

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **DISEÑO PRELIMINAR DE UN EQUIPO DE INYECCIÓN DE AISLANTE TÉRMICO DE POLIURETANO A BAJA PRESIÓN PARA INVERSIONES EN FIBRA C.A.**

Presentado ante la ilustre Universidad  
Central de Venezuela para optar al  
Título de Ingeniero Químico por el  
Bachiller:

VERDI R., Italo

Caracas, Noviembre de 2005

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

### **DISEÑO PRELIMINAR DE UN EQUIPO DE INYECCIÓN DE AISLANTE TÉRMICO DE POLIURETANO A BAJA PRESIÓN PARA INVERSIONES EN FIBRA C.A.**

**Tutor Académico:** Ing. Leonardo Oropeza

**Tutor Industrial:** Ing. José Manuel Álvarez

Presentado ante la ilustre Universidad  
Central de Venezuela para optar al  
Título de Ingeniero Químico por el  
Bachiller:

VERDI R., Italo

Caracas, Noviembre de 2005

**Verdi Ramos, Italo**

**DISEÑO PRELIMINAR DE UN EQUIPO DE INYECCIÓN DE AISLANTE TÉRMICO DE POLIURETANO A BAJA PRESIÓN PARA INVERSIONES EN FIBRA C.A.**

**Tutor Académico: Prof. Leonardo Oropeza. Tutor Industrial: Ing. José Manuel Álvarez. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Año 2005, 140 p.**

**Palabras Claves:** Poliuretano, inyectoras, polioli, diisocianato, bombas de engranajes, inversores de frecuencia.

**Resumen.** Este proyecto ha sido desarrollado con el objetivo de sentar las bases en el diseño de un equipo de Inyección de Poliuretano de baja densidad, que considere el control total sobre las variables que afectan las propiedades finales del producto, versatilidad para adaptarse al proceso ya instaurado en la empresa Inversiones en Fibra C.A. y reglamentos ambientales vigentes. Para lograr este cometido, en primera instancia se hizo una investigación sobre los materiales originarios del poliuretano que se encuentran en el mercado venezolano, y se seleccionó el polioli y el diisocianato Bayer ® como la mejor opción por su bajo potencial contaminante, por lo que se concentraron esfuerzos en diseñar un equipo que fuese capaz de utilizarlo y procesarlo para producir un poliuretano de excelente calidad. La primera etapa del diseño se inició definiendo los sistemas y unidades que debían estar presentes para maximizar tanto la seguridad de la inyectora como la calidad del producto, por lo que se implementaron ideas y equipos de última generación como bombas de engranaje múltiple, inversores de frecuencia y un avanzado sistema eléctrico y de control. De igual manera, se definieron todos los balances de masa, las líneas de proceso, equipos unitarios y variables que deben ser monitoreadas y manipuladas. En la segunda etapa se incorporaron elementos específicos dentro de

cada sistema general, se definió el funcionamiento del sistema de control en base a un controlador lógico programable; que tomará decisiones a partir de la información recopilada por una serie de sensores y medidores que se encuentran ubicados en los puntos clave del proceso. Además, Se detalló el sistema eléctrico destacando cada unidad asociada y función a ocupar dentro del equipo de inyección y finalmente se explica el trabajo detallado del sistema neumático y su importancia a nivel de proceso. En la tercera etapa se puntualiza capacidad, marca y tipo de todos los componentes del equipo de inyección de poliuretano, definiendo así que unidades deben ser buscadas en el mercado nacional o internacional en el momento de la construcción del mismo, de igual forma se puntualizaron especificaciones técnicas de cada componente. Finalmente en la cuarta etapa se definieron las medidas de seguridad que deben ser cumplidas en el momento de construcción y uso de la inyectora, además se desarrolla un Diagrama de Tubería e Instrumentación (DTI) en donde se destacan todas las unidades presentes en el proceso, controles pertinentes y líneas de importancia. Luego de cumplida cada una de las fases se obtuvo como resultado un diseño que es capaz de producir un poliuretano rígido de baja densidad de excelente calidad, cumpliendo de igual manera con todos los reglamentos internacionales vigentes en lo concerniente a contaminación por clorofluorocarbonos (CFC); sin embargo, a partir del trabajo realizado en este proyecto se deben realizar nuevas investigaciones y labores en el área mecánica y eléctrica de manera de conseguir un diseño detallado de cada equipo asociado. Finalmente se puede documentar que se cumplieron todos los objetivos fijados inicialmente, enmarcados en producir un equipo de bajo costo, fácil mantenimiento y versátil, con la visión de ser utilizado inmediatamente en la empresa Inversiones en Fibra C.A. y posteriormente ser vendido en el mercado nacional y extranjero.

Caracas, Noviembre de 2005.

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, evaluando el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Italo Verdi Ramos., titulado:

**DISEÑO PRELIMINAR DE UN EQUIPO DE INYECCIÓN DE AISLANTE  
TÉRMICO DE POLIURETANO A BAJA PRESIÓN PARA INVERSIONES  
EN FIBRA C.A.**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudio conducente al Título de Ingeniero Químico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Profa. Anúbis Pérez  
Jurado

Prof. Armando Viscaya  
Jurado

Prof. Leonardo Oropeza  
Tutor Académico

Ing. José Manuel Álvarez  
Tutor Industrial

*A todas las personas que me acompañan día a día*

*Y especialmente a mi mamá y mi papá.*

---

## Agradecimientos

A todas las personas que de una u otra manera trabajaron y trabajan en este proyecto con el firme objetivo que se transforme en realidad.

A todo el cuerpo de profesores de la escuela de Ingeniería Química de la UCV, por regalarnos sus conocimientos y estar ahí siempre.

Muchas gracias a mi tutor académico Leonardo Oropeza por guiarme en los detalles que llevan a esta tesis a un nivel universitario, y a mi tutor industrial José Manuel Álvarez por confiar y creer en lo que soy capaz.

A mis amigos universitarios, los del 4to semestre hacia arriba, entre todos hicimos la vida universitaria el mejor momento de nuestras vidas, confié en que cada uno de nosotros será indetenible.

Especialmente a Areanella León por estar increíblemente conmigo desde el primer día de universidad, mil gracias por las risas, consejos y los momentos que recordaré toda mi vida.

A Bettina por darle sentido a todo, por quererme y dejarse querer, por hacerme cambiar poco a poco y convertirme una persona más completa, por hacerme realmente feliz desde el 21 de enero del 2003.

A toda mi familia, especialmente a mis hermanas Katty y Wendy por creer infinitamente en mí, y apoyarme incesablemente en todo lo que hago.

Gracias especiales a la mejor madre por estar conmigo toda la vida y estar segura que lo haré bien siempre, gracias por existir.

A mi padre, aquí esta otro paso cumplido en nuestros sueños.

---

---

## Índice General

<b>Contenido</b>	<b>Pag.</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	XIII
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	XVI
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	17
<b>OBJETIVOS</b>	19
Objetivo General	19
Objetivos Específicos	19
<b>MARCO TEÓRICO</b>	20
<b>Capítulo 1. Polímeros</b>	20
1.1. Aspectos Generales	20
1.2. Tipos de Polímeros	21
1.2.1. Diferencias en su Conformación	21
1.2.2. Diferencias en sus Propiedades Físicas	22
1.2.3. Diferencias en su Estructura	25
1.3. Reacciones de Polimerización	26
1.3.1. Polimerización por Adición	26
1.3.2. Polimerización por Condensación	26
1.3.3. Polimerización iónica	27
1.3.4. Polimerización por Coordinación	27
1.4. Procesos de Polimerización	28
1.4.1. Polimerización en Suspensión	28
1.4.2. Polimerización en Emulsión	28
1.4.3. Polimerización en Masa	28
1.4.4. Polimerización en Bloque o Injertos	28
1.5. Propiedades Físicas	28
1.5.1. Temperatura de Transición Vítrea	28
1.5.2. Resistencia	30
1.5.3. Elongación	31



---

1.5.4. Dureza	32
1.5.5. Cristalización de Polímeros	34
1.5.5.1 Flexibilidad de las moléculas:	35
1.5.5.2. Condiciones de la Recristalización:	35
1.5.5.2.1. Factores que determinan el grado de Cristalinidad	35
1.6. Fuerzas de Atracción Intermolecular	37
1.6.1. Fuerzas de Van der Waals	38
1.6.2. Fuerzas de Atracción de Dipolos Permanentes	39
1.6.3. Enlaces de Hidrógeno	39
<b>Capítulo 2. Poliuretano</b>	<b>40</b>
2.1. Aspectos Generales	40
2.2. Compuestos Originarios	41
2.2.1. Isocianato	41
2.2.2. Polioliol	43
2.2.3. Catalizadores	44
2.2.4. Aditivos	45
2.3. Mecanismo General de Formación del Poliuretano	46
<b>Capítulo 3. Poliuretano Rígido de Baja Densidad (LDPU)</b>	<b>50</b>
3.1. LDPU: Aislante Térmico	50
3.2. Procesos de Elaboración	51
3.3. Propiedades Generales	52
<b>Capítulo 4. Equipos de Inyección de Poliuretano</b>	<b>54</b>
4.1. Antecedentes	54
4.2. Equipos de Inyección de Poliuretano: Composición y Sistemas	54
4.3. Problemas Generales de los Equipos de Inyección de Poliuretano	57
<b>Capítulo 5. Metodología</b>	<b>59</b>
5.1. Directrices del diseño	60
5.1.1. Proceso y Producción	60

---

5.1.2. Control y Monitoreo de Variables	61
5.2.3. Seguridad	62
5.1.4. Materiales de Construcción	62
5.2. Resultados del Diseño Preliminar	63
5.2.1. Diagrama de Bloques	63
5.2.1. Esquematización de Sistemas	64
5.2.2. Especificación de Reactivos	64
5.2.3. Especificación de Producto	64
5.2.4. Desarrollo de Diagramas	65
5.2.5. Medidas de Seguridad	65
<b>Capítulo 6. Resultados del Diseño Preliminar del Equipo de</b>	<b>66</b>
<b>    Inyección de Poliuretano</b>	<b>66</b>
6.1. Innovaciones y Cambios Planteados en el Equipo de Inyección	67
6.2. Diagrama de Bloques	69
6.2.1. Estación de Llenado	71
6.2.2. Estación de Almacenamiento	73
6.2.3. Estación de Bombeo	73
6.2.3.1. Bombas Seleccionadas	75
6.2.3.2. Control e Inversores de Frecuencia	76
6.2.3.3. Mantenimiento de bombas	76
6.2.4. Ciclo de Refrigeración	78
6.2.4.1. Refrigerador	78
6.2.4.2. Intercambio de Calor	79
6.2.5. Cabezal de Inyección	81
6.2.6. Sistema de Limpieza	81
6.2.6.1. Solventes	82
6.2.6.2. Sistema de válvulas	83
6.2.6.3. Control del Sistema de Limpieza	
6.3. Sistema Eléctrico	84
6.3.1. Requerimientos Energéticos	84

---

6.3.2. Estructura General	85
6.3.2.1. Etapa de Recepción	86
6.3.2.2. Etapa de Distribución	87
6.3.2.3. Etapa de Consumo	88
6.3.3. Equipos Asociados al Sistema eléctrico	89
6.3.3.1. Contactor eléctrico: Telemecanique TeSys K	89
6.3.3.2. Motores Eléctricos: WEG IP55 Dahlander 4/2 polos Par Variable	90
6.3.3.3. Conectores y Cables Eléctrico: Merlin Gerin Five-Plug Connector	91
6.4. Sistema de Control	92
6.4.1. Filosofía de Control	92
6.4.2. Estructura General	93
6.4.3. Equipos Asociados al Sistema de Control	96
6.4.3.1. Controlador Lógico Programable o CLP: Solaris S9000	96
6.4.3.2. Inversores de Frecuencia: WEG CFW08 plus	98
6.4.3.3. Presostatos: Markare MTP-100	99
6.4.3.4. Termopares: Markare TC-110	100
6.5. Sistema Neumático	101
6.5.1. Requerimientos Neumáticos	102
6.5.2. Estructura General	102
6.6. Especificaciones de Reactivos	105
6.6.1. Bayer Desmodur® 44V20L	106
6.6.2. Bayer Desmophen® 1150	107
6.7. Especificaciones de Producto	108
6.8. Diagrama de Flujo de Proceso	109

---

6.8.1. Balance de Masa	113
6.9. Diagrama de Tuberías e Instrumentación	115
<b>Capítulo 7. Sistemas de Seguridad</b>	<b>119</b>
7.1. Sistema Eléctrico	119
7.1.1. Panel eléctrico	119
7.1.2. Contactores o Relays	120
7.1.3. Cableado Estructural	120
7.1.4. Sistema de Ventilación	121
7.2. Sistema Neumático	122
7.3. Ubicación y Composición de Unidades	123
7.3.1. Materiales de Construcción	123
7.3.2. Ubicación de Válvulas	124
7.3.3. Puntos de Descompresión o Alivio	125
7.4. Sensores e Indicadores Electrónicos	126
7.4.1. Termopares	126
7.4.2. Manómetros	127
<b>Conclusiones</b>	<b>129</b>
<b>Recomendaciones</b>	<b>131</b>
<b>Referencias Bibliográficas</b>	<b>132</b>
<b>Anexos</b>	<b>135</b>

---

## Índice De Figuras

<b>Figura</b>	<b>Pag.</b>
Fig. N° 1. Polietileno (PE). Homopolímero	20
Fig. N° 2. Poli[estireno-butadieno-estireno] (SBS Rubber). Copolímero de Bloque	20
Fig. N° 3. Poliestireno (PS). Polímero Termoplástico	21
Fig. N° 4. Resina Epóxica. Polímero Termofijo	22
Fig. N° 5. Neopreno o Policloropreno (PCP). Polímero Elastómero	23
Fig. N° 6. Estructura polimérica amorfa y cristalina	23
Fig. N° 7. Resistencias más comunes calculadas sobre polímeros	29
Fig. N° 8. Relación de longitudes en muestra sometida a elongación	30
Fig. N° 9. Gráfico Resistencia vs. Estiramiento. Representación Analítica de la Dureza	31
Fig. N° 10. Gráfico Resistencia vs. Estiramiento. Diferenciación Dureza y Resistencia	31
Fig. N° 11. Conformación Alternada y Eclipsada de una cadena de Polietileno	33
Fig. N° 12. Tipo de enlaces provocados por las fuerza de Van der Waals	37
Fig. N° 13. Estructura química básica del poliuretano	38
Fig. N° 14. Estructura del 2,4 - 2,6 de Diisocianato de Tolueno (TDI)	40
Fig. N° 15. Estructura del Diisocianato 4,4-Difenilmetano (MDI)	40
Fig. N° 16. Estructura del Diisocianato de Hexametieno (HDI)	41
Fig. N° 17. Estructura del (A) Diisocianato de para-fenileno (PPDI) (B) Diisocianato de meta-fenileno (MPDI) (C) Diisocianato de 1-cloro-2,4-fenileno (D) Diisocianato de 3,3-dimetoxi-4,4-bisfenileno	41
Fig. N° 18. Estructura básica de un Polioli	42
Fig. N° 19. Estructura de la Diamina de Trietileno (DABCO)	42
Fig. N° 20. Estructuras básicas presentes en la reacción de formación del poliuretano	44
Fig. N° 21. Ataque del catalizador (DABCO) sobre el polioli	45

---

Fig. N° 22. Unión del complejo DABCO-Poliol con el diisocianato	45
Fig. N° 23. Salida del catalizador DABCO. Formación de complejo Poliol-Diisocianato	46
Fig. N° 24. Trímero de Uretanos y molécula compleja de Poliuretano	47
Fig. N° 25. Espuma rígida de poliuretano (LDPU)	48
Fig. N° 26. (A)LDPU con alto porcentaje de celdas cerradas. (B)LDPU con bajo porcentaje de celdas cerradas	51
Fig. N° 27. Diagrama de bloques ilustrativos de un equipo de inyección de poliuretano	53
Fig. N° 28. Equipos de Inyección de Poliuretano Rígido de Baja Densidad ofrecidos en el mercado	55
Fig. N° 29. Diagrama básico de fases presentes en un equipo de inyección de poliuretano	63
Fig. N° 30. Diagrama de bloques de un equipo de inyección de poliuretano.	64
Fig. N° 31. Diagrama básico de funcionamiento de una bomba de engranajes	69
Fig. N° 32. Definición básica del ciclo de refrigeración	72
Fig. N° 33. Definición básica de componentes y organización del cabezal de mezclado	74
Fig. N° 34. Estructura General del Sistema Eléctrico	79
Fig. N° 35. Contactor eléctrico Telemecanique TeSys K	83
Fig. N° 36. Motor eléctrico WEG IP55	85
Fig. N° 37. Diagrama general del sistema de control	88
Fig. N° 38. Controlador Lógico Programable Solari S9000	91
Fig. N° 39. Inversor de frecuencia WEG CFW08 Plus	92
Fig. N° 40. Presostato MTP-100 Markare	94
Fig. N° 41. Termopar TC-110 Markare	95
Fig. N° 42. Estructura Básica del Sistema Neumático	97
Fig. N° 43. Diagrama de Flujo de Procesos	
(A) Equipo de Inyección	114
(B) Ciclo de Agua	115
(C) Ciclo de Limpieza (Solvente/Aire)	116
Fig. N° 44. Diagrama de Tuberías e Instrumentación	
(A) Equipo de Inyección	120

---

---

(B) Ciclo de Agua	121
(C) Ciclo de Limpieza (Solvente/Aire)	122

---

## Índice De Tablas

<b>Tabla</b>	<b>Pag.</b>
Tabla N° 1. Propiedades del Polietileno en sus distintas variedades	34
Tabla N° 2. Propiedades y estructura de distintos hidrocarburos	36
Tabla N° 3. Energía requerida para romper cada enlace producidos por diferentes fuerzas de atracción	37
Tabla N° 4. Matriz de decisión comparativa entre los compuestos originarios.	109
Tabla N° 5. Propiedades del polidiisocianto Bayer Desmodur® VL	110
Tabla N° 6. Características generales del polidiisocianto Bayer Desmodur® VL	110
Tabla N° 7. Propiedades del polioliol Bayer Desmophen® 1150	111
Tabla N° 8. Características generales del polioliol Bayer Desmophen® 1150	111
Tabla N° 9. Propiedades típicas de producto final. Poliuretano Rígido de baja densidad	112
Tabla N° 10. Balance de Masa General del Proceso.	117



---

---

## Planteamiento Del Problema

Desde hace algunos años a raíz de la firma del Protocolo de Montreal, los estados y sociedades en general se han interesado por disminuir progresiva y definitivamente todas aquellas emisiones causantes de la degeneración de la capa de ozono. Específicamente las producidas por los CFC o clorofluorocarburos, muy utilizados en la industria de la refrigeración y producción de polímeros. El cambio de refrigerantes de tipo CFC-11 y CFC-12 a gas HFC-134a aunque ha sido un proceso lento, ha rendido frutos, tanto que en la actualidad un altísimo porcentaje de los equipos nuevos son producidos con esta sustancia, y muchos preexistentes se les han realizados adaptaciones para que utilicen el nuevo compuesto.

En el caso de los polímeros sintéticos también se dictaron nuevas normas ambientales, por ejemplo para el poliuretano, se determinó que se debía eliminar el uso de CFC-12 y otros químicos como agentes soplantes en las espumas rígidas aislantes, este cambio debía realizarse progresivamente dentro de un plazo de 5 años. Bajo este marco, se definió al HFC-141b y CO<sub>2</sub> como sustitutos menos contaminantes, sin embargo, al utilizar estos compuestos, muchos de los equipos utilizados con anterioridad para la producción de poliuretano no podían adaptarse, o en algunos casos resultaba muy costoso. Este hecho motivó a que el cambio no se realizara totalmente en países donde la industria de los polímeros se encuentra mas deprimida y las regulaciones ambientales son menos estrictas.

A pesar de que se realizaron esfuerzos internacionales para financiar equipos de nueva generación, esta ayuda no fue correctamente difundida, por lo que aún se utilizan en muchos países, incluyendo Venezuela, equipos de inyección de poliuretano muy contaminantes y dañinos para la humanidad en general. Otro punto importante es que a medida que la tecnología involucrada en los polímeros avanza, las inyectoras se hacen más específicas, por lo que muchas plantas industriales se ven obligadas a utilizar sistemas que no se acomodan eficazmente dentro del proceso de producción.

---

Es importante destacar que los equipos de inyección de poliuretano que se ofrecen en el mercado venezolano, que en su mayoría son de fabricación brasilera, además de presentar problemas en la adaptación a los procesos actuales, han demostrado fallas en cuanto a la calidad de sus componentes y necesidad de un mantenimiento frecuente que alteran en muchos casos la producción diaria. Es por esta razón, que muchas empresas han tratado de buscar soluciones en constructores europeos, pero el costo asociado es injustificable para un equipo que en realidad no representará en general un gran aumento en la producción.

Es por esta razón, que Inversiones en Fibra C.A. propone crear su propio diseño para un equipo de inyección de poliuretano de baja densidad, la cual tenga como directrices básicas, la adaptación al proceso actual de la planta, calidad del producto final y fácil mantenimiento del equipo, teniendo como firme intención crear varias inyectoras para la empresa, y posteriormente colocarlas a la venta tanto en el país como fuera de él.

El equipo planteado deberá cumplir de manera estricta todas las regulaciones ambientales internacionales, de manera que pueda ser ofrecido en el mercado fácilmente, promocionando calidad, adaptabilidad a bajo costo, mientras que se disminuyen de forma importante las emisiones dañinas a la atmósfera.

Es importante destacar, que es primera vez que se plantea este reto en nuestro país, siendo Brasil el único territorio suramericano que realiza este tipo de equipos, por lo que es un aliciente importante el hecho de crearlo enteramente en Venezuela, con el objetivo de que en el futuro se puedan cumplir todos los reglamentos ambientales, haciendo uso de los reactivos de nueva generación, apoyándose siempre en mas de 30 años de experiencia que tiene Inversiones en Fibra C.A. en la producción de poliuretano.

---

---

## Objetivos

A continuación se presentan los objetivos perseguidos con este Trabajo Especial de Grado:

### **Objetivo General:**

- Realizar un diseño preliminar de un equipo de Inyección de Poliuretano de baja densidad que asiente las bases necesarias para su posterior construcción, considerando el control total sobre las variables que afectan las propiedades finales del producto, versatilidad para adaptarse al proceso ya instaurado en la empresa y reglamentos ambientales vigentes.

### **Objetivos Específicos:**

- Evaluar el funcionamiento actual de los Equipos de Inyección de Poliuretano presentes en la empresa, como también las diferentes opciones ofrecidas en el mercado.

- Identificar y caracterizar las mejoras ha introducir en el equipo de inyección que conducirán a un producto final con mejores propiedades de aislamiento térmico.

- Definir las diferencias que caracterizan al equipo de inyección de poliuretano sobre los diseños utilizados con anterioridad.

- Definir un sistema de control eficaz para aquellas variables de proceso que afecten la calidad del producto, como también puntualizar los equipos asociados para el correcto funcionamiento del mismo.

- Realizar un Diagrama de Flujo de Proceso y un Diagrama de Tuberías e Instrumentación que sirva como base para el posterior desarrollo de planos y tablas de especificaciones necesarias para la construcción del equipo de inyección.

- Plantear el diseño de un equipo de inyección capaz de trabajar con nuevos reactivos originarios del poliuretano, eliminando de esta manera emisiones contaminantes de CFC-12.

---

## Marco Teórico

### **Capítulo 1. Polímeros**

#### **1.1. Aspectos Generales**

Un polímero es una sustancia cuyas moléculas son múltiplos de unidades de peso molecular mas bajo. A esta unidad se le denomina monómero y esta conforma la esencia de la macromolécula en su totalidad. Dependiendo de la cantidad de monómeros sucesivamente enlazados se tienen dímeros, trímeros, tetrámeros, etc. El término polímero designa una combinación de un número alto y no especificado de unidades.

Un polímero no tiene la necesidad de constar de moléculas individuales de igual peso molecular, como tampoco de que tengan todas las mismas composiciones químicas y estructuras moleculares. Hay polímeros naturales como ciertas proteínas globulares y polícarbohidratos, cuyas moléculas individuales son idénticas en estructura molecular; pero la gran mayoría de los polímeros sintéticos y naturales importantes son mezclas de componentes poliméricos homólogos. La pequeña variabilidad en la composición química y en la estructura molecular es el resultado de la presencia de grupos finales, ramas ocasionales, variaciones en la orientación de las unidades y a la irregularidad en el orden en el que se presentan los diferentes monómeros. (Warson, 1997)

La característica que distingue a los polímeros de los materiales constituidos por moléculas de tamaño normal son sus propiedades mecánicas. En general, los polímeros tienen una muy buena resistencia debido a que las grandes cadenas moleculares se atraen entre si. Las fuerzas de atracción intermoleculares dependen de la composición química del polímero y pueden ser de varias clases. La que ejerce mayor atracción y tiene mayor impacto en las propiedades finales del polímero son las denominadas Fuerzas de Van der Waals. (Agopyan, 2002)

---

El consumo de los polímeros sintéticos ha aumentado constantemente desde su descubrimiento. Estos compuestos petroquímicos han sustituido parcial y a veces totalmente a muchos materiales naturales como la madera, el algodón, el papel y el acero. Entre los factores que han favorecido al crecimiento del mercado de los plásticos son los precios competitivos y a veces inferiores a los de los productos naturales, y el hecho de que el petróleo ofrece una mayor disponibilidad de materiales sintéticos que otras fuentes biológicas.

Los usos de los polímeros en general son incuantificables, carece de sentido puntualizar donde son utilizados mas frecuentemente, sin embargo, se debe hacer notar que estos revolucionaron la industria y la sociedad en general. En la actualidad se están desarrollando nuevos tipos de polímeros como los policarbonatos, cuyas propiedades abrirán nuevos horizontes para la creación de productos y generación de energía alternativa, este campo a pesar de estarse desarrollando por mas de 100 años está en sus inicios, con el tiempo se dejarán a un lado los polímeros derivados del petróleo y se alzarán los de origen biológicos o híbridos. (Warson, 1997)

## **1.2. Tipos de Polímeros**

Existen diversas formas de clasificar a los polímeros según sea el criterio a discriminar, puede ser por su conformación, tipo de monómeros, propiedades, entre otras, a continuación se clasificarán los polímeros utilizando los criterios de mayor interés para el trabajo de investigación, vale destacar que solo se tomarán en cuenta las macromoléculas de origen petroquímico, dejando aun lado las biológicas o híbridas:

### **1.2.1. Diferencias en su Conformación**

**Homopolímeros:** son aquellos en los que la estructura base (monómero) se repite de manera continua, sin interrupciones o intersecciones, es decir, toda la macromolécula esta formada por la interconexión del mismo monómero.

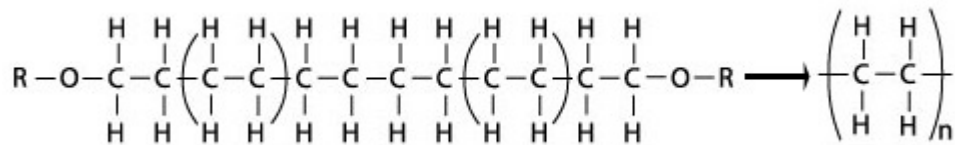


Fig. N° 1. Polietileno (PE). Homopolímero.

**Copolímeros:** tipo de polímero en la cual existen dos o mas tipos de monómeros conformando la estructura de la macromolécula, estos pueden estar organizados de manera aleatoria o siguiendo un patrón específico. Evidentemente al variar las proporciones y tipo de monómeros, las propiedades del polímero cambiarán de igual forma, de manera que el proceso de copolimerización permite hasta cierto punto fabricar macromoléculas a la medida. <sup>(Warson, 1997)</sup>

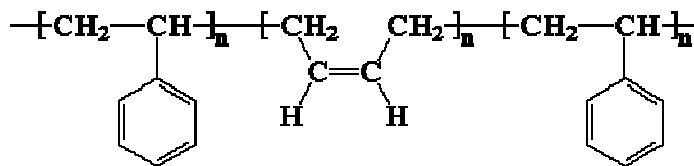


Fig. N° 2. Poli[estireno-butadieno-estireno] (SBS Rubber). Copolímero de Bloque.

### 1.2.2. Diferencias en sus Propiedades Físicas

**Polímeros Termoplásticos:** son polímeros de cadenas largas que al registrar un aumento de temperatura se reblandecen y pueden moldearse a presión. Este valor límite que es diferente para cada polímero se le denomina *Temperatura de Transición Vítrea (Tg)* y representa la cuantía justa en la cual el polímero pasa de estado rígido a maleable, esta puede estar por encima o por debajo de la temperatura ambiente dependiendo de la conformación de la macromolécula.

Dentro de este grupo se puede distinguir entre termoplásticos *Amorfos* y *Cristalinos*. La diferencia radica en que los cristalinos, a la vuelta al estado sólido tras el aporte de calor, se repliegan intentando ocupar el mínimo espacio posible; no así en el caso de los amorfos que lo hacen de una forma mucho más anárquica. Aún más, en el caso de los cristalinos la contracción es *isotrópica* (constante en las 3 dimensiones del espacio), mientras que en el caso de los amorfos la contracción es

---

*anisotrópica* (la contracción es mucho mayor en el sentido de longitudinal que transversal).

No obstante, no existe ningún termoplástico que sea totalmente cristalino o amorfo, por lo que siempre coexisten porciones de cada tipo, predominando siempre una mayoritaria que define la clasificación del material. Como es lógico, este comportamiento microscópico tiene sus consecuencias en las características finales del polímero.

Los polímeros termoplásticos representan el 80% del consumo total. Entre los principales se encuentran el Polietileno (PE), Polipropileno (PP), Polivinilcloruro (PVC) y Poliestireno (PS). <sup>(Agopyan, 2002)</sup>

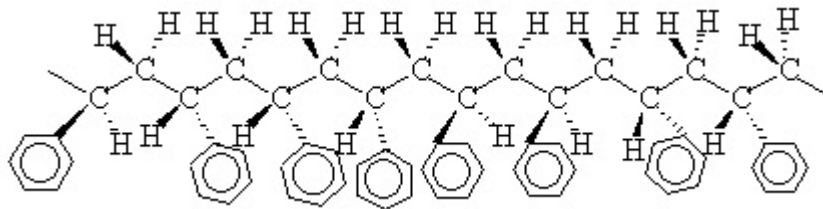


Fig. N° 3. Poliestireno (PS). Polímero Termoplástico.

**Polímeros Termofijos:** este tipo de materiales se caracterizan por tener cadenas entrecruzadas de gran tamaño, formando una resina con una estructura tridimensional que no se funde a altas temperaturas. Polimerizan irreversiblemente bajo calor o presión formando una masa rígida y dura, por lo que su rango de uso viene delimitado por esta característica, favoreciendo la resistencia pero disminuyendo la versatilidad y posibilidad de reutilización.

Las uniones cruzadas que caracterizan este tipo de polímeros son provocadas mediante distintos agentes, como es el caso de los compuestos Diepoxi y Diaminas en la producción de las resinas epóxicas. Estos cruces conforman una estructura en forma de red que favorece en gran parte la resistencia, proporcionando características similares a la de los metales. Casi todas las resinas epóxicas comerciales se hacen a partir del bisfenol A y la epiclorhidrina, y entre sus propiedades más importantes se encuentran: alta resistencia a temperaturas de

---

hasta 500°C, elevada adherencia a superficies metálicas y excelente resistencia a la corrosión derivada de productos químicos.

Los polímeros termofijos pueden reforzarse para aumentar su calidad, dureza y resistencia a la corrosión. El material de refuerzo más usado es la fibra de vidrio que se mezcla con resina poliéster, esta asociación conforma el 90 % de los polímeros termofijos utilizados en la industria. Este tipo de resina se desarrolla principalmente a partir de los anhídridos maléico y ftálico con propilenglicol, destacando en algunos casos uniones cruzadas con estireno. El uso de estas resinas con refuerzo de fibra de vidrio ha reemplazado en muchas aplicaciones a materiales como la madera, acero al carbón, vidrio o acrílico, cemento o yeso. Las industrias que más la utilizan son la automotriz, marina y la construcción. (Agopyan, 2002)

También se pueden catalogar como polímeros termofijos a las resinas fenólicas, algunos tipos de poliuretano y poliurea.

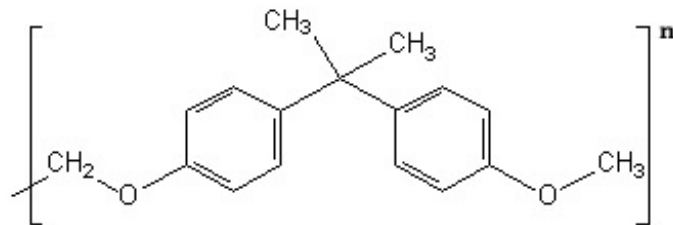


Fig. N° 4. Resina Epóxica. Polímero Termofijo.

**Elastómeros:** este tipo de polímeros se caracterizan por una gran elasticidad en un amplio rango de temperaturas. La estructura molecular es similar a la de los termoplásticos amorfos, con la diferencia que después del moldeo las macromoléculas se unen químicamente generando una estructura reticular floja y tridimensional, que en algunos casos se le llama vulcanización. También se debe destacar que más allá de la temperatura de transición vítrea, sufren de una desnaturalización por lo que pierden sus características principales y utilidad comercial. (Warson, 1997)



---

La vulcanización mas conocida consiste en añadir pequeñas cantidades de azufre al polímero para mejorar sus propiedades físicas generales. Debido a los puntos de reticulación, los elastómeros no pueden fundirse y en presencia de solventes suelen expandirse. Entre los más conocidos están la Silicona, Neopreno, Viton y algunos tipos de Poliuretano.

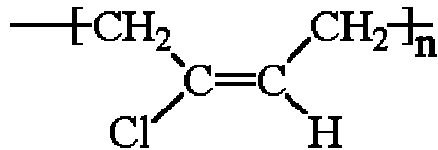


Fig. N° 5. Neopreno o Policloropreno (PCP). Polímero Elastómero.

### 1.2.3. Diferencias en su Estructura

**Polímeros Cristalinos:** se denomina a una macromolécula de esta forma, cuando las estructuras elementales se encuentran ordenadas en las tres dimensiones, es decir, presentan un comportamiento no anárquico que finalmente dictaminará las propiedades del polímero. Este tipo de ordenamiento da origen a muestras de alta densidad, alta resistencia, poca transparencia y alto punto de fusión. El Polietileno de alta densidad y el Kevlar son ejemplos de este tipo de estructura.

**Polímeros Amorfos:** al contrario que los cristalinos, estos presentan una estructura desordenada y entrecruzada, lo que causa una disminución de la densidad al existir mayor volumen libre. Suelen ser transparentes, de baja resistencia y con bajo punto de fusión. Se debe destacar que no existen polímeros completamente amorfos o cristalinos. (Teraoka, 2002)

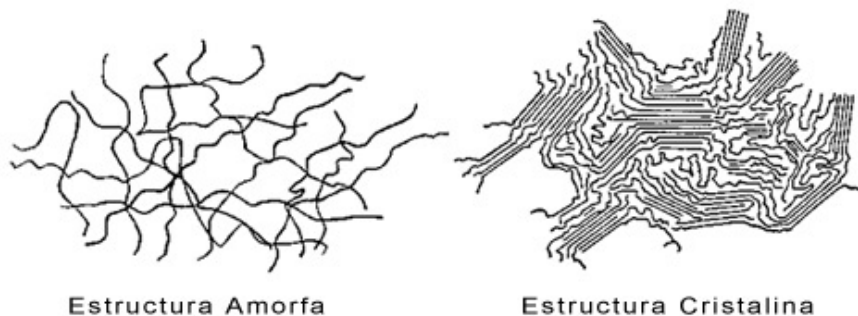


Fig. N° 6. Estructura polimérica amorfa y cristalina.

---

Para efectos prácticos se pueden distinguir las siguientes posibilidades de organización:

- Estado Cristalino Ideal
- Estado Idealmente Desordenado o Amorfo
- Estado de Orden Intermedio:

### **1.3. Reacciones de Polimerización**

Existen diversos procesos para ensamblar polímeros a partir de las moléculas elementales llamadas monómeros. Su clasificación se basa principalmente en el mecanismo por el cual se unen las estructuras más simples, o en las condiciones experimentales de cada reacción. A continuación se realizará una descripción breve de las características que rodean cada mecanismo de reacción. Para facilitar su rápida comprensión solo se puntualizarán las cualidades más importantes de cada uno de ellos.

#### **1.3.1. Polimerización por Adición**

Tal como su nombre lo indica este mecanismo se basa en la suma progresiva de monómeros de un mismo tipo, por apertura de un doble enlace sin eliminación de ninguna parte de las moléculas iniciales, existen diferentes razones y formas por las cuales se produce la unión, sin embargo, siempre se llevan a cabo tres etapas. La primera de ellas es el *Inicio*, y representa el comienzo de la adición, luego la etapa de *Polimerización*, momento en el cual se forma la molécula y finalmente el *Cierre* del polímero. (Warson, 1997)

#### **1.3.2. Polimerización por Condensación**

En general comparte muchas de las características del mecanismo de adición, sin embargo, en este tipo de polimerización se presentan desprendimientos o eliminación de parte de las moléculas esenciales, es decir, algunos átomos del

---

monómero no pasan a formar parte del polímero final. También es importante destacar que la polimerización por condensación ocurre por etapas, y en la mayoría de los casos debido a la reacción entre grupos funcionales diferentes. <sup>(Warson, 1997)</sup>

### 1.3.3. Polimerización iónica

Puede ser catiónica o aniónica, según la especie en crecimiento sea un carbocatión o un carboanión respectivamente. En general, los monómeros con grupos dadores de electrones ligados a los carbonos, y que forman parte de un doble enlace, forman un carbocatión estable y polimerizan fácilmente con catalizadores catiónicos o aniónicos tales como  $\text{BF}_3$ ,  $\text{TiCl}_4$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{SnCl}_4$ . La reacción necesita de un donador de protones o de un catión para que sea iniciada. <sup>(Warson, 1997)</sup>

### 1.3.4. Polimerización por Coordinación

Este tipo de polimerización tuvo un gran desarrollo a partir de los descubrimientos de Ziegler y Natta en la década del 50 (ganaron el premio Nobel por este desarrollo). La gran importancia del uso de catalizadores de coordinación radica en que permite obtener polímeros con una estereoquímica definida, lo cual significó un gran avance en el desarrollo de propiedades, antes imposibles de obtener con monómeros tales como el etileno, propileno o estireno.

Natta introdujo el concepto de tacticidad definiendo 3 formas de isomería espacial:

**Polímero Isotáctico:** todos los carbonos asimétricos presentan la misma configuración, esto significa que los sustituyentes de un mismo lado espacial son iguales.

**Polímero Sindiotáctico:** presenta una configuración alternada en término de la posición espacial de los sustituyentes.

**Polímero Atáctico:** en este caso la posición espacial de los sustituyentes es al azar o errática. <sup>(Clariant, 2000)</sup>

---

## **1.4. Procesos de Polimerización**

La polimerización por adición a partir del mecanismo de radicales libres (como es el caso del Poliuretano), puede ser efectuada por diferentes procesos. Es importante notar que una misma composición monomérica puede resultar en polímeros totalmente diferentes, que evidentemente conllevan a características y propiedades distintas. Los procesos más importantes son: <sup>(Cheremisinoff, 1998)</sup>

### **1.4.1. Polimerización en Suspensión**

### **1.4.2 Polimerización en Emulsión**

### **1.4.3 Polimerización en Masa**

### **1.4.4 Polimerización en Bloque o Injertos**

## **1.5. Propiedades Físicas**

### **1.5.1. Temperatura de Transición Vítre**

A altas temperaturas los polímeros se comportan de diferentes maneras dependiendo de su composición, al suministrar calor algunos de ellos se tornan líquidos viscosos, por lo que se aprecia que las cadenas están constantemente en movimiento, cambiando su forma y deslizándose unas sobre las otras. No obstante, a temperaturas muy bajas, el mismo polímero forma un sólido duro, rígido y frágil.

El polímero puede solidificarse formando un sólido amorfo o uno cristalino. Se ha concluido luego de estudios formales, que aquellos con fuertes irregularidades en su estructura tienden a formar sólidos amorfos y los polímeros con cadenas muy simétricas tienden a cristalizar, por lo menos parcialmente. <sup>(Teraoka, 2002)</sup>

Este fenómeno tiene características especiales dependiendo del tipo de polímero, en el caso de que sea completamente amorfo, conforme disminuye la temperatura, se contrae provocando que las cadenas se muevan menos y se atraigan más. Este hecho da como resultado una disminución del volumen libre y por lo tanto los

---

espacios entre las moléculas se ven reducidos, los segmentos de las cadenas tienen cada vez menos lugar para girar, hasta llegar a la *temperatura de transición vítrea*,  $T_g$ , donde dejan de hacerlo totalmente. Provocando que el material se torne rígido y en esas condiciones se vuelva *vítreo*, es decir frágil, debido a que sus cadenas aunque todavía vibran ya no pueden girar para cambiar su posición, y no tienen manera de amortiguar los impactos.

En el caso de un polímero semicristalino se habla de dos transiciones, una cuando cristaliza el polímero al enfriarlo ( $T_m$ ) y la otra cuando el material elástico resultante se vuelve vítreo ( $T_g$ ). Entre  $T_m$  y  $T_g$ , los cristales están embebidos en una matriz elástica, debido a que las cadenas están enmarañadas y eso dificulta su movimiento, pero en niveles inferiores a  $T_g$  los cristales están dispersos formando una matriz frágil.

Por debajo de la temperatura de transición vítrea, el material es un sólido de gran rigidez, la única deformación posible, se debe entonces al estiramiento y doblamiento de los enlaces covalentes que unen a los átomos en la cadena, y al estiramiento de los enlaces intermoleculares. Esta deformación no es permanente ni puede ser muy pronunciada.

A temperaturas superiores a  $T_g$ , la deformación es más extensa y más dependiente del tiempo, debido a que las moléculas tienen mayor libertad cambiando continuamente su forma y hasta cierto punto su posición. La aplicación del esfuerzo tiende a orientar a las moléculas en favor de configuraciones que tiendan a realizar un trabajo. Por ejemplo, un esfuerzo de tensión extiende a las moléculas y las orienta en la dirección del mismo, por lo que se produce una elongación de la muestra.

Si la temperatura es mayor, pero muy cercana a  $T_g$ , la deformación es prácticamente reversible y se debe al reordenamiento de segmentos cortos de las cadenas. Sin embargo a temperaturas cercanas a  $T_m$  y mayores, las cadenas poliméricas ya se deslizan y separan causando un flujo irreversible, es decir, el material se comporta como un líquido muy viscoso. <sup>(Warson, 1997)</sup>

---

Finalmente un polímero parcialmente cristalino, por lo general tiene mayor resistencia mecánica que el mismo material con estructura amorfa. La mayor resistencia o mayor módulo se debe al gran número y espaciamiento regular de los espacios intermoleculares en las estructuras cristalinas. En los polímeros amorfos, las interacciones son menores y su espaciamiento errático, así que al aplicarles esfuerzos, muchas secciones de las macromoléculas se extienden o deforman libremente.

Evidentemente, el estado vítreo lo alcanzan diferentes polímeros a diferentes temperaturas. Los que sean más flexibles, con menos grupos voluminosos o con eteroátomos en sus cadenas, podrán girar o permanecer flexibles a temperaturas menores que los otros. Por ejemplo, los silicones, el polietileno y el hule natural tienen temperaturas de transición vítrea de  $-123$ ,  $-120$  y  $-73$  °C respectivamente. En cambio, polímeros con grupos grandes o grupos muy polares o polarizables, tienen de por sí tan baja movilidad, que son vítreos a temperatura ambiente y para reblandecerlos se requiere de altas temperaturas.

Los polímeros “duros” como el poliestireno y el poli(metil metacrilato), son usados por debajo de sus temperaturas de transición vítrea; es decir, en su estado vítreo. Sus  $T_g$  están muy por encima de la temperatura ambiente, ambas alrededor de los  $100$  °C. Los cauchos elastómeros como el poliisopreno y el poliisobutileno, son usados por encima de sus  $T_g$ , es decir, en su estado flexible, donde son blandos y maleables.

### **1.5.2. Resistencia**

La resistencia es una propiedad mecánica que cuantifica la tensión necesaria que hay que ejercer sobre una muestra para producir una fractura completa en el mismo. El conocimiento de esta propiedad es de gran importancia para los polímeros debido a sus usos múltiples, además se debe destacar que por su versatilidad, los polímeros tienen diferentes valores de resistencia dependiendo de su naturaleza y composición. <sup>(Perry, 1999)</sup>

---

En la Fig. N° 7 se pueden observar los diferentes tipos de resistencia, en primer lugar la *Resistencia Tensil* y se toma en cuenta para aquellos materiales que en su utilización deban ser extendidos o permanecer bajo tensión positiva. La *Resistencia a la Compresión* se refiere a la presión negativa máxima que pueden experimentar los cuerpos sólidos y la *Resistencia a la Flexión* que se utiliza principalmente para medir la flexibilidad relativa de los materiales. Existen otras clases de resistencia como la Torsión y al Impacto que se toman en cuenta para clasificar los polímeros y poder asignarle un uso optimo.

Para medir la resistencia ténsil de una muestra polimérica, se toma una prototipo y se estira utilizando generalmente un equipo llamado Instron, la cual simplemente sujeta cada extremo de la muestra y luego procede a estirla. Mientras dura el estiramiento se va midiendo la fuerza (F) que está ejerciendo el equipo, cuando se conoce la fuerza que produjo la ruptura de la muestra y el área transversal (A) de la misma, se calcula una relación llamada Resistencia Tensil. (Warson, 1997)

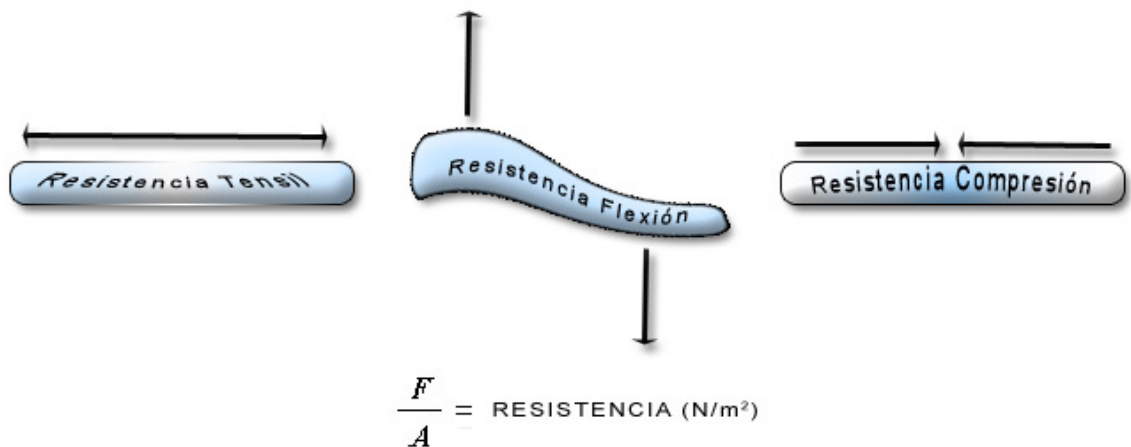


Fig. N° 7. Resistencias más comunes calculadas sobre polímeros.

### 1.5.3. Elongación

Otra propiedad mecánica importante que se debe conocer en cada polímero es la elongación, la cual se define como la deformación (por lo general estiramiento) que

---

experimenta la muestra al estar sujeta a una tensión constante. La resistencia nos indica cuánta tensión se necesita para fracturarla completamente, pero el factor elongación se refiere y refleja los fenómenos que ocurren con la muestra mientras se está tratando de llegar al esfuerzo máximo.

Por lo general, se habla de porcentaje de elongación para un momento dado, y se calcula dividiendo el largo de la muestra después del estiramiento ( $L$ ) por el largo original ( $L_0$ ), y multiplicado por 100. <sup>(Warson, 1997)</sup>

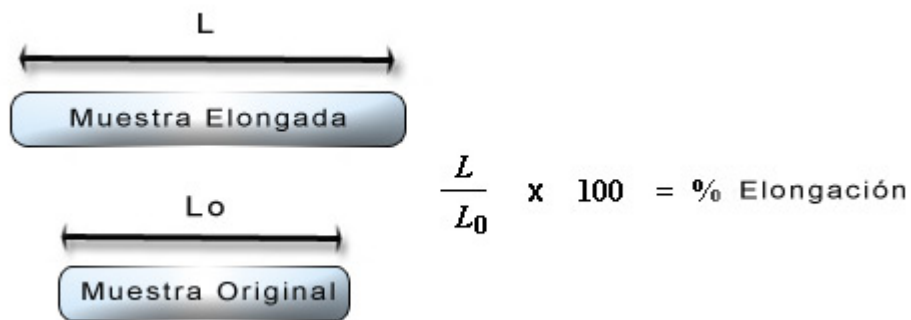


Fig. N° 8. Relación de longitudes en muestra sometida a elongación.

Existen varios factores relacionados con la elongación, la mayoría de ellos dependen del tipo de material que se está estudiando. Dos mediciones importantes son la *elongación final* y la *elongación elástica*. La elongación final es crucial para todo tipo de material y representa cuánto puede ser estirada una muestra antes de que se fracture. La elongación elástica es el porcentaje máximo al que se puede llegar, sin una deformación permanente de la muestra, es decir, cuánto puede estirársela logrando que ésta vuelva a su longitud original luego de suspender la tensión.

#### 1.5.4. Dureza

La dureza se puede definir como una medida de la energía que una muestra es capaz de absorber antes de que se fracture. Si se realiza un gráfico de Resistencia en función del Estiramiento (Fuerza en función de Distancia), se puede conocer valiosa información, entre la que se destaca el área bajo la curva descrita, la cual



---

representa el valor de dureza. En la figura N° 9 se presenta un ejemplo genérico ilustrativo que servirá para determinar importantes parámetros físicos: <sup>(Warson, 1997)</sup>

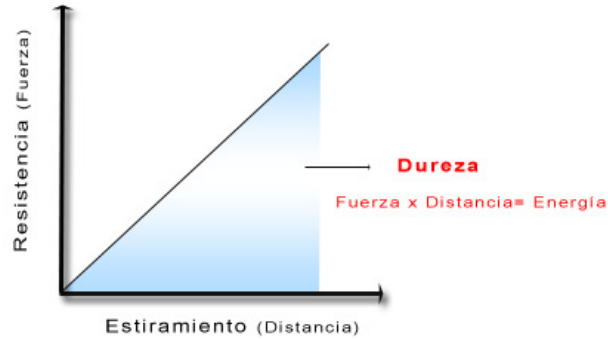


Fig. N° 9. Grafico Resistencia en función del Estiramiento.

Por ejemplo, si la altura del triángulo resaltado en el gráfico es la resistencia y la magnitud de la base del mismo es el estiramiento, entonces el área es proporcional a la multiplicación de ambos valores dividido entre 2. Ahora, dado que la resistencia es proporcional a la fuerza necesaria para romper la muestra y el estiramiento es medido en unidades de distancia (la distancia que la muestra es estirada), entonces resistencia por estiramiento es proporcional a fuerza por distancia, que dimensionalmente representa energía.

Para determinar la diferencia física entre resistencia y dureza, se puede comenzar recordando que la resistencia cuantifica la fuerza necesaria para romper una muestra, y la dureza la energía para realizar el mismo trabajo. Sin embargo, en el siguiente grafico (Fig. N° 10) se observa fácilmente su diferencia y utilidad practica. Se suponen tres trayectorias Resistencia en función del. Estiramiento hasta el punto de quiebre de cada polímero.



---

Fig. N° 10. Gráfica comparativa de Resistencia en función del Estiramiento de varios polímeros. En la Fig. N° 10 se observa que un material puede ser resistente y no necesariamente duro. La curva roja representa la relación resistencia-estiramiento de una muestra que es resistente, pero no dura. Como puede verse, debe emplearse mucha fuerza para romperla, pero no mucha energía, debido a que el área bajo la curva es pequeña, además esta muestra no se estirará demasiado antes de romperse. Los materiales de este tipo, que son resistentes, pero no se deforman demasiado antes de la ruptura, se denominan quebradizos.

Por otra parte, la curva en negro representa la relación resistencia-estiramiento para una muestra que es dura y resistente. Este material no soporta la misma tensión que el de la curva roja, pero su área bajo la curva es mucho mayor, por lo tanto puede absorber mucha más energía. Este comportamiento se logra debido a que la segunda muestra es capaz de elongarse mucho más antes de romperse que la primera. La deformación permite que el objeto pueda disipar energía, por lo que si una muestra no puede deformarse, la energía no será irradiada y se romperá más rápidamente.

Generalmente se desean materiales que sean duros y resistentes. Si se observa las curvas nuevamente, la muestra numero 1 (roja) tiene mucho mayor módulo que la segunda (negra). Si bien es deseable que para muchas aplicaciones los materiales posean elevados módulos y resistencia a la deformación, en el mundo real se prefiere que un material pueda doblarse antes que romperse, y si el hecho de flexionarse, estirarse o deformarse de algún modo impide que el material se rompa, mucho mejor. De modo que cuando se diseñan nuevos polímeros o nuevos compuestos, a menudo se sacrifica un poco de resistencia con el objeto de conferirle al material mayor dureza.

### **1.5.5. Cristalización de Polímeros**

La velocidad de cristalización de los polímeros principalmente depende de dos factores cinéticos que afectan la capacidad de los segmentos de cadena para

---

acomodarse en sus posiciones dentro de la red cristalina. Esos factores son flexibilidad de las moléculas y condiciones de cristalización: <sup>(Teraoka, 2002)</sup>

**1.5.5.1 Flexibilidad de las moléculas:** Para que un polímero cristalice correctamente sus moléculas deben tener suficiente elasticidad, es decir, la movilidad necesaria para colocarse en posiciones precisas durante el proceso de cristalización. Uno de los polímeros con cadenas más flexibles es el polietileno, cuyos segmentos giran fácilmente y eso explica su gran tendencia a cristalizar.

Para observar este fenómeno, se usa una proyección en la que se muestra un segmento de dos carbonos, a lo largo del eje mayor de la cadena. Cuando los átomos de carbono giran, llegan a quedar eclipsados y en esa posición, la repulsión entre ellos es máxima. <sup>(Teraoka, 2002)</sup>

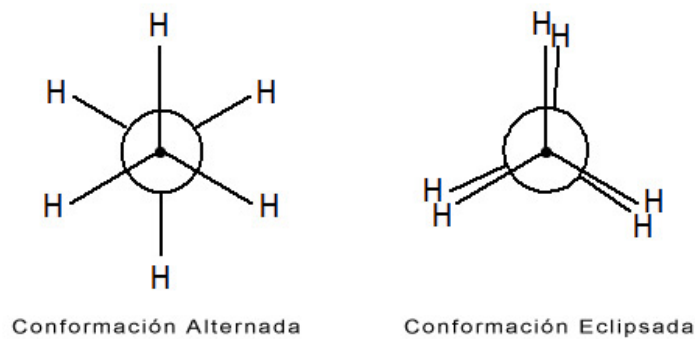


Fig. N° 11. Conformación Alternada y Eclipsada de una cadena de Polietileno.

**1.5.5.2. Condiciones de la Recristalización:** El efecto de la temperatura sobre la cristalización de los polímeros es ambiguo. Por una parte, se requieren temperaturas altas para impartir a las moléculas poliméricas suficiente energía cinética (movilidad) para que puedan acomodarse en la red cristalina, pero sólo a bajas temperaturas van a permanecer en forma estable como cristales. El balance entre esas dos condiciones produce una velocidad máxima de cristalización a una temperatura intermedia.

---

### 1.5.5.2.1. Factores que determinan el grado de Cristalinidad

Existen dos factores estructurales que favorecen la cristalización en los polímeros, el primero de ellos es la regularidad de la estructura molecular, la cual hace posible que las moléculas se acomoden en una red cristalina ordenada. El segundo es la polaridad, ya que al aumentar la atracción entre cadenas adyacentes, estas tienden a colocarse ordenadamente y mantenerse firmes en él.

#### a) Regularidad Estructural

Simetría: se refiere al grado de parecido estructural que refleja el polímero alrededor de un eje o plano imaginario.

Número par y número de átomos de carbono entre grupos funcionales: en el caso de las poliamidas y de los poliésteres, cristalizan mejor los materiales con número par de carbonos entre grupo amídicos o grupos éster respectivamente. Cuanto mayor es la cristalinidad, más alto es el punto de fusión.

Tacticidad: los polímeros isotácticos y los sindiotácticos tienen regularidad estructural y son cristalinos, mientras que los atácticos son amorfos.

Configuración CIS y TRANS: dependiendo de la conformación CIS o TRANS de los monómeros se logrará un estado de regularidad estructural diferente en la macromolécula final, a partir de este hecho el grado de cristalinidad se verá fuertemente afectado.

Ramificaciones: El ejemplo más claro de las ramificaciones sobre el grado de cristalinidad es el polietileno, estas ramificaciones dificultan la aproximación de las cadenas y su colocación ordenada, disminuyendo el grado de cristalinidad, dejando grandes espacios entre las cadenas y por ello el material tiene menor densidad como se puede observar en la Tabla N° 1. Por esta misma razón, las fuerzas de atracción entre cadenas adyacentes no pueden actuar plenamente, y al ser menor la fuerza de cohesión, el calor separa con mayor facilidad las cadenas y el polímero se

---

reblandece a menor temperatura, tiene menor rigidez, mejor resistencia al impacto y mayor transparencia.

Tabla N° 1. Propiedades del Polietileno en sus distintas variedades. (Teraoka, 2002)

Polietileno	Cristalinidad (%)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	P. de Fusión (°C)	Ramificaciones
Alta densidad	80 — 95	0,94 — 0,97	hasta 135	Lineal
Baja densidad	50 — 75	0,91 — 0,93	105 — 110	Ramificado
Lineal (baja densidad)	70 — 90	0,92 — 0,95	110 — 112	Lineal

El Peso Molecular: Los grupos químicos que se encuentran en los extremos de las cadenas, no son iguales que el resto de las unidades estructurales, y le restan regularidad a la macromolécula. También tienen mayor movilidad, puesto que están unidos a la cadena de un solo lado. Estos dos factores interfieren en la cristalización.

Copolimerización: La copolimerización por lo general destruye la regularidad estructural y baja el grado de cristalinidad a menos de que se trate de copolímeros alternados. La copolimerización se usa industrialmente para reducir la temperatura de fusión de poliésteres y poliamidas que se usan en adhesivos de fusión en caliente.

Plastificantes: Los plastificantes son sustancias que se agregan a los polímeros para impartirles mayor flexibilidad. Si se incorpora un plastificante a un polímero cristalino, se reduce la cristalinidad, se vuelve más flexible y se reblandece a menor temperatura. (Teraoka, 2002)

## **b) Polaridad**

Además de la regularidad estructural existen otros factores importantes para que aumente la cristalinidad en los polímeros. Si las fuerzas polares de atracción entre átomos y grupos químicos en moléculas adyacentes son suficientemente altas, se favorecerá el orden y los cristales mantendrán su identidad a mayores temperaturas. En consecuencia, la temperatura de fusión está relacionada con la polaridad de los polímeros (Teraoka, 2002).

---

## 1.6. Fuerzas de Atracción Intermolecular

La mayor parte de los polímeros que se usan en la vida diaria son materiales sintéticos con propiedades y aplicaciones variadas, mientras que los biológicos creados en la naturaleza tienen menos utilidad comercial por lo menos hasta este momento. La distinción entre los polímeros y los materiales constituidos por moléculas de tamaño normal son sus propiedades mecánicas. En general, los polímeros tienen una excelente resistencia debido a que las grandes cadenas poliméricas se atraen constantemente. Las fuerzas de atracción intermoleculares dependen de la composición química del polímero y pueden ser de varias clases. A continuación se detallan las más importantes:

### 1.6.1. Fuerzas de Van der Waals

También llamadas fuerzas de dispersión se encuentran presentes en las moléculas de muy baja polaridad, generalmente hidrocarburos. Estas fuerzas provienen de dipolos transitorios como resultado de los movimientos de electrones, en cierto instante una porción de la molécula se vuelve ligeramente negativa, mientras que en otra región aparece una carga positiva equivalente. Así se forman dipolos no-permanentes, produciendo atracciones electroestáticas muy débiles en las moléculas de tamaño normal, pero en los polímeros, formados por miles de estas pequeñas moléculas, las fuerzas de atracción se multiplican y llegan a ser enormes, como en el caso del polietileno. (Warson, 1997)

Tabla N° 2. Propiedades y estructura de distintos hidrocarburos. (Warson, 1997)

Hidrocarburo	Fórmula	Peso molecular (gr/mol)	Densidad	T. de fusión (°C)
Metano	CH <sub>4</sub>	16	Gas	-182
Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58	Gas	-138
Decano	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	142	0,73	-30
Eicosano	C <sub>20</sub> H <sub>42</sub>	283	0,79	37
Polietileno	C <sub>2000</sub> H <sub>4002</sub>	28000	0,93	100

En la tabla N° 2 se observa como cambian la densidad y la temperatura de fusión al aumentar el número de átomos de carbono en la serie de los hidrocarburos. Los compuestos más pequeños son gases a temperatura ambiente, sin embargo, al aumentar progresivamente el número de carbonos, los compuestos se vuelven

líquidos y finalmente sólidos, cada vez con mayor densidad y mayor temperatura de fusión, hasta llegar a los polietilenos con densidades que van de 0,92 a 0,96 g / cm<sup>3</sup> y temperaturas de fusión entre 100 y 135° C.

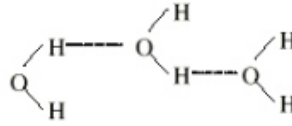


Fig. N° 12. Tipo de enlaces provocados por las fuerza de Van der Waals.

### 1.6.2. Fuerzas de Atracción de Dipolos Permanentes

Son fuerzas muy influyentes en algunos tipos de polímeros, debido a que por su gran magnitud son capaces de otorgarle a la macromolécula características especiales. Ocurren debido a la presencia de dipolos permanentes, como en el caso de los poliésteres, por lo que si existe un número alto de estructuras de este tipo, puede llegar a ser la fuerza de atracción intermolecular determinante en el comportamiento del polímero. Debido a esta afinidad se debe la gran resistencia tensil de las fibras de los poliésteres. <sup>(Clariant, 2000)</sup>

### 1.6.3. Enlaces de Hidrógeno

Estas interacciones ocurren por la atracción entre los átomos de hidrogeno de dos macromoléculas vecinas, si existen un gran numero de ellos la fuerza total puede ser de gran importancia. Están presente principalmente en las poliamidas como el Nylon, en algunos casos son tan fuertes, que una fibra obtenida con poliamidas tiene resistencia tensil mayor que la de una fibra de acero de igual masa. <sup>(Warson, 1997)</sup>

A continuación se presenta una tabla comparativa (Tabla N° 3) de la energía necesaria para romper enlaces causados por diferentes tipos de fuerza de atracción, en este caso se puede destacar que el valor más significativo pertenece a los puentes de hidrogeno.

Tabla N°3. Energía requerida para romper cada enlace producidos por diferentes fuerzas de atracción.

Fuerza de Atracción	Energía (Kcal)
Van der Waals	2,4
Dipolos permanentes	3 a 5
Enlaces hidrógeno	5 a 12

---

## Capítulo 2. Poliuretano

### 2.1. Aspectos Generales

El poliuretano es un polímero conformado de una cadena orgánica unida por grupos uretanos. Fue desarrollada inicialmente en Alemania a inicios de la década de los 40, gracias al científico Otto Bayer que obtuvo el producto de manera casual. Por sus características físicas fue rápidamente empleado en la industria de la construcción, sellando cavidades de los materiales tradicionales de modo que se mejorará el aislamiento entre dos espacios. <sup>(Uhlig, 1999)</sup>

El poliuretano, mostrado en la Fig. N° 13, es catalogado como uno de los polímeros mas versátiles, puede estar ubicado entre los grupos de elastómeros, fibras e incluso combinaciones de estos como es el caso del Lycra ®.

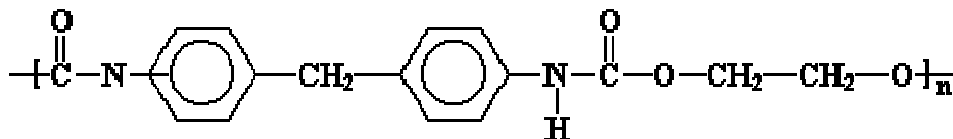


Fig. N° 13. Estructura química básica del poliuretano.

La mezcla de los dos componentes base, POLIOL e ISOCIANATO, que son líquidos a temperatura ambiente, habitualmente se efectúa con una maquinaria específica, produciendo una reacción química exotérmica. Esta se caracteriza por la formación de enlaces entre los dos reactivos, consiguiendo una estructura sólida, uniforme y muy resistente. Además, el calor que desprende la reacción puede utilizarse para evaporar un agente expansor que rellena las celdillas que se forman, de tal modo que se obtiene un producto sólido, que posee una fuerte estructura celular alcanzando un volumen hasta 35 veces superior al que ocupaban los productos líquidos. Finalmente, la espuma presenta excelentes cualidades de aislamiento térmico, acústico y de resistencia ignífuga alcanzando la calificación de M-3 en USA y Europa. <sup>(Randall, 2002)</sup>

Es usado en adhesivos, sellos, tuberías, cámaras frigoríficas, medicina, aeronáutica, espumas para sillas, pinturas y partes para vehículos. También se han patentado



---

importantes productos como Lycra® , Spandex® y Foamy® a partir de pequeñas modificaciones en la formula base. Entre las formas mas encontradas del polímero se encuentran la espuma rígida para aislamiento, espuma flexible, elastómeros y la espuma semirígida.

Los enlaces presentes en el poliuretano son relativamente estables, y debido a esta característica es que se han podido desarrollar productos tan diversos. A pesar de algunas depresiones en el negocio de polímeros en general, el mercado del poliuretano mundial ha demostrado crecimiento notable en los años 80 y 90, alcanzando cerca de 6.6 millones de toneladas de isocianato y polioliol en 1995. El consumo de poliuretanos en el sector de la construcción en 1995 era el 15% del mercado total.

Desde el punto de vista ecológico, y desde que tuvo lugar el acuerdo del Protocolo de Montreal de 1995, los sistemas de poliuretano cumplen la normativa y exigencias respecto a la utilización de productos clorados que atacan la capa de ozono. De esta forma, los sistemas de poliuretano no utilizan los llamados CFC, sino productos alternativos (hidrocarburos, HCFC, CO<sub>2</sub>, etc.) que son productos menos contaminantes.

## **2.2. Compuestos Originarios**

Como ya se mencionó los compuestos base para la formación del poliuretano son Isocianato y Polioliol. A continuación se profundizará en las características de cada uno de ellos:

### **2.2.1. Isocianato**

Los isocianatos son compuestos químicos que se sintetizan en diferentes variedades dependiendo de la utilidad final, lo más usados en el sector industria son los 2,4 y 2,6 isómeros del Diisocianato de Tolueno (TDI) y el Diisocianato 4,4-Difenilmetano (MDI). Varios otros isocianatos aromáticos se utilizan en la preparación de poliuretanos pero no se utilizan extensamente.

---

**Diisocianato de Tolueno (TDI):** La fabricación del TDI implica la dinitración del tolueno seguido por la hidrogenación catalítica a una diamina. La separación del isómero indeseado 2,3 es necesaria porque su presencia interfiere de manera contundente con la polimerización final. El TDI, cuya formación molecular puede ser apreciada en la Fig. N° 14, es un líquido descolorido con un punto de ebullición de 120°C a 100 mmHg.

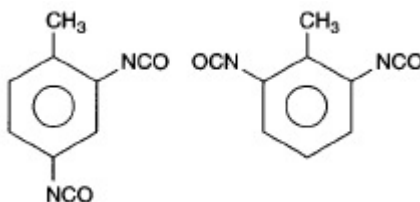


Fig. N° 14. Estructura del 2,4 - 2,6 de Diisocianato de Tolueno (TDI).

**Diisocianato 4,4-Difenilmetano (MDI):** el MDI es otra materia prima importante en la fabricación del poliuretano. En estado monomérico, es un sólido con una temperatura de ebullición de 37°C, y tiene tendencia a polimerizar a temperatura ambiente. La industria suele adquirirlos como prepolímeros y se presentan como líquidos de baja viscosidad a temperatura ambiente, sin contenido de solventes y en muchas oportunidades contienen isómeros homólogos asociados. Este tipo de isocianato (Fig. N° 15) es muy usado para la producción de poliuretano rígido de baja densidad que finalmente se utiliza como aislante térmico.

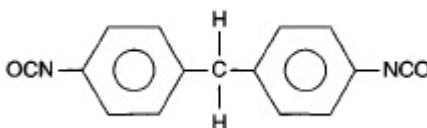


Fig. N° 15. Estructura del Diisocianato 4,4-Difenilmetano (MDI).

**Diisocianato de Hexametileno (HDI):** los poliisocianatos basados en HDI (Fig. N° 16) representan la clase más importante de estos químicos, debido a que son los más extensamente utilizados en la producción de poliuretano. El polímero preparado con esta sustancia puede tener una resistencia excelente a otros productos químicos y a la abrasión. También tiene características superiores de desgaste

mínimo por la acción de la atmósfera, otro factor a destacar, es que si se selecciona el polioli indicado se puede eliminar la necesidad de solvente para la limpieza de los equipos.

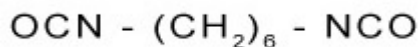


Fig. N° 16. Estructura del Diisocianato de Hexametieno (HDI).

Existen otros tipos de diisocianatos con una aplicabilidad muy reducida, sin embargo, con el intenso desarrollo que experimenta la industria del poliuretano se espera que en un futuro tengan un uso más amplio, agregando nuevas características al producto: <sup>(Irfan, 1998)</sup>

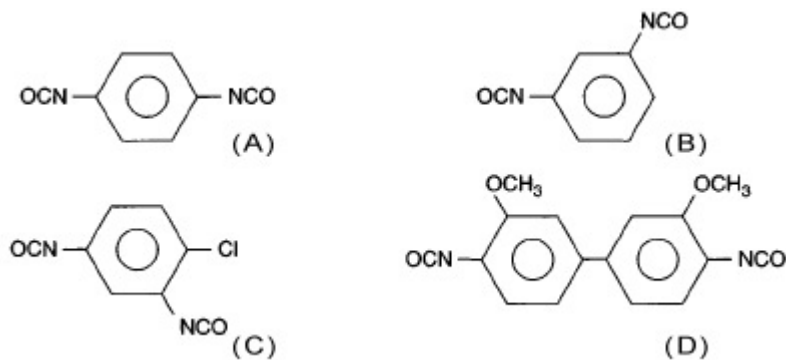


Fig. N° 17. Estructura del (A) Diisocianato de para-fenileno (PPDI), (B) Diisocianato de meta-fenileno (MPDI), (C) Diisocianato de 1-cloro-2,4-fenileno, (D) Diisocianato de 3,3-dimetoxi-4,4-bisfenileno.

### 2.2.2. Polioli

Los polioli son compuestos con múltiples grupos funcionales de tipo Oxidriilo. Existen muchas variedades que se diferencian en la organización de los grupos reactivos, y cada uno de ellos es capaz de producir variedades diferentes de polímeros. Los compuestos de este tipo están comercialmente disponibles en una amplia gama de pesos moleculares, viscosidad y aditivos asociados. <sup>(Irfan, 1998)</sup>

Las sustancias químicas reactivas con grupos oxidriilo de uso común son los polieteres, poliesteres, policarbonatos, acrílicos y derivados de la sacarosa. Existen innumerables variedades de poliuretanos posibles combinando tales polioli con los isocianatos previamente mencionados.

---

Es importante destacar que los polioles, cuya estructura básica se aprecia en la Fig. N° 18, deben ser tratados en su fase de producción, para agregarles aditivos de vital importancia en la posterior formación del poliuretano, tal es el caso de los catalizadores, retardantes ignífugos, agentes expansores o soplantes y agentes estabilizadores de la espuma. Estos últimos son necesarios, ya que aportarán características como volumen y textura al producto, acelerarán la velocidad de reacción y disminuirán su tendencia a propagar el fuego.



Fig. N° 18. Estructura básica de un Polioli.

### 2.2.3. Catalizadores

Una reacción no catalizada entre un polioli y un diisocianato tiene como característica una muy baja conversión. Las reacciones son catalizadas en general por ácidos o bases orgánicas, y entre los más eficientes se encuentran las aminas terciarias y los componentes organometálicos. Los catalizadores además de afectar la velocidad de propagación de la reacción, producen extensiones y enlaces cruzados capaces de alterar las propiedades finales del polímero debido a la creación de nuevos grupos sustituyentes. Finalmente, otra función importante del catalizador es facilitar el término de la reacción, facilitando así el curado del polímero. <sup>(Irfan, 1998)</sup>

Las aminas terciarias son excelentes catalizadores para las reacciones de formación de poliuretano y poliurea. En el caso de la Diamina de Trietileno (DABCO), la nucleofilidad es mejorada por su configuración estérica, es decir, la posición de los grupos activos aumentan la eficacia de la sustancia en el momento en que se produce la reacción. Es por esta razón, que es el más ampliamente usado en la industria. <sup>(Randall, 2002)</sup>

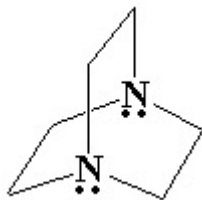


Fig. N° 19. Estructura de la Diamina de Trietileno (DABCO).

Otros catalizadores en base a aminas terciarias como el N-N-dietilciclohexylamina y el N-metilmorfolina también pueden ser utilizados en algunos casos.

#### 2.2.4. Aditivos

La función principal de los aditivos es controlar las propiedades finales del poliuretano como también reducir costos. Existe una gran variedad dependiendo del tipo de producto que se quiera formar, algunos cumplen la función de agentes soplantes para incrementar el volumen del producto y dar un aspecto espumoso, entre estos se encuentran el dióxido de carbono y el agua.

Otros funcionan como surfactantes, por ejemplo, se utilizan compuestos basados en silicona para disminuir la tensión superficial, como también para emulsificar compuestos incompatibles, de esta manera se logra un producto homogéneo.

Un tipo de aditivo muy importante, y que ha sido insistentemente utilizado en los últimos años por regulaciones federales, son los retardantes ignífugos, que le suministran al poliuretano la capacidad de arder con menos intensidad y en algunos casos extinguirse automáticamente. Estos compuestos se consideran muy importantes en el desarrollo que ha tenido el poliuretano en el sector de la construcción y uso casero, ya que de lo contrario no hubiese sido permitido utilizarlo con estas utilidades. Los más importantes están basados en antioxidantes de aminas.

Finalmente, se pueden nombrar otros aditivos que funcionan como solventes, estabilizadores ultravioleta, pigmentos, antimicrobiales, entre otros. Cada uno de

---

estos es utilizado en casos particulares siempre dependiendo de las propiedades finales que se requieran y el costo asociado. (Salager, 2002)

### 2.3. Mecanismo General de Formación del Poliuretano

El poliuretano al ser un copolímero cuya composición puede variar dramáticamente dependiendo de su utilidad final, posee diferentes mecanismos de formación que se diferencian en los tipos de reactantes, catalizadores y aditivos que se utilizan, es decir, los mecanismos pueden variar completamente pero finalmente se conseguirá una serie de grupos uretanos conectados consecutivamente.

Sin embargo, en medio de la versatilidad que ofrece este polímero, es importante destacar que la reacción de formación del mismo, siempre estará protagonizada por un polioliol y un diisocianato, que aunque pueden ser de muy diferentes tipos, son los responsables de formar el grupo uretano, a continuación se explicará en forma detallada el mecanismo de formación del poliuretano rígido de baja densidad utilizando como reactantes, los compuestos que se utilizan en Inversiones en Fibra C.A.:

- En un inicio se encuentran las dos especies reactivas básicas en forma separada, un Diisocianato 4,4-Difenilmetano (MDI) y un hidrocarburo básico con sus respectivos grupos alcoholícos: (Karl-Heinz, 1999)

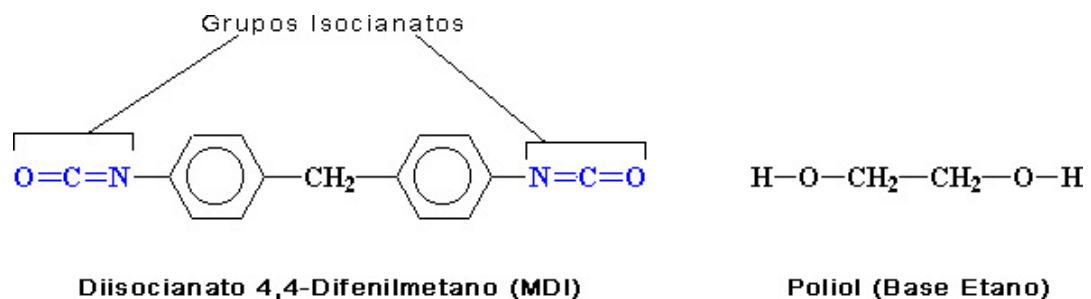


Fig. N° 20. Estructuras básicas presentes en la reacción de formación del poliuretano.

- Al estar en contacto ambas moléculas no existe reacción aparente, sin embargo, al mezclarse en presencia de un catalizador, en este caso DABCO (Diazibiciclo(2,2)octano) se observa rápidamente el siguiente cambio:

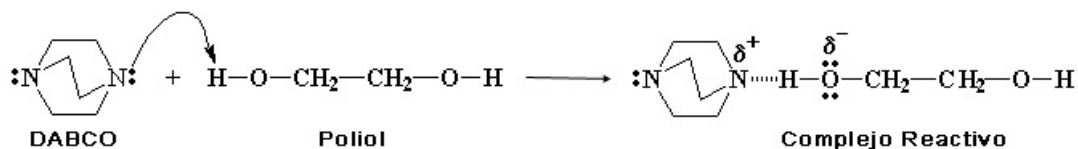


Fig. N° 21. Ataque del catalizador (DABCO) sobre el poliol.

El oxígeno del alcohol es electronegativo (atrae electrones de átomos adyacentes), por lo que el núcleo del hidrogeno esta muy expuesto al resto de las moléculas. El DABCO que es muy buen nucleófilo, es decir, tiene un par de electrones no compartidos que reaccionarían rápidamente con un núcleo vulnerable, al encontrar los núcleos de los hidrógenos alcohólicos del poliol, atacan rápidamente.

Al formarse los puentes entre el nitrógeno del catalizador y el átomo de hidrogeno, se produce una carga positiva parcial sobre el nitrógeno, y más importante aún, una carga parcial negativa sobre el oxígeno. Esta carga parcial negativa activa mucho más al oxígeno, por lo que busca reaccionar con cualquier otra especie cercana.

- El oxígeno tiene un exceso de electrones, de modo que reaccionará con alguna especie que se encuentre deficiente de esta misma partícula. Si se observa la molécula de MDI, se puede destacar que el carbono del grupo isocianato se sitúa justo en el medio de dos elementos electronegativos como el oxígeno y el nitrógeno. Esto quiere decir que dicho carbono se verá muy pobre en electrones. Por eso, el activo oxígeno del poliol reacciona con el carbono, arrojando un par de electrones y estableciendo un enlace.

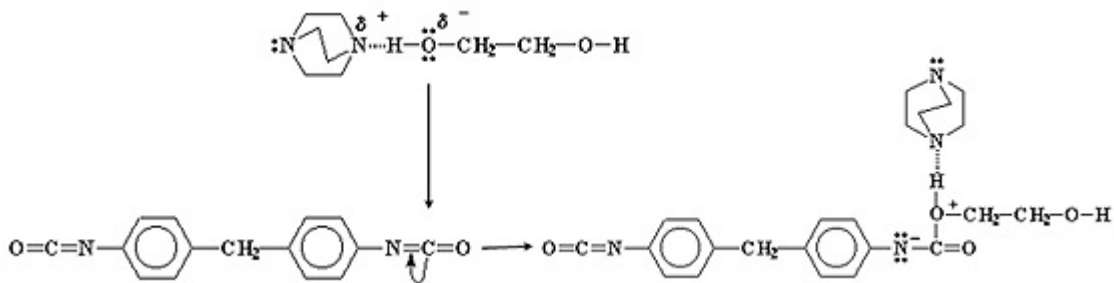


Fig. N° 22. Unión del complejo DABCO-Poliol con el diisocianato.

- Este enlace entre el oxígeno del poliol y el carbono del grupo isocianato, producirá un desplazamiento de un par electrónico del doble enlace carbono-nitrógeno preexistente. Este par se sitúa sobre el nitrógeno, confiriéndole una carga negativa. Mientras tanto el oxígeno, que donó un par electrónico, quedará con una carga positiva.

No obstante, un átomo de nitrógeno no puede soportar mucho tiempo una carga negativa. Es por este hecho que va a tratar de liberarse de ella lo más rápido posible. La manera más sencilla es donarle ese par de electrones al átomo de hidrógeno que inicialmente pertenecía al grupo alcohólico del poliol. Finalmente, se forma un enlace entre ese hidrógeno y el nitrógeno.

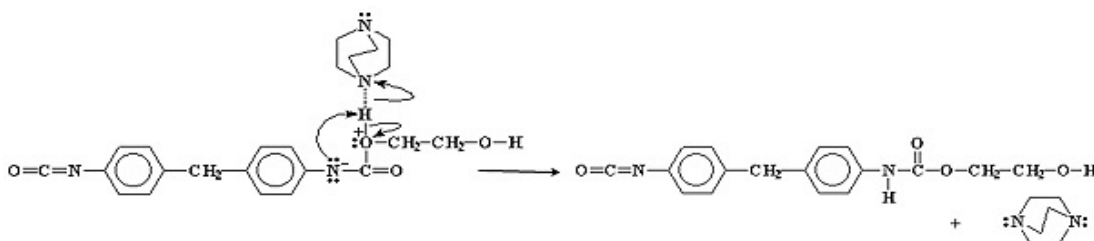


Fig. N° 23. Salida del catalizador DABCO. Formación de complejo-Poliol-Diisocianato.

- Los electrones que el hidrógeno del alcohol había compartido con el oxígeno ahora son anulados con la carga positiva del mismo. Cuando este proceso termina, se obtiene una nueva clase de dímero llamada uretano.

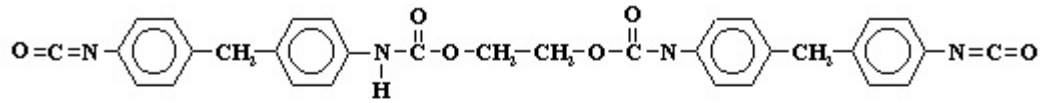
Este dímero de uretano tiene un grupo alcohol en un extremo y un grupo isocianato en el otro, de modo que puede reaccionar ya sea con un poliol o con un diisocianato para formar un trímero. O también puede reaccionar con otro dímero, trímero, o aún oligómeros más grandes. De esta forma, monómeros y oligómeros se combinan y combinan hasta que obtenemos un poliuretano de alto peso molecular.

- Eventualmente el Poliuretano al formarse libera energía (reacción exotérmica), esta en algunos casos es aprovechada para evaporar algún soplaente que será atrapado dentro de las celdas formando una “espuma” que alcanza un gran

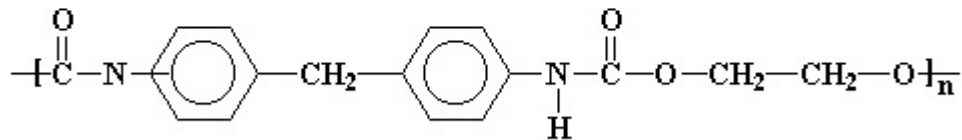


---

volumen, este compuesto va a tener como propiedad fundamental su baja conductividad térmica. (Karl-Heinz, 1999)



**Trímero de Uretanos**



**Poliuretano de alto peso molecular**

Fig. N° 24. Trímero de Uretanos y molécula compleja de Poliuretano.

---

## Capítulo 3. Poliuretano Rígido de Baja Densidad (LDPU)

Entre los muchos tipos de poliuretano presentes en el mercado hay uno que se destaca por su baja conductividad térmica y reflectividad del sonido, este es el poliuretano rígido de baja densidad (LDPU). Su estructura de ordenadas celdas cerradas tridimensionales le aporta a este material características inigualables, siendo considerado el mejor aislante actualmente en la industria, superando el poliestireno expandido y otros polímeros. (Uhlig, 1999)

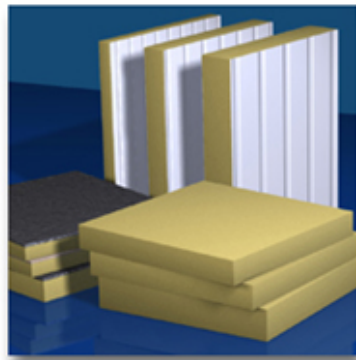


Fig. N° 25. Espuma rígida de poliuretano (LDPU).

### 3.1. LDPU: Aislante Térmico

La espuma rígida de poliuretano es un polímero termofijo, y se diferencia de otros materiales aislantes por el hecho de que aun en el caso de ser espumas, tienen celdas interconectadas entre si y a la superficie del polímero, por lo cual el material en cuestión, contiene aire en el mejor de los casos, mientras que el poliuretano esta “soplado” por un gas de menor conductividad térmica.

La espuma rígida de poliuretano tiene una conductividad térmica promedio de 0.012 Kcal/m.h.°C, sin embargo, para que este cumpla su función como aislante térmico cabalmente, debe tener cualidades específicas bien definidas, entre estas se destacan:

- Densidad total del material por encima de 32 Kg./m<sup>3</sup> y por debajo de 50 Kg./m<sup>3</sup>, se debe encontrar en este rango ya que si es poco denso aumenta

---

significativamente la conductividad térmica. Ahora bien, cuando el LDPU resulta tener una densidad por encima de la recomendada, resulta injustificable el aumento de masa por unidad de volumen ya que la capacidad aislante no se ve alterada de manera significativa.

- El LDPU debe tener al menos un 85 % de celdas cerradas, de lo contrario se ve seriamente disminuido el coeficiente de conductividad térmica. Para lograr esta característica se deben agregar a la mezcla surfactantes de manera de mejorar el curado y la tensión superficial del polímero.
- El material aislante debe absorber la menor cantidad de agua posible, ya que de lo contrario aumenta la conductividad térmica, además de crear un espacio propicio para la aparición de microbios y degradar el material.
- Para satisfacer los reglamentos ambientales actuales, el agente soplante debe ser CO<sub>2</sub> o HCFC, dejando a un lado viejas soluciones como los CFC.

Si se cumplen estas características, este copolímero puede tener propiedades aislantes excelentes, lo suficientes como que para que una capa de espuma de 0.5 cm de espesor tenga la misma capacidad aislante que 70 cm de hormigón o 25 cm de poliestireno expandido, su mas cercano competidor. (Randall, 2002)

### **3.2. Procesos de Elaboración**

Se debe destacar que no importa como se aplique el poliuretano rígido sobre la superficie, ya sea por inyección, (colocando el material líquido para que rellene una cavidad, por ejemplo los muebles frigoríficos), o que se aplique por proyección (dejando que expanda libremente sobre una superficie); el resultado siempre será una espuma rígida, sin embargo, entre estos dos procesos de elaboración, el primero mostrará cambios en la densidad que conllevan a un mejor aislamiento térmico, menor permeabilidad y por ende mayor duración. (Bomberg, 1998)

---

Los procesos de elaboración más comunes son por proyección e inyección, el primero también llamado spray consiste en pulverizar, mediante un aspersor, la mezcla de dos componentes altamente reactivos sobre la superficie a aislar, donde rápidamente se expande y endurece. La aplicación se realiza en sucesivas capas, hasta alcanzar el espesor final de aislamiento deseado. El proceso de inyección consiste en introducir la mezcla líquida de los dos componentes con un equipo especial en el interior de un molde. En corto tiempo, la mezcla se expande, rellena el molde y endurece.

### 3.3. Propiedades Generales

La resistencia a la compresión del LDPU es función de la densidad. Para una espuma de unos  $32 \text{ Kg./m}^3$ , se toma experimentalmente un valor de resistencia a la compresión de  $1.5 \text{ kg/cm}^2$ , para una espuma de  $35 \text{ kg/m}^3$ , unos  $2.0 \text{ kg/cm}^2$  y para una espuma de  $40 \text{ kg/m}^3$ , alrededor de  $3,0 \text{ kg/cm}^2$ . La espuma rígida tiene una región elástica en la que se cumple la ley de Hooke, según la cual la deformación es proporcional a la presión. En esta zona, la espuma recupera íntegramente su tamaño inicial. Más allá de este límite, tiene lugar una rotura de la estructura celular. La deformación es irregular y puede tener lugar sin aumento del esfuerzo aplicado.

En cuanto a la penetración de vapor de agua este polímero es bastante resistente, la permeabilidad del mismo es en promedio de  $5 \text{ g.m}^2.\text{día/mmHg}$ , este valor también depende de la densidad del material, cuánto más elevada es la densidad, más pequeña es la permeabilidad.

Su estabilidad dimensional depende principalmente de la proporción de surfactantes utilizado en el momento de la reacción, si esta es adecuada el curado de la superficie será de buena calidad, evitando así que se escape el gas retenido dentro de las celdas. Se estima que un buen LDPU debe perder un máximo de 7 % de su volumen en el primer año luego de producido, y el 60 % de esta pérdida debe ocurrir luego de las 4 horas que se polimerizó. <sup>(Randall, 2002)</sup>

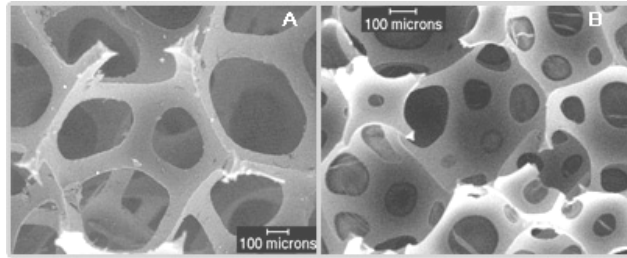


Fig. N° 26. (A)LDPU con alto porcentaje de celdas cerradas. (B)LDPU con bajo porcentaje de celdas cerradas.

---

## **Capítulo 4. Equipos de Inyección de Poliuretano**

### **4.1. Antecedentes**

Los Equipos de Inyección de Poliuretano (PUI), fueron diseñados a partir de la década de 1980, ya que anteriormente se prefería utilizar sistemas de spray o por colada, sin embargo, a razón de obtener mejores propiedades finales, se necesitaba de un equipo que fuera capaz de hacer reaccionar los componentes base en una proporción muy específica, además de necesitar un excelente mezclado y control sobre variables físicas.

En la década de los 90, y a raíz de la masificación de la electrónica aplicada a procesos industriales, los equipos de inyección dieron un gran paso en cuanto a control y monitoreo de variables y flujos, dando como resultado que los mismos sean más versátiles y funcionen con un amplio rango de reactivos, diferentes solventes, entre otras características.

En la actualidad existe una gran oferta de equipos PUI, sin embargo, la mayoría de ellos son producidos por fabricantes europeos, y el costo implicado en su compra es muy alto comparado con la complejidad real del mismo. Actualmente, Brasil produce algunas versiones específicas de estos equipos, sin embargo, su calidad y adaptabilidad a los procesos ha sido puesta en duda luego de pruebas realizadas en varias industrias venezolanas.

### **4.2. Equipos de Inyección de Poliuretano: Composición y Sistemas**

Los PUI que se han encontrado en el mercado desde hace dos décadas, no han variado de manera significativa su estructura básica, sin embargo, algunos de estos equipos han sido diseñados específicamente para una tarea en una empresa en particular, o en algunos casos, se han sobredimensionado conservando la misma base con el objetivo de aumentar la capacidad de producción.

---

Básicamente, este tipo de equipos constan de dos tanques de almacenamiento (uno para cada reactivo, polioliol y diisocianato), bombas de recirculación y llenado individuales que generalmente son de desplazamiento positivo, un cabezal de mezclado, controladores, sistema de válvulas, sistema eléctrico, sistemas de seguridad y en los últimos años se ha hecho indispensable la presencia de intercambiadores de calor debido al uso de nuevos tipos de reactivos.

En la última década estos equipos han venido evolucionando hasta convertirse en equipos más “eficientes” pero alejándose de la versatilidad. En el caso del cabezal de mezclado, lugar en el cual se combinan los componentes y se efectúa la reacción, existen numerosas patentes relacionadas a diseños revolucionarios que ofrecen productos de diferente calidad dependiendo también de la capacidad que pueda manejar el equipo en general.

A continuación se explicará de manera sencilla como es el funcionamiento general de un equipo PUI, en primera instancia se presenta el siguiente diagrama:

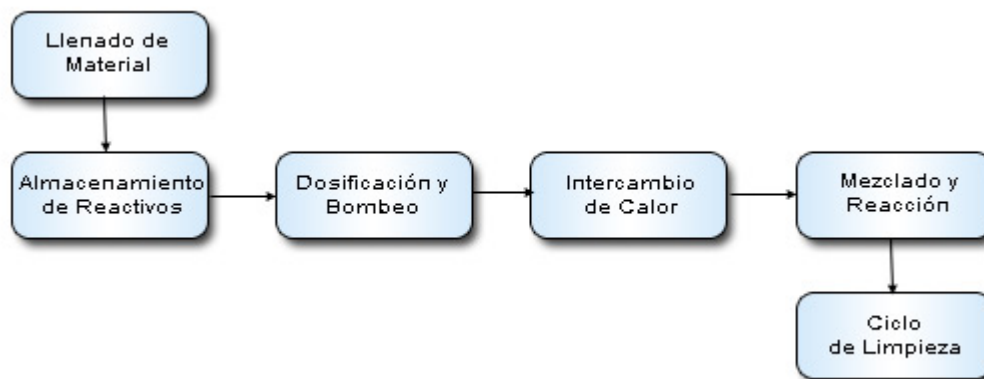


Fig. N° 27. Diagrama básico de bloques de las presentes en un Equipo de Inyección de Poliuretano.

Los reactivos base del polímero, Polioliol y Diisocianato llegan a la planta directamente desde el fabricante en tambores o barriles de aproximadamente 250 Kg. cada uno, este material es suministrado a la inyectora a través de bombas de llenado hacia dentro de los recipientes contenedores del equipo, estos pueden ser de distintas capacidades dependiendo del tamaño y capacidad del mismo, generalmente tienen una capacidad de entre 80 y 250 Kg. De igual forma se debe suministrar al equipo un

---

solvente poliéster que permita realizar labores de limpieza luego de la inyección, ya que de lo contrario se pueden bloquear las líneas de flujo y el cabezal de mezclado, lugar donde se combinan y reaccionan los materiales.

Una vez suministrado y almacenado el material necesario dentro de los recipientes, se procede a la etapa de bombeo, que consiste principalmente en dos bombas (generalmente de engranajes) que determinan el flujo de cada reactivo hacia las siguientes etapas, estas bombas son de velocidad variable por lo que en este momento se regula la cantidad y proporción de cada reactivo que posteriormente va a reaccionar. La posibilidad de controlar los flujos individuales de cada compuesto base, permite utilizar reactivos de distintas marcas, ya que cada industria química (Bayer, Síntesis, DOW Chemicals ) define una proporción diferente Polioli-Diisocianato a utilizar, dependiente del tipo de catalizador y agente soplante.

Es importante destacar que las bombas de engranaje siempre se encuentran en funcionamiento, ya sea en modo de inyección o recirculación hacia los tanques de almacenamiento; es decir, en el momento que se realiza una inyección, los materiales base se dirigirán hacia el cabezal de mezclado; de lo contrario un juego de válvulas en línea enviará el flujo de los reactivos de nuevo al contenedor, a este modo de trabajo se le denomina recirculación continua.

Luego de que los reactivos están en sus respectivas líneas, y en el flujo correcto determinado por el usuario, se trasladan a una etapa de intercambio de calor, donde la temperatura de cada uno de ellos es llevada a un rango de entre 25 y 32 °C. Esto se logra a través de dos intercambiadores de calor (uno para cada reactivo) que teniendo como fluido de calentamiento/enfriamiento agua industrial, acondicionan los reactivos de manera adecuada para la posterior reacción.

En la siguiente etapa, los reactivos entran en una cámara cerrada (cabezal de mezclado) en donde se combinan con la ayuda de un mezclador de alta revolución, en este momento ocurre la reacción y la mezcla sale de la inyectora y se coloca en la superficie donde se desee que polimerice el material. Luego de aproximadamente



---

140 seg. la reacción habrá ocurrido totalmente y el poliuretano estará curado de manera definitiva.

No obstante, la cámara cerrada y el mezclador de alta revolución deben ser limpiados automáticamente luego de que se termine la inyección, de lo contrario los restos de mezcla reactiva que se encuentran en esta área la bloquearán totalmente. De esta manera se inicia una rutina de limpieza, en donde solvente poliéster y aire a presión eliminan todos los restos de manera rápida y sencilla, estos restos son desechados.

En este momento el equipo queda listo para realizar una nueva inyección, es muy importante destacar, que en estas etapas existen diversos controles, válvulas y equipos asociados que no fueron nombrados en función de facilitar la comprensión de la actividad del equipo.

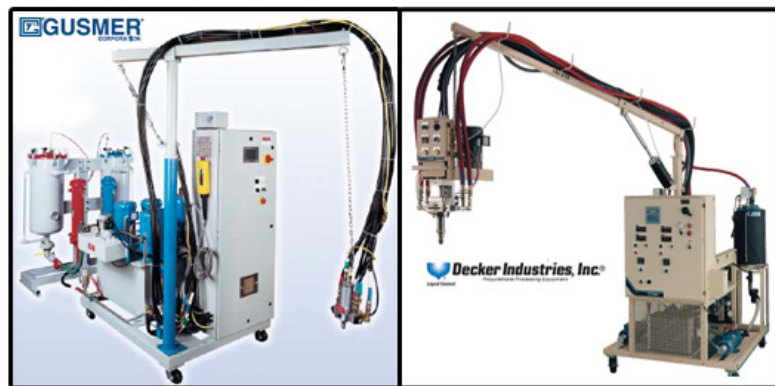


Fig. N° 28. Equipos de Inyección de Poliuretano Rígido de Baja Densidad ofrecidos en el mercado.

#### **4.3. Problemas Generales de los Equipos de Inyección de Poliuretano**

Con el importante avance tecnológico de las últimas dos décadas se ha avanzado en muchas direcciones, produciendo equipos mas complejos, pero, en este mismo afán, son cada vez mas específicos, delicados y muchos aun dejan sin resolver los problemas principales.

---

Uno de los problemas radica es que dependiendo del tipo de polioliol utilizado en la fabricación del poliuretano, se necesitará una proporción diferente de diisocianato, por lo que se necesita un sistema que sea capaz de controlar eficazmente los flujos de cada reactivo, como también las temperaturas y presiones del sistema, de manera tal que la mezcla reactiva este correctamente equilibrada aumentando la calidad del producto. Las variaciones son tan sensibles que ninguna marca en el mercado ofrece polioliols exactamente iguales, e incluso cada una de ellas muestra variaciones en el tiempo, dependiendo del lote de polioliol producido.

Otro punto a destacar, es que el diisocianato utilizado es quien finalmente marca la diferencia en el tipo de poliuretano conseguido ya sea rígido, flexible o espuma, éste compuesto es extremadamente delicado en el momento de ser procesado, ya que al entrar en contacto con el agua, incluso aquella contenida en la atmósfera, se cristaliza rápidamente produciendo importantes daños a bombas, tuberías o filtros, por lo que los equipos de inyección deben ser capaces de aislar este material del ambiente, en este punto fallan el 90 % de los equipos presentes en el mercado.

Es por esta razón que el diseño planteado gana una amplia importancia, ya que aparte de realizar el diseño preliminar como tal, se deben hacer frente a este tipo de problemas y solventarlos, ya sea con soluciones nuevas o preexistentes, siempre teniendo como meta la versatilidad y adaptabilidad del equipo al proceso actual, además de estar consciente que se necesitan cambios intrínsecos en el mismo para utilizar los nuevos materiales base (Polioliol y Diisocianato) no contaminantes.

---

## Capítulo 5: Metodología

El hecho de realizar un diseño, ya sea de una planta completa como de un equipo, implica tomar en cuenta muchos factores que finalmente decidirán si el proyecto realmente es útil, viable y versátil. Por eso siempre es importante partir de parámetros establecidos que conjuguen una visión del producto final a entregar, de manera que el diseño general este orientado en todo momento hacia un mismo punto.

El diseño preliminar planteado debe sentar las bases para que en fases posteriores se puedan desarrollar todas aquellas etapas que finalmente concluirán en la construcción física del proyecto, sin embargo, todas las decisiones deberán estar enmarcadas bajo las directrices de diseño puntualizadas en el presente trabajo, por lo que una clara definición de estos puntos es vital para la correcta terminación del proyecto.

Es importante destacar como metodología de trabajo, que el proyecto presentado no pretende definir en su totalidad el diseño del equipo de inyección, por lo que puntos importantes como planos de construcción, tablas de especificaciones de equipos o instrumentación, serán posteriormente desarrollados en función de las bases fijadas en el trabajo actual. El proyecto se realizará de esta manera debido a la imposibilidad de definir de manera correcta y veraz todas las características de un trabajo tan ambicioso y preciso como lo es el diseño de una inyectora, en la cual se necesita un equipo multidisciplinario para conseguir presentar un trabajo de calidad y que se ajuste a la realidad.

En primera instancia, el diseño del equipo de poliuretano debe tomar en cuenta los requerimientos de Inversiones en Fibra C.A., como también los diseños preexistentes de esta unidad en función de partir con una idea clara de lo que se desea construir. Es por esta razón, que se dividirá la metodología a seguir en los siguientes pasos:

- 
- Directrices del diseño
  - Resultados del Diseño Preliminar
    - Diagrama de Bloques
    - Esquematización de Sistemas
    - Especificación de Reactivos
    - Especificación de Producto
    - Desarrollo de Diagramas
  - Medidas de Seguridad

## **5.1. Directrices del Diseño**

A continuación se presentan varias bases puntuales de distinta índole, necesarias para asegurar que el equipo de inyección de poliuretano cumpla con los requerimientos de Inversiones en Fibra C.A., de esta manera se podrá completar de forma correcta el objetivo general del proyecto. Para su fácil comprensión se dividirán los parámetros, en Proceso y Producción, Control y Monitoreo de variables, Seguridad y Materiales de Construcción.

### **5.1.1. Proceso y Producción**

- Capacidad máxima de Inyección de Poliuretano rígido de baja densidad: 30 Kg./min.
- Intercambiadores de calor de carcasa y tubo para cada compuesto.
- Sistema de refrigeración y calentamiento alternado para efectos de cambio de temperatura.
- Fluido de enfriamiento/calentamiento: agua con 5 % en etilenglicol.
- Bombas adosadas a un Inversor de Frecuencia, esto permitirá controlar la velocidad de giro (RPM) y por lo tanto el flujo individual de reactivos. (Razón Máxima de bombeo 1:5)
- Los recipientes contenedores de reactivos deben disponer de un mezclador para asegurar homogeneidad.

- 
- Bombas independientes para llenado de los tanques de reactantes del equipo de inyección.
  - Mezclador eléctrico de altas revoluciones montado directamente en el cabezal de inyección.
  - Cabezal de inyección de diseño eficaz, sencillo y de fácil mantenimiento.
  - Filtros en todas las líneas que precedan a las bombas, y filtros para líneas de entrada de material al equipo de inyección, de esta manera se asegura que no existan impurezas que puedan interferir con el funcionamiento del mismo.

### **5.1.2. Control y Monitoreo de Variables**

- Control de temperatura y presión para las líneas en la que se desplacen los reactivos y nivel para todos los recipientes contenedores.
- Panel de control electrónico para muestra de datos y cambios en los valores de setpoint para las variables de proceso.
- Juego de válvulas neumáticas para sistema aire, solvente y válvulas de flujo para reactivos.
- Instrumentación:
  - Sensores electrónicos de presión en línea.
  - Termopares ubicados a la salida de cada intercambiador de calor.
  - Manómetros ubicados en cada tanque de almacenamiento (Poliol y Diisocianato).
  - Sensores de nivel para todos los recipientes.
- Sistema Eléctrico
  - Contactores on/off para todas las bombas y mezcladores.
  - Procesador lógico programable.
  - Sistema de cableado estructurado bajo regletas para orden y fácil reconocimiento de sistema eléctrico.
  - Pantalla Electrónica con teclado incorporado.
  - Pantalla fija para muestra de datos de presión de líquidos, RPM y temperatura.

---

### 5.1.3. Seguridad

- El equipo debe constatar la presencia de aire y solvente en el sistema para poder llevar a cabo operaciones de limpieza, de lo contrario no se podrán realizar inyecciones del polímero.
- Panel eléctrico protegido de humedad y otros factores ambientales.
- Parada automática de bombas, mezcladores y demás equipos en caso de detectarse un aumento abrupto de presión o temperatura.
- El usuario debe poder ejecutar la rutina de limpieza del equipo en cualquier momento.
- Sistema de Alerta Temprana en caso de que alguno de los tanques de almacenamiento de reactivos se encuentre en un nivel bajo.
- Todos los equipos asociados (bombas, mezcladores, sensores) deben tener un contactor eléctrico individual asociado, de manera que puedan ser desconectados particularmente ya sea de forma automática o por el operador.
- El usuario debe tener la posibilidad de detener la inyección de polímero en cualquier momento, sin necesidad de apagar el equipo completamente, de manera que pueda ejecutar la rutina de limpieza.
- Interruptor general de seguridad que asegure la parada instantánea del equipo.

### 5.1.4. Materiales de Construcción

- Materiales principales de construcción:
  - Acero al carbono.
  - Aluminio.
  - Acero Inoxidable.
  - Lexan® o Policarbonato.
  - Manqueras, tuberías y conexiones que no se degraden al contacto con los reactivos y/o solventes.

- 
- Todos los motores eléctricos, contactores, válvulas, sensores, etc., deben ser de marcas conocidas y de fácil obtención. En caso de necesitarse una sustitución esta se podrá realizar fácilmente.

## **5.2. Resultados del Diseño Preliminar**

Una vez definidas las características y el funcionamiento general del equipo, se dará paso al desarrollo del diseño preliminar, en donde se destacarán los sistemas más importantes que formarán parte del producto final, además se tomarán decisiones referentes a los equipos asociados que componen a la inyectora, destacando los criterios que llevaron a tomar tales decisiones ya sea de índole bibliográfico, práctico o producto de experiencia previa.

Esta etapa es fundamental debido a que a partir de este análisis, se basarán las decisiones subsiguientes tanto del presente trabajo como de las próximas fases, por lo que la definición de sistemas debe realizarse considerando un sentido práctico real, que no interfiera con las etapas posteriores como la construcción misma del equipo, que en algunos casos ha merecido la revisión desde el inicio de las bases de diseño.

### **5.2.1. Diagrama de Bloques**

En esta etapa se definirán de manera general todos los sistemas, fases y unidades asociadas que forman parte del equipo de inyección, destacando la interrelación entre cada uno de ellos y las innovaciones que se presentan en cada etapa del proyecto, la cual distinguen al actual diseño de muchas otras soluciones que se presentan en el mercado.

El diagrama de bloques también mostrará como resultados del diseño, selecciones y datos asociados a las unidades como motores, bombas, sensores, entre otros equipos, de tal manera de ir definiendo características importantes que deben ser

---

respetadas tanto en el proyecto actual como en todas las fases posteriores del diseño.

Al concluir esta etapa se debe tener una idea clara del funcionamiento del equipo de inyección que plantea Inversiones en Fibra C.A., a su vez que se definen las innovaciones y cambios asociados que hacen de este una solución real para la industria venezolana.

### **5.2.2. Esquematación de Sistemas**

En esta unidad se especificarán los equipos y unidades pertenecientes a cada sistema por separado, entre los que se encuentran el Sistema de Control, Eléctrico, Proceso y Seguridad; todos estos en conjunto formarán una red que tenga como objetivo común conseguir un producto de calidad cuya fase de producción sea lo menos contaminante posible.

### **5.2.3. Especificación de Reactivos**

Esta fase tiene como finalidad caracterizar distintos tipos y marcas de reactivos base, con el objetivo de definir cual tiene las mejores propiedades y es capaz de generar un poliuretano rígido de mayor calidad.

La decisión será tomada en base a una matriz de selección, que resuma en un solo diagrama cuales son los reactivos que muestran un mejor comportamiento en criterios importantes como potencial contaminante, calidad del producto final, costo, adaptabilidad a diferentes condiciones y seguridad. Las marcas que serán analizadas en primera instancia son DOW Chemicals, Bayer y Sinthesys.

### **5.2.4. Especificación de Producto**

Luego de definir que tipo de reactivos serán utilizados en el equipo de inyección de poliuretano, serán fijadas las propiedades físicas del producto final, que servirán como referencia para elaborar catálogos de venta para los clientes que deseen



---

comprar paneles de poliuretano rígido de baja densidad, ya sea para la industria de la construcción o para usarlo como aislante térmico.

### **5.2.5. Desarrollo de Diagramas**

Esta fase consistirá en el desarrollo de diagramas que sirvan como base para el desarrollo de todos los planos y tablas específicas necesarias para la fase de construcción del equipo. En primera instancia, el Diagrama de Flujo de Proceso aportará una idea general del proceso, destacando etapas necesarias, balances de masa y sistemas que deben estar presentes, además de todas las variables que serán tomadas en cuenta para desarrollar un producto de calidad.

Posteriormente se emitirá un Diagrama de Tuberías e Instrumentación, en los que además de observar todo el flujo de proceso se destacarán los sistemas presentes en el equipo de inyección, especialmente se hará énfasis en las estrategias de control asociadas a cada variable. Este documento es de vital importancia, ya que es el único diagrama que logra mostrar la relación entre el sistema neumático, eléctrico y de control, que tiene una gran repercusión en el aseguramiento de la excelente y constante calidad que debe tener el poliuretano rígido de baja densidad.

### **5.3. Medidas de Seguridad**

Esta fase de la metodología será tomada en cuenta en todas las etapas del diseño, en un comienzo tendrá un importante peso en la elección de los reactivos a utilizar, además que muchos equipos y sensores electrónicos asociados deberán su presencia exclusivamente para maximizar la seguridad del operador y los alrededores.

En este mismo afán, el sistema de control, neumático y eléctrico tendrán como objetivos principales, asegurar la calidad del producto y la seguridad de todo el sistema, por lo que en conjunto existirán una serie de medidas de seguridad adjuntas a cada uno de ellos.

---

## Capítulo 6: Resultados del Diseño Preliminar del Equipo de Inyección de Poliuretano

### 6.1. Innovaciones y Cambios Planteados en el Equipo de Inyección

El equipo de inyección de poliuretano planteado por Inversiones en Fibra C.A. es en realidad un diseño basado en la experiencia, necesidad de la empresa y fruto de la observación y uso que han realizado operadores e ingenieros alrededor de este tipo de equipos; además se destaca la necesidad de hacer cambios urgentes en los materiales originarios mientras se aumenta la calidad del poliuretano, todas estas razones e ideas se han fusionado para plantear un diseño innovador, versátil y pensado para el mercado venezolano.

Entre las innovaciones más importantes que se encuentran en el diseño preliminar se pueden puntualizar:

- Capacidad de utilizar cualquier marca de material originario del poliuretano, aunque se debe destacar que el diseño actual cuenta con apoyo de Bayer Material Science®.
- Sistema de control de temperatura para los reactivos, maximizando calidad y rendimiento.
- Equipos y unidades asociadas enteramente diseñadas con la intención de maximizar la vida de los reactivos y disminuir la frecuencia de mantenimiento del equipo.
- Único equipo en el país diseñado enteramente para utilizar materiales originarios no contaminantes.
- Sistemas de seguridad acordes con los estándares industriales actuales.

Además, existen una gran cantidad de cambios en las líneas de proceso que aseguran que el equipo tenga una excelente calidad intrínseca, siendo capaz de trabajar bajo cualquier condición de manera adecuada. En las siguientes etapas del diseño preliminar se explicarán detalladamente que razones llevaron a formular

---

cada una de las innovaciones e ideas, como también las ventajas que ofrecen todas ellas y las etapas que deben ser completadas en posteriores fases del diseño.

## 6.2. Diagrama de Bloques

Para completar el diseño de un equipo o planta se deben cumplir varias etapas en forma consecutiva, la primera de estas es la conceptualización, que permitirá definir de forma general las fases y ciclos que estarán presentes en el producto final. Es por esta razón, que en primera instancia, se definirán los sistemas presentes en el equipo, y a continuación se irán desglosando detalladamente para facilitar su comprensión.

En un equipo de inyección de poliuretano de nueva generación, existen tres grandes sistemas que en conjunto son capaces de obtener un producto polimérico de calidad, estas fases están todas interrelacionadas entre si, y gran parte del éxito del diseño radica en la correcta utilización y superposición de las etapas.

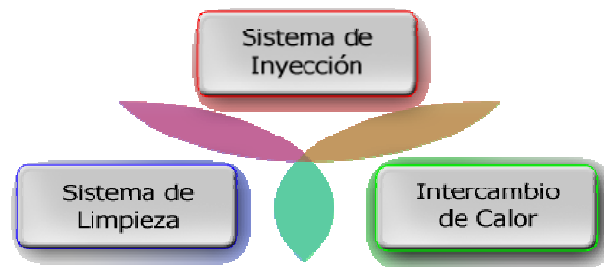


Fig. N° 29. Diagrama básico de fases presentes en un equipo de inyección de poliuretano.

Inicialmente se encuentra el sistema de inyección, en esta fase se concentran todos aquellos equipos y unidades que se relacionan con los procesos de suministro, almacenamiento y bombeo de reactivos; es decir, todas aquellas líneas de proceso que involucren directamente la presencia de los compuestos originarios del poliuretano. A esta fase también pertenece, y de manera combinada con las demás,

---

el cabezal de inyección, lugar en el cual ocurre la reacción de formación del polímero.

En el sistema de limpieza se acumulan todos los equipos y accesorios que tomen parte en el lavado de la inyectora, aquí se concentran el recipiente de solvente, válvulas, líneas neumáticas y de manera intrínseca el cabezal de inyección, ya que esta es la principal unidad en donde se debe realizar la limpieza, debido a que es el lugar donde se desarrolla la reacción.

Finalmente, la unidad de refrigeración o intercambio de calor es la fase mediante la cual se podrá tener control sobre la variable temperatura, aquí se encuentran ubicados un ciclo de refrigeración completo, resistencias eléctricas, bombas centrífugas y dos intercambiadores de calor carcasa y tubo, uno para cada reactivo.

A continuación se presenta un diagrama de bloques, en donde se especifican las etapas y unidades presentes en el equipo de inyección de poliuretano:

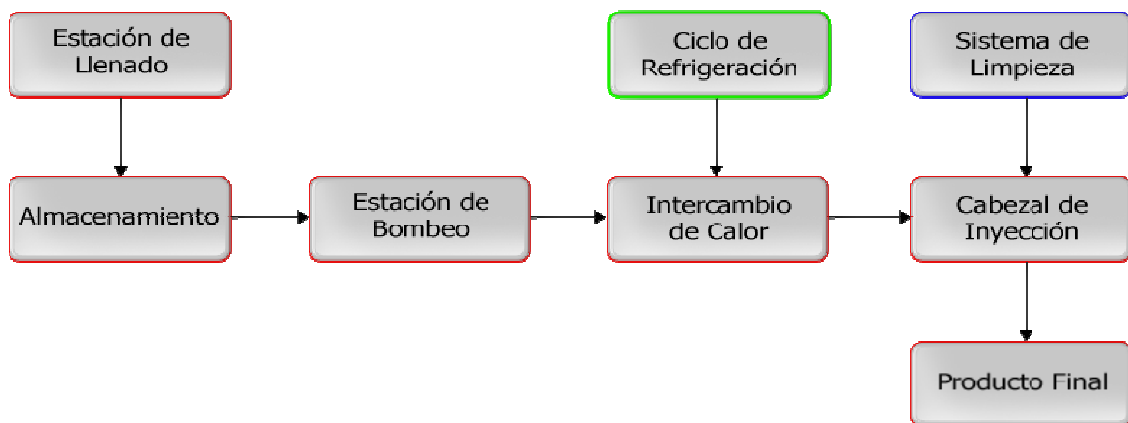


Fig. N° 30. Diagrama de bloques ilustrativos de un equipo de inyección de poliuretano.

Para facilitar la comprensión de los sistemas y estaciones involucradas en el equipo de inyección, se presentará de forma detallada que elementos pertenecen a cada una, destacando funcionalidad, tipo y especificaciones generales.

---

### 6.2.1. Estación de Llenado

Esta unidad tiene como función principal suministrar al equipo los reactivos base necesarios para que se pueda realizar una inyección, es decir, surtir a los tanques de almacenamiento del poliol y diisocianato que deben estar presentes para poder llevar a cabo los procesos subsiguientes.

La estación debe estar conformada por dos bombas de engranaje (desplazamiento positivo) adosadas a su respectivo motor eléctrico, estas funcionarán individualmente para cada reactivo, debido a que no se puede permitir en ningún momento la mezcla de los materiales.

La razón por la cual es conveniente utilizar bombas de engranajes para este tipo de compuestos químicos, es que las mismas tienen propiedades intrínsecas que se adaptan correctamente al proceso en cuestión. Algunas de las ventajas que se pueden nombrar al utilizar este tipo de bombas son: (Viking Pump School, 2005)

- Bajo impacto en las propiedades físicas del material. Este factor es importante ya que el poliol está mezclado con catalizadores y agentes soplantes, y el choque constante podría producir una separación de los compuestos.
- Capacidad de arranque en limpio, es decir, este tipo de bombas pueden funcionar sin material en su interior, esta propiedad es conveniente en los momentos iniciales y finales del llenado de reactivos, justo donde las líneas se encuentran temporalmente sin material o los bidones surtidores de los compuestos se agotan.
- Las bombas de engranajes arrojan un flujo constante de material, independientemente de la presión o carga en la entrada de la misma.

Por estas y otras características que serán analizadas con más detalle en puntos subsiguientes, las cuales están referidas a la experiencia previa en su uso, estas bombas son seleccionadas para realizar este trabajo. Es importante destacar, que

---

cada una de ellas deberá estar conectada a un motor eléctrico que administrará la energía necesaria para realizar el movimiento rotatorio.

Las líneas de succión de material (aguas arriba de la bomba), deben estar compuestas por una manguera flexible de 1 pulg., ya que la magnitud de los flujos de entrada no será suficientemente alta como para requerir mayores dimensiones en orden de disminuir la velocidad, los cálculos que respaldan esta aseveración pueden ser observado en el Anexo 1. En cuanto a la flexibilidad de la misma, esta es necesaria para que los bidones surtidores puedan ubicarse en diferentes posiciones, por lo que no habrá necesidad de mover el equipo de inyección teniendo un amplio rango de libertad para el suministro de material.

Posterior a la bomba se deben encontrar líneas que enviarán el material hasta los tanques de almacenamiento de cada reactivo, estas serán de igual forma manqeras de 1 plg. de diámetro nominal. Es importante destacar, que todas las manqeras deben estar construidas con materiales que no reaccionen con los compuestos base del poliuretano, ya que una contaminación progresiva puede provocar obstrucciones o rupturas indeseadas, en el Anexo 2 se pueden observar las características de la línea flexible que se ha seleccionado tentativamente para ser utilizada en la construcción final, esta se destaca por una alta resistencia a la compresión, baja reactividad y excelente desempeño. (Goodyear Hyper, 2005)

La necesidad de colocar filtros de sólidos en la entrada de cada una de las bombas, es una adición especial al equipo de inyección presentado por Inversiones en Fibra C.A., estos estarán dispuestos de esta manera motivado principalmente a la experiencia previa que se maneja en la empresa con este tipo de compuestos químicos, debido a que en muchos casos los bidones del fabricante ya vienen contaminados con desechos sólidos que producen obstrucciones progresivas que pueden deducir en daños graves al sistema general.

En general, la estación de llenado es un sistema sencillo cuyo núcleo operacional son las dos bombas de engranajes, y su función será trasladar cada uno de los

---

compuestos desde los bidones de origen hasta los tanques de almacenamiento de la inyectora.

### **6.2.2. Estación de Almacenamiento**

Luego de que son suministrados los reactivos desde la estación de llenado, se depositan cada uno de ellos en tanques de almacenamiento sellados, en este lugar se mantendrán alojados los reactivos en condiciones tales que su degeneración pueda ser minimizada, prolongando la vida de los mismos hasta un máximo de dos meses.

Los tanques de almacenamiento deben ser capaces de contener aproximadamente 80 Kg. de material, y deben estar completamente cerrados para evitar la entrada de aire y humedad dentro de los mismos; ya que en el caso del diisocianato de metilo (MDI), se comienza a producir una cristalización del material al contacto con la humedad que puede producir bloqueos en filtros de sólidos que se encuentran aguas abajo. (Bayer Material Science, 2005)

Este tipo de tanques suelen construirse en forma cilíndrica, en la parte superior se coloca una escotilla para labores de limpieza, que se deben hacer periódicamente en orden de proteger los equipos unitarios que se encuentran subsiguientemente. El Anexo 3 presenta un diagrama detallado de construcción de los tanques de almacenamiento, en donde se destacan dimensiones, variables de operación, entre otros.

Los contenedores para este tipo de materiales se construyen de manera satisfactoria en acero al carbono, sin embargo, en este diseño se plantea la posibilidad de agregarle una capa interna de amianto; que es un material de bajo costo y muy resistente utilizado como aislante eléctrico, la razón por la que este material será colocado es estrictamente como medida de seguridad, y como tal será explicada detalladamente en la sección correspondiente del presente trabajo.

---

Cada tanque de almacenamiento debe estar provisto de un mezclador sencillo en su interior, de manera de homogeneizar los materiales y obtener así una mejor calidad del poliuretano, estos estarán colocados por recomendación directa del fabricante de los reactivos Bayer® ya que en los estudios que ellos han realizado con anterioridad se ha concluido que esta variable es fundamental en la búsqueda de un producto final de mayor calidad.

El sistema de mezclado estará conformado por dos motores eléctricos sencillos que impulsarán los agitadores internos, que a su vez estarán conectados a interruptores on/off independientes (contactores) por lo que existirá la posibilidad que el usuario active o desactive el sistema de mezclado en cualquier momento, de modo de poder realizar un mantenimiento o inspección rutinaria en los tanques mientras que el resto del equipo aún se encuentre encendido, esta característica intrínseca no es encontrada en ninguno de los equipos de inyección que se encuentran en el mercado venezolano.

En cuanto a los controles que deben encontrarse en esta etapa, se debe monitorear constantemente el nivel de los tanques de almacenamiento, en caso de ser muy alto no se podrán realizar labores de llenado de material, y si es bajo se desconectarán automáticamente las bombas que se encuentran en la unidad siguiente; como también se debe bloquear la posibilidad de realizar una inyección, ya que si los materiales no se encuentran en proporción y cantidad adecuada, el producto tendrá una menor calidad.

Otra variable a monitorear, es la presión interna de los tanques, ya que estos aunque deben encontrarse a presión atmosférica, pueden llegar a registrar altibajos que no son convenientes por varias razones; en primer lugar la estructura del contenedor no tiene porque estar diseñada para soportar valores extremos de presión, y además, esta variable puede repercutir en el desempeño de la siguiente estación de bombeo, por lo que es preferible monitorear su comportamiento y de ser necesario tomar las acciones pertinentes para igualar las presiones.



---

### **6.2.3. Estación de Bombeo**

La estación de bombeo resulta ser el sistema con mas repercusión sobre la calidad del producto final, esto sucede debido a que las propiedades del poliuretano son muy sensibles a la proporción de los materiales base, es decir, las cantidades de cada reactivo deben ser cuidadosamente medidas de manera de obtener un producto con las especificaciones correctas. (Bayer Material Science, 2005)

El sistema constará básicamente de dos bombas de tipo engranaje, una para cada reactivo, que estarán dispuestas entre dos de válvulas de globo, cuya finalidad es cortar el flujo de material en los momentos que se deba realizar mantenimiento a cada bomba; lo cual debe ser una labor periódica considerando la sensibilidad de estos materiales a factores como la humedad, esta adición es recomendada por los operadores de los equipos de inyección que se encuentran en la planta actualmente, ya que el mantenimiento de las bombas es una labor muy engorrosa en los equipos de la generación anterior.

El sistema de bombeo debe encontrarse enviando constantemente los reactivos hacia el cabezal de mezclado, sin embargo, haciendo uso de un sistema de válvulas neumáticas, los flujos proseguirán a la cámara de reacción, o por el contrario retornarán a los contenedores de almacenamiento en forma de recirculación. De esta forma se puede asegurar que todo el material se encuentre a la temperatura deseada, ya que los reactivos atravesarán intercambiadores de calor, además de mantener siempre las líneas cargadas de fluidos para poder realizar inyecciones inmediatamente sin necesidad de adaptaciones en el sistema.

#### **6.2.3.1. Bombas Seleccionadas**

Las bombas seleccionadas para ser utilizadas en este trabajo son de tipo engranaje, debido principalmente a que en los equipos de inyección cobra vital importancia el hecho de que el flujo de cada material sea constante, de manera de realizar inyecciones continuas y siempre obtener las mismas especificaciones de producto.

---

Este tipo de bombas son el único equipo accesible en el mercado nacional que se destaque por brindar caudales constantes, sin que la presión en la entrada repercuta en la razón de salida, este hecho logra ser posible debido a su funcionamiento mecánico; a continuación se explicará de manera sencilla como operan y cuales son sus características principales:

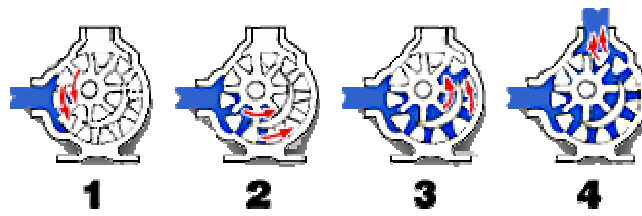


Fig. N° 31. Diagrama básico de funcionamiento de una bomba de engranajes.

1. El líquido entra en el puerto de succión entre el engranaje exterior grande y los dientes externos del engranaje pequeño. Las flechas indican la dirección del giro de la bomba y del líquido.
2. El líquido viaja a través de la bomba entre los dientes iniciales. La forma interna creciente divide el líquido y actúa como sello entre la succión y los puertos de la descarga.
3. Una vez inundado el cabezal de la bomba, el líquido es forzado fuera del sistema a través del puerto de la descarga.
4. Los dientes de los engranajes y la forma central forman un sello equidistante de los puertos de la descarga y de la succión. El movimiento continuo y uniforme produce un flujo constante alrededor de la bomba.

Debido al sistema de engranajes que se encuentra alrededor de los reactivos en todo momento, la presión no es transmitida directamente a través de la línea de fluido, por lo que esta variable tiene un peso secundario en el desempeño de la bomba. Este hecho es el principal promotor de que el flujo de salida del sistema de bombeo tenga un valor constante en el tiempo.

En cuanto al dimensionamiento y selección final de las bombas a utilizar en el equipo de inyección, se deberá realizar un trabajo asociado en el que se normalice

---

los requerimientos de la inyectora de Inversiones en Fibra C.A. con los equipos que se encuentren en el mercado nacional, sin embargo, un proyecto paralelo al diseño preliminar presentado en este trabajo, determinó que tipo, características y fabricante debe tener la bomba en cuestión, los resultados son mostrados en detalle en el Anexo 4.

Cada sistema de engranajes tendrá adosado a su vez, dos motores eléctricos que proporcionarán la energía necesaria en el movimiento giratorio de los mismos, estos deben ser modelos de corriente trifásica que aseguren el torque necesario para cumplir con el trabajo a realizar. De igual modo deben ser capaces de soportar diferentes flujos de voltaje, variando así la velocidad de giro del eje.<sup>(WEG Industrial, 2005)</sup>

#### **6.2.3.2. Control e Inversores de Frecuencia**

El sistema de bombeo debe estar en todo momento bajo el control del usuario, de manera que se puedan fijar las velocidades de los motores eléctricos, que finalmente determinarán el caudal de cada reactivo. Esto se logrará haciendo uso de dos inversores de frecuencia, que son dispositivos electrónicos que regulan el flujo de electricidad que se envía hacia los motores, dándole la posibilidad al operador de seleccionar que cantidad de revoluciones por minuto desee que gire el sistema.

Estos equipos representan una de las innovaciones mas importantes del diseño planteado, y le da un valor agregado importante al equipo de inyección ya que aumenta en gran medida su versatilidad con un bajo costo involucrado.

Los inversores de frecuencia deben ser configurados de manera sencilla para adaptarse a un motor eléctrico en específico, este hecho permitirá que el usuario coloque la velocidad de giro en RPM y el equipo lo traducirá a señal eléctrica que será enviada al motor. Con este sistema se es capaz de controlar los flujos de reactivos que salen de cada bomba, lo que capacita al operador a hacer adaptaciones de los mismos en caso de cambios en los materiales utilizados (marca

---

o lote) o simplemente cuando se requieran características diferentes del poliuretano final.

### **6.2.3.3. Mantenimiento de bombas**

El diisocianato de metilo (MDI), uno de los compuestos originarios del poliuretano que serán utilizados en el proyecto, debe estar sujeto a condiciones controladas de humedad y oxígeno en el ambiente, ya que de lo contrario este presentará pequeñas cristalizaciones que en conjunto pueden producir bloqueos y daños a los equipos.

A pesar de varias soluciones y dispositivos que serán presentados en el diseño en detalle, siempre existirá la posibilidad de que ocurran daños en el sistema de bombeo, es por esta razón, que se deben tomar en cuenta todos los factores que favorezcan el mantenimiento de las bombas; tales como, ubicación física, válvulas cercanas y sistema de desarmado.

Según la experiencia de los operadores de este tipo de bombas que se encuentran actualmente en la planta, con un mantenimiento general mensual se puede asegurar que no se acumularán formaciones en la misma, lugar en el cual ocurren con mayor frecuencia debido a su sistema de engranajes. De esta forma se alarga la vida útil del equipo en gran medida, ya que este es junto al cabezal de inyección o mezclado los sistemas más delicados del proyecto.

### **6.2.4. Ciclo de Refrigeración**

Los compuestos originarios del poliuretano deben mantenerse a condiciones óptimas de temperatura, este hecho asegurará que el producto final este bajo especificaciones y por lo tanto su capacidad como aislante térmico no se vea afectada. Para controlar esta variable se hace uso de un conjunto de intercambiadores de calor que tienen adosado una resistencia eléctrica, por lo que si se requiere subir la temperatura, el sistema se hará cargo completamente.

No obstante para mantener la temperatura entre 25 y 30 °C, será necesario enfriar o retirar calor del sistema; en estos casos se hará uso de un ciclo de refrigeración que al complementarse con una bomba de agua, enviará líquido subenfriado hasta los intercambiadores de calor, donde disminuirán la temperatura de los reactivos. Luego, el agua mas caliente producto de la transferencia de calor vuelve a la refrigeración completando el ciclo. En la Fig. 32 se puede observar el comportamiento general del sistema de intercambio de calor, la dirección de los fluidos no necesariamente es la presentada en este mismo diagrama.

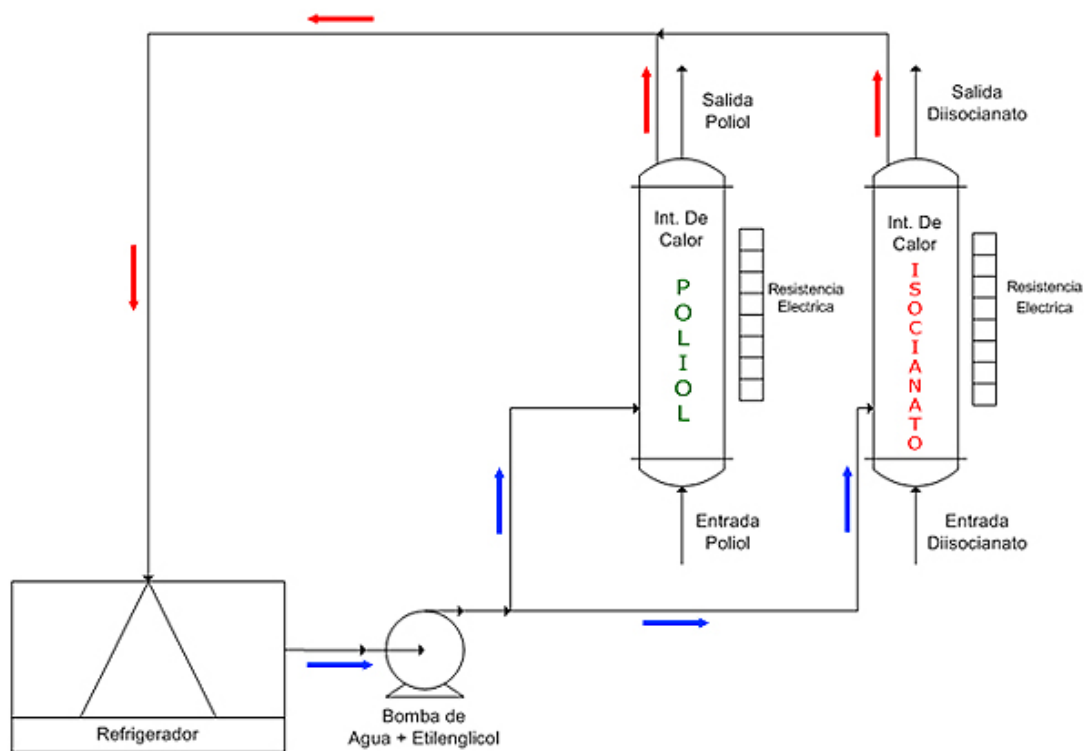


Fig. N° 32. Definición básica del ciclo de refrigeración.

Este sistema a pesar de su sencillez tiene un gran efecto sobre las propiedades finales del producto, por esta razón, el control sobre la temperatura se hará de forma automática. De esta forma, un termopar registrará el valor de la variable a la salida de los intercambiadores de calor y enviará la señal a un procesador, que tomará la decisión de iniciar la refrigeración o en su defecto encender la resistencia eléctrica para aumentar la temperatura.

---

#### **6.2.4.1. Refrigerador**

El equipo encargado de retirar el calor a la mezcla agua-etilenglicol utilizado como fluido de enfriamiento, estará conformado enteramente por partes de fácil obtención en el mercado nacional, por lo que su respectivo evaporador, condensador, ventiladores y otras partes serán de tipo convencional, sin la utilización de piezas especiales para mejorar el rendimiento. Este hecho facilitará el mantenimiento y el intercambio de partes en casos de fallas en la operación.

La mezcla agua-etilenglicol será utilizada como fluido de enfriamiento debido a su alta conductividad térmica y baja tendencia a la corrosión, característica ideal para circuitos cerrados de refrigeración tal como el encontrado en el equipo de inyección, este desempeño ha sido comprobado en Inversiones en Fibra C.A. gracias a la experiencia que se tiene con este mismo producto en otros equipos de tratamiento de resina poliéster.

El gas refrigerante utilizado en el proceso será HFC-134a, cumpliendo con las normas pautadas en el Protocolo de Montreal. Finalmente la capacidad medida en BTU del refrigerador, será determinada en el diseño en detalle posterior al presente trabajo, ya que con anterioridad deben realizar trabajos de dimensionamiento de los intercambiadores de calor que finalmente dictaminaran el flujo de fluido por enfriamiento que atravesará el refrigerador.

#### **6.2.4.2. Intercambio de Calor**

Esta etapa es complementaria con el ciclo de refrigeración, ya que las dos en conjunto son las encargadas de realizar los cambios necesarios en las temperaturas de los compuestos. No obstante, los intercambiadores de calor se consideran una unidad diferente, debido a que conllevan un diseño detallado que debe ser tomado en cuenta individualmente, la razón principal es la presencia de una resistencia eléctrica adosada al mismo.

---

La resistencia tiene como función principal aumentar la temperatura de la mezcla agua-etilenglicol cuando sea necesario, esto será posible enviando electricidad al alambre resistor, que se irá calentando progresivamente aplicando calor sobre el líquido, luego este atravesará el intercambiador transfiriéndole el mismo a los reactivos base. Se debe destacar, que de igual manera que el refrigerador, la resistencia será encendida o apagada a través de un procesador central, que tomará la decisión dependiendo de la temperatura que registren los termopares a la salida de los intercambiadores.

Los intercambiadores de calor serán multitubulares y el material de construcción principal es acero al carbono, de esta manera se podrán disminuir los costos asociados, basándose en el criterio de que la cantidad de calor a transferir no es alta. En lo que a especificaciones se refiere, estas serán determinadas en el diseño en detalle, sin embargo, se puede adelantar que el fluido que se desplazará por el interior de los tubos serán los reactivos, debido principalmente a su alto coeficiente de ensuciamiento.

### **6.2.5. Cabezal de Inyección**

El cabezal de inyección o mezclado es el lugar donde finalmente se unirán el polioli y el diisocianato en función de formar poliuretano. Este proceso se debe realizar también de una forma correcta de manera de asegurar máxima calidad en el producto final. La principal variable que determinará las propiedades del poliuretano, es la mezcla constante y enérgica de los reactivos en todo momento, así se disminuye la pérdida de material y la reacción se llevará a cabo completamente y con una alta conversión.

En este mismo afán, el cabezal de inyección (Figura N° 33) tendrá en el interior de la cámara de mezclado, un agitador que asegura la combinación de los materiales a altas revoluciones, este tendrá adosado su respectivo motor eléctrico cuya ubicación es la parte exterior del cabezal. De esta manera se consigue que los reactivos bases se agiten a 700 RPM aproximadamente, lo que facilitará la combinación química de los materiales, además de la acción del catalizador y el agente soplante.

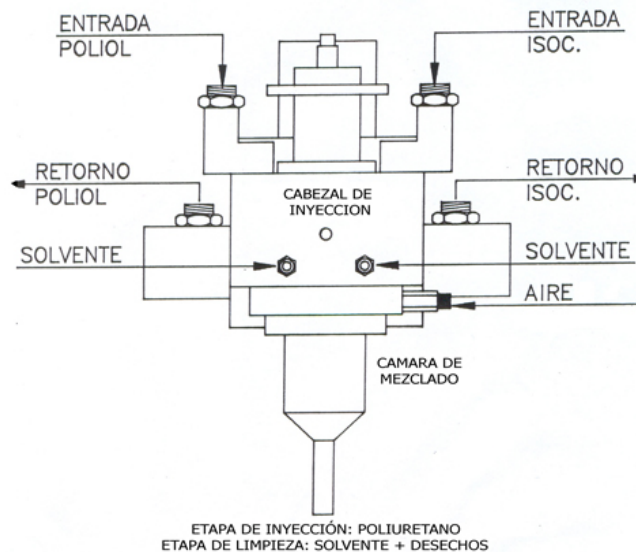


Fig. N° 33. Definición básica de componentes y organización del cabezal de mezclado.

En la Fig. 33 también es importante destacar que la salida del cabezal de inyección tendrá distintas naturalezas dependiendo de la situación en la que se encuentre el equipo, si se está realizando una inyección la salida será la mezcla reactiva de poliuretano, pero si se encuentra en la etapa de lavado la corriente de salida será solvente, aire y desechos de poliuretano.

Debido a que el cabezal es una pieza que debe ser realizada a la medida para el diseño actual, se seleccionará un material de construcción que permita ser trabajado fácilmente, en este caso el aluminio al ser liviano, resistente a la corrosión y de bajo costo, resulta ideal para este propósito. Es por esta razón, que todo el cabezal, incluyendo el agitador y la cámara de mezclado serán elaborados de este material, además se debe destacar que este no presenta reacción con ninguno de los compuestos utilizados en el equipo y es de fácil limpieza.

El cabezal de inyección también está muy relacionado con el sistema de limpieza, ya que en la cámara de mezclado se colocarán cantidades suficientes de solvente y aire, de manera de evitar obstrucciones en el interior a causa del crecimiento del poliuretano. En general, el cabezal de inyección tendrá líneas de entrada, que permitirán el paso de las sustancias necesarias para completar la rutina de limpieza.



---

En el próximo punto se discutirá de manera detallada la relación entre ambos sistemas.

### **6.2.6. Sistema de Limpieza**

El sistema de limpieza cumple una función muy importante dentro del desempeño del equipo, ya que estará encargado de mantener a la inyectora y las líneas de fluido libres de obstrucciones y listas para realizar una inyección. Principalmente debe eliminar todos los restos de reactivos que se encuentren en el cabezal de mezclado, ya que esta cámara se puede obstruir fácilmente debido al crecimiento indeseado del poliuretano.

#### **6.2.6.1. Solventes**

Para realizar las labores de limpieza automática dentro del equipo, se necesitará de una sustancia química que sea capaz de interactuar con los reactivos base y la mezcla de poliuretano que se forma en la cámara de mezclado. Esta debe disolverlos o en su defecto degradar los materiales que se deseen eliminar del equipo, de manera que puedan ser retirados del mismo de manera sencilla haciendo uso de una corriente de aire.

Existen numerosos solventes en el mercado en base a acetonas y esterres etc. Para los efectos de este proyecto, se seleccionará solvente poliéster que bajo estudios de laboratorio ha demostrado ser capaz de interactuar de manera adecuada con los componentes que se desean eliminar. Se debe destacar que este se produce enteramente en el país, por lo que su fácil obtención y bajo costo es un factor de peso en la toma de decisión.

En todo momento debe existir una cantidad mínima de 200 ml de solvente dentro del equipo, de manera que al realizar la inyección se efectúe la rutina de limpieza sin contratiempos, ya que una falla en este sistema podría provocar serias obstrucciones causadas por acción del poliuretano, cuyo tiempo de crecimiento es de aproximadamente 1 minuto. (Véase Sección 3.2).

---

Es por esta razón, que debe encontrarse un recipiente de almacenamiento de solvente de aproximadamente 20 litros, la cual tiene como función mantener al sistema dotado de la importante sustancia. Este estará construido enteramente en acero inoxidable, debido principalmente a las propiedades corrosivas del químico, como también al hecho de que deberá encontrarse bajo presión positiva de manera de facilitar la salida del solvente del recipiente sin necesidad de colocar bombas. Estas condiciones de presión interna serán alcanzadas por la entrada de aire al recipiente en la parte superior. Un diagrama más detallado se puede observar en el Anexo 5.

#### **6.2.6.2. Sistema de válvulas**

Para efectuar la rutina de limpieza después de cada inyección, se necesitará de un sistema de válvulas que regule el paso de solvente y aire a la cámara de mezclado, estas permitirán el paso de los mismos solo en los momentos necesarios, ya que de ocurrir una mezcla indeseada de solvente y el poliuretano destinado a la venta, las especificaciones del producto se verán severamente afectadas. Este sistema de válvulas es claramente detallado en la sección posterior referida al Diagrama de Flujo de Proceso.

Es por esta razón, que al terminar el proceso de mezclado de los reactivos base, es decir, completado la producción de poliuretano; se hará ingresar a la cámara de reacción del cabezal de inyección una cantidad suficiente de solvente y aire que eliminarán por completo los restos de la mezcla reactiva. Los actuadores que permitirán la conclusión de esta rutina son las válvulas eléctricas antes mencionadas.

Una vez completada la limpieza de la cámara ya el sistema se encontrará listo para realizar una nueva inyección en cualquier momento.

---

### **6.2.6.3. Control del Sistema de Limpieza**

Todo el sistema de limpieza en realidad es un proceso sencillo, en el que una cantidad de aproximadamente 150 ml de solvente contenido en un recipiente es impulsada usando aire hasta el cabezal de inyección, aquí este degrada los materiales no deseados y salen inmediatamente fuera del sistema como desechos. Esta cantidad es calculada tomando en cuenta la superficie a limpiar y la cantidad de poliuretano que se acumula dentro de la cámara de mezclado, sin embargo, una medición mas precisa debe ser tomada en cuenta luego de que el equipo sea enteramente construido.

Ahora bien, para poder realizar esta sencilla rutina, se debe tener control sobre las válvulas eléctricas que regularán el paso del solvente y aire, esto se realiza de forma automática utilizando un procesador que envía una señal a las mismas, una vez que se registre el termino de una inyección. De igual manera se enviará una señal de cierre luego de varios segundos de abertura, suficientes como para que no exista ningún tipo de desechos en el cabezal de mezclado, en la sección referida al sistema de control se analizará con más detalle como ocurre este procedimiento.

---

### 6.3. Sistema Eléctrico

Los equipos de inyección de poliuretano de nueva generación se diferencian de los anteriores en gran medida por sus requerimientos energéticos, en las últimas décadas los sistemas neumáticos controlaban las labores de bombeo de las sustancias originarias del poliuretano, lo que conducía a un bajo costo de operación pero una muy baja versatilidad en caso de tener que utilizar distintos tipos de reactivos o simplemente mejorar la calidad del producto manipulando las condiciones de operación.

Inversiones en Fibra C.A. plantea desarrollar un equipo que tome ventaja de toda la tecnología disponible en la actualidad, en función de conseguir un producto de máxima calidad y rendimiento; es por esta razón que un adecuado sistema eléctrico es necesario para mantener toda la infraestructura de control, seguridad y operación misma del equipo.

#### 6.3.1. Requerimientos Energéticos

El equipo de inyección de poliuretano de baja densidad requerirá de una potencia eléctrica de 220 V Trifásica, suficientes para hacer funcionar todos los sistemas asociados al proceso de forma eficiente y simultánea. De igual forma, la unidad solo será capaz de funcionar con un voltaje mínimo de 210 V, en caso de que solo se obtenga un valor inferior no se podrán realizar inyecciones del polímero ya que no se alcanzan los requerimientos energéticos. <sup>(WEG Industrial, 2005)</sup>

Unidades como los inversores de frecuencia son capaces de realizar mediciones de voltaje en tiempo real, por lo que en el caso de ser necesario, se le advertirá al operador que no se pueden iniciar los sistemas asociados, generalmente esta señalización se muestra a través de un mensaje *Sub* reflejado en la pantalla de estos equipos.

---

### 6.3.2. Estructura General

El sistema eléctrico tiene la función de recibir, transformar y distribuir la energía eléctrica alrededor del equipo, por lo que tiene una estrecha relación con las diferentes áreas como control, seguridad etc., esto trae como consecuencia que una pequeña variación en el mismo tendrá una importante repercusión sobre el resto de la inyectora.

A continuación en la Fig. 34 se presenta un diagrama general del sistema eléctrico, destacando su conformación y la marcada interrelación con el resto de las áreas del equipo.

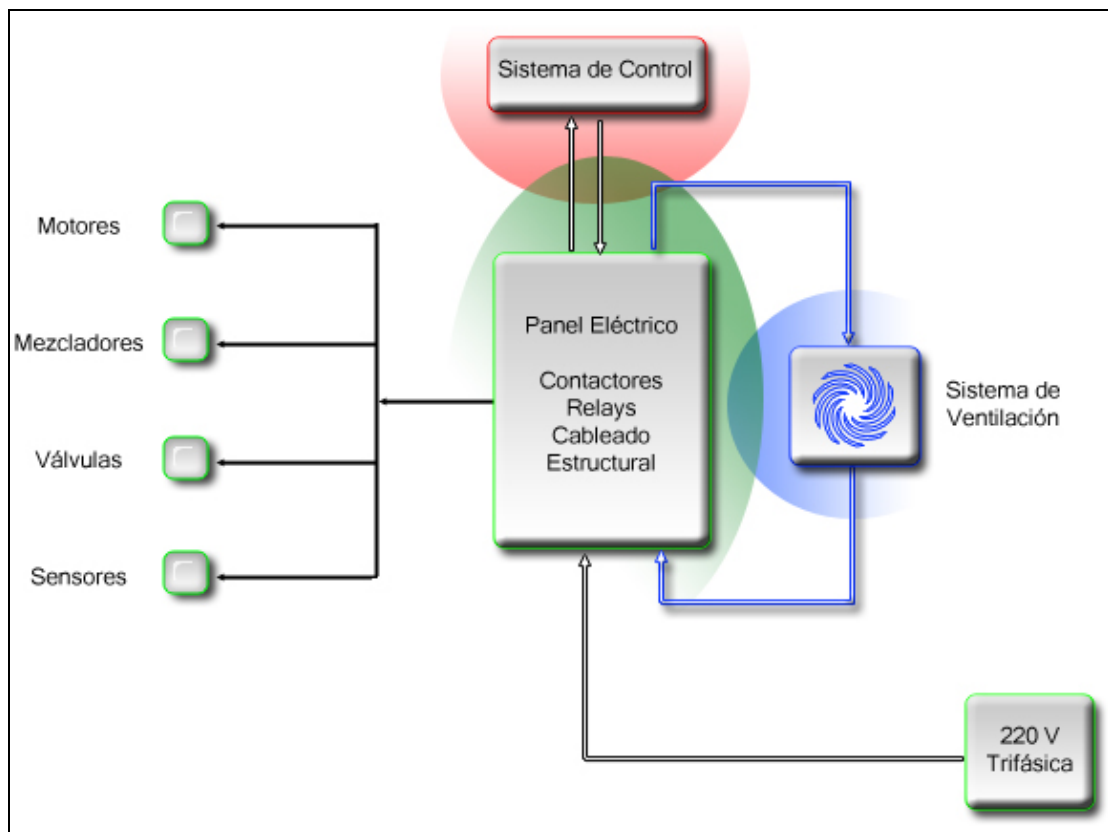


Fig. N° 34. Estructura General del Sistema Eléctrico.

---

Como se observa en la Fig. 34 una vez que el equipo de inyección se encuentra conectado a una red 220 V Trifásica, la infraestructura eléctrica toma cargo de los recursos energéticos y se encarga de distribuirlos con la intensidad necesaria hacia los diferentes equipos como motores, válvulas y sensores, lo que certifica su importante relación con las diferentes áreas del equipo.

También se destaca la presencia de un sistema de ventilación, cuya función será mantener el panel eléctrico bajo condiciones seguras y estables de temperatura, este objetivo será alcanzado a través de un sencillo arreglo de electroventiladores que aseguren un intercambio constante del aire en el interior del panel, de esta manera se disminuirá la temperatura interna y por ende existirá un menor riesgo de choques eléctricos.

Así entonces se puede dividir el sistema en tres etapas generales como lo son Recepción, Distribución y Consumo, para facilitar su comprensión a continuación se detallará cada una de ellas de forma separada.

#### **6.3.2.1. Etapa de Recepción**

Esta etapa esta conformada desde la conexión del equipo de inyección a la red eléctrica hasta las unidades transformadoras de voltaje, a partir de este momento la señal eléctrica será enviada a los distintos puntos de consumo a la intensidad necesaria en cada caso.

La razón principal por la cual se tomaron las decisiones de diseño referentes a la etapa de recepción es la experiencia previa con este mismo tipo de equipos de ingenieros y operadores de la planta, por lo que en primera instancia la conexión a la red se realizará mediante un terminal de 5 pines, uno para cada fase R, S y T y otros dos para aislar a tierra y neutro, de esta manera se cumplen las medidas de seguridad típicas para esta clase de equipos, ya que cualquier choque eléctrico o aumento brusco de voltaje será enviado directamente hacia la conexión a tierra, protegiendo tanto al operador como al mismo equipo de inyección.

---

Una vez esta conectada toda la unidad y las líneas eléctricas llegan al panel principal, se encontrará un arreglo de 3 breakers, uno para cada fase que no serán utilizados como medida de seguridad, excepto en momentos en los que haya que realizar reparaciones mayores a la infraestructura eléctrica, por lo que su uso se verá limitado a estos casos.

A continuación, se encontrará un suiche general de seguridad que deberá ser activado y desactivado cada vez que se encienda el equipo de inyección, y servirá como medida de seguridad para garantizar que las unidades no se encuentran energizadas en un momento dado. Finalmente, las líneas eléctricas atravesarán un botón de encendido on/off, en esta instancia todas las unidades de la inyectora ya se encontrarán listas para ser utilizadas.

Debido a que el equipo de inyección consta de múltiples unidades y cada uno de ellas está diseñado para funcionar a diferentes voltajes, se necesitarán un arreglo de transformadores que conviertan la energía de un voltaje máximo de 220 V hasta 24 V y 12 V, este cambio es necesario para abastecer los sensores eléctricos, el controlador lógico programable, el sistema de ventilación, entre otros.

Una vez que la energía eléctrica ha sido convertida en muchas líneas de diferente intensidad, cada una de ellas es enviada a un contactor o relay diferente, en este punto comienza la etapa de distribución de electricidad.

### **6.3.2.2. Etapa de Distribución**

En el momento que las líneas eléctricas alcanzan los contactores comienza formalmente la etapa de distribución, estos relays automáticos tienen como función determinar cuando debe o no enviarse energía a un equipo en particular, esta decisión está tomada directamente por el controlador lógico programable (CLP), por lo que en esta sección se intersectan el sistema eléctrico y de control.

Para ilustrar mejor este punto, se supone un momento dado en que la temperatura del poliol está por encima del valor del setpoint, en este instante el CLP envía una

---

señal al contactor de la resistencia de calentamiento y este se coloca en la posición *off*, al mismo tiempo se emite una indicación al relay del ciclo de refrigeración y este cambia a posición *on*, de esta manera el sistema de control toma cargo de la estructura eléctrica para que no se presente situaciones de uso incoherente o redundante de las unidades.

El numero de contactores vendrá indicado por la cantidad de equipos asociados que necesiten energía eléctrica, ya sean motores, válvulas o compresores, esta diferenciación conllevará a realizar un trabajo mas ordenado en el área de control y seguridad; ya que si los sensores de monitoreo detectan una situación peligrosa, de manera inmediata se envía una señal de paralización a los equipos que la estén provocando, y si es el caso se remite otra complementaria a la unidad que pueda contrarrestar el síntoma.

Una vez que las líneas salen de los contactores se dirigen a su punto final de consumo, sin embargo, este camino será delimitado a través de un ramal principal dentro del panel eléctrico, de manera ordenada e identificada dentro de placas de polietileno, a este procedimiento se le llama cableado estructural y es muy importante para posteriores etapas de reparación y chequeo. La identificación de cada línea se realizara con un número TAG que identificará cada equipo en particular.

En toda la red de distribución cada vez que exista un cable o línea en el exterior del panel, es decir, en contacto directo con la intemperie se procederá a colocarle una capa externa de isopreno o poliuretano de alta densidad para aumentar el aislamiento de las condiciones ambientales, así como para reducir el riesgo de cortes accidentales que puedan resultar en un suceso con graves consecuencias

### **6.3.2.3. Etapa de Consumo**

La última etapa del sistema eléctrico esta conformada por todos aquellos equipos o unidades que de una u otra manera consumen energía en su funcionamiento, es decir, todos los motores, compresores o sensores que se encuentren dentro del equipo de inyección.



---

El sistema en general debe estar capacitado para soportar que todas las unidades estén en funcionamiento de manera conjunta, lo que quiere decir que la potencia energética debe estar en un nivel adecuado para que el equipo de inyección pueda permanecer en operación de forma cabal, es por esta razón que el umbral mínimo de potencia es 210 V Trifásica de corriente alterna 50-60 Hz.

### 6.3.3. Equipos Asociados al Sistema eléctrico

A continuación se describirán en detalle los equipos asociados más importantes que forman parte del sistema eléctrico, de igual manera se puntualizarán las funciones que deben cumplir dentro del equipo de inyección y especificaciones técnicas:

#### 6.3.3.1. Contactor eléctrico: Telemecanique TeSys K

Los contactores a utilizar como medio de arranque y control de todas las unidades son modelo TeSys K de la marca francesa Telemecanique, su elección se basa en su amplio uso en equipos del mismo tipo, además de que se pueden encontrar fácilmente en el mercado venezolano con una muy buena relación precio-calidad. En cuanto a su función, básicamente servirán como interruptores *on/off* de cada equipo por separado, con la capacidad intrínseca de poder ser intervenidos automáticamente por un controlador lógico programable (CLP) que tomará decisiones luego de analizar los valores de un conjunto de variables

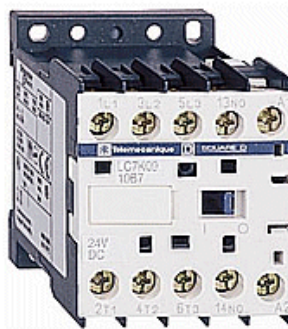


Fig. N° 35. Contactor eléctrico Telemecanique TeSys K.

---

## **Especificaciones Técnicas**

- Protección para equipos AC o DC.
- Protección contra efectos ambientales.
- Sensibilidad de fase simple, bifásica y trifásica.
- Reseteado manual o automático.
- Funcional para amplio rango de voltajes.

### **6.3.3.2. Motores Eléctricos: WEG IP55 Dahlander 4/2 polos Par Variable**

Los motores eléctricos WEG de fabricación brasilera son ampliamente utilizados en la industria nacional, demostrando excelente calidad, buen precio, amplia base de servicio técnico instalada en Venezuela y más importante aún versatilidad, por estas razones, se selecciona este tipo de unidad para ser utilizados en todas las instancias en donde se requieran motores eléctricos dentro del sistema.

Además de la versatilidad del equipo, la decisión de utilizar un solo tipo de motor para todas las funciones fue impulsada por el componente económico, ya que este hecho reduce los costos de forma dramática en el momento de realizar mantenimientos y sustituciones, incrementando la capacidad de conseguir repuestos de forma rápida y eficaz, en vez de utilizar catálogos individuales que no aportan beneficios reales a la empresa.

La versatilidad de este tipo de motor eléctrico esta basado en sus características técnicas, al demostrar un torque de gran magnitud que es capaz de manejar fácilmente bombas tipo engranaje como las encontradas en el equipo de inyección para el poliol y el diisocianato; además posee una elevada velocidad de giro de hasta 2000 RPM ideal para la etapa de mezclado de los componentes base.

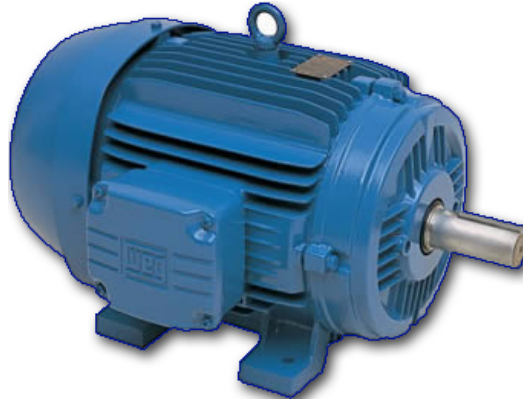


Fig. N° 36. Motor eléctrico WEG IP55.

### **Especificaciones Técnicas**

Aplicabilidad en ventiladores, extractores de aire, bombas, sierras, molinos, grúas, compresores, inyectoras, equipamientos para panificación, cintas transportadoras y máquinas para herramienta.

- Potencia: 0,25/ 0,4 hasta 80/125HP, IV/II polos (0,18/0,3 hasta 60/90kW, IV/II polos).
- Carcasa de fundición gris: 63 hasta 315 S/M.
- Baja tensión.
- Frecuencia: 50-60 Hz.
- Protección: IP55 (TCVE).

### **6.3.3.3. Conectores y Cables Eléctrico: Merlin Gerin Five-Plug Connector**

Este tipo de instalación ofrece protección frente al agua y presentan todas las características de calidad y seguridad buscadas por Inversiones en Fibra C.A., a pesar de involucrar un costo adicional son necesarios para la conexión eficaz de cada equipo unitario a la red principal del sistema eléctrico. En estos casos, se utilizan conectores de 5 pines para garantizar conexión a tierra y neutral.

---

## **6.4. Sistema de Control**

El sistema de control es quizás el elemento que mas repercusión tiene en la calidad final de los productos y en la seguridad de los equipos industriales, gracias a este, los operadores son capaces de monitorear y manipular muchas variables sin necesidad de tener control físico de las mismas; lo que aumenta en gran medida la eficiencia y en muchos casos supera el desempeño que pueda realizar un ser humano.

El control automático de procesos esta relacionado directamente con el monitoreo e intervención sobre las variables principales como temperaturas, presiones, flujos, composiciones, entre otras. Como es conocido, estas condiciones son dinámicas por naturaleza y los cambios siempre están ocurriendo, es por esta razón que una toma apropiada de decisiones tiene tanta importancia para conseguir un producto de máxima calidad, un equipo seguro y en las cantidades estimadas en el momento del diseño.

A continuación se definirán varios puntos que explican detalladamente, las bases del diseño como también las unidades asociadas en el sistema de control del equipo de inyección de poliuretano.

### **6.4.1. Filosofía de Control**

En la etapa de desarrollo de un equipo siempre se debe definir una filosofía general de control, herramienta que sirva de visión característica de la unidad, y esté presente en todas las consecuentes fases de desarrollo, es decir, normas básicas que deben ser respetadas en todo momento en orden de cumplir con los requerimientos del diseño.

El diseño actual no escapa a este comportamiento por lo que a continuación se puntualizan una serie de máximas que deberán ser tomadas en cuenta para el diseño y construcción del equipo:

- 
- Las variables de proceso, como temperatura de los materiales y presión de las líneas, deberán ser monitoreadas en forma redundante, es decir, haciendo uso de sensores electrónicos y análogos que certifiquen la veracidad de todos los datos.
  - Todo el sistema de control y monitoreo del equipo, está orientado en función de conseguir una máxima calidad en el producto de salida, haciendo énfasis en propiedades básicas como la densidad y resistencia a la compresión del poliuretano rígido.
  - Todos los sistemas que componen al equipo, deben tener como prioridad maximizar la seguridad del operador y sus alrededores.
  - El equipo de inyección de poliuretano de baja densidad, debe estar orientado a proporcionar las menores emisiones de gases dañinos al ambiente, por lo que los materiales utilizados deben ser de última generación.
  - Todos los sistemas deben estar diseñados con el objetivo de facilitar las labores del operador, y que este sea capaz de alcanzar un trabajo de excelente calidad.

#### **6.4.2. Estructura General**

El sistema de control tiene como particularidad una cercana interrelación con las demás estructuras de la inyectora, entre las que se encuentran los equipos eléctricos, de proceso y de seguridad. Es por esta razón, que en cada situación en donde deba ser tomada una decisión, la estructura de control tomará en cuenta toda la información suministrada por estos sistemas, de tal manera que se pueda ejecutar una acción adecuada en cada momento.

En la Fig. N° 37 se presenta un diagrama general de la conformación del sistema de control, destacando el intercambio de información constante entre este y los demás equipos asociados de la inyectora.

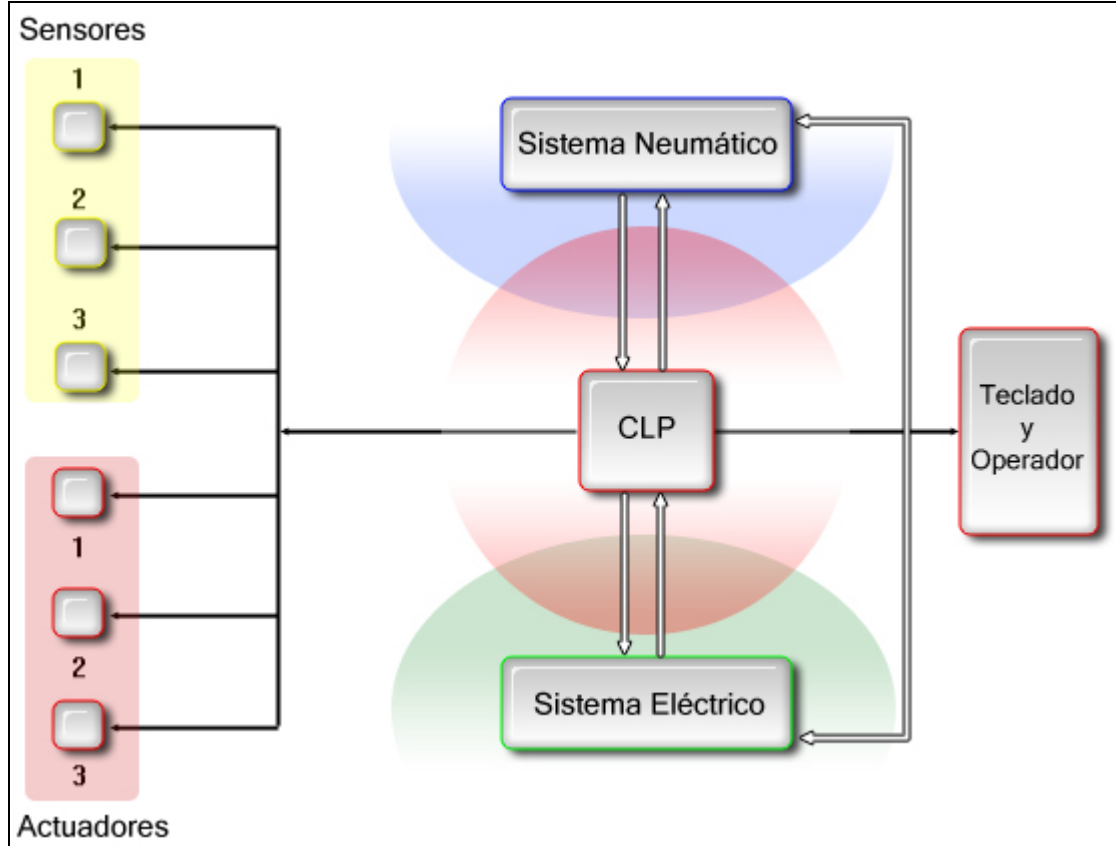


Fig. N° 37. Diagrama general del sistema de control.

Como se puede observar en el área central del diagrama, el CLP o Controlador Lógico Programable, es en si el centro neurálgico de la estructura general, ya que en esta unidad se recibe toda la información de los demás equipos, destacando sensores y sistemas asociados como también del operador externo. De esta manera, el CLP debe estar capacitado para discriminar la información importante, procesarla y enviar en cualquier momento una acción específica a los demás sistemas o en algunos casos concretamente a un actuador.

Para que esta unidad pueda desempeñar esta tarea, se debe programar para afrontar la mayor cantidad de situaciones diferentes posibles, ya sean de índole de proceso, seguridad o simplemente operaciones rutinarias. En caso de que el CLP no pueda definir una solución o acción, el control lo tomará directamente el operador que tendrá la potestad de realizar cambios en todo el equipo de inyección, como por

---

ejemplo variación del setpoint de las variables, tiempos relacionados con el sistema de limpieza, entre otras funciones.

El controlador lógico programable tiene adosado un teclado con pantalla digital que le permita al operador realizar distintas labores de programación, estas se pueden puntualizar de la siguiente manera:

- Variación de los valores de setpoint de las variables.
- Monitoreo del valor actual de cada variable de proceso como temperatura y presión.
- Activar/Desactivar equipos asociados del sistema eléctrico como motores o mezcladores.
- Definir tiempos base de la rutina de limpieza, que repercutirán en la cantidad de solvente y aire utilizados
- Definir tiempos de inyección de poliuretano.

Es ultimo punto es definitivamente el mas relevante en el funcionamiento del CLP. Para ilustrarlo mejor, se supone una situación en la que se necesite realizar una inyección de 5 Kg. del polímero, si las bombas de polioliol y diisocianato ya se encuentran a la velocidad regulada y calibrada por el operador, se conocerá que cantidad de poliuretano sale del equipo cada segundo, que para efectos del ejemplo se supondrá en 500 gr./s, de esta manera el tiempo de inyección para un total especificado de 5 Kg. será de 10 s, este valor debe ser programado a través del teclado en el CLP, por lo que cada inyección consecuente tendrá exactamente esta masa.

Además del CLP, el sistema de control esta conformado por una red de sensores y actuadores electrónicos tales como termopares, manómetros y válvulas eléctricas. Los sensores tendrán como función recoger la información que será enviada al CLP para análisis y muestra en pantalla, los actuadores ejecutarán la acción y funcionan como los elementos finales de control, mientras que las válvulas serán la responsables de permitir el paso de polioliol y diisocianato hacia el cabezal de

---

inyección en caso de que estén abiertas, de lo contrario mantendrán a estos materiales en constante recirculación hacia los tanques de almacenamiento.

La estrecha relación entre la estructura de control y los sistemas eléctricos y neumáticos, permitirán en un momento dado ejecutar acciones inmediatas en alguno de ellos. Por ejemplo desactivar un motor eléctrico que este presentando sobrecalentamiento, encendido del sistema de refrigeración o simplemente permitir el comienzo de la rutina de limpieza dominado principalmente por el sistema neumático. Esta unión de todos los sistemas permitirá un funcionamiento coherente y ajustado a la filosofía de diseño.

Finalmente, todos estos sistemas y unidades en conjunto aseguran el continuo y correcto funcionamiento del equipo en condiciones seguras y estables, además de constatar que el producto de salida sea de la más alta calidad, cumpliendo de esta manera uno de los objetivos principales del diseño.

#### **6.4.3. Equipos Asociados al Sistema de Control**

A continuación se describirán en detalle los equipos asociados más importantes que forman parte del sistema de control, además se profundizará mas en las funciones que deben cumplir dentro del equipo de inyección y especificaciones técnicas:

##### **6.4.3.1. Controlador Lógico Programable o CLP: Solaris S9000**

El controlador lógico programable tiene como función recopilar y analizar toda la información suministrada por otros sistemas y sensores, mostrarlas al operador y en los casos en los que haya sido programado ejecutar una acción inmediata. En cuanto a la interfase necesaria para relacionarse con el operario, la unidad estará dotada con un teclado alfanumérico y una pantalla digital que permitirán el intercambio de información, y más importante aún, será la herramienta necesaria para permitir la programación del CLP que posteriormente tendrá un efecto sobre todo el equipo de inyección.



---

El equipo seleccionado para ser utilizado en el diseño del equipo de inyección de poliuretano de Inversiones en Fibra C.A. es el CLP Solaris S9000 de fabricación brasilera, se selecciona esta unidad debido principalmente a su sencilla adaptabilidad, experiencia previa de esta compañía en equipos similares y la posibilidad de que la misma empresa efectuó las labores de programación inicial del CLP para este equipo en particular.



Fig. N° 38. Controlador Lógico Programable Solaris S9000.

### **Especificaciones Técnicas**

Controlador Programable capaz de manejar hasta 512 entradas/salidas, con amplias capacidades de interacción hombre-maquina.

- 128 Kb FLASH EPROM Memory.
- 128 Kb RAM Memory.
- 512 Kb EPROM Memory.
- 20 MHz Clock.
- 2 Communication Ports (RS-485, RS-232).

Pantalla Digital de dos líneas monocromática y Teclado Alfanumérico con 16 botones programables.

---

### 6.4.3.2. Inversores de Frecuencia: WEG CFW08 plus

Los inversores de frecuencia son las unidades encargadas de controlar la velocidad de revolución de los motores eléctricos que están adosados a las bombas de poliol y diisocianato, su importancia radica en la capacidad que adquiere el operario de controlar el flujo de cada material y por lo tanto mantener las proporciones ideales para la reacción de formación de poliuretano.

Estos equipos son conectados directamente a cada motor, a través de una conexión eléctrica de voltaje variable, por lo que dependiendo de la intensidad que se envíe desde el inversor los motores girarán a una velocidad diferente. En este caso la marca seleccionada es WEG CFW-08 PLUS, debido a su fácil programación para los motores eléctricos utilizados en la inyectora que también son de la misma casa constructora.

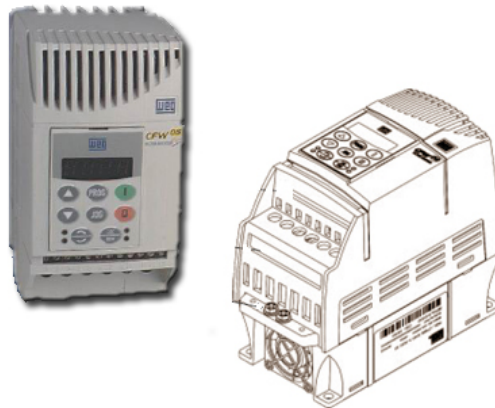


Fig. N° 39. Inversor de frecuencia WEG CFW08 Plus.

### Especificaciones Técnicas

- Control con DSP (Dígital Signal Processor) permite una respuesta notable en el desempeño del motor.
- Electrónica con componentes SMD.
- Modulación PWM Sinusoidal - Space Vector Modulation.
- Módulos IGBT de última Generación.
- Accionamiento Silencioso del Motor.

- 
- Interfase con teclado de Membrana Táctil.
  - Programación Flexible.
  - Dimensiones compactas.
  - Instalación y Operación Simplificada.
  - Alto Par (torque) de Arranque.
  - Kit para instalación en electroducto.

#### **6.4.3.3. Presostatos: Markare MTP-100**

El presostato MTP-100 (Fig. 40) es un sensor en línea de alta precisión que permite la lectura de presión de flujos en movimiento en un rango entre 1 y 100 psi. Tiene como característica la capacidad de ser calibrado fácilmente por el operario, además de limpiarse con facilidad, propiedad muy importante en este caso debido a su contacto directo con sustancias químicas como el diisocianato.

Los presostatos Markare han demostrado tener una alta fiabilidad en otros equipos existentes dentro de Inversiones en Fibra C.A., por lo que su elección se basó principalmente en la experiencia previa que se tiene con esta misma familia de unidades.

#### **Especificaciones Técnicas**

- Salida de 4 a 20mA o 0 a 10V.
- Alimentación de 12 a 36 V.
- Precisión de 0,5%.
- Temperatura de Ambiente Máxima: 0 a 40°C.
- Temperatura de Proceso Máxima: 0 a 80°C.
- Tiempo de respuesta: 100 uS.
- Resistencia de Carga: 1,2 Kohms.
- Conexión de Proceso: ¼" \ ½" \ ¾" \ 1" NPT o BSP.
- Grado de Protección de IP-67 o IP-68.

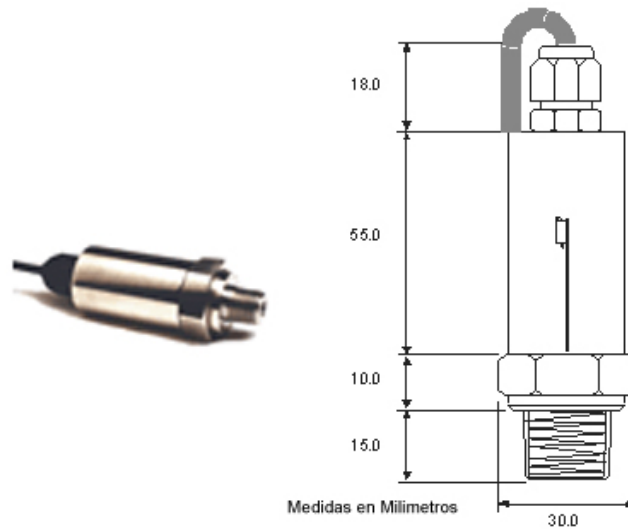


Fig. N° 40. Presostato MTP-100 Markare.

#### 6.4.3.4. Termopares: Markare TC-110

Los termopares TC-110 de Markare (Fig. 41), son al igual que los presostatos, sensores en línea de alta precisión que realizan lecturas constantes de la temperatura a la que se encuentran las sustancia líquidas o sólidas en la que se desee realizar el monitoreo. Su eficacia radica en su construcción maciza y aislada del contacto directo con la materia en cuestión, por lo que no ocurre contaminación de los diodos térmicos, y se obtienen mediciones constantes y confiables a lo largo del tiempo.

La principal razón por la que se utiliza este tipo de unidades en el equipo de inyección de poliuretano, es que actualmente ya están siendo utilizadas en Inversiones en Fibra C.A. dentro de equipos de tratamiento de resina poliéster, por lo que su eficacia y calidad ya ha sido comprobada en diferentes condiciones.

#### Especificaciones Técnicas

- Salida de 4 a 20mA o 0 a 10V.
- Alimentación de 24 V.
- Precisión de 0,2%

- 
- Rango de Trabajo (Temperatura): 0 a 150°C.
  - Temperatura de Proceso Máxima: 180°C.
  - Tiempo de respuesta: 100 uS.
  - Conexión de Proceso: 1/2" \ 3/4" \ 1" NPT o BSP.
  - Grado de Protección de IP-67 / IP-68 / IP-100.

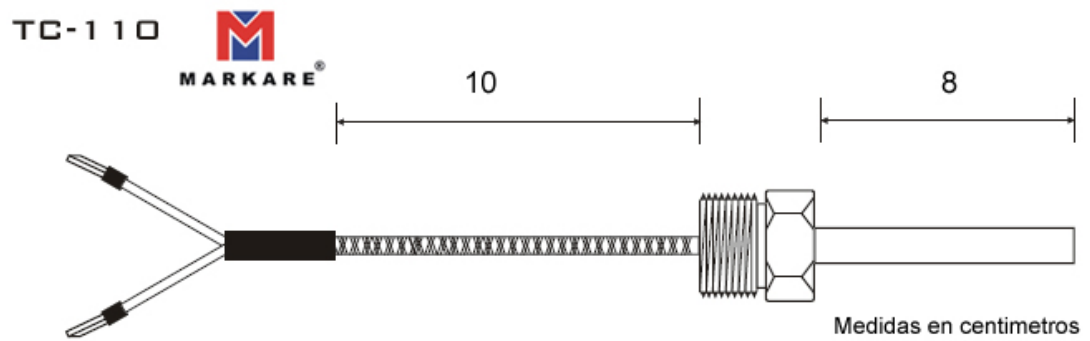


Fig. N° 41. Termopar TC-110 Markare.

---

## **6.5. Sistema Neumático**

Las inyectoras que funcionan utilizando aire a presión para labores de bombeo ya tienen aproximadamente 30 años en el mercado, sin embargo, han caído en desuso debido a la insuficiente capacidad que ofrecen estos sistemas para controlar las variables de proceso como flujos y temperaturas. Es por esta razón, que en el diseño actual se utilizan tecnologías específicas para cada caso, que aunque implican un costo adicional, marcan la diferencia en la calidad del producto final.

El sistema neumático es el componente más sencillo del equipo de inyección de poliuretano diseñado por Inversiones en Fibra C.A., ya que su única función radica en enviar aire y solvente al cabezal de inyección durante la rutina de limpieza y estará controlado directamente por el sistema eléctrico a través de válvulas automáticas.

### **6.5.1. Requerimientos Neumáticos**

Para que el equipo de inyección de poliuretano funcione de manera adecuada requerirá una presión de aire mínima de 70 psi, con una humedad relativa menor a 30%, además se colocará en el equipo de inyección, un lubricador de aire con el objetivo de aumentar la vida útil de las válvulas y otras unidades que presenten piezas en movimiento.

### **6.5.2. Estructura General**

La estructura neumática no escapa al comportamiento de interrelación de sistemas generalizado en todo el equipo, es decir, su funcionamiento esta muy unido al desempeño que presenten tanto el sistema eléctrico como de control, de este modo se deriva una estructura particular. En la Fig. 42 se presenta un diagrama general de la conformación del sistema neumático.

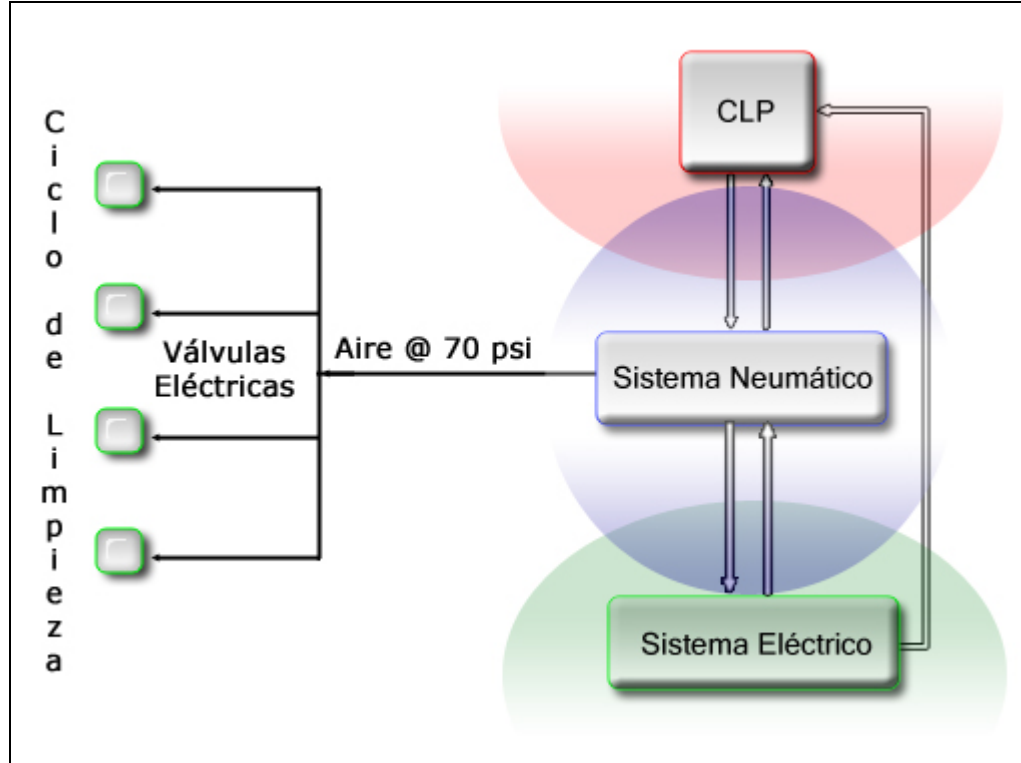


Fig. N° 42. Estructura Básica del Sistema Neumático.

Una vez que el equipo de inyección está conectado a una red de aire a presión, una válvula general determinará el paso del mismo hacia el sistema neumático, en esta instancia, el aire atravesará una trampa termodinámica para retener la humedad y un lubricador con la finalidad de mejorar las condiciones del mismo de cara a las válvulas eléctricas que se encuentran aguas arriba.

Las válvulas eléctricas estarán conectadas individualmente a un contactor, y estos a su vez al controlador lógico programable, por lo que en el momento en el que se desee ejecutar la rutina de limpieza el CLP enviará una señal de forma conveniente para permitir el paso de aire y solvente hacia el cabezal de inyección. Una vez terminado el ciclo las válvulas se cerrarán y se podrá realizar una nueva inyección de polímero.

El solvente poliéster es una sustancia capaz de disolver el polímero antes y después de su curación definitiva, aquí radica la importancia de que este se administre en

---

cantidades suficientes como para cumplir cabalmente con el ciclo de limpieza. Para que este sea trasladado desde su tanque de almacenamiento hasta el cabezal de inyección, una línea de aire a presión llegará a la parte superior del recipiente, mientras que otra línea de solvente saldrá de la parte inferior, por lo que en todo momento existirá una presión positiva que impulsará el solvente poliéster en la dirección adecuada. Alrededor del cabezal de mezclado se encontrará una válvula controlada por el CLP que permitirá el paso final o no del disolvente hacia la cámara de inyección.

Todas las líneas de aire y solvente estarán hechas en base a polipropileno de alta densidad, de esta manera se podrá soportar una presión constante en todas las etapas del funcionamiento del equipo de inyección, además de ser un material que no se degrada por la acción del solvente. Las conexiones o fittings estarán construidas en su totalidad de bronce, este material es ideal para disminuir la posibilidad de escapes innecesarios y conjuntamente presenta una alta durabilidad.



---

## 6.6. Especificaciones de Reactivos

Uno de los objetivos principales que se plantean en el diseño del equipo de inyección de poliuretano, es que este sea capaz de manejar los reactivos de nueva generación, es decir, aquellos con bajo contenido en compuestos potencialmente contaminantes y dañinos para la capa de ozono.

Es por esta razón, que Inversiones en Fibra C.A., luego de realizar pruebas previas al actual diseño con referente a calidad y propiedades de producto final, ha decidido cambiar la materia prima base con la cual se produce el poliuretano, desde polioles y diisocianatos de la marca Synthesis® a reactivos de nueva generación producidos por Bayer Material Science® o DOW Chemicals®. Es importante destacar que la oferta de reactivos originarios de poliuretanos es inmensa, sin embargo, solo un par compatible de polioliol y diisocianato producirá un polímero terminado de inmejorable capacidad aislante.

A continuación en la tabla N° 4, se presentan los resultados presentados como una matriz de decisión en base a los estudios previos en Inversiones en Fibra C.A. realizados con los diferentes reactivos, de esta manera se seleccionan los tópicos más importantes y que tendrán mayor repercusión en la calidad del producto final. Los factores analizados son propiedades físico-químicas, precio y disponibilidad.

Tabla N° 4. Matriz de decisión comparativa entre los compuestos originarios.

Marca de Reactivos	Propiedades		Precio	Disponibilidad	TOTAL
	Reactivos	Producto			
<b>DOW® Chemicals</b>	4	4	4	4	16
<b>Synthesis®</b>	3,5	3,5	5	5	17
<b>Bayer® MS</b>	5	5	4	5	19

La matriz de selección se realiza asignándole un valor adimensional en una escala de 1-5 a cada una de las propiedades de interés para Inversiones en Fibra y que representan un factor importante tanto en el diseño del equipo como en la calidad del producto. El producto que obtenga la más alta calificación representa la mejor solución para ser utilizada en conjunción con el diseño planteado.

Como se aprecia el material (Poliol-Diisocianato) fabricado por Bayer Material Science ® obtiene el mejor resultado general, por lo que es elegido como reactivo base en el diseño del equipo de inyección de Inversiones en Fibra.

A continuación se presentan las tablas de especificaciones de ambos materiales, directamente obtenidas de laboratorios Bayer:

### 6.6.1. Bayer Desmodur® 44V20L (Bayer Material Science, 2005)

Compuesto aromático de monómeros homólogos en base a diisocianato de difenilmetano (MDI), se suministra como un líquido pardo de baja viscosidad. Se debe combinar con compuestos Desmophen ® apropiados para obtención de aislantes, selladores o masas de colada. En caso de ser utilizado con polioles de otras marcas se deben realizar pruebas exhaustivas para garantizar la obtención del producto deseado.

Tabla N° 5. Propiedades del polidiisocianato Bayer Desmodur® VL.

Propiedad	Valor	Unidad	Método
Viscosidad	90 (+-) 20	mPA.s	Método Interno (2011-0313703-95)
Peso Equivalente	aprox. 133		
Punto de Inflamación	aprox. 220	°C	DIN EN ISO 2719
Densidad a 20 °C	aprox. 1,24	g/ml	DIN EN ISO 2811-3

Tabla N° 6. Características generales del polidiisocianato Bayer Desmodur® VL.

<b>Compatibilidad</b>	El Desmodur VL es compatible con muchos poliésteres y poliéteres una vez superado un breve periodo de reacción previa. En caso de duda conviene realizar ensayos previos de compatibilidad.
<b>Propiedades/Aplicación</b>	El Desmodur VL se utiliza por ejemplo con el Desmophen 1140, 1145, 1150 y 575 U. En función del tiempo de reacción se pueden lograr productos rígidos o elásticos. La reacción no debe ocurrir en presencia de agua.
<b>Almacenaje</b>	El producto es sensible a la humedad. La temperatura recomendada es de 10 a 30 °C. meses.

---

### 6.6.2. Bayer Desmophen® 1150 (Bayer Material Science, 2005)

Es un polioli ramificado con grupos éter y éster, lo que lo convierte en un reactivo de altísima actividad. Es un líquido amarillento sin disolventes y sus productos son de alta resistencia y buena elongación.

Tabla N° 7. Propiedades del polioli Bayer Desmophen® 1150.

Propiedad	Valor	Unidad	Método
Viscosidad a 23 °C	90 (+-) 20	mPA.s	DIN EN ISO 3219
Peso Equivalente	aprox. 362		
Punto de Inflamación	> 200	°C	DIN EN ISO 2719
Contenido en Agua	< 0,1	%	DIN 51 777-1
Índice de Hidroxilo	4,7 (+-) 0,2	%	DIN 53 240
Índice de Acidez	< 2	mg KOH/g	DIN EN ISO 5462
Índice de Color Yodo	< 5		DIN EN 1557
Densidad a 20 °C	aprox. 1,01	g/ml	DIN EN ISO 2811-3

Tabla N° 8. Características generales del polioli Bayer Desmophen® 1150.

<b>Compatibilidad</b>	En general existe compatibilidad con polidisocianatos del tipo MDI y HDI. Realizar siempre ensayos previos a la compra.
<b>Propiedades/Aplicación</b>	Se combina de manera ideal con el Desmodur VL. Es idóneo para fabricar compuestos aislantes y masas de recubrimiento, Los principales campos de aplicación son el hormigón, resina poliéster y acero.
<b>Almacenaje</b>	En condiciones correctas, con los bidones originales bien cerrados y a 30 °C tiene una estabilidad promedio de 6 meses.
<b>Solubilidad</b>	Puede diluirse en ésteres, poliésteres, cetonas, disolventes aromáticos y éster-ésteres. Debe asegurarse que los disolventes carezcan de grupos reactivos.

---

## 6.7. Especificaciones de Producto

El equipo de inyección planteado en el diseño actual, tendrá como producto único a la venta Poliuretano Rígido de Baja Densidad, este debe estar sujeto a varias especificaciones en orden de cumplir con parámetros de calidad y vida útil asociada a este tipo de material.

Inversiones en Fibra C.A. ha desarrollado un estándar asociado con el tipo de poliuretano que deben contener sus productos, algunas de las propiedades más importantes son:

Tabla N° 9. Propiedades típicas de producto final. Poliuretano Rígido de baja densidad.

Propiedad	Valor	Unidad
Color	Amarillo Pálido	
Densidad a 20 °C	35 -- 40	Kg/m <sup>3</sup>
Conductividad Térmica	0,012	Kcal/m.h.°C
Celdas Cerradas	>85	%
Permeabilidad Prom.	5	g.m <sup>2</sup> .día/mmHg
Resistencia Compresion	2 -- 3	Kg/cm <sup>2</sup>
Estabilidad dimensional		
24 horas a -15 C	max. 1	%
24 horas a 80 C	max. 1	%

Propiedades típicas, no se deben considerar como especificaciones.

---

## 6.8. Diagrama de Flujo de Proceso

A continuación se presenta el Diagrama General de Flujo de Proceso, en donde se destacan los sistemas, unidades asociadas y las líneas de proceso, con el objetivo de formar una visión clara tanto de los equipos presentes como de la organización de los mismos en el diseño de la inyectora de poliuretano rígido de baja densidad.

Fig. N° 43. Diagrama de Flujo de Procesos (A) Equipo de Inyección (B) Ciclo de Agua (C) Ciclo de Limpieza (Solvente/Aire)









---

### 6.8.1. Balance de Masa

A continuación se presenta el balance de masa general del proceso, destacando en cada corriente flujo del proceso, identificación de fases involucradas y temperatura.

El balance de masa se realizó en tablas con el objetivo de simplificar el diagrama de flujo de proceso:

Tabla N° 10. Balance de Masa General del Proceso.

N° Corriente	Flujo, M (gr/sg)	Temperatura, T (°C)	N° Fases
1	150	25	1
2	150	25	1
3	150	25	1
4	400	25	1
5	400	25	1
6	400	25	1
7	150	25	1
8	30	25	1
9	30	25	1
10	150	25	1
11	150	25	1
12	300	25	1
13	150	25	1
14	----@70psi	25	1
15	----@70psi	25	1
16	----@70psi	25	1
17	150	25	1
18	150	25	1
19	400	25	1
20	400	25	1
21	400	25	1
22	150	25	1
23	150	25	1
24	150	25	1
25	100	25	1
26	100	25	1
27	100	25	1
28	100	25	1
29	100	25	1
30	100	25	1
31	100	25	1
32	100	25	1
33	100	25	1
34	100	25	1
35	100	25	1
36	100	25	1

Tabla N° 10. (Continuación) Balance de Masa General del Proceso

N° Corriente	Flujo, M (gr/sg)	Temperatura, T (°C)	N° Fases
37	50	25	1
38	100	25	1
39	100	25	1
40	100	25	1
41	50	25	1
42	50	25	1
43	50	25	1
44	100	25	1
45	100	25	1
46	100	25	1
47	50	25	1
48	50	25	1
49	----@70psi	25	1
50	----@70psi	25	1
51	----@70psi	25	1
52	----@70psi	25	1
53	----@70psi	25	1
54	----@70psi	25	1
55	----@70psi	25	1
56	----@70psi	25	1
57	----@70psi	25	1
58	60	25	1
59	100	25	1

---

## 6.9. Diagrama de Tubería e Instrumentación

A continuación se presenta el Diagrama de Tuberías e Instrumentación, en donde se hace énfasis en los sistemas de control y dimensionamiento de las líneas de proceso. En cuanto a la estructura de control esta se hace respondiendo a las normas ISA referida para este propósito.

Fig. N° 44. Diagrama de Tuberías e Instrumentación (A) Equipo de Inyección (B) Ciclo de Agua (C) Ciclo de Limpieza (Solvente/Aire)







---

## Capítulo 7. Sistemas de Seguridad

En la actualidad es imperativo que los equipos de proceso, especialmente a escala industrial, cumplan con una serie de normas y limitaciones que certifiquen en conjunto un uso confiable y seguro del sistema, de esta forma se pueden evitar daños físicos y económicos que en algunos casos son devastadores.

Los equipos de inyección de poliuretano de nueva generación no escapan a esta tendencia, por lo que en el diseño actual, se tomarán en cuenta diversas medidas puntuales que forman una completa red de elementos de seguridad; teniendo como filosofía principal la protección redundante de cada variable, resguardo del operador y los alrededores.

A continuación se plantean las medidas de seguridad tomadas en cada uno de los sistemas que componen el equipo de inyección:

### **7.1. Sistema Eléctrico**

#### **7.1.1. Panel eléctrico**

La mayoría de los equipos industriales que se utilizan en la actualidad, presentan de manera consistente un panel eléctrico en donde todas las unidades asociadas puedan ser desconectadas automáticamente en caso de fallas o emergencia. Los equipos de inyección de poliuretano de la generación anterior no contaban con estos sistemas, por lo que existía un importante riesgo de daños y choques eléctricos, y peor aun, era la total discapacidad del operador de detener una unidad o todo el equipo de manera inmediata.

Por esta razón, el diseño actual involucra la presencia de un moderno panel eléctrico, que se relacionará directamente con el sistema de control. De esta manera se permitirá el apagado o encendido de cada unidad (Motores eléctricos, Inversores de frecuencia, etc.) en forma individual, según sea la necesidad de la situación, todo

---

esto a su vez regido por un CLP (Controlador Lógico Programable) que coordinará las acciones a tomar en un momento dado.

En el momento en que el equipo de inyección se encuentre conectado a una red 220V Trifásica, se deberá girar un Llave de Seguridad General (LSG) que permitirá el paso de alimentación hacia el panel eléctrico, por lo que el equipo ya se encontrará listo para ponerse en funcionamiento. A continuación, se deberá accionar el suiche de encendido, que estará acompañando con una señal sonora que advierta al operador el final del ciclo de arranque.

En el momento que se deseen realizar inyecciones de poliuretano, se deberán encender independientemente las bombas de recirculación de cada material, haciendo uso de los inversores de frecuencia adosados a cada motor eléctrico. Además, en este instante se podrá elevar la velocidad en RPM de cada bomba, que finalmente controlará el flujo de salida tanto de polioliol como del diisocianato. Los inversores de frecuencia están limitados electrónicamente a ofrecer un máximo de 1000 RPM, de esta manera se asegura que la presión no aumente de manera desmesurada en la líneas, evitando posibles rupturas o explosiones.

### **7.1.2. Contactores o Relays**

En cuanto a los contactores o relay, estos cumplen la importante función de retirar la energía a los equipos de forma automática en caso de que sea necesario, ya sea por prevención, falla o acción del operador. Es decir, estas unidades estarán encargadas de relacionar el sistema eléctrico con el de control, por lo que el controlador lógico programable (CLP) podrá enviar una señal al contactor ordenando el corte inmediato de alimentación eléctrica ya sea a un motor eléctrico, mezclador, etc.

### **7.1.3. Cableado Estructural**

Otra medida de seguridad importante es la disposición del cableado, este se presentará de forma estructural en el interior del panel eléctrico, por lo que todos los



---

cables provenientes del equipo de inyección (Motores, Mezcladores, Válvulas) se unirán en un solo ramal y luego cada uno de ellos se dirigirá a su respectivo contactor, presentando una identificación que lo relacione directamente con la unidad a la que este asociado.

En cuanto a la protección física del cableado, se destaca que todas aquellas líneas que estén en el exterior del panel, es decir, en dirección a las unidades finales como motores entre otros, estarán recubiertos con una capa de Isopreno con la finalidad de aislarlos del medio ambiente como también de químicos potencialmente explosivos. En el interior del panel eléctrico los ramales principales y secundarios del cableado estructural estarán protegidos por rejillas de polietileno con la finalidad de mantener un orden predeterminado y un aislamiento básico del ambiente.

#### **7.1.4. Sistema de Ventilación**

Las unidades como el CLP, contactores, transformadores y cables que conformen el sistema eléctrico, estarán ubicados en el interior de un panel sellado metálico, que constará de una puerta frontal que servirá como única forma de acceso del operador a todos los componentes del sistema.

Debido a que el panel debe encontrarse cerrado en todo momento, excepto en aquellos que se deba realizar mantenimiento o alguna otra acción que lo amerite, es necesario introducir un pequeño sistema de ventilación que asegure un flujo de aire constante a través del panel. Esto se logrará colocando dos ventiladores de 24 voltios de 12 cm. de diámetro en la parte superior e inferior del panel, disminuyendo así la temperatura de operación de estas unidades que están constantemente sometidas a la resistencia implícita en el flujo eléctrico, de esta forma se evitará un sobrecalentamiento en las mismas que podría provocar choques eléctricos o la pérdida innecesaria de unidades

En general, el sistema eléctrico esta conformado por las líneas de alimentación a los equipos, suiches de encendido/apagado, contactores, inversores de frecuencia, entre otros; todos estos en conjunto formarán una red que en combinación con el

---

sistema de control disminuirán en gran medida el riesgo de choques eléctricos, paradas indeseadas o posibles explosiones.

## **7.2. Sistema Neumático**

El equipo de inyección de poliuretano de baja densidad planteado en este diseño, dispondrá de un sistema neumático que tomará parte en funciones importantes como la limpieza, inyección, entre otros. Es por esta razón, que se deben tomar medidas también en este ámbito para evitar cualquier tipo de eventualidad.

En primera instancia se colocará una válvula general de entrada de aire, que regulará la presencia o no del mismo en el sistema, esta se instalará con la intención de que no se necesite desconectar el equipo de la red de aire comprimido en aquellos momentos en los que se tenga que realizar mantenimiento. Es importante destacar, que el tanque de almacenamiento de solvente poliéster estará sometido a presión positiva a causa de la presión neumática, por lo que en los momentos que se deba realizar el llenado del solvente es necesario cerrar la válvula general para evitar que exista un escape violento de aire y solvente.

Adicionalmente, todo el aire que entre al sistema deberá pasar a través de un filtro de agua (Trampa Termodinámica), para reducir a un nivel mínimo la humedad en todos los equipos, de esta forma se disminuye la posibilidad de corrosión o desgaste de empacaduras que podrían producir daños en las unidades, poniendo en peligro el sistema en general.

En el caso del aire que sea enviado hacia las válvulas eléctricas, se deberá atravesar un lubricador, en donde el aire seco atravesara un depósito de aceite de baja viscosidad con el objetivo de producir una transferencia de masa, “lubricando” así el aire en su camino a las válvulas. De esta forma se alarga la vida útil de las mismas al producirse un menor roce seco entre sus componentes.

El sistema neumático esta relacionado directamente con el ciclo de limpieza, y este a su vez es fundamental en el funcionamiento correcto e imperecedero del equipo,

---

ya que una obstrucción en el cabezal causada por el crecimiento de poliuretano podría provocar un severo aumento en la presión degenerando en daños a las líneas de flujo.

Es por esta razón que existirá una línea directa de aire seco hasta el cabezal de inyección, que evitará formaciones del polímero en los conductos de salida del polioliol o el diisocianato, esta solución puede reducir en gran medida problemas comunes que podrían acarrear un mantenimiento mucho más recurrente.

### **7.3. Ubicación y Composición de Unidades**

Otro factor importante en la seguridad de equipos industriales, es la composición y el posicionamiento de las unidades, ya que en la medida de lo posible se deben mantener alejadas aquellas sustancias o equipos que en conjunto podrían representar un riesgo para la seguridad del operador o de la industria en general.

#### **7.3.1. Materiales de Construcción**

Algunos elementos como los tanques de almacenamiento del polioliol y el diisocianato, deben estar contruidos con materiales especiales en orden de maximizar la seguridad en situaciones específicas. En este caso, los tanques estarán contruidos en acero al carbono, que es un material resistente, versátil y de bajo costo; además la parte interior del mismo se recubrirá con una capa de amianto para minimizar la posibilidad de choques eléctricos que podrían ocasionar una explosión de las sustancias químicas originarias del poliuretano.

En cuanto al tanque de solvente poliéster, deberá estar contruido enteramente en acero inoxidable con un espesor mínimo de pared de 5 mm. Se debe caracterizar de esta manera, ya que el mismo estará sometido a una presión positiva de aproximadamente 70 lb./plg<sup>2</sup> a causa del aire seco del sistema neumático y de limpieza. Además, el solvente poliéster presenta un comportamiento corrosivo por lo que es necesario utilizar un elemento metálico de alta resistencia, de esta forma se asegura que no ocurra una fuga abrupta que podría degenerar en una explosión.

---

El cabezal de inyección es uno de los elementos más importantes del equipo en general, por lo que se debe tomar en cuenta el material de construcción en aras de la seguridad. En este caso, el aluminio resulta ser un material adecuado debido principalmente a la posibilidad de ser moldeado con facilidad, lo que tiene un importante peso en la fase de construcción, otra ventaja es su rápida limpieza ya que simplificará el mantenimiento y la eliminación de indeseables formaciones del polímero en lugares como el cabezal de mezclado.

### **7.3.2. Ubicación de Válvulas**

En situaciones de emergencia, es imperativo en la mayoría de los casos realizar paradas en las líneas de proceso, a través de un radio de seguridad que evite problemas a mayor escala. Este procedimiento es llevado a cabo en primera instancia, cerrando las válvulas que puedan conducir material inflamable al lugar del siniestro, por lo que la ubicación de las mismas en los equipos es de vital importancia en situaciones de emergencia.

En el caso del equipo de inyección de poliuretano, todas las válvulas colocadas cumplirán una función a nivel de proceso, o en su defecto, servirán como agentes de seguridad. Es por este motivo, que se colocarán válvulas antes y después de cada bomba de recirculación o inyección, asegurando que esta no continúe recibiendo material en caso de daños físicos, las cuales son fallas comunes para materiales como el diisocianato (MDI).

Además, el cabezal de inyección también dispondrá de un juego de válvulas que corten rápidamente el flujo de material hacia la cámara de mezclado, para cumplir con la necesidad de realizar un mantenimiento simple de este área, aparte de disminuir la posibilidad de aumentos bruscos de presión a causa de obstrucciones en el cabezal de inyección. Por ende, con este juego de válvulas aunadas a las correspondientes de las bombas de recirculación, los intercambiadores de calor también estarán rodeados, de un sistema de reducción drástica de flujo en caso de que sea necesario.

---

Las bombas de llenado de material también contarán con una pareja de válvulas a su alrededor, que tendrán como finalidad principal simplificar el mantenimiento de las mismas, además de cortar el flujo en caso de que los tambores de reactivos presenten formaciones que puedan producir obstrucciones a los filtros de entrada, y consecuentes aumentos de presión en la línea de entrada.

En cuanto al sistema neumático existen varias válvulas de seguridad generales, cuya finalidad y ubicación fue explicada anteriormente en el capítulo 9: Sistema Neumático.

### **7.3.3. Puntos de Descompresión o Alivio**

Es común observar en los equipos desarrollados en los últimos años, puntos estratégicos en los que se pueda manejar con facilidad una situación de aumento brusco de presión, es decir, se identifica una zona puntual en las líneas de proceso en donde se puedan permitir fracturas controladas que funcionen como alivio y produzcan un menor impacto al sistema general.

En el caso del equipo de inyección, los aumentos de presión más comunes se presentan en las líneas posteriores a las bombas de inyección de cada material, provocadas en general por formaciones de poliuretano en el cabezal de inyección. Es decir, se producirá un aumento de presión a través de todo el sistema, entre los que se encuentran los intercambiadores de calor y las líneas de proceso, este hecho si no se controla de manera adecuada podría provocar explosiones dañando seriamente el sistema.

Es por esta razón que el equipo, además de disponer de sensores electrónicos que paralizarán automáticamente todo el funcionamiento del mismo, presentará un punto de alivio en las líneas de entrada de cada intercambiador de calor, lugar en el cual se podrá permitir una fractura controlada que no afectará al sistema ya que estará ubicada física y estratégicamente lejos del resto de las unidades. Además, este

---

alivio estará dispuesto en un punto intermedio de dos válvulas por lo que el flujo de material podrá ser cortado con facilidad.

Físicamente un punto de alivio es una pequeña sección de línea flexible conformada por un polímero que no reaccione con los reactivos base, este componente está unido a las líneas de proceso a través de una conexión de bronce especial que libera a la sección flexible cuando la presión interna supera un valor específico, de esta manera se produce un escape controlado del material.

Con la ayuda de estos puntos de alivio, el equipo de inyección estará seguro en caso de que fallen los sistemas electrónicos de control de presión, este tipo de medidas alternas son las que finalmente caracterizan a un buen sistema de seguridad que tenga como característica principal, protecciones redundantes para cada variable de proceso.

#### **7.4. Sensores e Indicadores Electrónicos**

Todo equipo moderno, no podría denominarse “seguro” sin hacer uso de sensores e indicadores electrónicos que ayuden al operario a controlar más variables en menor tiempo y espacio, además de tener la capacidad de generar una respuesta mucho más rápidamente. De igual forma, la estrecha relación que guardan los sensores con el sistema principal de control es un factor de suma importancia en la toma de decisiones y puesta en práctica de las mismas, consiguiendo una eficiencia que ningún operario sería capaz de conseguir con un equipo de esta envergadura.

Por esta razón, el equipo de inyección de poliuretano dispondrá de una serie de sensores que aportarán valores de cada variable en tiempo real, entre los más importantes se encuentran:

##### **7.4.1. Termopares**

Los sensores de temperatura son un importante componente en cualquier línea de proceso, en este caso se encargarán de monitorear los valores de esta variable en

---

tiempo real alrededor de los puntos mas significativos del sistema como los intercambiadores de calor y los tanques de almacenamiento.

En el caso de los intercambiadores de calor de cada componente, los termopares estarán ubicados a la salida de su respectiva unidad, por lo que se podrán conocer en todo momento las temperaturas en la cual el polioliol y el diisocianato entrarán a la cámara de reacción. Se debe destacar, que el conocimiento y control preciso de este valor es muy importante para que se pueda llevar a cabo una reacción de formación de poliuretano de máxima conversión.

En la situación de que los termopares comiencen a registrar valores de temperaturas anormales o fuera de rango, el sistema de control tomará una acción correctiva inmediata, ya sea en la misma unidad de intercambio de calor o de ser necesaria una parada automática de todo el equipo de inyección.

Otro punto importante en donde estarán ubicados los termopares, son los tanques de almacenamiento; en este caso su principal utilidad será conocer de manera cuantitativa si el volumen total de material se encuentra a una temperatura segura de operación, es decir, muy por debajo del valor de autoignición de cada uno de los materiales según sea el caso.

Dada una situación en la que la temperatura de los materiales comience a salirse de los rangos permitidos, el sistema de control tomará acciones sobre el sistema de intercambio de calor y restituirá las condiciones originales. Se debe destacar que en este caso no se permitirán realizar inyecciones de poliuretano, ya que el calor desprendido de la reacción puede generar situaciones incontrolables en el resto del equipo.

#### **7.4.2. Manómetros**

Este tipo de sensores también juegan un papel preponderante en cuanto a la eficiencia del sistema de seguridad del equipo de inyección, ya que debido a la naturaleza de los materiales originarios del poliuretano, es común observar

---

formaciones que con el paso del tiempo obstruyen líneas de proceso, causando peligrosos aumentos de presión en las mismas.

Es por esta razón, que se dispondrán de manómetros digitales alrededor de cada bomba principal, monitoreando así esta importante área en el sistema de inyección de poliuretano. También se deberán colocar un par de manómetros en las líneas de recirculación ubicadas después del cabezal de inyección, ya que, como se dijo anteriormente, en la cámara de mezclado se suelen presentar formaciones de poliuretano.

Las mediciones dadas por los manómetros digitales, serán enviadas directamente al sistema de control, donde dependiendo de los valores leídos se tomarán diferentes decisiones, entre las que se encuentran la imposibilidad de realizar inyecciones, apagado automático de todos los sistemas, alertas al operador, entre otros.

En cuanto a las mediciones realizadas por manómetros de aguja, se encuentran la presión interna de los tanques, debido a que estos no deben superar un valor máximo de 30 psi, ya sea que se estén utilizando con o sin la presencia de un gas inerte para aumentar la durabilidad de los compuestos base. Estas mediciones podrán ser leídas directamente por el operador desde el exterior del equipo, y no estarán relacionadas con el sistema electrónico de control.

Además del monitoreo en las líneas de los materiales originarios, el sistema neumático contará con un manómetro regulador que tendrá como función mantener la presión interna de aire en un rango entre 60 y 80 psi, espacio en el cual el equipo de inyección puede funcionar de la manera mas adecuada. En caso de que la presión de aire de proceso no alcance los 50 psi, el equipo se vera imposibilitado de lograr una inyección exitosa, por lo que es necesario aumentar el valor de esta variable haciendo uso de un compresor externo de mayor potencia.



---

---

## Conclusiones

A continuación se presentan las conclusiones obtenidas gracias a la elaboración de este proyecto:

- Se completaron todas las etapas del diseño preliminar del equipo de Inyección de Poliuretano de baja densidad para Inversiones en Fibra C.A.
- Los equipos de inyección ofrecidos actualmente en el mercado no cumplen con los requerimientos de Inversiones en Fibra C.A., debido a su alto potencial contaminante, poca calidad intrínseca y altos costos de mantenimiento.
- Se determinaron las bases de diseño y sistemas asociados que darán paso a las siguientes fases del desarrollo del equipo de inyección.
- El diseño preliminar presentado, tiene como prioridad considerar el control total sobre las variables que afectan las propiedades finales del producto, entre las que se encuentran temperatura, presión y flujos.
- El equipo de inyección planteado estará en capacidad de cumplir con las normativas ambientales adoptadas por Venezuela en 1995 a partir de la firma del Protocolo de Montreal.
- El control de la temperatura, velocidad de mezclado y flujo de los reactivos son las variables fundamentales para obtener un poliuretano rígido de alta calidad.
- Se seleccionó el poliol y diisocianato Bayer Material Science® como mejor opción para ser utilizado junto al equipo de inyección, haciendo énfasis en su excelente calidad y bajo potencial contaminante.
- El diseño preliminar planteado esta en capacidad de producir poliuretano haciendo uso de diferentes reactivos originarios.

- 
- El equipo de inyección está planteado para aumentar significativamente la vida útil de los reactivos en el interior de los tanques de almacenamiento.
  - Se formuló como base y filosofía de control, proteger en todo momento al operario y a los alrededores, además de no perjudicar el medio ambiente mientras se produce un polímero de excelente calidad.
  - Todo el sistema de control se diseñó en torno a un único controlador lógico programable que tomará decisiones en base a la información recogida por los sensores electrónicos y el operador.
  - Se planteó un sistema eléctrico y neumático que cumple de manera cabal con las medidas de seguridad necesarias para este tipo de equipos.
  - Las unidades asociadas que se seleccionaron para ser utilizadas en el equipo de inyección, tales como motores, contactores, sensores, entre otros, son de bajo costo inicial y fácil mantenimiento.
  - Se realizaron los Diagramas de Flujo de Proceso y Diagramas de Tubería e Instrumentación que sirven como base para el desarrollo de los planos necesarios para dar paso a la construcción del equipo.
  - Se puntualizaron las medidas de seguridad a tomar en cuenta en la etapa de construcción y uso del equipo.
  - Se presentaron las especificaciones de los reactivos a utilizar y se fijaron estándares en las propiedades del producto final.

---

---

## Recomendaciones

A continuación se presentan las recomendaciones derivadas de la elaboración de este proyecto:

- Completar de manera progresiva todas las etapas restantes del diseño y construcción del equipo en orden de cumplir con el objetivo planteado por la empresa Inversiones en Fibra C.A.
- Diseño detalladamente partiendo de las bases fijadas en el proyecto planteado, el sistema general de control haciendo uso de un instrumentista que conozca con precisión el funcionamiento del controlador lógico programable.
- Diseñar de manera detallada todas las unidades de proceso que requieran tratamiento metalmecánico para su construcción, por lo que se sugiere el estudio asociado de un ingeniero mecánico.
- Realizar todos los diagramas necesarios para la construcción final del equipo, entre los que se encuentran un Plano Isométrico y Planos de unidades individuales.
- Completar un análisis de costo final de construcción del equipo de inyección, para certificar la validez económica del proyecto además de compararla con otros equipos que existen en el mercado.

---

## Referencias Bibliográficas

- **Abu, C (2001).** "Fundamental of Polymer Science", John Wiley & Sons. 2da Edición. Boca Raton.
- **Agopyan, V. (2002).** "Durabilidade dos Polimeros". Universidad de Sao Paulo. Brazil. Pags. 5-34.
- **Bayer Material Science. (2005).** "Desmodur® VL Specification Sheet"
- **Bayer Material Science. (2005).** "Desmophen® 1150 Specification Sheet"
- **Bomberg, M. (1998).** "Spray Polyurethane Foam in External Envelopes of Buildings". CRC Press. EE.UU.
- **Cheremisinoff, N. (1998).** "Advanced Polymer Processing Operations". Noyes Publications. EE.UU. Pags. 213-277.
- **Clariant. (2000).** "Química de Polimeros". BU Enterprises. EE.UU. Pags. 31-94.
- **Irfan, M. (1998).** "Chemistry and Technology of Thermosetting Polymers in Construction Applications". Kluwer Academic Publishers. Holanda. Pags. 8-41.
- **Karl-Heinz, H. (1999).** "Synthesis, Properties and Applications of Inorganic–Organic Copolymers". Editorial Pergamon. Alemania.
- **Kreith, F. (1999).** "Heat and Mass Transfer". John Wiley & Sons. 3ª Edición. Boca Raton.

- 
- **Oertel, G. (2001).** “Polyurethane Handbook”. Hanser Publications. EE.UU. Pags. 114-201.
  - **Perry, R. (1999).** “Chemicals Engineer Handbook”. McGraw Hill. Séptima Edición. EE.UU.
  - **Randall, D. (2002).** “The Polyurethanes Book”. John Wiley & Sons. EE.UU. Pags. 9-21, 58-112.
  - **Reniers, F. (2002).** “Cours de Chimie des Polymères”. Universite Paris 1. Francia.
  - **Salager, J. (2002)** “Surfactantes: Tipos y Usos”. Modulo de Enseñanza en Fenómenos Interfaciales. Cuaderno FIRP-S300-A. Venezuela.
  - **Szycher, M. (1999).** “Szycher’s Handbook of Polyurethane”. Library of Congress Publications. EE.UU.
  - **Teraoka, I. (2002).** “Polymer Solutions: An Introduction to Physical Properties”. John Wiley & Sons. EE.UU. Pags. 55-62.
  - **Uhlig, K. (1999).** “Discovering Polyurethanes”. Hanser Publications. EE.UU. Pags. 21-141.
  - **Warson, H. (1997).** “Fundamentals of Polymer Chemistry”. Editorial Board. EE.UU. Pags. 7-110.
  - **White, F. (2003).** “Mechanical Fluids”. McGraw Hill. 4ª Edición. EE.UU. Pags. 277-321.
  - **Consultas Web**
    - Alliance for Polyurethane Industry. **Polyurethane Industry**. Disponible en <http://www.polyurethane.org>. Consultada en Julio de 2005.

- 
- Concise International Chemical Assessment. **Diphenylmethane Diisocyanate.** Disponible en <http://www.inchem.org/documents/cicads/cicads/cicad27.htm>. Consultada en Julio de 2005.
  - The University of Southern Mississippi. **Making Polyurethanes.** Disponible en <http://www.pslc.ws/mactest/uresyn.htm>. Consultada en Julio de 2005.
  - Universidad Católica de Valparaíso. **Generalidades de Polimeros.** Disponible en [http://icc.ucv.cl/materiales/trabajos\\_investigacion/polimeros](http://icc.ucv.cl/materiales/trabajos_investigacion/polimeros). Consultada en Julio de 2005
  - Goodyear Hyper. **Goodyear Industrial Hose Products.** Disponible en [http://www.goodyearindustrialproducts.com/cgi-bin/industrialhose/view\\_product\\_detail.pl?product\\_ID=202](http://www.goodyearindustrialproducts.com/cgi-bin/industrialhose/view_product_detail.pl?product_ID=202). Consultada en Agosto de 2005.
  - Viking Pump School (Homeroom). **Internal Gear Pump.** Disponible en <http://www.pumpschool.com/principles/internal.htm>. Consultada en Agosto de 2005.
  - WEG Industrial de Venezuela. Motores Industriales WEG. Disponible en [http://catalogo.weg.com.br/PES\\_CAT/detailProduto.asp](http://catalogo.weg.com.br/PES_CAT/detailProduto.asp). Consultada en Agosto de 2005.

---

---

## Anexos

### Anexo 1

1. Calculo de velocidad en las líneas anteriores a las bombas de succión del equipo de inyección de Poliuretano P101/P-103

Todos los cálculos se harán en función de las líneas de diisocianato

#### Características de las Líneas

Diámetro Nominal: 1 "                      DI:  $2.386 \times 10^{-2}$  m

*Flujo Másico Diisocianato: 500 gr/s*                      (1)

$$Caudal(Q) = \frac{M}{\rho} = \frac{0.5 \text{Kgr} / s}{1.1 \text{Kgr} / l} = 0.45 \text{l} / s = 0.45 \times 10^{-3} \text{m}^3 / s \quad (2)$$

$$Area = \pi * r^2 = \pi * (1.193 \times 10^{-2} \text{m})^2 = 4.47 \times 10^{-4} \text{m}^2 \quad (3)$$

$$Vel = \frac{Q}{Area} = \frac{0.45 \times 10^{-3} \text{m}^3 / s}{4.47 \times 10^{-4} \text{m}^2} = 1.09 \text{m} / s \quad (4)$$

Una velocidad lineal de 1.09 m/s es un valor aceptable considerando las propiedades del diisocianato de metilo, por lo que las líneas flexibles de 1" de diámetro nominal si representan una posible solución para estas sección.

---

## Anexo 2

2. Características de las líneas flexibles que anteceden las bombas de succión P101/P103.



### Goodyear Hiper

Material de Construcción: Teflón, Refuerzo de Fibras Sintéticas, Neopreno.

Temperatura de Operación: Desde -40 °C hasta 300 °C


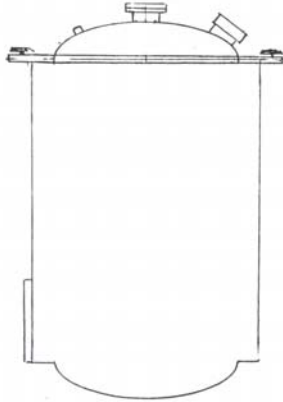
Presión de Operación Máxima: 500 psi

Tabla de Dimensiones de las Líneas Flexibles Goodyear Hiper


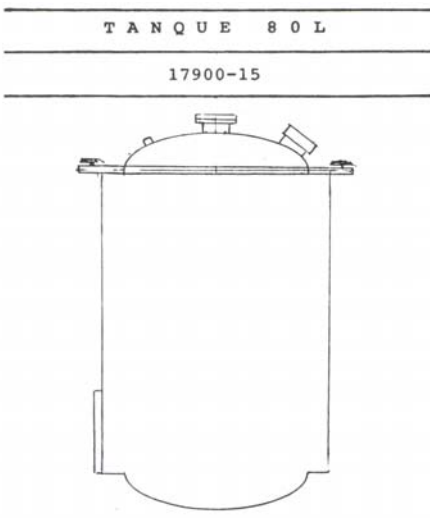
Nom. ID		Nom. OD		Max WP		Bend Radius		Vacuum HG		Weight	
in.	mm.	in.	mm.	psi	Mpa	in.	mm.	in.	mm.	lb./ft.	kg./m
1/2	12.7	0.97	24.6	200	1.38	3.0	76.20	29	736.60	0.37	0.55
3/4	19.0	1.11	28.2	200	1.38	5.0	127.00	29	736.60	0.56	0.83
1	25.4	1.52	38.6	200	1.38	7.5	190.50	29	736.60	0.71	1.06
1-1/4	31.8	1.73	43.9	200	1.38	11.0	279.40	29	736.60	0.84	1.25
1-1/2	38.1	2.13	54.1	200	1.38	14.0	355.60	29	736.60	1.24	1.85
2	50.8	2.69	68.3	200	1.38	18.0	457.20	29	736.60	1.71	2.55
2-1/2	63.5	3.14	79.8	200	1.38	22.0	558.80	29	736.60	2.01	2.99
3	76.2	3.67	93.2	200	1.38	35.0	889.00	29	736.60	2.52	3.75



### Anexo 3-A

 Inversiones En Fibra c.a.		<b>ESPECIFICACION DE PROCESO TANQUES</b>			HOJA Nº: 1 de 2
<b>INVERSIONES EN FIBRA C.A.</b>					
<b>GENERAL</b>		<b>DETALLES MECANICOS</b>			
Identificación:	TK-101	Boquillas	1		
Nº de unidades	1	Identif.	Tamaño, plg	Servicio	
Planta	INVERSIONES EN FIBRA C.A.	A	5	Limpieza	
Servicio	Dosificación	B			
Fluido	Diisocianato	C			
Diámetro, m	0,44	D			
Altura, m	0,7	E			
Capacidad, m3	0,08	Válvulas de Seguridad			
Nivel líquido, max/nor/min, m	0,075	-----	0,005	Venteo	
Tipo					
<b>CONDICIONES DE PROCESO</b>		<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN</b>			
Presión de Operación, psi	15	Presión de Diseño, psi	80		
Temperatura de Operación, °C	25-30	Temperatura de Diseño, °C	60		
Viscosidad a T. de operación, mPA,s	90 +- 20	Material de Construcción	Acero Car,		
G.E a T. de operación	1,08	Aislamiento/espesor, mm	0,5		
Presión de Vapor a T. de oper., psia	-----	Espesor de la Pared, mm	4		
<p>TANQUE 80 L</p> <p>17900-15</p> 					
OBSERVACIONES:					
PLANOS DE REFERENCIA		PROYECTO:		HOJA Nº: 1	
		DISEÑO PRELIMINAR DE UN EQUIPO DE INYECCIÓN DE AISLANTE TÉRMICO DE POLIURETANO A BAJA PRESIÓN PARA INVERSIONES EN FIBRA C.A.		de	
				2	
		REALIZADO POR:	Italo Verdi Ramos	FECHA: 2005	
		REVISADO POR:		FECHA:	
		APROBADO POR:		FECHA:	
		ESPECIFICACIÓN Nº		REV. Nº	

### Anexo 3-B

 Inversiones En Fibra c.a.		<b>ESPECIFICACIÓN DE PROCESO TANQUES</b>		HOJA Nº: 2 de 2	
<b>INVERSIONES EN FIBRA C.A.</b>					
<b>GENERAL</b>			<b>DETALLES MECANICOS</b>		
Identificación:	TK-102		Boquillas	1	
Nº de unidades	1		Identif.	A	Servicio
Planta	INVERSIONES EN FIBRA C.A.		Tamaño, plg	5	Limpieza
Servicio	Dosificación		B		
Fluido	Poliol		C		
Diámetro, m	0,44		D		
Altura, m	0,7		E		
Capacidad, m3	0,08		Válvulas de Seguridad		
Nivel líquido, max/nor/min, m	0,075	-----	0,005	Venteo	
Tipo					
<b>CONDICIONES DE PROCESO</b>			<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN</b>		
Presión de Operación, psi	15		Presión de Diseño, psi	80	
Temperatura de Operación, °C	25-30		Temperatura de Diseño, °C	60	
Viscosidad a T. de operación, mPA,s	100 +- 10		Material de Construcción	Acero Car.	
G.E a T. de operación	1,03		Aislamiento/espesor, mm	0,5	
P. Vapor a T. de oper., psia	-----		Espesor de la Pared, mm	4	
<p>TANQUE 80 L</p> <p>17900-15</p> 					
OBSERVACIONES:					
PLANOS DE REFERENCIA		PROYECTO:		HOJA Nº: 2	
		DISEÑO PRELIMINAR DE UN EQUIPO DE INYECCIÓN DE AISLANTE TÉRMICO DE POLIURETANO A BAJA PRESIÓN PARA INVERSIONES EN FIBRA C.A.		de 2	
		REALIZADO POR:	Italo Verdi Ramos	FECHA: 2005	
		REVISADO POR:		FECHA:	
		APROBADO POR:		FECHA:	
		ESPECIFICACIÓN Nº		REV. Nº	

---

## Anexo 4

Material de Construcción: Acero al carbono y Acero Inoxidable.

Propiedades:

Tabla. Propiedades típicas de las bombas de engranaje Viking Pump.


Rango de Desempeño		
<b>Capacidad</b>	0 - 102 m <sup>3</sup> /hr	0 - 450 GPM
<b>Presion</b>	0 - 7 bar	0 - 100 PSI
<b>Viscosidad</b>	1 - 55,000 cSt	28 - 250,000 SSU
<b>Temperatura</b>	-50° - 235°C	-60° - 450°F

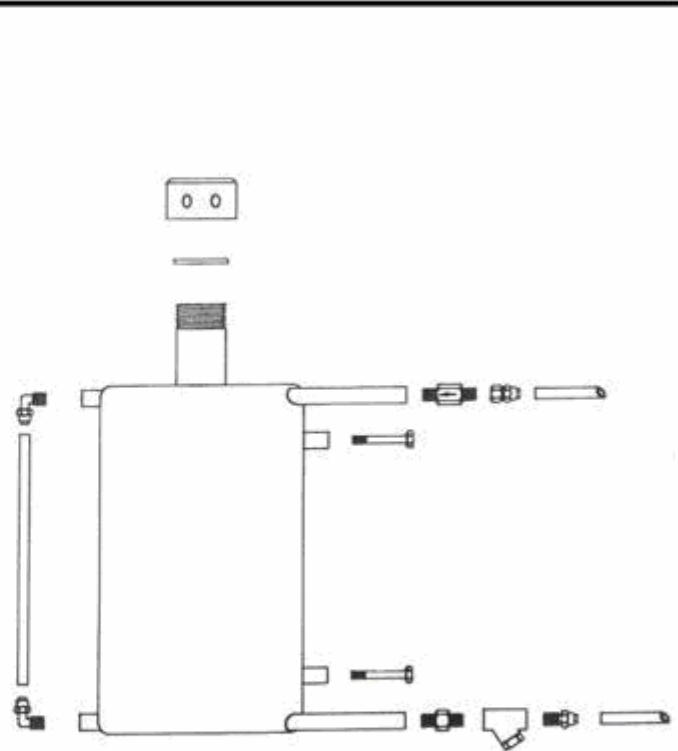
Tamaño	Entrada (in.)	Cap. Nominal		Velocidad Max. RPM	Presión Max.		Peso	
		m <sup>3</sup> /hr	GPM		Bar	PSI	KG	Lbs.
HL	1.5	4.5	20	1200	7	100	12	26
KK	2.0	10	50	420	7	100	32	70
LQ	2.5	20	90	420	7	100	82	180
Q	3.0	45	200	350	5.2	75	160	350
M	4.0	64	280	280	5.2	75	240	530
N	5.0	102	450	280	5.2	75	340	750



Fig N° 45. Bomba de engranajes Viking Puma

## Anexo 5

		<b>ESPECIFICACIÓN DE PROCESOS RECIPIENTES A PRESIÓN</b>		PROYECTO: Equipo de Inyección	HOJA No.: de 1	
IDENTIFICACIÓN: TK-103		PLANTA: Inversiones en Fibra S.A.				
SERVICIO: Sistema de Limpieza		Nº REQUERIDO: 1				
DESCRIPCIÓN:						
<b>DATOS DE OPERACIÓN / MECÁNICOS</b>						
Temperatura de Operación, Máx./Nor./Mín. °C	50/25/0					
Presión de Operación, Máx./Nor./Mín. psi	150/0/0					
Presión de Diseño, Tope / Falso, psi	200 / 200					
Temperatura de Diseño, Tope / Falso °C	50 / 50					
Flujo de líquido, máx., kg/Air						
Densidad líquidos con standard (PC, 1 atm), gr/cm <sup>3</sup>	0.85					
Densidad líquido a Temperatura de operación, kg/m <sup>3</sup>	0.85					
Viscosidad líquido a Temperatura de operación, cSt						
Flujo de Gases, kg/Air						
Peso molecular Gases						
Densidad gases a temperatura de operación, gr/cm <sup>3</sup>						
Medio de entramiento						
Flujo máximo requerido, l/min						
Dámetro interno, mm	350					
Dámetro externo, mm	400					
Longitud T/T, mm	600					
Número de Secciones Empacadas						
Tipo de empaque						
Altura del Lecho Catalítico, mm						
Altura del Rellevo, mm						
Altura total del Rellevo, mm						
<b>BOQUILLAS</b>			<b>MATERIALES</b>			
IDENT	TAMAÑO	SERVICIO	FLUJOS, kg/A	Carcasa:	Aceero Inoxidable	Bridas:
A	2"	Abastecimiento		Cabezales:	Aceero Inoxidable	Empacaduras
B				Boquillas:	Aceero Inoxidable	Soportes Aceero Inoxidable
C				Volúmenes Total del Recipiente, l	25	
D				Volúmenes máximo de líquido, l	24	
E				Rango volúmenes requerido control de nivel, ml	200	
F				Tiempo de residencia, min:		



**P-102**  
Bomba  
Centrífuga  
Pe= 5 psia  
Ps= 15 psia

**RF-101**  
Equipo de  
Refrigeración  
Pe= 85 °F  
Ps= 78 °F

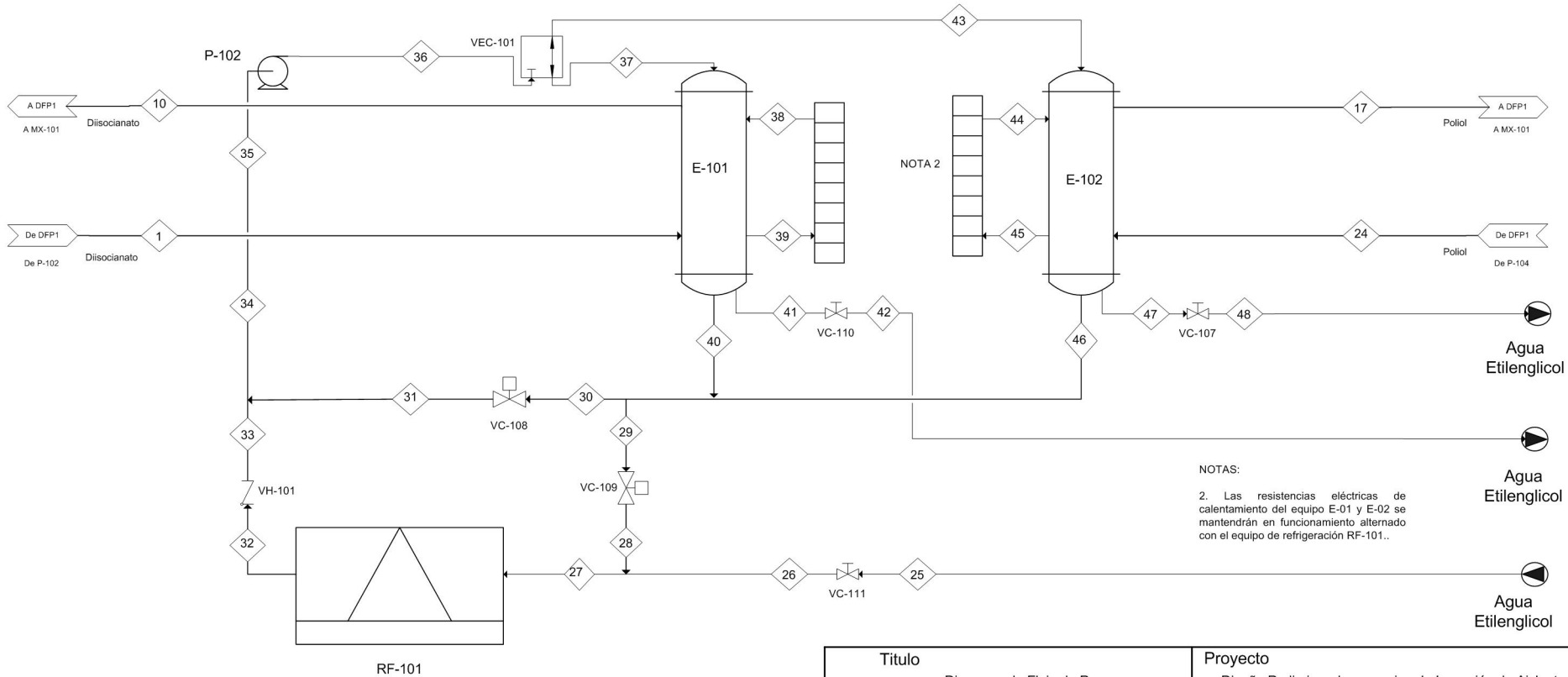
**VC-108**  
Válvula de  
Control  
P= 25 psia  
T= 78 °F

**VC-109**  
Válvula de  
Control  
P= 25 psia  
T= 78 °F

**E-101**  
Intercambiador  
de Calor  
P= 25 psia  
Te= 78 °F  
Ts= 85 °F

**E-102**  
Intercambiador  
de Calor  
P= 25 psia  
Te= 78 °F  
Ts= 85 °F

**VEC-101**  
Válvula Eléctrica  
Paso Doble



NOTA 2

NOTAS:  
2. Las resistencias eléctricas de calentamiento del equipo E-01 y E-02 se mantendrán en funcionamiento alternado con el equipo de refrigeración RF-101..

<b>Título</b> Diagrama de Flujo de Proceso Circuito del Agua (Refrigeración/Calentamiento)			<b>Proyecto</b> Diseño Preliminar de un equipo de Inyección de Aislante Térmico de Poliuretano a baja presión		
Escala S/E	Proyecto N° 1	Archivo N° 2			
Hoja N° 2	Documento N° DFP 2	Rev.			

**P-102**  
Bomba  
Centrífuga  
Pe= 5 psia  
Ps= 15 psia

**RF-101**  
Equipo de  
Refrigeración  
Pe= 85 °F  
Ps= 78 °F

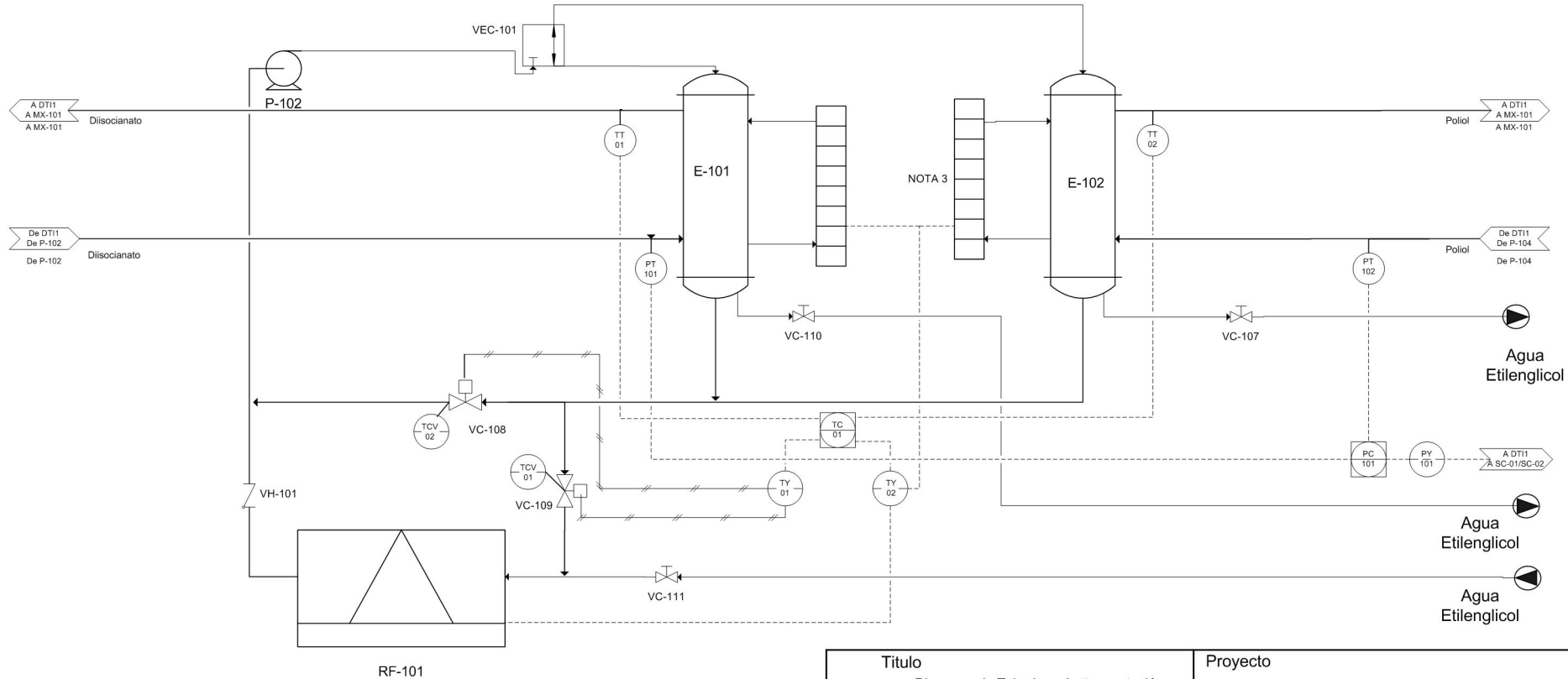
**VC-108**  
Válvula de  
Control  
P= 25 psia  
T= 78 °F

**VC-109**  
Válvula de  
Control  
P= 25 psia  
T= 78 °F

**E-101**  
Intercambiador  
de Calor  
P= 25 psia  
Te= 78 °F  
Ts= 85 °F

**E-102**  
Intercambiador  
de Calor  
P= 25 psia  
Te= 78 °F  
Ts= 85 °F

**VEC-101**  
Válvula Eléctrica  
Paso Doble



**NOTAS:**

3. Las resistencias eléctricas de calentamiento del equipo E-01 y E-02 se mantendrán en funcionamiento alternado con el equipo de refrigeración RF-101..

<b>Título</b> Diagrama de Tuberías e Instrumentación Circuito del Agua (Refrigeración/Calentamiento)			<b>Proyecto</b> Diseño Preliminar de un equipo de Inyección de Aislante Térmico de Poliuretano a baja presión
<b>Escala</b> S/E	<b>Proyecto N°</b> 1	<b>Archivo N°</b> 2	 Inversiones En Fibra c.a.
<b>Hoja N°</b> 2	<b>Documento N°</b> DTI 2	<b>Rev.</b>	

**P-102**  
Bomba  
Engranajes  
Pe= 18 psia  
Ps= 25 psia

**P-101**  
Bomba  
Engranajes  
Pe= 14.7 psia  
Ps= 25 psia

**TK-101**  
Tanque  
Diisocianato  
L= 1 m  
D=0,6 m  
P= 14.7 psia

**MX-101**  
Cabezal de  
Mezclado  
Vel= 700 RPM

**TK-102**  
Tanque  
Poliol  
L= 1 m  
D=0,6 m  
P= 14.7 psia

**P-103**  
Bomba  
Engranajes  
Pe= 14.7 psia  
Ps= 25 psia

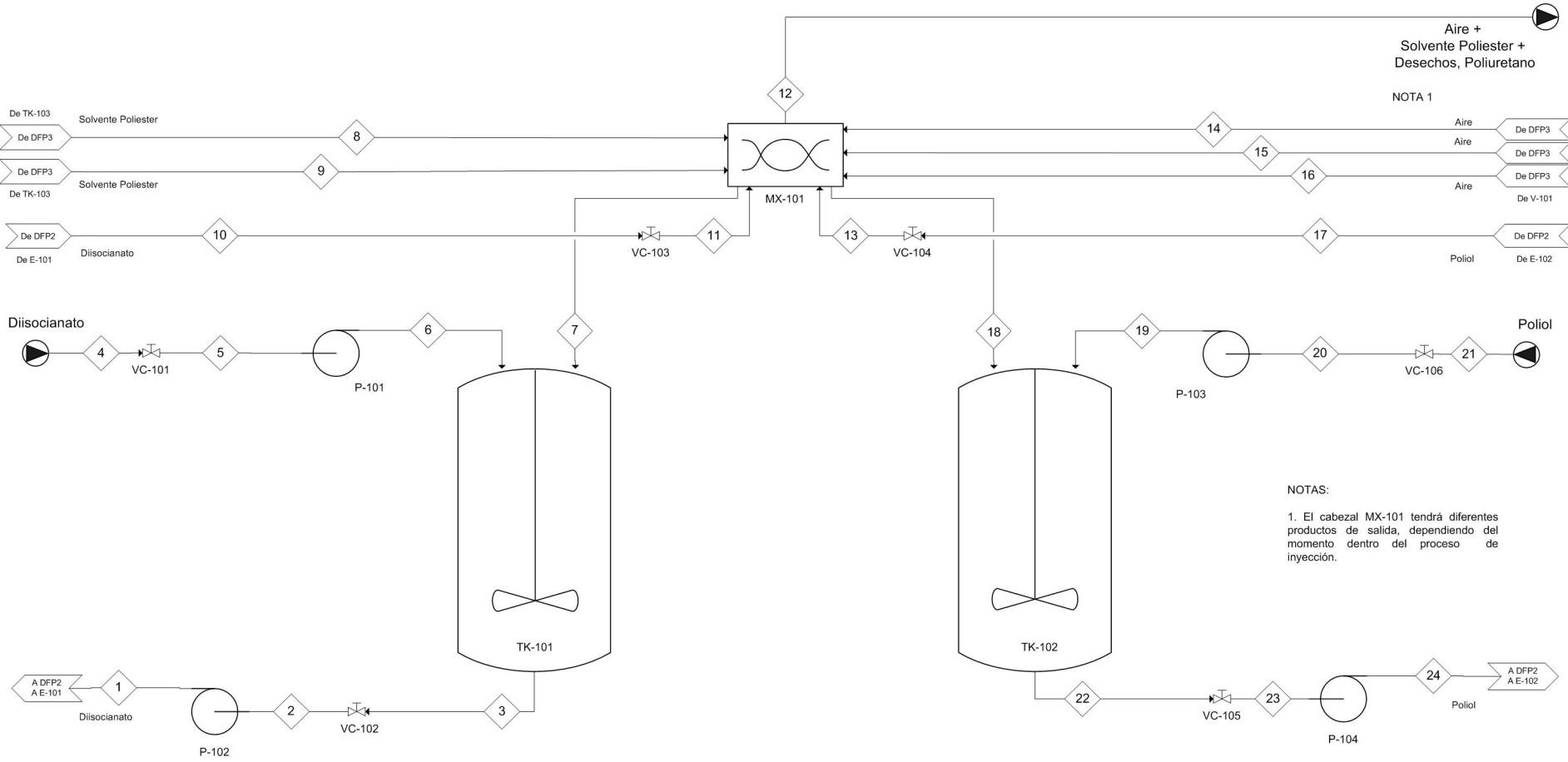
**P-104**  
Bomba  
Engranajes  
Pe= 18 psia  
Ps= 25 psia

Aire +  
Solvente Poliester +  
Desechos, Poliuretano

NOTA 1

NOTAS:

1. El cabezal MX-101 tendrá diferentes productos de salida, dependiendo del momento dentro del proceso de inyección.



<b>Título</b> Diagrama de Flujo de Proceso Equipo de Inyección de Poliuretano			<b>Proyecto</b> Diseño Preliminar de un equipo de Inyección de Aislante Térmico de Poliuretano a baja presión		
Escala S/E	Proyecto N° 1	Archivo N° 1			
Hoja N° 1	Documento N° DFP 1	Rev.			

**P-102**  
Bomba  
Engranajes  
Pe= 18 psia  
Ps= 25 psia

**P-101**  
Bomba  
Engranajes  
Pe= 14.7 psia  
Ps= 25 psia

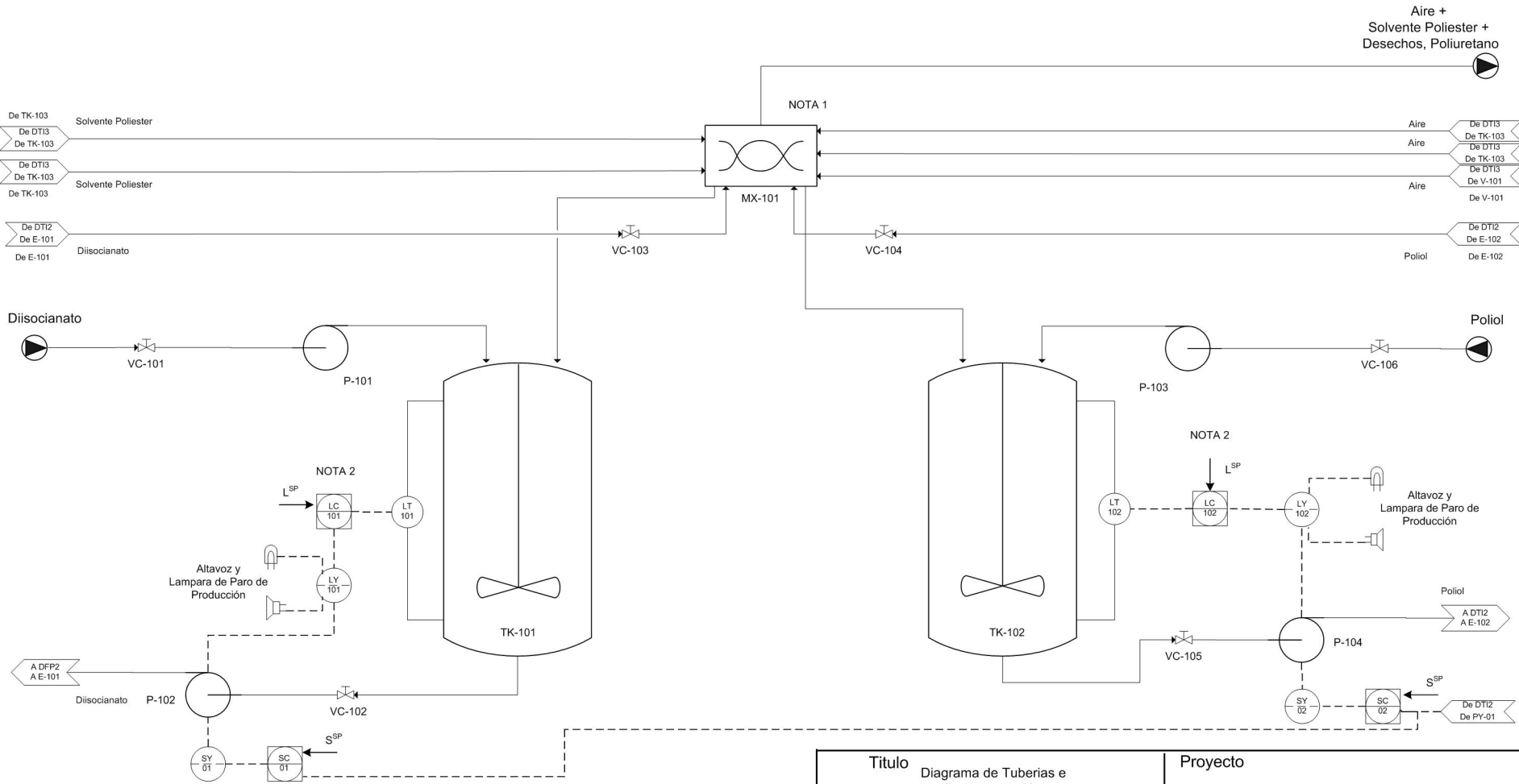
**TK-101**  
Tanque  
Diisocianato  
L= 1 m  
D=0,6 m  
P= 14.7 psia

**MX-101**  
Cabezal de  
Mezclado  
Vel= 700 RPM

**TK-102**  
Tanque  
Poliol  
L= 1 m  
D=0,6 m  
P= 14.7 psia

**P-103**  
Bomba  
Engranajes  
Pe= 14.7 psia  
Ps= 25 psia

**P-104**  
Bomba  
Engranajes  
Pe= 18 psia  
Ps= 25 psia



**NOTAS:**

1. El cabezal MX-101 tendrá diferentes productos de salidas, dependiendo del momento dentro del proceso de inyección.
2. Los controladores de nivel esta programado dentro del controlador general del proceso.

<b>Titulo</b>			<b>Proyecto</b>	
Diagrama de Tuberías e Instrumentación Equipo de Inyección de Poliuretano			Diseño Preliminar de un equipo de Inyección de Aislante Térmico de Poliuretano a baja presión	
Escala S/E	Proyecto N° 1	Archivo N° 1		
Hoja N° 1	Documento N° DTI 1	Rev.		



**VEC-102**  
Válvula Eléctrica  
Paso Doble

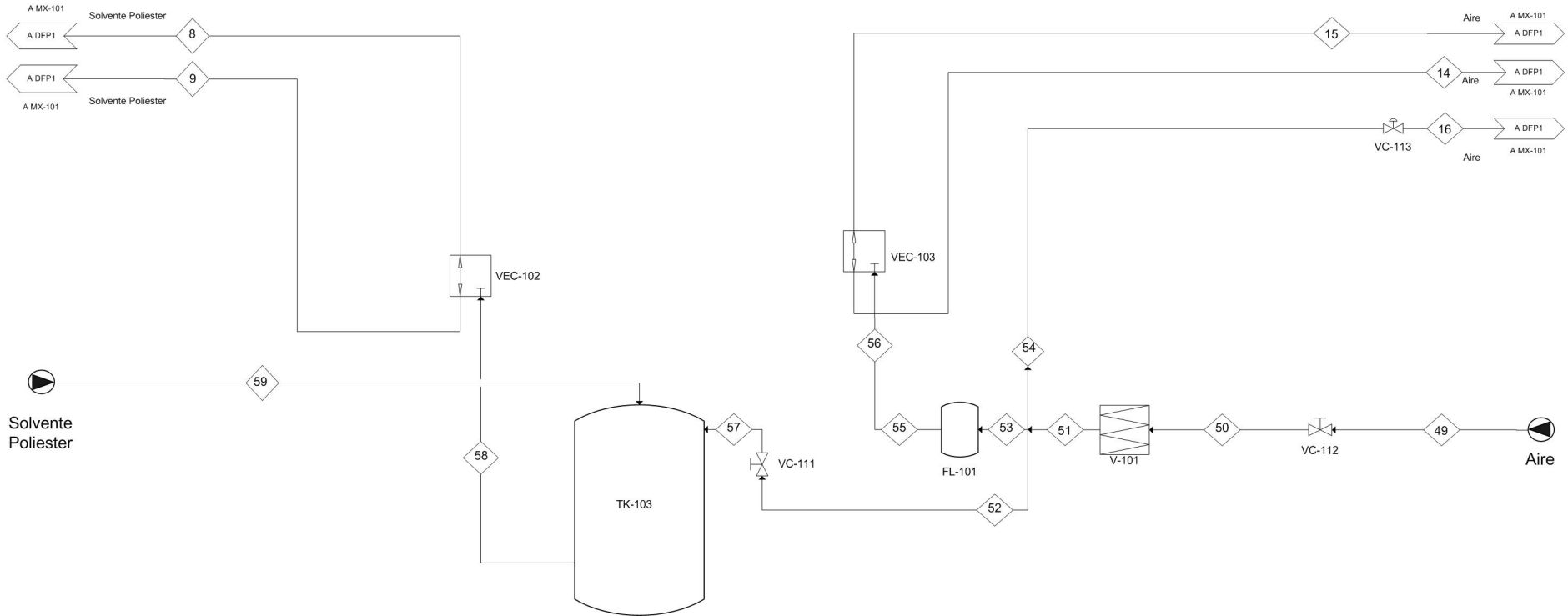
**TK-103**  
Recipiente  
Solvente  
H= 0,5 mts  
D= 0.3 mts  
P= 70 psia

**VEC-103**  
Válvula Eléctrica  
Paso Doble

**FL-101**  
Filtro  
Lubricador  
P= 70 psia

**V-101**  
Separador  
Flash  
P= 70 psia

**VC-112**  
Válvula de  
Control  
P= 25 psia  
T= 78 °F



<b>Titulo</b> Diagrama de Flujo de Proceso Sistema de Limpieza Aire /Solvente			<b>Proyecto</b> Diseño Preliminar de un equipo de Inyección de Aislante Térmico de Poliuretano a baja presión		
Escala S/E	Proyecto N° 1	Archivo N° 3	 Inversiones En Fibra c.a.		
Hoja N° 3	Documento N° DFP 3	Rev.			

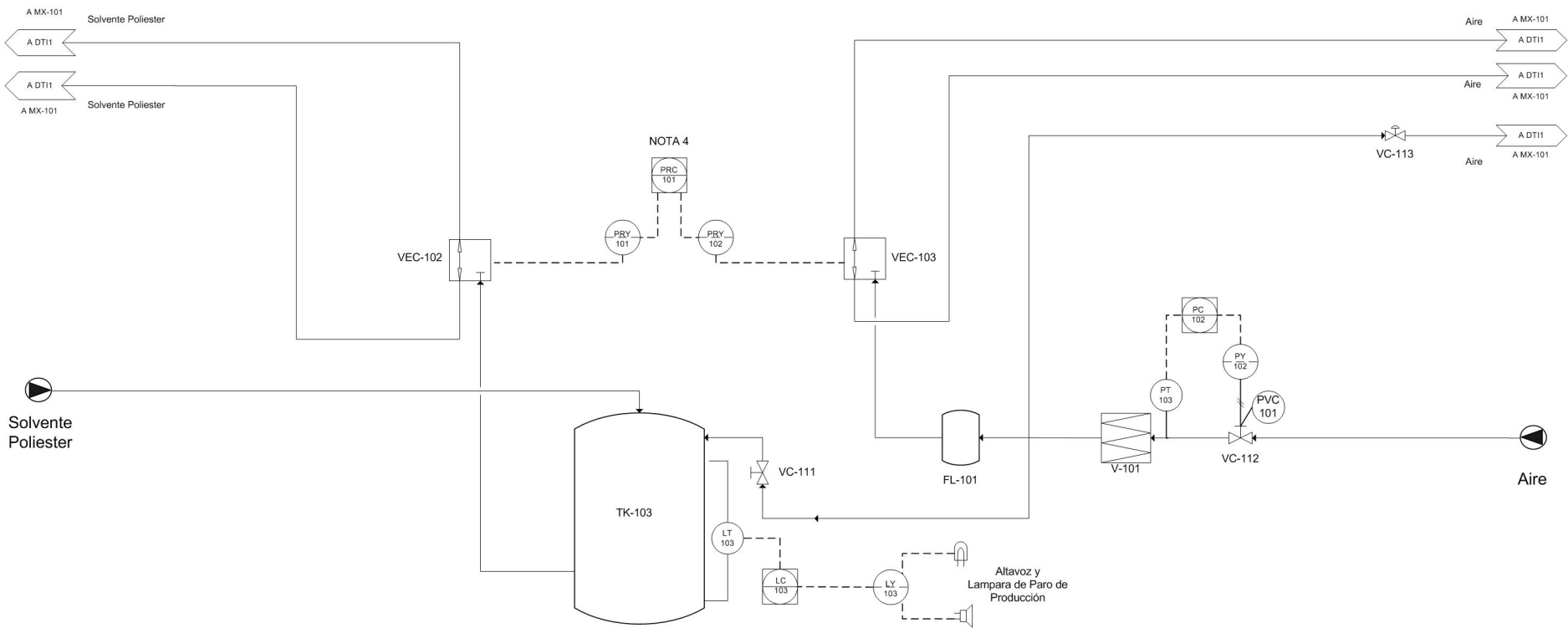
VEC-102  
Válvula Eléctrica  
Paso Doble

TK-103  
Recipiente  
Solvente  
H= 0,5 mts  
D= 0.3 mts  
P= 70 psia

FL-101  
Filtro  
Lubricador  
P= 70 psia

V-101  
Separador  
Flash  
P= 70 psia

VC-112  
Válvula de  
Control  
P= 25 psia  
T= 78 °F



NOTA 4



NOTAS:  
4. El controlador del proceso enviará una señal eléctrica a las válvulas de solvente y aire en el momento adecuado para iniciar el ciclo de limpieza.

<b>Título</b> Diagrama de Tuberías e Instrumentación Sistema de Limpieza Aire /Solvente			<b>Proyecto</b> Diseño Preliminar de un equipo de Inyección de Aislante Térmico de Poliuretano a baja presión		
Escala S/E	Proyecto N° 1	Archivo N° 3			
Hoja N° 3	Documento N° DTI 3	Rev. 			