5		
11	7		
12	6,5		
13	6	VD ⁻	
14	6,5		
15	6		
16	6,21		
17	7,3	VD ⁺	
18	7		
PROM	6,66		

n	TIEMPO DEL CICLO	FECHA: 09/05/07
1	6,16	VD ⁻
2	6,25	
3	6,33	
4	6,28	
5	6,75	
6	6,53	
7	6,5	
8	7	
9	7,36	
10	8	VD ⁺
11	7,66	
12	6,5	
13	7	
14	7	
15	7,3	
16	7	
17	7,31	
18	7	
PROM	6,885	

$$R = VD^{+} - VD^{-}$$

$$D = VD - X$$

$$F = D/R$$

Si para n F>TI DESCARTAR

R = Rango

VD⁺ = Valor Dudoso Mayor

VD⁻ = Valor Dudoso Menor

X = Promedio

F = Fraccion

D = Deseado

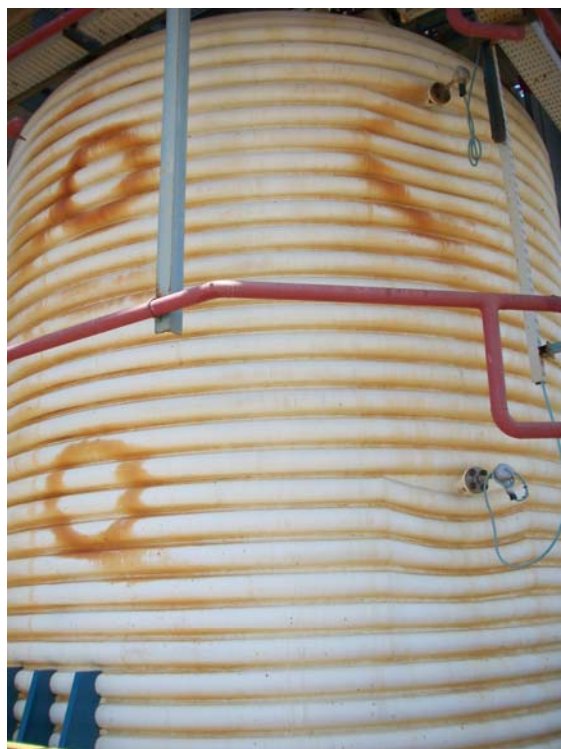
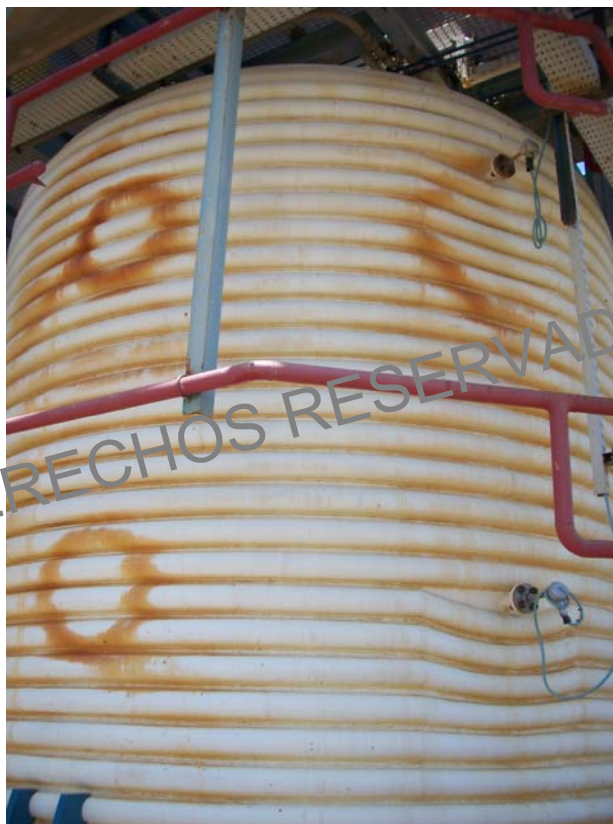


Anexo 2. Reactores de Polimerización





Anexo 3. Chaqueta de agua de enfriamiento





Anexo 4. Entrada de agua de enfriamiento a la chaqueta.





Anexo 5. Plano de Tuberías e Instrumentación de los reactores de Polimerización.

