

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE RECUPERACION PARA UNA MAQUINA INYECTORA DE POLIURETANO

Andrés F. Vinasco López
Código: 1.088.307.972
Sergio Agudelo Salazar
Código: 1.088.295.704

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGIAS
ESCUELA DE TECNOLOGIA MECANICA
PEREIRA
2016

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN PARA UNA
MAQUINA INYECTORA DE POLIURETANO**

**Andrés F. Vinasco López
Código: 1.088.307.972
Sergio Agudelo Salazar
Código: 1.088.295.704**

**Trabajo de grado para optar al título de:
Tecnólogo mecánico**

**M.Sc. Carlos Alberto Montilla Montaña
Director**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍAS
ESCUELA DE TECNOLOGÍA MECÁNICA
PEREIRA
2016**

DEDICATORIA

Sergio.

A mis padres por confiar y depositar toda su fe en mí, por ayudarme a cumplir mis metas y por apoyar todas mis decisiones, a mis hermanos por ser un ejemplo a seguir en mi vida, a mis amigos por acompañarme en mis mejores momentos y a todas aquellas personas que de una u otra forma han logrado contribuir en mi formación profesional y personal.

Andrés.

A mi madre Luz Patricia López y mi abuela Martha Lucia Ramírez quienes lucharon contra las adversidades para que yo siempre pudiese asistir a la universidad, a mi abuela Marleny Vinasco quien me brindo su hogar cuando lo necesite. A mi familia y a todos aquellos que de una forma u otra me apoyaron e hicieron posible que yo lograra cumplir esta meta.

Pereira/Risaralda, 01 de Junio de 2016

Nota de aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Pereira/Risaralda, 01 de Junio de 2016

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestras familias, profesores, amigos, compañeros y demás personas que han ayudado a cumplir una etapa más de nuestra vida, y que sabemos que siempre estuvieron, están y estarán con toda la disposición que exista para ayudarnos a seguir creciendo.

A nuestro director CARLOS ALBERTO MONTILLA MONTAÑA por brindar ayuda durante este proceso y por no ser más que un solo docente, sino un compañero en esta experiencia.

A la ingeniera YENNY PATRICIA AVILA perteneciente a la escuela de tecnología química, por ofrecer ayuda y asesoramiento en el estudio y caracterización de las muestras de los elementos entregados por la empresa Goby Filters.

Al ingeniero CARLOS EDUARDO SILVA por su colaboración dentro de la empresa para el desarrollo de este proyecto.

Al ingeniero HERNAN GIRALDO GIRALDO por su colaboración al momento de realizar la cotización de algunos de los equipos requeridos para el diseño del proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

Contenido De Figuras	9
Contenido De Tablas	11
Contenido De Anexos	11
Glosario	12
Resumen	14
1. Introduccion	16
1.1 Importancia.....	16
1.2 Antecedentes.....	16
1.2.1 Antecedentes Teóricos.....	16
1.2.2 Antecedentes Prácticos.....	25
1.3 Objetivos.....	33
1.3.1 Objetivo General	33
1.3.2 Objetivos Específicos	34
1.4 Alcance	35
1.5 Limitaciones.....	35
1.6 Avance En El Campo De Estudio	35
2. Caracterización De Productos Y Subproductos Para La Fabricación De Filtros En Industrias Goby Filters S. A.....	36
2.1 Breve Descripción De La Empresa.....	36
2.2 Caracterizacion Fisicoquimica De Subproductos Polimericos Termoestables, Guiados A Su Reutilizacion En La Produccion De Espumas A Nivel Industrial.....	40
2.2.1 Análisis Espectroscópico.....	42
2.2.2 Caracterización Fisicoquímica	46
3. Definición De Estrategias De Solución, Diseño Y Selección De Equipos	50
3.1 Introducción	50

3.2	Descripción De Las Opciones Del Procedimiento A Realizar, Mapa Conceptual	50
3.2.1	Recuperación Del Disolvente Por Medio De Una Rota Evaporación .	50
3.2.2	Separar Por Diferencia De Solubilidad El Polímero Poliuretano De Su Impureza El Exceso De Polioliol, Mediante Diferencia De Polaridad	52
3.2.3	Regenerar La Estructura De La Espuma De Poliuretano Adicionando Isocianato	53
3.2.4	Optimizar La Reacción De Condensación De La Amina Y El Ácido Carboxílico Para Regenerar La Unidad De Poliuretano	53
3.3	Selección De La Estrategia De Solución	53
3.3.1	Cálculos Realizados En La Escuela De Tecnología Química De La Universidad Tecnológica De Pereira	55
4.	Definición De Parámetros Y Especificaciones Del Sistema De Recirculación Requerido	58
4.1	Parametros Esperados Del Sistema De Recuperacion Y Recirculacion. Ventajas Previsibles	58
4.2	Definición De La Arquitectura Del Sistema De Recirculación Y Justificación.....	59
5.	Diseño Y Selección De Accesorios Para El Sistema De Recuperacion Y Recirculacion.	62
5.1	Análisis Teórico Para La Determinación De Las Características Técnicas Del Sistema De Recirculacion	66
5.1.1	Caso 1. Flujo Laminar	71
5.1.2	Caso 2. Turbulento Liso	73
5.1.3	Caso 3. Turbulento Intermedio	75
5.1.4	Caso 4. Turbulento Rugoso	77
5.2	Simulación De La Solución	79
5.3	Tubería E Información De Pérdidas.....	88
5.4	Tanque Y Soportes.....	91
5.5	Selección De Componentes Eléctricos De Mano Y Maniobra	92
6.	Cálculo Financiero De La Selección Propuesta.....	94
6.1	Recomendaciones De Almacenamiento Y Manejo De Productos	95

6.1.1	Manipulación Y Almacenamiento	95
6.1.2	Equipos De Protección Individual.....	96
6.1.3	Primeros Auxilios.....	97
6.1.3.1	Tras Inhalación	97
6.1.3.2	Tras Contacto Con La Piel	97
6.1.3.3	Tras Contacto Con Los Ojos.....	97
6.1.4	Medidas De Lucha Contra Incendios	97
7.	Resultados, Conclusiones Y Recomendaciones	98
7.1	Resultados.....	98
7.2	Conclusiones	98
8.	Anexos.....	101
9.	Bibliografía.....	106

CONTENIDO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Moldeo por inyección	17
Figura 2. Sistemas de moldeo por inyección con reacción (MIR)	19
Figura 3. Maquina inyectora de poliuretano portátil (uso aficionado)	26
Figura 4. Maquina inyectora de poliuretano portátil (uso profesional)	27
Figura 5. Maquina inyectora de poliuretano portátil de baja presión.	28
Figura 6. Maquina inyectora de poliuretano básica	29
Figura 7. Cabezal inyector	30
Figura 8. Maquina inyectora de poliuretano completa.....	31
Figura 9. Cabezal de mezcla e inyección de la maquina en planta en Goby	32
Figura 10. Tablero de control y tanques de almacen. del equipo en Goby	33
Figura 11. Layout actual de la empresa.	37
Figura 12. Proceso de circulación del polioli, el isocianato y el cloruro de metileno, en la maquina inyectora de espuma de poliuretano.....	38
Figura 13. Síntesis de poliuretano.....	41
Figura 14. Esquema de prod. de poliuretano en la industria Goby Filters.....	42
Figura 15. Propuesta estructural del poliuretano.....	43
Figura 16. Espectro de RMN de ¹³ C de la muestra GOBY- Poliuretano	44
Figura 17. Espectro de IR para GOBY- poliuretano	44
Figura 18. Síntesis de amina M3.....	45
Figura 19. Espectro IR de Amina subproducto M3.....	45
Figura 20. Reacción de ácido nitroso para aminas	47
Figura 21. Mapa conceptual de la posible estrategia de solución al problema trazado	51
Figura 22. Rota evaporador	52
Figura 23. Mapa conceptual de la estrategia de solución al problema trazado.....	54
Figura 24. Layout con la ubicación del sistema de recirculación.....	60
Figura 25. Esquema del rota evaporador	61
Figura 26. Diagrama del sistema de recirculacion	62
Figura 27. Datos técnicos de la bomba	64
Figura 28. Rota evaporador R203B de BOYN INDUSTRIAL	65
Figura 29. Calculo de las raíces de la ecuación 10.....	72
Figura 30. Calculo de las raíces de la ecuación 9.....	77
Figura 31. Sistema de bombeo para la recirculación del cloruro de metileno	79
Figura 32. Tanque de suministro.....	80
Figura 33. Tramo 1.....	80

Figura 34. Válvula 1	81
Figura 35. Tramo 2.....	81
Figura 36. Bomba.....	82
Figura 37. Tramo 3.....	82
Figura 38. Codo 1	83
Figura 39. Tramo 4.....	83
Figura 40. Codo 2	84
Figura 41. Tramo 5.....	84
Figura 42. Válvula 2	85
Figura 43. Tramo 6.....	85
Figura 44. Válvula cheque	86
Figura 45. Tramo 7.....	86
Figura 46. Tanque de descarga	87
Figura 47. Plano de la simulación	88

CONTENIDO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características del poliuretano como termofijo.....	20
Tabla 2. Características del poliuretano como elastomero.....	21
Tabla 3. Composición y concentración del cloruro de metileno.....	22
Tabla 4. Propiedades físicas y químicas del cloruro de metileno.....	22
Tabla 5. Datos muestras industria Goby Filters.....	47
Tabla 6. Tabla de valores K de cada accesorio para cálculo de las pérdidas.....	69
Tabla 7. Tabla de valor total de <i>k</i> para el cálculo de las pérdidas menores:.....	69
Tabla 8. Resultados iteraciones con el diámetro en el caso 2	74
Tabla 9. Resultado de iteraciones con el diámetro en el caso 3.....	76
Tabla 10. Componentes seleccionados a base de los cálculos hechos.....	87
Tabla 11. Información y Comparación de pérdidas.....	89
Tabla 12. Cotización del sistema de recuperación y recirculación.....	94
Tabla 13. Tabla de recomendaciones para la formación de poliuretano.....	100

CONTENIDO DE ANEXOS

Anexo 1. Datos técnicos de la bomba SIMDOS.....	101
Anexo 2. Ficha técnica de subproductos para fabricación de poliuretano.....	102
Anexo 3. Oferta económica accesorios para montaje de tubería.....	103
Anexo 4. Oferta económica por disposición final de residuos peligrosos.....	104
Anexo 5. Oferta económica por equipo de laboratorio, rota evaporador.....	105

GLOSARIO

ACGIH: Conferencia estadounidense de higienistas industriales gubernamentales (AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNAMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS), recomienda los límites máximos de exposición a sustancias químicas en el lugar de trabajo.

BASES HIDROXÍLICAS: son electrólitos fuertes que se ionizan completamente en soluciones acuosas, en condiciones de presión y temperatura constantes. Además fundamentalmente son capaces de aceptar protones H+.

CATÁLISIS: La catálisis es el proceso por el cual se aumenta o disminuye la velocidad de una reacción química, debido a la participación de una sustancia llamada catalizador.

DEP: Departamento de protección del medio ambiente (New Jersey Department Of Environmental Protection).

DOT: Departamento de transporte (Department of Transportation), la agencia federal que regula el transporte de sustancias químicas.

EPA: Agencia de protección del medio ambiente (Environmental Protection Agency), agencia federal responsable de regular peligros ambientales.

IARC: Agencia internacional para investigaciones sobre el cáncer (International Agency for Research on Cancer), que consta de un grupo científico que clasifica las sustancias químicas según su potencial de causar cáncer.

INFRARROJO: puede ser utilizada para identificar un compuesto o investigar la composición de una muestra.

IRIS: Sistema integrado de Información sobre riesgos (Integrated Risk Information System), es una base de datos mantenida por la EPA federal.

NFPA: Asociación Nacional para la Protección contra incendios (National Fire Protection Association), clasifica las sustancias según su riesgo de incendio y explosión.

NIOSH: Instituto nacional para la salud y seguridad en el trabajo (National Institute for Occupational Safety and Health). Prueba equipos, evalúa y aprueba los respiradores, realiza estudios sobre los peligros laborales y propone normas de la OSHA.

OSHA: Es la administración de salud y seguridad en el trabajo (Occupational Safety and Health Administration), agencia federal que promulga las normas de salud y seguridad y vigila el cumplimiento de dichas normas.

PLÁSTICO FENÓLICO: son compuestos moldeables de bajo costo que poseen alta resistencia mecánica, resistencia a temperaturas altas, buena estabilidad dimensional y buenas propiedades eléctricas.

RESILENCIA: es una magnitud que cuantifica la cantidad de energía por unidad de volumen que almacena un material al deformarse elásticamente debido a una tensión aplicada.

RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR DE PROTÓN Y CARBONO 13 (RMN): es una técnica empleada principalmente en la elucidación de estructuras moleculares, aunque también se puede emplear con fines cuantitativos y en estudios cinéticos y termodinámicos.

TERMOGRAVIMETRÍA (TG): está basada en la medida de la variación de la masa de una muestra cuando se la somete a un cambio de temperatura en una atmósfera controlada; esta variación puede ser una pérdida o una ganancia de masa.

POLIURETANO RIGIDO (PUR): Es un polímero rígido que se obtiene mediante condensación de bases hidroxílicas combinadas con disocianatos.

POLIURETANO (PU): Los poliuretanos son el producto de la condensación de un poli-isocianato con un poliol.

RESUMEN

El siguiente trabajo presenta el estudio de una situación problema en el proceso de limpieza de los conductos de una maquina inyectora de espuma de poliuretano, además del manejo de los residuos obtenidos en la producción de dicha espuma; para resolver lo anterior se realizó el diseño y la simulación de un sistema de recirculación complementario al sistema de lavado existente, esto con el fin de generar una reducción en costos, impacto ambiental y lograr que los residuos sean tratados convenientemente para una posterior reutilización en las instalaciones de Goby Filters.

La empresa Goby Filters se dedica a producir filtros de aire a base de poliuretano, para lo cual usa polioliol e isocianato, y efectúa la limpieza de los conductos con cloruro de metileno. Los residuos generados corresponden a cloruro y poliuretano.

La reutilización será una operación tecnificada, al separar la mezcla de cloruro de metileno y espuma de poliuretano con la ayuda de un rotavapor, el cloruro será recuperado y recirculado mediante un proceso de evaporación y condensación, mientras la sustancia restante (de textura gelatinosa) requirió de un aditivo para generar nuevamente la espuma de poliuretano.

La implementación de este sistema puede generar un proceso de ampliación en la producción, puesto que los desechos generados por la empresa serán “reciclados” y por ende reducidos.

Para verificar si la opción de la reutilización de los residuos era viable se analizaron muestras de los desperdicios resultantes (subproductos poliméricos) para generar una caracterización fisicoquímica, mediante técnicas espectroscópicas tales como:

- Resonancia magnética nuclear de protón y carbono 13.
- Infrarrojo
- Termo gravimetría

El presente proyecto se corresponde con un trabajo interdisciplinario, el cual se llevó a cabo entre las Escuelas de Tecnología Mecánica y Tecnología Química de la Universidad Tecnológica de Pereira. Los análisis físico-químicos fueron dirigidos por la Profesional en Química Yenny Patricia Arboleda, mientras que la parte mecánica y de análisis de proceso industrial estuvo a cargo de los autores del presente trabajo.

Debido a que el cloruro de metileno figura en la Lista De Substancias Peligrosas está sujeto a reglamentos de la OSHA, y ha sido citada por la ACGIH, el DOT, el NIOSH, el DEP, la IARC, el IRIS, la NFPA y la EPA, además figura en La Lista De Substancias Extremadamente Peligrosas Para La Salud ya que es inflamable.

1. INTRODUCCION

1.1 IMPORTANCIA

En la actualidad la manufactura del plástico (polímero) es muy importante a todo nivel, difícilmente se encuentran productos o máquinas que no posean partes de este material. El plástico presenta entre otras ventajas su fácil manejo, la economía en la fabricación, la posibilidad de reutilizarse, entre otras.

Las maquinas inyectoras de plástico son ampliamente usadas en las industrias de fabricación de productos plásticos, además son muy útiles pues permiten producir cualquier forma o pieza de forma sólida a través del moldeado.

Una máquina inyectora de poliuretano convenientemente diseñada debería poseer un sistema lavado con recirculación del respectivo producto químico; dependiendo del polímero usado la maquina inyectora debe contar o no un sistema de limpieza, debido a que los conductos pueden resultar obstruidos por un proceso de cristalización o solidificación del polímero.

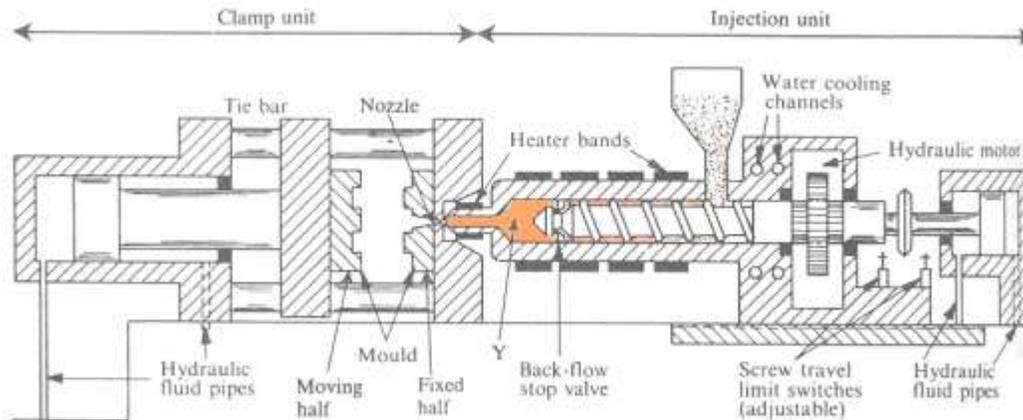
La importancia del desarrollo de este proyecto se basa en la reducción y reutilización de los residuos generados en Goby Filters, por la utilización de cloruro de metileno para la limpieza de los conductos de la maquina inyectora de espuma de poliuretano utilizada para la producción de filtros, además de disminuir los costos que estos generan y la ayuda al medio ambiente.

1.2 ANTECEDENTES

1.2.1 Antecedentes teóricos

El moldeo por inyección es un proceso semicontinuo que consiste en inyectar un polímero, cerámico o un metal en estado fundido en un molde cerrado a presión y frío, a través de un orificio pequeño llamado compuerta. En ese molde el material se solidifica, comenzando a cristalizar en polímeros semicristalinos. La pieza o parte final se obtiene al abrir el molde y sacar de la cavidad la pieza moldeada (**Figura 1**).

Figura 1. Moldeo por inyección



Fuente. (http://www.mater.upm.es/polimeros/Documentos/Cap6_5MoldeoInyeccion.pdf)

El moldeo por inyección es una técnica muy popular para la fabricación de artículos muy diferentes. Sólo en los Estados Unidos, la industria del plástico ha crecido a una tasa de 12% anual durante los últimos 25 años, y el principal proceso de transformación de plástico es el moldeo por inyección, seguido del de extrusión. Un ejemplo de productos fabricados por esta técnica son los famosos bloques interconectables LEGO y juguetes Playmobil, así como una gran cantidad de componentes de automóviles, componentes para aviones y naves espaciales.

Los polímeros han logrado sustituir otros materiales como son madera, metales, fibras naturales, cerámicas y hasta piedras; el moldeo por inyección es un proceso ambientalmente más favorable comparado con la fabricación de papel, la tala de árboles o cromados. Ya que no contamina el ambiente de forma directa, no emite gases ni desechos acuosos, con bajos niveles de ruido. Sin embargo, no todos los plásticos pueden ser reciclados y algunos susceptibles de ser reciclados son depositados en el ambiente, causando daños en él.

La popularidad de este método se explica con la versatilidad de piezas que pueden fabricarse, la rapidez de fabricación, el diseño escalable desde procesos

de prototipos rápidos, altos niveles de producción y bajos costos, alta o baja automatización según el costo de la pieza, geometrías muy complicadas que serían imposibles por otras técnicas, las piezas moldeadas requieren muy poco o nulo acabado pues son terminadas con la rugosidad de superficie deseada, color y transparencia u opacidad, buena tolerancia dimensional de piezas moldeadas con o sin insertos y con diferentes colores.

La gran mayoría de aplicaciones de moldeo por inyección involucran a los termoplásticos, pero existen variantes u otros procesos de moldeo por inyección tales como:

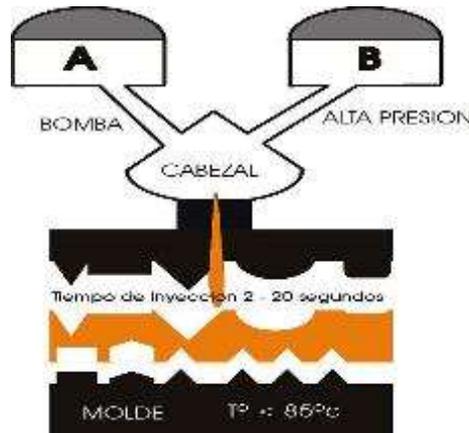
Moldeo por inyección de espuma termoplástica, Moldeo por inyección múltiple, Moldeo por inyección de termofijos (TS), Moldeo por inyección con reacción (MIR).

Puesto que el moldeo por inyección con reacción (MIR) es el proceso utilizado en las industrias GOBY, se dará relevancia a este.

▲ **El moldeo por inyección con reacción, MIR.** Consiste en la mezcla de dos líquidos altamente reactivos (regularmente polioliol e isocianato) que se inyectan inmediatamente en la cavidad de un molde donde la reacción química genera la solidificación (**Figura 2**). Los dos ingredientes forman los componentes usados en los sistemas activados catalíticamente o sistemas termofijos activados por mezcla. El MIR se desarrolló con el poliuretano para producir componentes automotrices grandes, como defensas, spoilers y parachoques. Las partes de poliuretano moldeadas por inyección con reacción poseen típicamente una estructura espumosa interna rodeada por una densa capa externa.

En el proceso de MIR, los ingredientes líquidos se bombean en las cantidades precisas desde recipientes separados a un cabezal mezclador. Allí se mezclan rápidamente y luego se inyectan a una presión relativamente baja en la cavidad del molde, donde ocurre la polimerización y el curado; el tiempo típico del ciclo es alrededor de dos minutos.

Figura 2. Sistemas de moldeo por inyección con reacción (MIR)



Fuente. (<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/07/rim.html>)

▲ **El poliuretano (PUR).** Es un polímero que se obtiene mediante condensación de bases hidroxílicas combinadas con disocianatos. Los poliuretanos se clasifican en dos grupos, definidos por su estructura química, diferenciados por su comportamiento frente a la temperatura. De esta manera pueden ser de dos tipos: Poliuretanos termoestables o poliuretanos termoplásticos (según si degradan antes de fluir o si fluyen antes de degradarse, respectivamente). 1 Los poliuretanos termoestables más habituales son espumas, muy utilizadas como aislantes térmicos y como espumas resilientes. Entre los poliuretanos termoplásticos más habituales destacan los empleados en elastómeros, adhesivos selladores de alto rendimiento, suelas de calzado, pinturas, fibras textiles, sellantes, embalajes, juntas, preservativos, componentes de automóvil, en la industria de la construcción, del mueble y múltiples aplicaciones más.

▲ **El poliuretano como termofijo.** Los poliuretanos incluyen una gran familia de polímeros (**Tabla 1**) caracterizados por el grupo uretano (NHCOO) en su estructura. La química de lo poliuretanos es compleja y hay muchas variantes químicas en esta familia. El rasgo característico en esta reacción es el polioliol, y un isocianato, como el diisocianato difenilmetano, a causa de las variaciones en la composición química, el encadenamiento transversal y el procesamiento, los poliuretanos pueden ser termoplásticos, termofijos o elastómeros, siendo los dos últimos los más importantes comercialmente.

Tabla 1. Características del poliuretano como termofijo

Polímero	El poliuretano se forma mediante la Reacción de un polioliol y un isocianato. La composición química varía significativamente.
Método de polimerización	Por pasos (condensación)
Módulo de elasticidad	Varía dependiendo de la composición Química y del procesamiento.
Resistencia a la tensión	30 MPa
Elongación	Varía en función del encadenamiento transversal
Gravedad específica	1,2
Participación aproximada en el mercado	Cerca del 4%, incluyendo los elastómeros.

Fuente. (Fundamentos de manufactura moderna, 1997)

▲ **El poliuretano como elastómero.** Los poliuretanos termofijos con un encadenamiento transversal mínimo son elastómeros y la mayoría de ellos se producen comúnmente como espumas flexibles (**Tabla 2**). De esta forma se usan en un amplia gama como materiales para colchones, para muebles, y asientos de automóviles. El poliuretano no expandido se puede moldear en productos que van desde suelas de zapatos hasta parachoques de automóviles, y ajustando el encadenamiento transversal se pueden obtener propiedades deseables para estas aplicaciones. Sin encadenamiento el material es un elastómero termoplástico que se puede moldear por inyección y reacción, así como otros métodos de conformado.

Tabla 2. Características del poliuretano como elastomero

Polímero	Poliuretano (la composición química varia)
Símbolo	VMQ (PMS)
Resistencia a la tensión	10 MPa
Elongación	700% a la ruptura
Gravedad específica	1,25
Límite de alta temperatura	210 °F (100°C)
Límite de baja temperatura	-60 °F (-50°C)

Fuente. (Fundamentos de manufactura moderna, 1997)

▲ **Procesamiento y formado de espumas de polímeros.** Una espuma de polímero es una mezcla de polímero y gas que da al material una estructura celular porosa. Otros términos que se usan para las espumas de polímeros incluyen *polímero celular*, *polímero soplado* y *polímero expandido*. La espuma de polímero más común es el poliestireno y poliuretano. Otros polímeros usados para hacer espumas incluyen el hule natural (hule espuma) y el cloruro de polivinilo (PVC).

Las propiedades características de los polímeros espumados incluyen:

- Baja densidad.
- Alta resistencia por unidad de peso.
- Buen aislamiento térmico.
- Buena calidad de absorción de energía

Las espumas de polímeros se pueden clasificar como 1) *elastómeras*, en las cuales la matriz de polímero es hule, susceptible de una gran deformación elástica; 2) *flexibles*, en las cuales la matriz es un polímero latamente plastificado como el PVC suave; 3) *rígidas*. En las cuales el polímero es un termoplástico rígido como el poliestireno o un plástico termofijo como un fenólico. Dependiendo de la formulación química y el grado de encadenamiento transversal, los poliuretanos pueden entrar en las tres categorías.

▲ **Sistema de lavado.** En el moldeo por inyección de espuma de poliuretano se requiere un sistema de lavado, ya que uno de sus componentes el isocianato cristaliza muy rápido al contacto con el aire; por ende puede obstruir la boquilla del

cabezal inyector y los conductos de circulación. Para realizar la limpieza de dichos componentes se utilizará cloruro de metileno que funciona como disolvente; el cloruro de metileno denominado como diclorometano *EMPLURA*, es un producto químico para síntesis, es un gas incoloro con un leve olor dulce. Es almacenado como liquido en cilindros de gases comprimidos. Se usa como refrigerante y en la fabricación de otras sustancias químicas y posee las composiciones y concentraciones descritas en la **Tabla 3**, mientras que en la **Tabla 4** se presentan algunas de sus propiedades físicas.

Tabla 3. Composicion y concentracion del cloruro de metileno

Formula	CH_2Cl_2 /(Hill)
No. CAS	75-09-2
No. índice	602-004-00-3
No.	CE 200-838-9
PM	84,93 g/mol

Tabla 4. Propiedades físicas y químicas del cloruro de metileno

Estado físico	Líquido
Color	Incoloro
Olor	Dulce
PH	20 °C neutro
Viscosidad dinámica	0,43 mPa.s a 20 °C
Punto de fusión	-95°C
Punto/intervalo de ebullición	40°C a 1,13hPa
Temperatura de ignición	605°C (DIN 51794)
Propiedades comburentes	sin datos disponibles
Inflamabilidad	sin datos disponibles
Presión de vapor	475 hPa a 20°C
Densidad relativa del vapor	2,93
Densidad	1,33 g/cm ³ a 20 °C
Solubilidad	sin datos disponibles
Solubilidad en agua	20 g/l a 20°C
Velocidad de evaporación	1,9

Fuente. (Tabla 3 y Tabla 4, Adaptadas de www.merck-chemicals.com)

El cloruro de metileno es inestable cuando es sometido a calefacción, pues se produce su descomposición térmica a una temperatura mayor a 120°C, y es reactivo al entrar en contacto con elementos como: metales alcalinos, aluminio, calor, hidrocarburos aromáticos, pulverulento, óxidos de nitrógeno, potasio, sodio, azida, ácido perclórico, ácido nítrico, oxígeno; además genera una reacción exotérmica con: metales alcalinotérreos, metales, pulverulento, amidas, alcoholatos, óxidos no metálicos.

La exposición al cloruro de metileno puede generar riesgos tales como:

- La exposición a largo plazo podría causar daño a los testículos.
- El contacto con el cloruro de metileno líquido puede causar congelación y graves quemaduras en la piel y los ojos, y llevar a daño permanente.
- Respirar cloruro de metileno puede irritar los pulmones, causando tos o falta de aire.
- A niveles más altos puede causar dolor de cabeza, mareo, somnolencia, pérdida del conocimiento, convulsiones y muerte.
- La exposición puede causar visión borrosa o doble y comportamiento ebrio.
- El cloruro de metileno podría causar daño al hígado, a riñón y puede interferir en la función cerebral.
- El cloruro de metileno es un gas sumamente inflamable y presenta un grave peligro de incendio.

Durante la década de 1970 muchos países usaron instalaciones de reciclaje complejas para separar, preferiblemente fracciones puras del flujo de residuos. Las máquinas fueron tomados de varias otras tecnologías, fueron ligeramente modificadas y adaptadas para la separación mecánica de una mezcla de residuos extremadamente heterogénea.

Durante los últimos años se ha mencionado el tema de reciclaje de poliuretano, especialmente espumas de poliuretano flexible, debido a sus extensas aplicaciones, alto volumen de desperdicios y también con una intención de resolver problemas ambientales y económicos. Espumas de poliuretano curadas en frío, las cuales son el grupo más importante de espumas, constituyen un 29% del total de la producción de estos materiales. Estas espumas son extensamente utilizadas en muebles, colchones y asientos de automóviles.

Como el volumen de producción de poliuretano aumento, la cantidad de residuos de poliuretano también se incrementó. Los métodos tradicionales de la destrucción de estos residuos no son particularmente aceptables. La quema de residuos de

poliuretano envía el óxido de nitrógeno, ácido cianhídrico, dióxido de carbono y otras toxinas en el ambiente, y cuando se entierra se desglosa por la acción del agua para dar la urea. Estos procesos se combinan para contaminar el aire y el agua. Al mismo tiempo el carácter no renovable de los recursos naturales y su alto costo, están creando una necesidad urgente de hacer uso de materias primas secundarias.

Los métodos actuales para el reciclaje incluyen procesos tales como la granulación de la chatarra para la fabricación de espuma flexible se recuperaron, pulverización criogénica a partículas de polvo para su uso como un material de carga, la hidrólisis, aminólisis, pirolisis y la glucólisis. Entre los métodos denominados el proceso de la glucólisis para la conversión de los residuos de nuevo a partir de materias primas tiene especial importancia.

Un proceso de reciclado químico para el poliuretano flexible, está basado en la "fase dividida" glucólisis, tiene la capacidad de producir polioli flexible de alta calidad que pueden ser reutilizados para hacer espuma de poliuretano con un alto contenido de reciclado. La glucólisis ha sido orientada a la recuperación de polioli flexible de alta calidad y consistencia para reemplazar polioli virgen. El proceso es particularmente adecuado para los mercados de láminas de espuma flexibles donde los volúmenes de residuos de producción son lo suficientemente altos para permitir q la economía sea favorable.

Simioni y Modesti investigaron los productos de la glucólisis de espumas de poliuretano flexibles a 190 ° C. Utilizaron etilenglicol (EG) como agente glucolisante, a los procesos realizado con alta relación de polímero / glicol (hasta 04:01). El producto polimérico obtenido se ha utilizado para la preparación de moldeo por inyección de reacción de la PU.

Kanaya y Takahashi informó de la descomposición de la espuma de poliuretano flexible alcanolaminas sin un catalizador a 150 ° C. Los productos de descomposición estaban completamente separados para dos capas.

1.2.2 Antecedentes prácticos

Empresas relacionadas con fabricación de filtros de aire para automóviles, aislamiento y acojinamiento de cajas, cámaras, contenedores, etc. Usan equipos dispensadores de poliuretano.

Empresas especializadas en la fabricación de estas máquinas no hay muchas, pero hay una gama amplia de modelos, acorde a las necesidades de los empresarios, la materia prima utilizada y los productos fabricados.

Existen maquinas inyectoras de poliuretano portátiles, portátiles de baja presión, básica y completas.

▲ **Maquina inyectora de poliuretano portátil (Figura 3).** Las máquinas portátiles son el más simple, pensado para novatos, sin sistema de calefacción, ni sistema de dosificación electrónica, pero con la posibilidad de transformarlas, agregándoles el chasis para trabajar profesionalmente. Las Máquinas inyectoras portátiles, sirven tanto para Spray como para Inyección de poliuretano. Este tipo de máquina de uso aficionado posee buen rendimiento, es de fácil uso y transporte.

- **Aplicaciones spray:** Sobre y bajo techo, paredes, pisos, cámaras frigoríficas “in situ”, escenografías, tanques, furgones térmicos, vehículos utilitarios, cascos de navíos en general, sala de máquinas, camarotes y largueros.
- **Aplicaciones inyección:** Embalajes, termos, heladeras, freezers, puertas, paneles, boyas, fondos de lanchas, perfiles, carpinterías metálicas etc.

Figura 3. Máquina inyectora de poliuretano portátil (uso aficionado)



Fuente. (<http://satchpoliuretanos.com.ar/PRODUCTOS%20%20SPR%203.htm>)

Hay máquinas portátiles más potentes de uso profesional. Estas pueden realizar eficientemente la atomización como la inyección dosificada de PUR. Hay modelos que son utilizados sólo para spray de poliuretano y otros para inyección preferentemente (**Figura 4**).

Figura 4. Maquina inyectora de poliuretano portátil (uso profesional)



Fuente. (<http://satchpoliuretanos.com.ar/PRODUCTOS%20%20SPR%2010.htm>)

▲ **Maquina inyectora de poliuretano portátil de baja presión.** Equipo destinado a la aplicación de espuma de poliuretano (PU) para la confección de piezas rígidas estructurales, para aislamiento térmico e impermeabilización.

Las características generales de este equipo son:

- Control de relación fija o variable.
- Cabezal manual con mezclador estático.
- Sistema de limpieza manual.
- Panel eléctrico de comando con temporizador para 1 tiempo de inyección.
- Bombas de engranaje de alta precisión para dosificación de los materiales
- Presostatos independientes para el polirol y el isocianato.
- Recirculación continua de los componentes evitando la cristalización del isocianato.

- Reservorios para polioli e isocianato
- Tanque de solvente para la limpieza
- Base con ruedas para facilitar la locomoción del equipo.

Figura 5. Maquina inyectora de poliuretano portátil de baja presión



Fuente. (<http://www.fibermaq.com.br/es/baixa-pressao-portatil.php>)

▲ **Maquina inyectora de poliuretano básica.** Equipo destinado a la inyección de espuma de poliuretano (PU) para confección de piezas rígidas, semirrígidas y flexibles.

Las características generales de este equipo son:

- Convertidores de frecuencia independientes en el accionamiento de motores de bombas de engranaje para controlar las velocidades de flujo y la relación isocianato y polioli
- Cabezal mezclador dinámico impulsado por motor eléctrico
- Bombas de engranaje de alta precisión para el dosaje de los materiales

- Presostatos independientes para el polioliol y el isocianato
- Recirculación continua de los componentes evitando la cristalización del isocianato
- Reservorios para polioliol e isocianato
- Tanque de solvente para la limpieza
- Base con ruedas para facilitar el movimiento de los equipos o la base fija, cuando hay mesa giratoria.

Figura 6. Maquina inyectora de poliuretano básica



Fuente. (<http://www.fibermaq.com.br/es/baixa-pressao-basic.php>)

▲ **Maquina inyectora de poliuretano completa.** Equipo destinado a la aplicación de espuma de poliuretano (PU) para la confección de piezas rígidas, semirrígidas y flexibles.

Las características generales de este equipo son:

- Cabezal con mezclador dinámico accionado por motor eléctrico.

- Sistema de comando a través de Controlador Lógico Programable (PLC) microprocesador, con IHM gráfica monocromática "touch screen", con 99 programas de tiempos de inyección.
- Bombas de engranaje de alta precisión, acopladas a motores eléctricos para el dosaje de los materiales.
- Recirculación continua de los componentes, evitando cristalización del isocianato.
- Presostatos de seguridad, independientes para el polioliol y el isocianato
- Reservorios para polioliol e isocianato.
- Sistema de abastecimiento automático de polioliol y de isocianato a través de bombas opcionales de transferencia por diafragma.
- Intercaladores de calor para control independiente de temperatura del polioliol y del isocianato.
- Control individual de temperatura del polioliol y del isocianato (sistema de calentamiento por resistencia y sistema de enfriamiento por refrigeración chiller) a través del PLC.
- Agitador en el reservorio de polioliol, accionado por motor eléctrico.
- Limpieza automática, manual y de emergencia con uso de solvente
- Tanque de solvente para limpieza.
- Brazo accionado mediante un pistón para controlar la altura y la posición del cabezal inyector.

Figura 7. Cabezal inyector

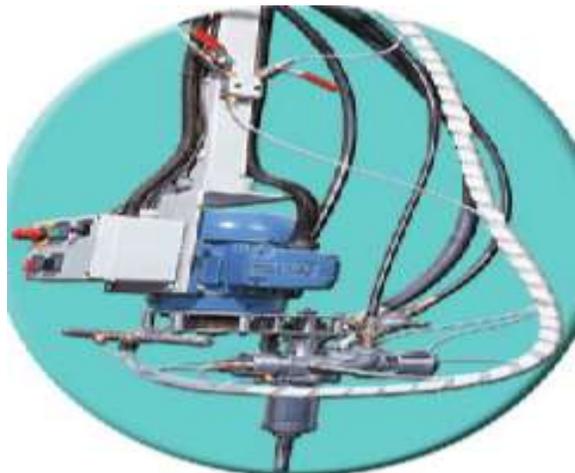


Figura 8. Maquina inyectora de poliuretano completa



Fuente. Figura 7 y Figura 8. (<http://www.fibermaq.com.br/es/baixa-pessao-completa.php>)

Los precios de estas máquinas varían, dependiendo de si son portátiles o fijas y también del caudal en kg/minuto. La escala comienza desde 3 y va hasta 40 kg/min. El rango de precios está entre \$ 8,000 a 50,000 USD.

Debido a los altos costos de estas máquinas inyectoras, los pequeños y medianos industriales colombianos no pueden adquirir con facilidad equipos nuevos de uso profesional, y aun si son equipos utilizados y por ende desvalorizados sus costos siguen siendo muy altos.

En la empresa Goby Filters se desarrolló una maquina inyectora de espuma de poliuretano, a partir de una modificación tecnológica realizada a una maquina parafinera, adicionándole partes y repuestos genéricos, disponibles en el mercado nacional.

Las características generales de este equipo son:

- ▲ Cabezal con mezclador dinámico accionado por motor eléctrico.
- ▲ Sistema de comando a través de PLC.
- ▲ Bombas centrífugas para la dosificación de materiales.
- ▲ Recirculación continua de los componentes para evitar la cristalización del isocianato.
- ▲ Reservorios de polioli e isocianato.
- ▲ Agitador en el reservorio de polioli accionado por motor eléctrico.
- ▲ Limpieza manual con uso de solvente.
- ▲ Tanque de solvente para limpieza.
- ▲ Brazo accionado mediante un pistón para controlar la altura y la posición de cabezal inyector.

Figura 9. Cabezal de mezcla e inyección de la maquina en planta en Goby



Figura 10. Tablero de control y tanques de almacen. del equipo en Goby



Fuente. Figura 9 y Figura 10, maquina instalada en Goby Filters.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

El objetivo general del proyecto es diseñar y simular un sistema de lavado para una maquina inyectora de espuma de poliuretano, que permita recuperar y recircular un porcentaje del disolvente usado, y recuperar poliuretano de los residuos mediante un aditivo que sería la sustancia escasa en la mezcla.

1.3.2 Objetivos específicos

- Revisión bibliográfica sobre diferentes sistemas de lavado con recirculación existentes en el mercado.
- Estudiar los manuales de operación y mantenimiento de la máquina inyectora de interés, para comprender el proceso actual.
- Estudiar los mecanismos de filtración, decantación, ebullición u otro que mejor se adapte a la necesidad específica.
- Definir los parámetros iniciales o requerimientos de diseño del sistema.
- Esbozar y realizar los cálculos pertinentes de componentes del sistema a implementar.
- Seleccionar el software indicado para la simulación del sistema de lavado.
- Simular el sistema de lavado en el software de ingeniería y realizar ajustes al diseño.
- Seleccionar componentes comerciales para el sistema diseñado y elaborar un presupuesto de fabricación.
- Evaluar la reducción de costos en el proceso según el fluido a utilizar en el proceso de lavado y estimar un tiempo de recuperación de la inversión.
- Estudiar y proponer a la empresa mejoras en la cultura de seguridad industrial y salud ocupacional, en lo concerniente al manejo de los químicos actuales.

1.4 ALCANCE

El alcance del proyecto es mejorar un sistema de lavado mediante el diseño y la simulación del mismo, esto con el fin de reducir la contaminación ambiental, y reducir costos en la producción de filtros, si el proyecto es viable esta optimización podrá ser usada en la empresa Goby Filters y en todas las empresas de esta rama.

1.5 LIMITACIONES

Las limitaciones del proyecto radican en los costos de adquisición de equipos necesarios para la optimización del proceso de lavado, la adaptación de dichos equipos al sistema existente en otras empresas (espacio), se necesitaría que todas las empresas productoras de filtros trabajaran de una forma muy similar para que esta optimización pueda ser aplicada universalmente.

1.6 AVANCE EN EL CAMPO DE ESTUDIO

El desarrollo de este proyecto tiene un avance significativo para las empresas fabricantes de filtros que utilicen espuma de poliuretano, ya que se podrá aplicar una adaptación tecnológica de bajo costo, y tendrán una reducción importante en el impacto ambiental y en la reducción de costos de producción.

2. CARACTERIZACIÓN DE PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS PARA LA FABRICACIÓN DE FILTROS EN INDUSTRIAS GOBY FILTERS S. A.

2.1 BREVE DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

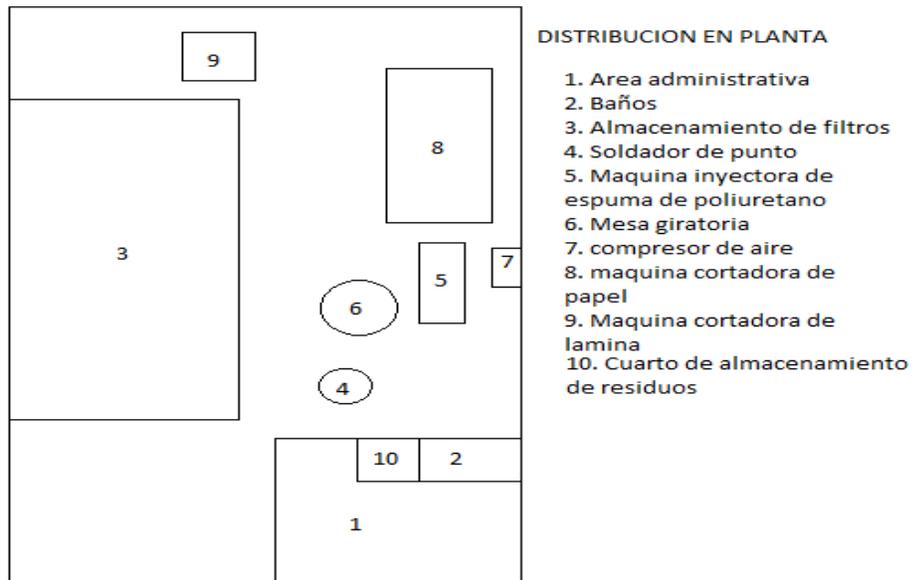
Goby Filters es una empresa dedicada a la fabricación y distribución de filtros de aire a base de espuma de poliuretano. Estos productos se distribuyen a nivel nacional.

La industria Goby Filters desarrolla una gran variedad de productos como respuesta a las necesidades del mercado, fabricando filtros para los sectores de:

- Transporte de pasajeros y carga.
- Agroindustria
- Construcción
- Minería
- Talleres
- Concesionarios
- Generación de energía

La distribución en planta de Goby Filters es la mostrada en la **Figura 11**.

Figura 11. Layout actual de la empresa



El proceso general de fabricación de los filtros Goby Filters que tiene relación con la máquina inyectora de poliuretano (elemento 5 **Figura 9**), se realiza por medio de moldes los cuales se rocían con la mezcla de espuma de poliuretano creando una capa sólida y flexible de plástico. El proceso básico de fabricación de un filtro es:

- Inicia un proceso de espumajeado, donde es agitado el polioliol de manera constante dentro de un contenedor para evitar su solidificación
- Luego se aplica presión a los contenedores que almacenan isocianato y polioliol, para bombearlos hasta la boquilla de inyección; allí se mezclan por medio de un agitador que gira a más de 3000 RPM
- Por último se inyecta la mezcla en un molde, el cual es transportado a una mesa giratoria para ser ensamblado con el cuerpo del filtro y se deja a temperatura ambiente para propiciar la solidificación y posterior desmolde del filtro.

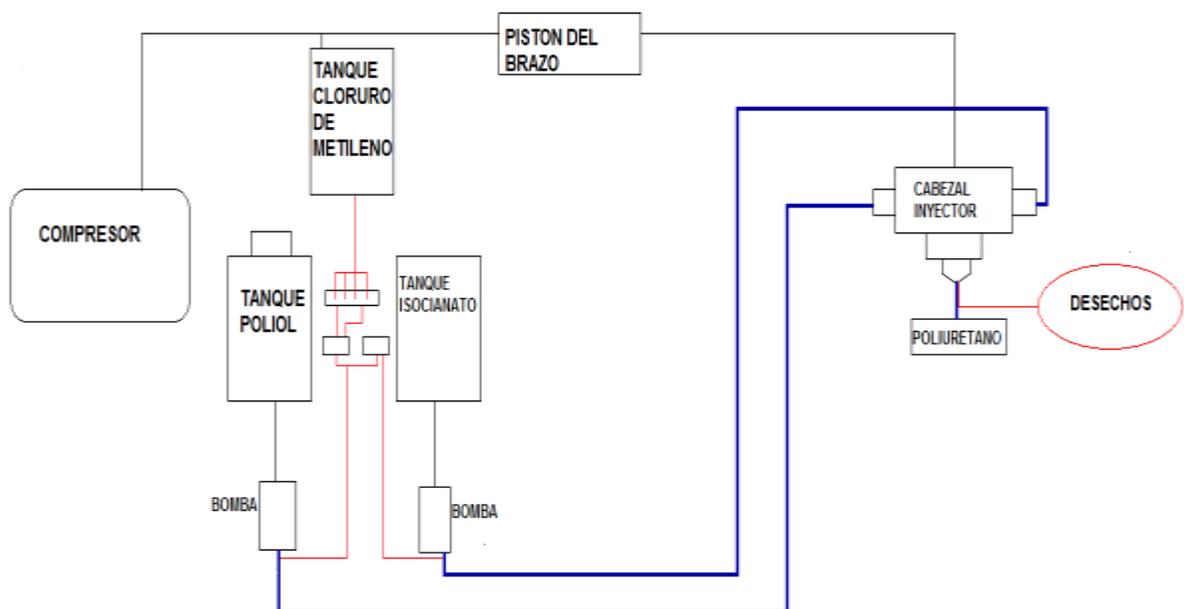
Cada cierta cantidad de unidades de filtro producidas se ejecuta una labor semi-automática de limpieza, la cual consiste en limpiar los conductos de polioliol e isocianato y el cabezal inyector, haciendo uso de cloruro de metileno como agente diluyente; la labor de limpieza es necesaria porque de lo contrario el isocianato se solidifica y se obstruye el sistema, generando paradas en la producción.

Los residuos se generan en el momento en el que se usa el cloruro de metileno para ejecutar la labor de limpieza de los conductos de inyección; estos residuos son depositados en contenedores, los cuales son almacenados en una habitación de la empresa y posteriormente puestos a disposición de una empresa competente encargada del manejo de residuos RESPEL, ya que los residuos de cloruro de metileno no se deben ser incorporados en suelos o acuíferos.

La disposición final que se le da a ese residuo puede variar entre incineración o encapsulamiento, este dependerá de la cantidad y de las instalaciones de la empresa que realice el proceso.

En la **figura 12** se muestra el proceso de circulación de la espuma de poliuretano (poliol e isocianato) y el cloruro de metileno usado en la producción de los filtros de aire.

Figura 12. Proceso de circulación del poliol, el isocianato y el cloruro de metileno, en la máquina inyectora de espuma de poliuretano



El sistema de lavado incorporado en la máquina inyectora de espuma de poliuretano de Goby Filters, basa su funcionamiento en el uso de aire comprimido; se aplica presión en el interior del contenedor del cloruro de metileno para inyectarlo a un banco de válvulas y posteriormente pasar por los ductos de inyección de poliol e isocianato.

El sistema de lavado de la maquina inyectora de espuma de poliuretano de industrias GOBY está conformado por los siguientes componentes en el orden respectivo.

- Compresor de aire
- Tanque disipador de cloruro de metileno
- Sistema de inyección operado por actuación neumática
- Válvulas de conmutación
- Conexión a las líneas de inyección de polioli e isocianato.
- Tanque recolección de desechos.

▲ **Algunos datos de rendimientos:**

La inyección de poliuretano por filtro oscila entre (200 y 500) gramos. Se inyecta espuma de poliuretano en un molde para formar una de las caras del filtro, se une rápidamente al cuerpo previamente diseñado, posteriormente se desmolda y se inyecta la otra cara la cual también se debe unir rápidamente puesto que la espuma de poliuretano posee un proceso de solidificación muy rápido. Cada cierta cantidad de unidades de filtro producidas se ejecuta una labor semi-automática de limpieza lavado, la cual consiste en limpiar los conductos de polioli, isocianato y el cabezal inyector, durante este proceso es que se produce el desperdicio y la producción de residuos.

Se producen alrededor de (20) filtros en (12min), para lapsos de una hora. En un día se pueden producir alrededor de (100) filtros. Es necesario aclarar que la inyección de poliuretano en GOBY es un proceso rápido y que los cuellos de botella realmente están en otras partes de la Planta.

$$\text{Desperdicio diario de poliuretano} = \frac{1 \text{ cm}^3}{\text{inyeccion}} * \frac{6 \text{ inyecciones}}{\text{hora}} * \frac{8 \text{ horas}}{\text{dia}} = 48 \frac{\text{cm}^3}{\text{dia}}$$

$$\text{Consumo semanal cloruro} = \frac{4 \text{ cuñetes}}{1 \text{ mes}} * \frac{1 \text{ mes}}{4 \text{ semanas}} * \frac{4 \text{ gal}}{1 \text{ cuñete}} * \frac{3,78 \text{ li}}{1 \text{ gal}} = \frac{15.12 \text{ li}}{\text{semana}}$$

$$\text{Costo mensual cloruro} = \frac{4 \text{ cuñetes}}{1 \text{ mes}} * \frac{\$100.000}{1 \text{ cuñete}} = \frac{\$400.000}{\text{mes}}$$

Industrias GOBY espera que instalados los sistema de recuperación y recirculación, haya un ahorro en el consumo de disolvente de al menos \$100.000/mes, lo que en n meses devolvería la inversión hecha en el sistema de recuperación y recirculación.

Durante el proceso de fabricación de filtros de aire a base de espuma de poliuretano se producen residuos tóxicos, los cuales son una mezcla de poliuretano (poliol + isocianato) y cloruro de metileno.

En búsqueda de soluciones a la problemática, se siguió este procedimiento:

- Caracterización fisicoquímica, mediante técnicas espectroscópicas tales como; Resonancia magnética nuclear de protón y carbono 13, Infrarrojo y termo gravimetría.
- Búsqueda de opciones tecnológicas para recuperación y reutilización.
- Selección de equipos y componentes.
- Cálculo básico de retorno de la inversión.

2.2 CARACTERIZACION FISICOQUIMICA DE SUBPRODUCTOS POLIMERICOS TERMOESTABLES, GUIADOS A SU REUTILIZACION EN LA PRODUCCION DE ESPUMAS A NIVEL INDUSTRIAL

Se practicó una serie de análisis a los productos por separado para caracterizarlos, y se analizó una muestra de la espuma de poliuretano y una muestra de los residuos producidos; para determinar el tipo de mezcla que presentaban y el método de separación adecuado para el proceso de reutilización.

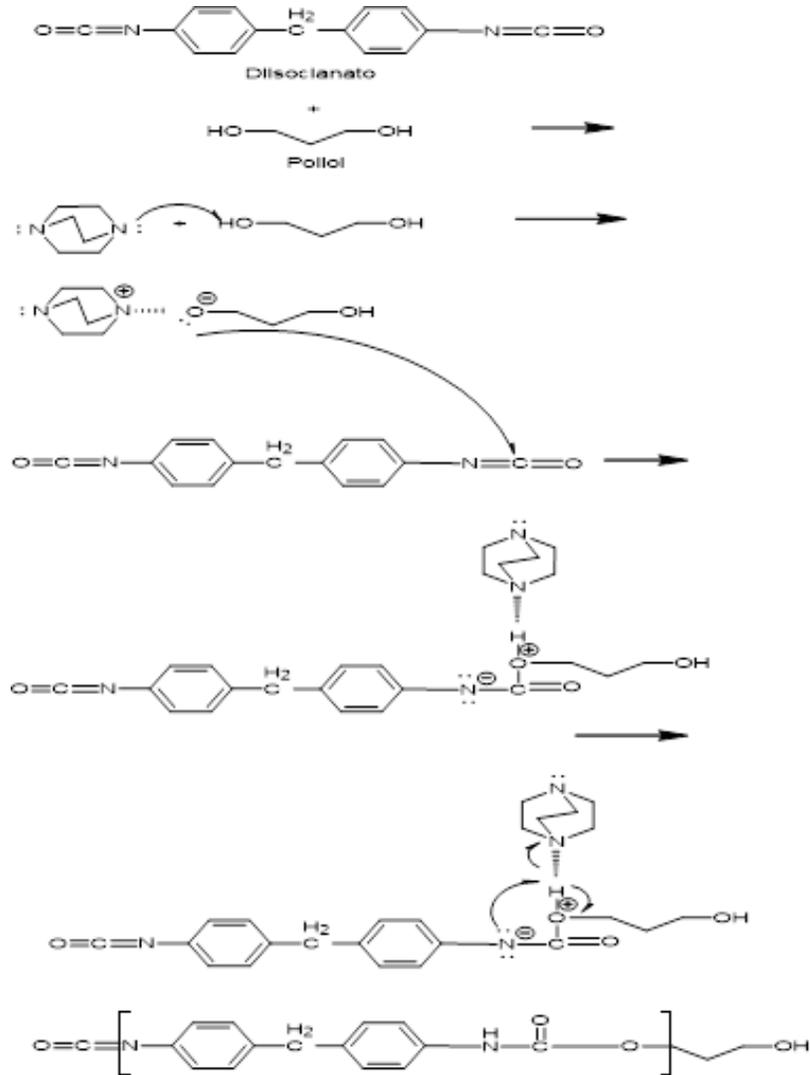
Para verificar si la opción de la reutilización de los residuos era viable se analizaron muestras de los desperdicios resultantes (subproductos poliméricos) para generar una caracterización fisicoquímica, mediante técnicas espectroscópicas tales como:

- Resonancia magnética nuclear de protón y carbono 13.
- Infrarrojo
- Termo gravimetría

Los análisis físico-químicos fueron dirigidos por la Profesional en Química Yenny Patricia Arboleda y realizados por una estudiante de la escuela de Tecnología Química de la Universidad Tecnológica de Pereira.

De acuerdo a lo anterior, los poliuretanos son el producto de la condensación de un poli-isocianato con un poliol, en presencia de diferentes disolventes. Esta reacción de condensación, produce una serie de reacciones químicas, que ocasionan la estabilización del grupo uretano, como se esquematiza en la siguiente reacción.

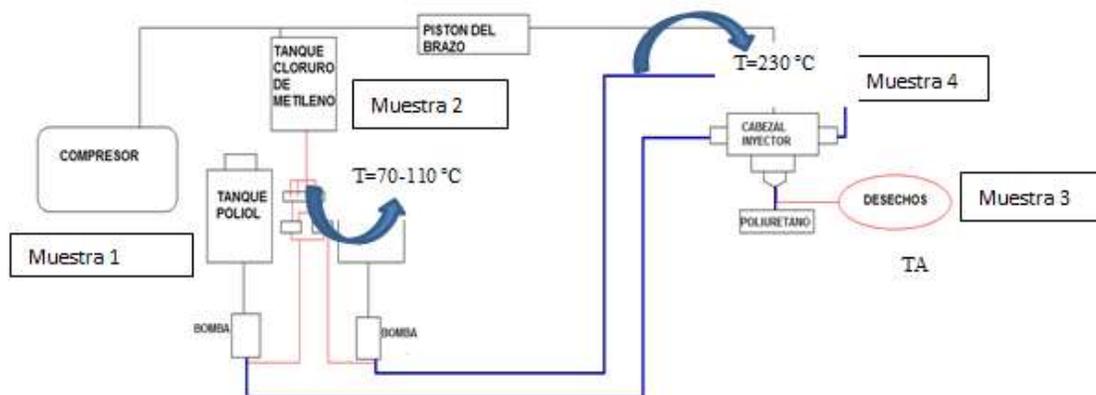
Figura 13. Síntesis de poliuretano



Dependiendo de las características fisicoquímicas de estos reactivos se direccionan las aplicaciones industriales. No obstante, es preciso caracterizar adecuadamente cada una de las fases de obtención del poliuretano, para

optimizar el proceso y aumentar los rendimientos de los productos. Las fases seleccionadas del proceso de obtención de poliuretano de la industria Goby Filters son las siguientes:

Figura 14. Esquema de prod. de poliuretano en la industria Goby Filters



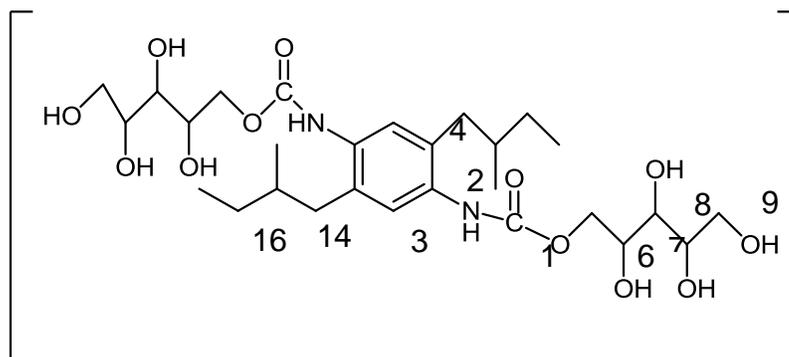
- ▲ Muestra 1 (**M1**). Polioli e isocianato.
- ▲ Muestra 2 (**M2**). Diclorometano.
- ▲ Muestra 3 (**M3**). GOBY- Mezcla residuos.
- ▲ Muestra 4 (**M4**). GOBY- poliuretano.

2.2.1 Análisis espectroscópico

▲ **M4: GOBY- poliuretano. (Muestra sólida, de color negro).** La caracterización se llevó a cabo bajo tres técnicas espectroscópicas de análisis: RMN ^1H y ^{13}C , TGA e IR en estado sólido. Se encontró que efectivamente la muestra corresponde a un poliuretano como producto principal de la reacción.

La propuesta estructural del poliuretano se muestra en la **figura 15**, sustentando su elucidación por RMN ^1H y ^{13}C e IR.

Figura 15. Propuesta estructural del poliuretano

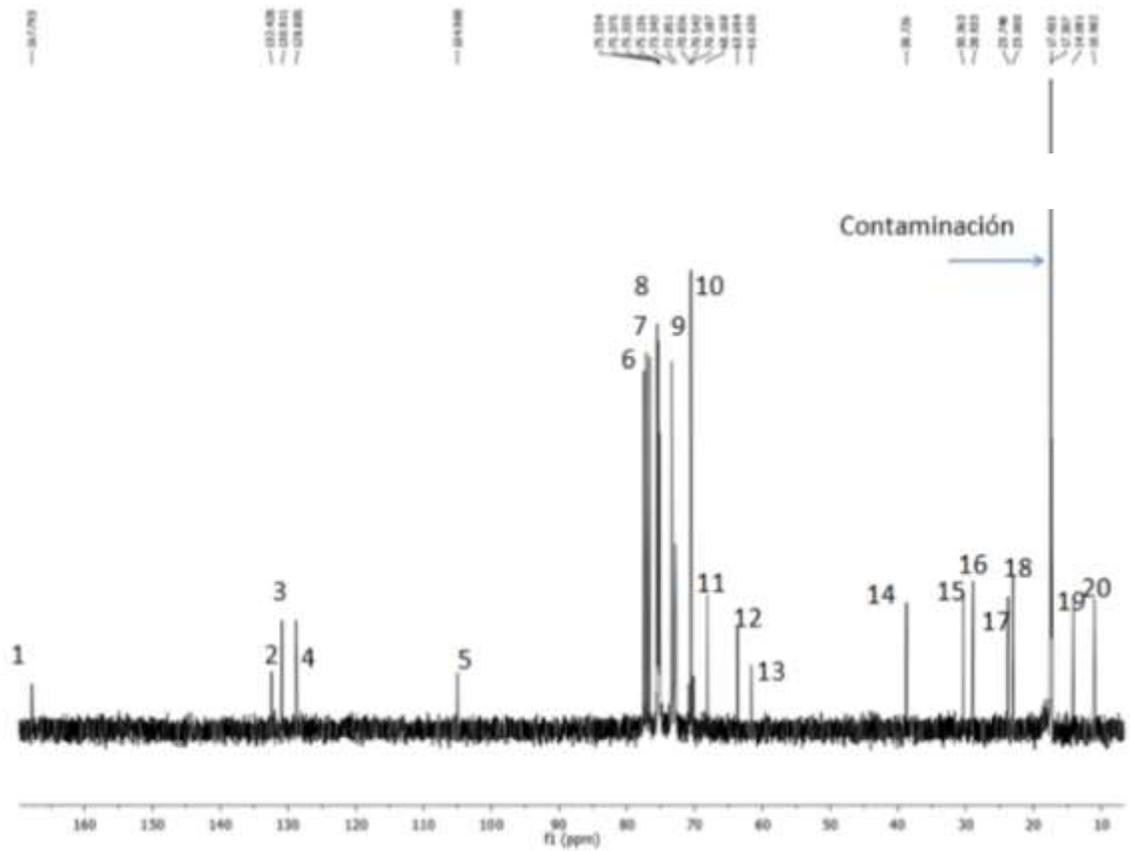


El patrón de RMN de ^{13}C muestra 26 carbonos identificados de la siguiente manera:

El pico característico del carbonilo del grupo uretano/urea a $\text{C}=\text{O}$ (1), 167.793 ppm; las tres señales 132.428 (2), 130.911(3) y 128.85 (4) ppm corresponden a los carbonos aromáticos de una sola unidad de benceno; $\text{C}-\text{O}$ (1') a 104.988 ppm, cinco metilenos CH_2 a 70.851(6), 73.342(7), 75.136(8), 75.335(9) ppm que conforman la unidad del polioliol y dichos metilenos se encuentran en la cercanía a un grupo electroattractor que corresponde al oxígeno del polioliol, dos metilos de la misma unidad como ramificaciones de la cadena alifática en 68.168, 63.694 ppm y finalmente las señales de la sustitución alifáticas del anillo aromático correspondiente a carbonos metílicos y metilenos, en posición orto con respecto al grupo isocianato a 38.726 ppm en cercanías del grupo electroattractor $-\text{N}-$ y 30.363 (16), 28.933 (14), 23.748 y 23.000 ppm a campos mas altos, **figura 16**.

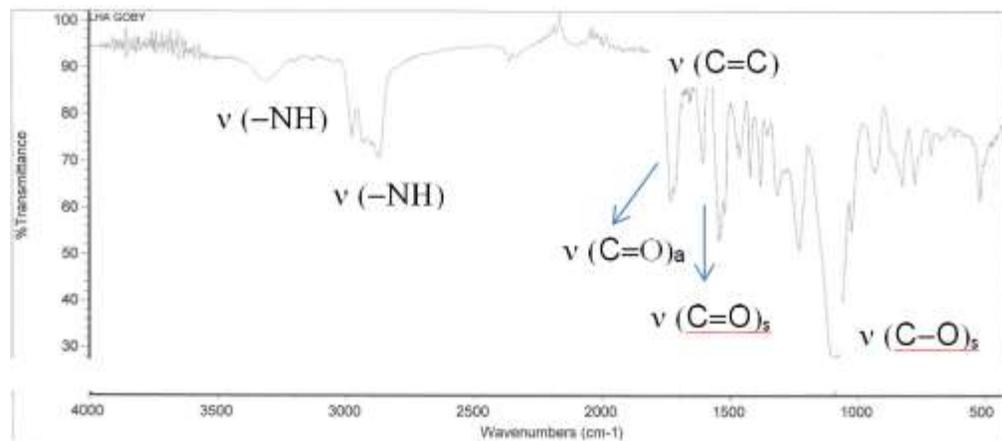
En la figura 14; Eje f1 (ppm) en el punto 18, se encuentra el pico más elevado representando este el elemento de contaminación el cual se debe al exceso de polioliol presente en la espuma de poliuretano generado en las instalaciones de Goby Filters.

Figura 16. Espectro de RMN de ^{13}C de la muestra GOBY- Poliuretano



El espectro de IR muestra las vibraciones características correspondientes a el poliuretano, específicamente la estructura propuesta, **figura 17**.

Figura 17. Espectro de IR para GOBY- poliuretano



Adicionalmente hay señales asignadas a contaminación del poliol de partida el cual se encuentra en exceso en el producto final.

▲ **M3: GOBY- Mezcla residuos. (Muestra semi- sólida de color negro).** La muestra analizada bajo espectroscopia IR, dá evidencia de que no existe la unidad poliuretano en esta mezcla de residuos. Se observa que las vibraciones características –N-C-O no son observadas, por el contrario se observa únicamente la vibración del grupo amino y una leve señal de CO₂. A nivel experimental se concluye que el lavado de los cabezales de las máquinas con diclorometano, solo llevan a la reacción entre el exceso de isocianato y agua. Esto produce una amina y CO₂, **figura 18**, tal como se observa en la asignación por espectroscopia IR, **figura 19**.

Reacción para la generación de la amina:



Figura 18. Síntesis de amina M3

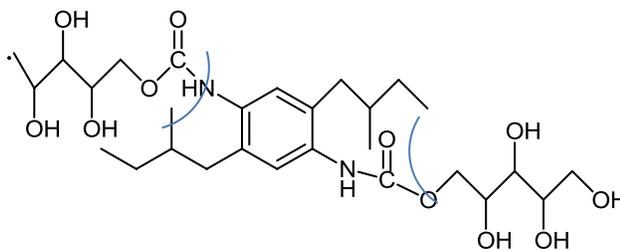
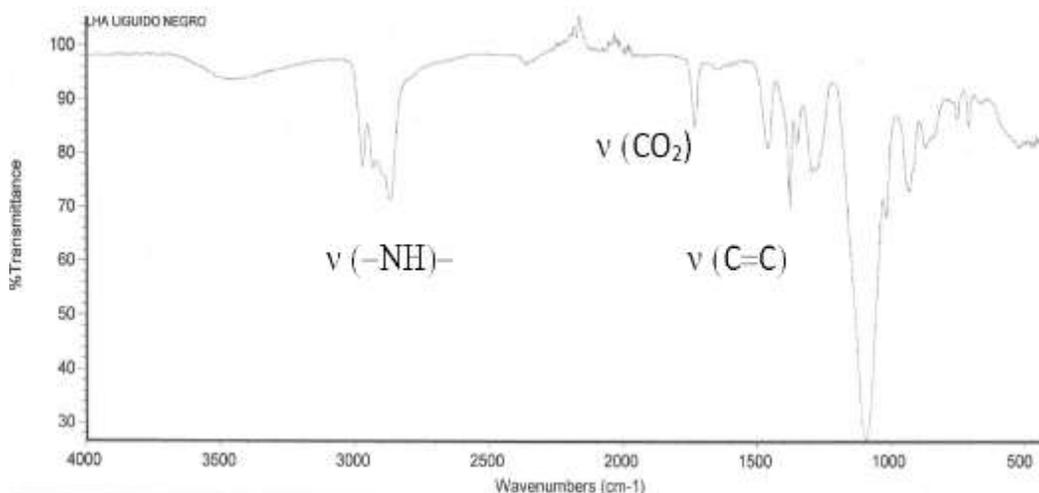


Figura 19. Espectro IR de Amina subproducto M3



2.2.2 Caracterización fisicoquímica

Muestra 1 (M1). Polioliol e isocianato.

▲ **M1. Caracterización del polioliol:** Se determinan el número de grupos –OH que pueden potencialmente reaccionar con TDI en la formación de poliuretanos.^a

a) Cuantificación de hidroxilos: Se realiza por el método de acetilación con anhídrido acético con base en la norma ASTM D4274-88^b. La muestra es acetilada con una solución con anhídrido acético y piridina en un bial a 100 °C. El exceso de reactivo es hidrolizado con agua y el ácido acético es titulado con una solución de NaOH 8 M. En un recipiente pyrex de 50 mL, se colocaron 0.05 g de polioliol, 15 mL de piridina y 5 mL de anhídrido acético; se tapó, se depositó dentro de un tubo galvanizado cerrado herméticamente y llevado a la estufa por 4 horas a 100 °C. Al cabo de es tiempo se enfrió, se trasladó al erlenmeyer y se lavó con 12.5 mL de agua destilada. Inmediatamente se adicionó 5 gotas de fenolftaleína y se tituló con NaOH 8 M.

El volumen de hidróxido requerido para la titulación es directamente proporcional al anhídrido acético residual hidrolizado e inversamente proporcional a los OH presentes en el polioliol. El número de hidroxilos es igual a:

Número de hidroxilos: $[(B-A)N \times 56.1] / W$, donde

B= NaOH de la muestra, A= NaOH del blanco, N= Normalidad del hidróxido y

W= Peso de la muestra

a. Moreno- Rueda Mary, Valderrama-Rios Martha. *Estudio para la sustitución del polioliol comercial utilizado en la producción de poliuretanos empleando ácido láctico*. Tesis. Universidad Industrial de Santander. 2004.

b. American Society of testing and Materials. *Standard methods for testing Polyurethane raw materials. Determination of Hydroxyl Numbers of polyols*. Philadelphia 1988. (ASTM D4274).

Tabla 5. Datos muestras industria Goby Filters

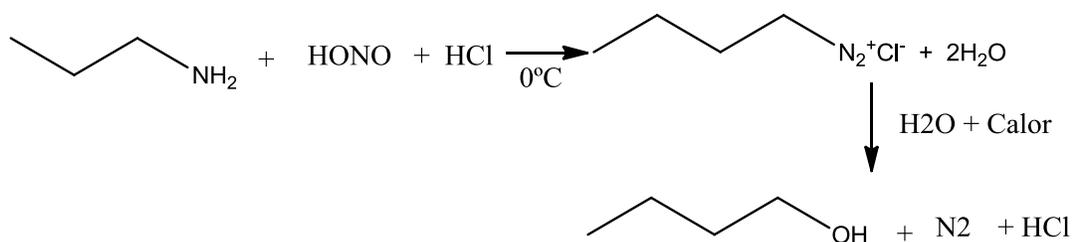
Muestra	Volumen NaOH(mL) 8M	No de hidroxilos
1	28	84
2	25	85
3	27	86

▲ **M3: GOBY- Mezcla residuos.** La muestra presenta dos fases. La primera fase sólida de color negro, la cual fue caracterizada química y espectroscopicamente (**M3A**). La segunda fase líquida corresponde al disolvente utilizado como medio de reacción (**M3B**), con una proporción 1:3 con respecto a la fase sólida. A continuación se muestran los resultados de la caracterización de cada fase.

• **M3A:** Las reacciones de caracterización que se llevaron a cabo fueron las siguientes:

a) Prueba del ácido nitroso: 1 mL de Amina disuelto/ 3 mL de HCl concentrado en 5 mL de H₂O (Clorhidrato de amina). Posteriormente esta disolución se enfrió a 0°C, en un vaso de precipitados. En otro vaso de precipitados se disolvió 1 g de Nitrito de sodio/ 5 mL de agua, la cual es añadida lentamente a la solución preparada inicialmente. El color azul en la solución indicó la presencia de una amina alifática de carácter primaria o secundaria. Así mismo, el desprendimiento de vapores de color naranja confirmaron la presencia de nitrógeno.° **Figura 20.**

Figura 20. Reacción de ácido nitroso para aminas



c. Shriner, Fuson, Curtin. "Identificación sistemática de compuestos orgánicos". Editorial Limusa. 1977. Pag 158.

b) Prueba de la lignina. Esta prueba se basa en la acción de la lignina del papel periódico sobre aminas primarias y secundarias, especialmente las aromáticas. Las reacciones son complejas y el ensayo es positivo si el papel periódico adquiere una coloración amarilla o naranja. Se disolvió 1 ml del residuo, con carácter orgánico, en 3 ml de etanol o metanol y se mojó un trozo de papel periódico con la solución. Luego de impregnar el papel con la solución se adicionaron sobre éste 2 gotas de HCl 6 M. El papel se tornó de color amarillo, lo que confirma la presencia de la amina de carácter secundaria, aromática, con enlaces insaturados o dobles.

- **Recuperación de residuo (M3):** De acuerdo a la caracterización descrita anteriormente, el residuo M3 corresponde a una amina. Este producto puede ser reutilizado en la producción de poliuretano, bajo la salvedad de eliminación total del medio acuoso generado por el lavado interno. Sin embargo, las aminas en medio acuoso representan un agente espumante que el fabricante puede considerar en el proceso, a menos que por eficiencia en la calidad del espumado haya recurrido a otro agente estabilizante de la espuma.

La presencia de grupos amino en la producción de poliuretano presenta los siguientes efectos:

a) Polioles y catalizadores basados en aminas como Teda L33/Toyocat ET, Toyocat NP y Toyocat DM70 se pueden emplear para reemplazar catalizadores de zinc Sn-Octoate. Otra posibilidad es el empleo de aminas reactivas como catalizadores, como Toyocat RX30, que emite una menor cantidad de compuestos orgánicos volátiles.

b) En el caso de procedimientos glicolíticos conocidos, por medio del contenido en agua de los glicoles y la humedad remanente de PUR y PHPUR empleados, también se producen las aminas que sirven como base para los isocianatos. No obstante, las aminas aromáticas son sustancias de las que se sospecha un poder cancerígeno. Estas se deben eliminar sensiblemente de los polioles reciclados para el manejo inofensivo de estos. Además, las aminas tienen repercusiones desagradables en los sistemas de PUR formulados a partir de los polioles reciclados. Estas aceleran fuertemente la reacción de formación de PUR, forman grupos urea rígidos, y reducen la controlabilidad de la reacción de formación de PUR por otros catalizadores. Además, el contenido en aminas libres en componentes de polioliol de sistemas de PUR en contacto con isocianatos,

conduce inmediatamente a masas altamente tixotropas, como enseña la solicitud de patente DD-A-156 480.

En caso de reutilización de la amina, la relación estequiometría utilizada para el caso particular de poliuretano: requiere 1 mol de isocianato con un mol de amina en medio de diclorometano, posteriormente se adiciona 1 mol de poliol, para regenerar la unidad de poliuretano.

- **M3B. El líquido corresponde al disolvente utilizado en la reacción.** El diclorometano es miscible con M3A.

3. DEFINICIÓN DE ESTRATEGIAS DE SOLUCIÓN, DISEÑO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS

3.1 INTRODUCCIÓN

De acuerdo al numeral **2.1** (*algunos datos de rendimiento*), en promedio se desperdician 2,5 L/día de cloruro de metileno y 0,1 L/día de espuma de poliuretano, con el sobrecosto que ello implica; adicionalmente con el agravante del espacio ocupado por los recipientes de los residuos, la disposición a terceros de los residuos RESPEL, entre otros.

De acuerdo con el numeral **2.2.1**, el Análisis espectroscópico realizado a la muestra 4 correspondiente a GOBY- poliuretano, se identificó un exceso en el producto poliol mostrado en la **figura 16**.

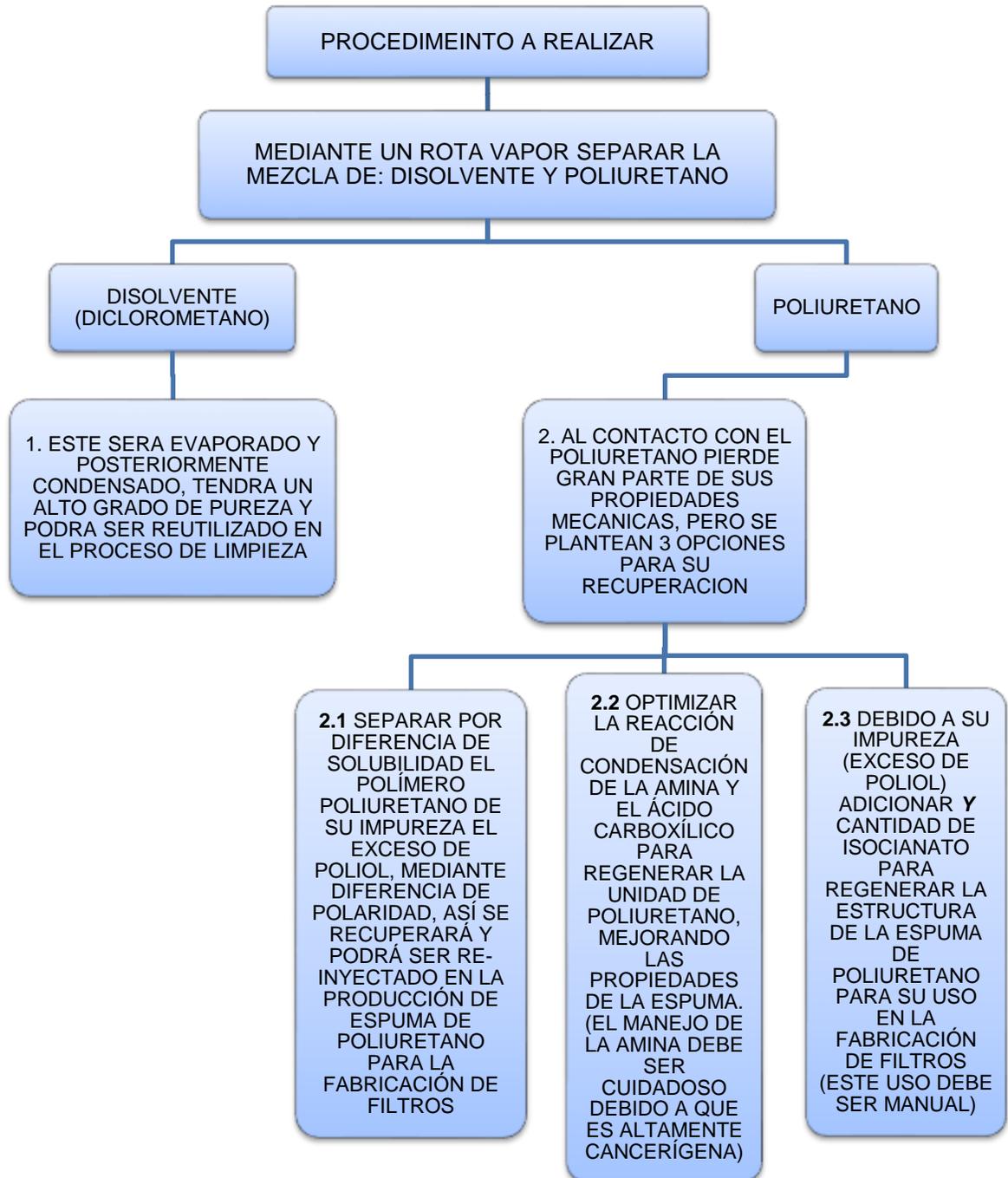
A la luz de lo anterior y con el objetivo del proyecto en mente, es decir, reducir costos durante la producción de filtros de aire en la empresa Goby Filters, se plantea un mapa conceptual de soluciones, mostrado en la **Figura 21**.

3.2 DESCRIPCION DE LAS OPCIONES DEL PROCEDIMIENTO A REALIZAR, MAPA CONCETUAL

3.2.1 Recuperación del disolvente por medio de una rota evaporación

Este disolvente puede ser recuperado de los residuos por medio de una rota evaporación. Un evaporador rotatorio o ROTA-VAPOR, es un dispositivo que se utiliza en laboratorios de química para la eliminación eficiente y suave de disolventes en sustancias a través de la evaporación. Las condiciones de presión y temperatura son controladas y el disolvente es recuperado eficientemente en el proceso. El sistema de vacío utilizado en los rota-vapores puede ser tan simple como un aspirador de agua con una trampa, inmerso en un baño de agua fría (para solventes no tóxicos), o tan complejo como una bomba de vacío mecánica regulada con trampa refrigerada. El material de vidrio utilizado en la corriente de vapor y el condensador puede ser simple o complejo, dependiendo de los objetivos de la evaporación, y cualquier propensión a los compuestos disueltos podría dar a la mezcla (por ejemplo, espuma o "bump").

Figura 21. Mapa conceptual de la posible estrategia de solución al problema trazado



Instrumentos comerciales disponibles, incluyen las características básicas, y varias trampas son fabricadas para insertarlas entre el matraz de evaporación y el conducto de vapor. Los equipos modernos a menudo agregan características tales como control digital de vacío, display digital de temperatura y velocidad de rotación, y la detección de la temperatura del vapor. El valor estimado de un rotavapor oscila entre 1000 - 2500 dólares.

Figura 22. Rota evaporador



Fuente. (<http://www.quiminet.com/articulos/el-uso-de-los-rotavapores-en-los-laboratorios-2648877.htm>)

Para recuperar el disolvente utilizando este equipo se deben de tener en cuenta las siguientes condiciones: El diclorometano tiene un punto de ebullición entre $T = (38 - 40) ^\circ\text{C}$, por ende no es necesario bajar la presión de destilación. Si se utiliza la presión atmosférica la recuperación es altamente eficiente y esto reduciría gastos.

3.2.2 Separar por diferencia de solubilidad el polímero poliuretano de su impureza el exceso de polioliol, mediante diferencia de polaridad

Esta opción plantea usar la diferencia de solubilidad para separar el poliuretano de su impureza de polioliol; debido a que el poliuretano es completamente insoluble en disolventes polares, razón por la cual se utiliza como medio de reacción diclorometano.

En este caso, como fue analizado a través del espectro de resonancia magnética nuclear, existe un exceso estequiométrico del poliol sobre la formación del polímero. La forma adecuada de separarlo involucra la adición de acetonitrilo o agua con índices de polaridad muy superiores a diclorometano para extraer parcialmente el exceso de poliol de la solución. Estructuralmente el poliol presenta gran cantidad de grupos hidroxilo, los cuales interaccionan a través de puentes de hidrógeno con el disolvente polar, razón por la cual el disolvente es capaz de solubilizar al poliol.

3.2.3 Regenerar la estructura de la espuma de poliuretano adicionando isocianato

Esta opción plantea adicionar debido a su impureza (exceso de poliol), “Y” cantidad de isocianato para regenerar la estructura de la espuma de poliuretano para su uso en la fabricación de filtros, (la adición debe ser manual).

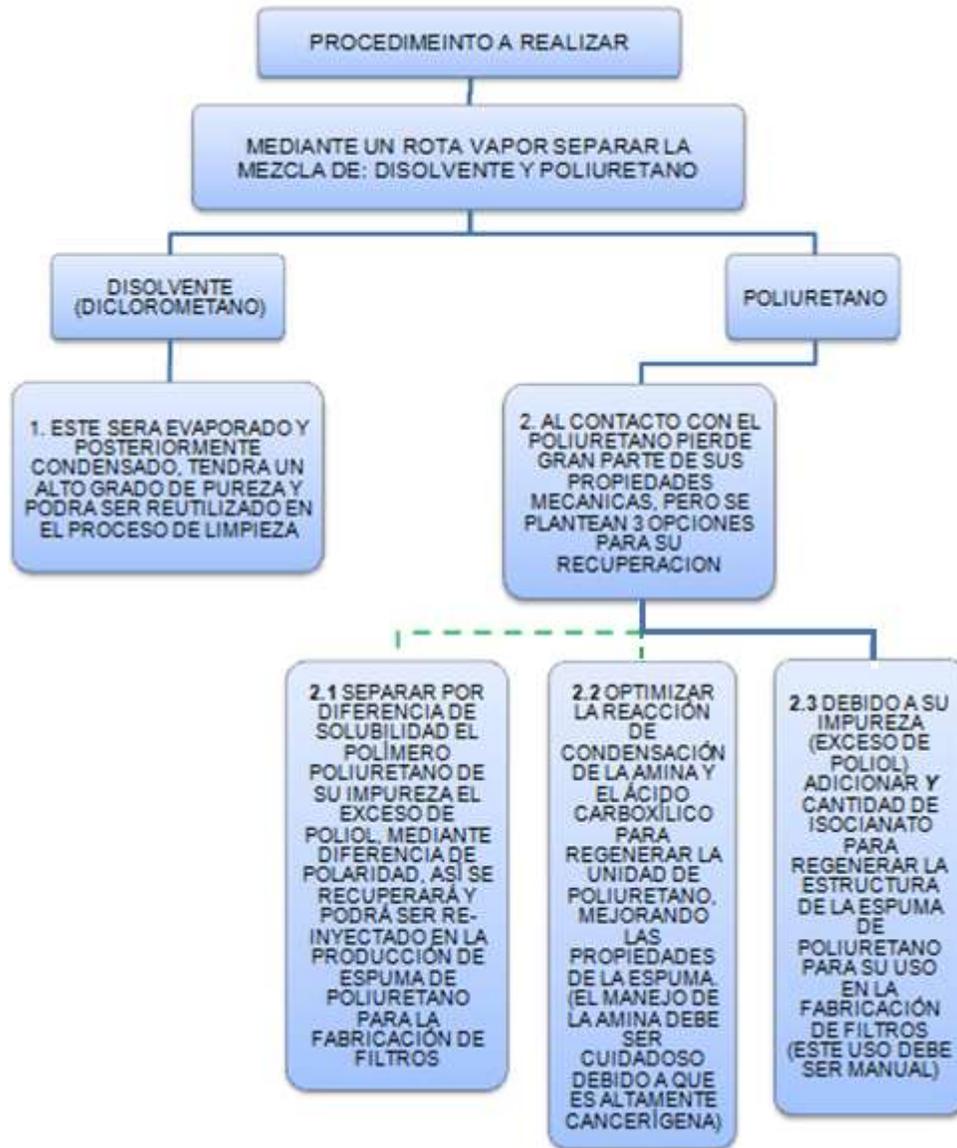
3.2.4 Optimizar la reacción de condensación de la amina y el ácido carboxílico para regenerar la unidad de poliuretano

Esta opción plantea adicionar manualmente la amina resultante a un molde donde posteriormente se inyectara espuma de poliuretano, esto con el fin de regenerar la estructura de la espuma de poliuretano y mejorar sus propiedades para su uso en la fabricación de filtros, no se garantiza una mezcla perfecta debido a que será manual y las proporciones no sean las correctas, además que la manipulación de la amina puede generar riesgos en la salud del operario encargado de este proceso.

3.3 SELECCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SOLUCIÓN

Una vez analizadas las diferentes opciones planteadas en el numeral anterior, automáticamente queda elegida la opción 1 para recuperar el disolvente, mientras que se ha elegido la opción 2.3 para recuperar el poliuretano, tal como se muestra en la **Figura 23**.

Figura 23. Mapa conceptual de la estrategia de solución al problema trazado



La opción **1** es obligatoria en el desarrollo del proyecto, debido a que es primordial separar el disolvente (cloruro de metileno) del material de fabricación (poliuretano), con las ventajas que se obtendrán (ver **Numeral 4**).

En cuanto a la recuperación del poliuretano, se tiene:

La opción **2.1** es descartada debido que para separar el poliuretano del exceso de poliol se requiere acetonitrilo o agua con unas condiciones de polaridad específicas las cuales deben ser superiores a las del cloruro de metileno, esto implicaría gastos extras.

La opción **2.2** es descartada debido a que la amina es altamente cancerígena, esto puede producir problemas de salud a los operarios encargados de este proceso.

Finalmente, la opción **2.3** es la más viable para este proyecto, debido a la facilidad de desarrollo, puesto que solo es necesario adicionar “Y” cantidad de isocianato a la “X” cantidad de polioliol que no reacciona en el proceso de mezcla. Será la opción seleccionada.

Para saber con certeza la cantidad de isocianato que se debe adicionar, la profesional en Química Yenny Patricia Arboleda de la escuela de Tecnología Química de la Universidad Tecnológica de Pereira, realizó los siguientes cálculos en donde se presenta el cálculo de la cantidad “Y” de isocianato la cual al adicionar a la cantidad “X” de exceso de polioliol de la mezcla, pueda hacer reaccionar nuevamente el polioliol y así regenerar el poliuretano.

3.3.1 Cálculos realizados en la escuela de Tecnología Química de la Universidad Tecnológica de Pereira

86 hidroxilos

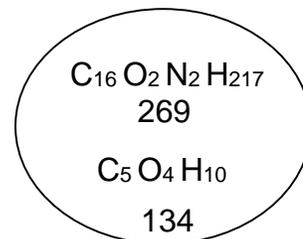
Isocianato – polioliol. (7 OH)

Relación:



Diclorometano 98%

$$48 \frac{ml}{dia} = u$$



Desperdicio:

100 g \longrightarrow Exceso de polioliol que no reacciona

Poliol \longrightarrow $C_5 O_4 H_{10} = 134$
 Isocianato \longrightarrow $C_{16} O_2 N_2 H_{217} = 269$

Peso molecular (Pm);

$$Pm \text{ isocianato} = 269 \frac{g}{mol}$$

$$Pm \text{ polioli} = 134 \frac{g}{mol}$$

$$1g \text{ de iso} * \frac{1mol \text{ iso}}{269g \text{ iso}} * \frac{4mol \text{ polioli}}{1mol \text{ iso}} * \frac{134g \text{ polioli}}{1mol \text{ polioli}} = 1,99g \text{ de polioli}$$

1g isocianato + 1,99g polioli

\rightarrow **2,99g masa total** \leftarrow

Proporción 70:30

$$1g \text{ de iso} * \frac{1 \text{ mol iso}}{269g \text{ iso}} * \frac{7mol \text{ polioli}}{3mol \text{ iso}} * \frac{134g \text{ polioli}}{1mol \text{ polioli}} = 1.16g \text{ polioli}$$

El porcentaje de pérdida es:

{ Amina \longrightarrow 20% del residuo negro
 { Isocianato + Polioli \longrightarrow Poliuretano
 1 : 4 \longrightarrow Poliuretano

1 \longrightarrow 2 1.99 \longrightarrow 1,093

2:1 7:3

7 \longrightarrow 3 2.99 \longrightarrow 2,093

Exceso de polioli \longrightarrow 0,103 Exceso

0.103 g

→ Amina

$$0,103g \text{ poliol} * \frac{1g \text{ isocianato}}{4g \text{ poliol}} = \mathbf{0,0257 g \text{ de Isocianato}}$$

▲ **RESUMEN:**

$$Pm \text{ de Isocianato} = 269 \frac{g}{mol}$$

$$Pm \text{ de Poliol} = 134 \frac{g}{mol}$$

$$1g \text{ de iso} * \frac{1mol \text{ iso}}{269g \text{ iso}} * \frac{4mol \text{ poliol}}{1mol \text{ iso}} * \frac{134g \text{ poliol}}{1mol \text{ poliol}} = \mathbf{1,99g \text{ de poliol}}$$

1: 2

7: 3

$$1g \text{ iso} + 1,99g \text{ poliol} = \mathbf{2,99 \frac{g}{mol} \text{ masa total}}$$



7:3



$$2,093g \text{ poliol} - 1,99g \text{ poliol} = \mathbf{0,103g \text{ poliol}}$$



$$0,103g \text{ poliol} * \frac{1g \text{ isocianato}}{4g \text{ poliol}} = \mathbf{0,0257 g \text{ de Isocianato}}$$

- La cantidad necesaria de isocianato para regenerar la espuma de poliuretano al adicionar al exceso de poliol es:

$$\mathbf{0,0257 \frac{g}{mol} \text{ de isocianato}}$$

4. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS Y ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE RECIRCULACIÓN REQUERIDO

Con la implementación de un sistema de recuperación y recirculación para el caso específico de Goby Filters, se espera mejorar una serie de problemáticas existentes, lo cual beneficiará a la empresa, principalmente en la parte económica y en cuanto al cuidado del medio ambiente.

4.1 PARAMETROS ESPERADOS DEL SISTEMA DE RECUPERACION Y RECIRCULACION. VENTAJAS PREVISIBLES

Los parámetros esperados para el sistema de recuperación y recirculación deben cumplir ciertos criterios fundamentales, tales como:

- ▲ Debe ser un sistema de bajo costo.
- ▲ Debe ser un sistema que ocupe poco espacio, volumen.
- ▲ Debe ser un sistema de fácil operación.
- ▲ Debe recuperar "A" volumen del residuo (poliol, isocianato y cloruro de metileno).
- ▲ Debe ser un sistema seguro para el operario y el ambiente.
- ▲ Debe poder funcionar con los servicios disponibles en las instalaciones de la empresa (sistema eléctrico y aire comprimido).

Teniendo en cuenta los criterios fundamentales de diseño enunciados, se espera impactar positivamente en los siguientes aspectos:

- ▲ Reducción de costos al reutilizar componentes.
- ▲ Disminución en la generación de residuos peligrosos.
- ▲ Recuperación de espacio de almacenamiento del residuo.
- ▲ Generación dentro de la empresa, de una cultura de seguridad industrial y salud ocupacional.

4.2 DEFINICION DE LA ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE RECIRCULACIÓN Y JUSTIFICACION

Como se ha definido anteriormente, en el numeral **3.3**, la selección de la estrategia de solución, se ha elegido recuperar el disolvente utilizando el método del rotavapor.

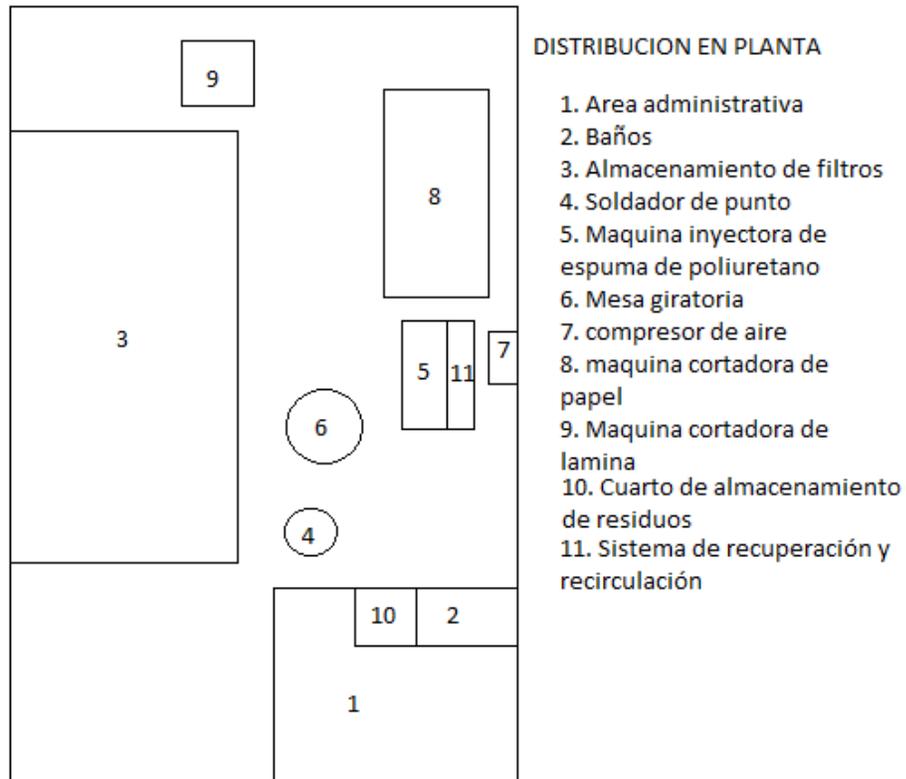
Por otro lado, la alternativa para recuperar (regenerar) el poliuretano, mencionada en el numeral **3.2.3**, Adicionar cierta cantidad de isocianato para regenerar la estructura de la espuma de poliuretano, y descrita en el numeral **3.3**, es la opción elegida para continuar adelante con el diseño y la simulación del sistema de recirculación.

El sistema de recirculación estará compuesto por:

- Un contenedor con capacidad de aproximadamente de 1500ml, diseñado de un material que no reaccione al contacto con el cloruro de metileno.
- La línea de bombeo, diseñada de un material apropiado para no generar reacción al contacto con el cloruro de metileno.
- Unidad de bombeo, que garantice una presión adecuada y que provea una cabeza suficiente.
- Válvula cheque para garantizar el sentido de flujo en una sola dirección.

La **Figura 24** presenta la ubicación futura del sistema.

Figura 24. Layout con la ubicación del sistema de recirculación



El proceso general de recirculación de cloruro de metileno empezará con su recuperación mediante el uso del rota-vapor; éste será almacenado en el globo de colector 1 (**Figura 25**) hasta obtener un volumen aproximado de 1000ml. Posteriormente será puesto en un contenedor, el cual será el inicio del sistema de recirculación.

Figura 25. Esquema del rota evaporador

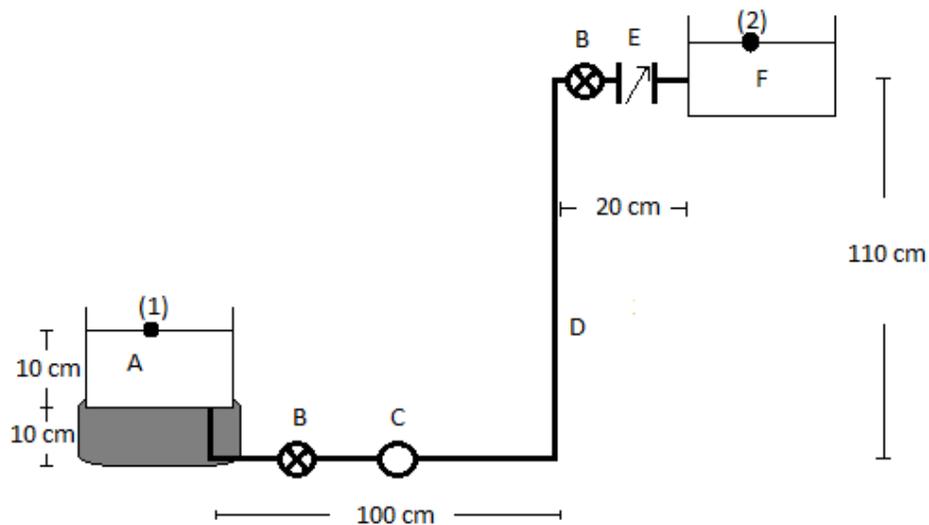


5. DISEÑO Y SELECCIÓN DE ACCESORIOS PARA EL SISTEMA DE RECUPERACION Y RECIRCULACION.

En el capítulo 3 se realizó un estudio para seleccionar la manera más eficaz de recuperar los productos, además de la de componentes para dicho sistema. En el presente capítulo se hará lo pertinente para calcular y seleccionar los componentes del sistema de recuperación y recirculación: rotavapor, bomba, tuberías, accesorios de tuberías, tanque de almacenamiento, soportes, elementos de mando y maniobras, cableados eléctricos o líneas neumática.

Para el cálculo y la selección de los diferentes componentes del sistema, se tendrán como base el sistema físico mostrado en la figura 26 y una serie de datos iniciales, mencionados seguidamente.

Figura 26. Diagrama del sistema de recirculación



El sistema de recirculación para el sistema de lavado de la máquina inyectora de espuma de poliuretano, estará compuesto por las siguientes partes o elementos (figura 26):

- A. Contenedor para el cloruro de metileno previamente recuperado en el rota evaporador, este contenedor tiene capacidad para 4 L.
- B. Dos válvulas globo que se encargaran de facilitar el mantenimiento

- C. Una bomba que se encargue de impulsar el cloruro de metileno entre el contenedor A y el contenedor F.
- D. Tubería en acero inoxidable o tubing, se harán los dobleces necesarios para simular los codos.
- E. Válvula cheque para garantizar que el fluido a impulsar no retornara al contenedor A cuando la bomba se encuentra fuera de servicio.
- F. Contenedor de cloruro de metileno, este contenedor es el usado en la máquina para realizar el proceso de lavado.

El sistema de recirculación será diseñado con base a los datos del fluido a impulsar y a los datos conocidos por el sistema de producción de la espuma de poliuretano; además el proceso se realizara al final de la jornada en un tiempo máximo de 30 minutos, esto con el fin de garantizar un consumo mínimo de energía, evitar recalentamientos en el equipo y no generar sobretiempos laborales.

El criterio de selección de la bomba se basa en una serie de datos conocidos tanto del fluido como del sistema a integrar, datos tales como:

- ▲ Debe ocupar poco espacio.
- ▲ Debe ser de fácil manejo.
- ▲ Debe ser resistente a químicos y disolventes.
- ▲ Debe manejar flujos de entre $50 \text{ cm}^3/\text{min}$ y $100 \text{ cm}^3/\text{min}$.
- ▲ Debe tener una cabeza superior a 110 cm.

Teniendo en cuenta los datos anteriores se recomienda el uso de una bomba de dosificación marca KNF, ver la descripción del equipo en la figura 27.

Figura 27. Datos técnicos de la bomba

CAUDAL (ML/MIN)	VOLUMEN DOSIFICACIÓN (ML)	SUCCIONA DESDE (FT)	BOMBEA HASTA (PSIG)
1-100	1-100	9	85

Modelo	Cabezal	Diafragma	Válvulas
KT	PP	PTFE-coated	FFKM
TT	PVDF	PTFE-coated	FFKM
FT	PTFE	PTFE-coated	FFKM
Conexiones		¼" Compresión	
Peso		0.9 kg	
Viscosidad Máxima		150cSt	
Temperatura Líquido		+5 – 80°C	
Tubing		" ID	
Protección		IP 65	

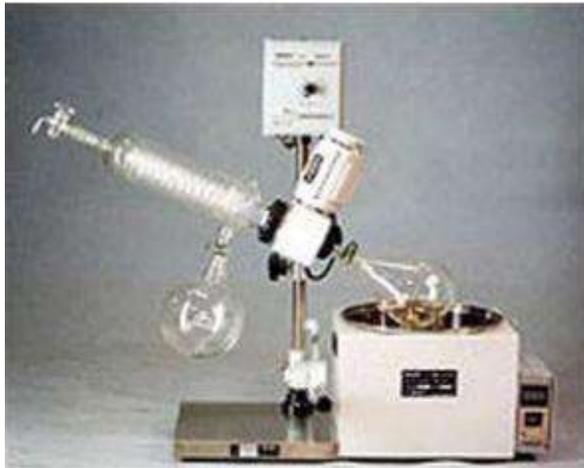
El criterio de selección del rotavapor se basa en una serie de datos conocidos del sistema a integrar, datos tales como:

- °T: ambiente-120°C
- Velocidad: 30-300RPM
- 127V a 60Hz
- Control de temperatura
- Motor con control de velocidad
- Condensador de poder de 200mm (vertical)
- Matraz de evaporación de 50 ml (si no lo hay el más pequeño posible, que se acerque a este valor)
- Matraz receptor 29/15 de 250ml
- Eje de juntas 14/23
- Clip fijador
- Empaque para sello

Comercialmente se encuentra en el mercado un rota evaporador con las siguientes características similares a los criterios de selección:

El rotavapor cotizado de marca Boyn Industrial mostrado en la Figura 26. posee un condensador oblicuo refrigerado por agua de 1000ml, un matraz de evaporación de 1000 ml, matraz de recepción de 1000ml, baño de calefacción de 1,5 Kw-100°C, una velocidad de 10-180 RPM, dimensiones de (880x530x700)mm, una tasa de evaporación de 1,2 L/hora, un vacío <399Pa, y un control de temperatura con display digital.

Figura 28. Rota evaporador R203B de BOYN INDUSTRIAL



Fuente. (http://www.boynindustrial.com/product_show.asp?id=199)

Datos del sistema:

- ❖ Volumen [γ] recuperado de cloruro de metileno 2.5 L equivalente a 2500 cm^3 .
- ❖ Longitud total de tubería L_T : 2.4 m equivalente a 240 cm.
- ❖ H_B o cabeza de la bomba 9 ft equivalente a 275 cm.
- ❖ Coeficiente de rugosidad del acero inoxidable [ϵ]: 0,002 mm
- ❖ Caudal [Q] : 87 cm^3/min

$$Q = \frac{\gamma}{t} = \frac{2500\text{cm}^3}{30\text{min}} = \frac{87\text{cm}^3}{\text{min}}$$

Datos del cloruro de metileno:

- ❖ Viscosidad dinámica [μ]: 0.43 mPa*s
- ❖ Densidad : 1.33 g/cm³ a 20°C

5.1 ANÁLISIS TEÓRICO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL SISTEMA DE RECIRCULACION

El análisis teórico de las diferentes formas de cálculo de las características técnicas del sistema de recirculación, toma en cuenta una serie de conceptos necesario para proceder a la parte de la selección de equipos y accesorios, para su posterior simulación en un software indicado, estos conceptos son mostrados a continuación:

- ▲ Tuberías; las cuales dependen de las diferentes aplicaciones.
- ▲ Conocimientos en hidrodinámica; para el análisis del fluido en movimiento.
- ▲ Aplicación de ecuaciones; utilizar debidamente la ecuación general de energía (ecuación de Bernoulli) y cálculos de pérdidas de energía, para determinar potencia y cabeza de la bomba necesaria para el sistema.
- ▲ Selección y aplicación de bombas; según los datos de la aplicación de las ecuaciones, por catálogo se escogerá la bomba más adecuada para el sistema.

El cálculo para sistemas hidráulicos se realiza con base a la ecuación de continuidad de Bernoulli, la cual se expresa a continuación:

Ecuación 1. Ecuación de continuidad de Bernoulli

$$\frac{P_1}{\delta} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_B = \frac{P_2}{\delta} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + H_l + H_f$$

Donde:

P₁: Presión en el punto 1 del sistema.

δ: Peso específico del cloruro de metileno

g: Gravedad

V₁: Velocidad en el punto 1

Z₁: Altura del punto 1 del sistema (con respecto a un punto de análisis, en este caso el punto 1)

H_B: Cabeza de la bomba

P₂: Presión en el punto 2 del sistema

V₂: Velocidad en el punto 2

Z₂: Altura del punto 2 del sistema (con respecto a un punto de análisis, en este caso el punto 1)

H_i: Perdidas menores o perdidas por accesorios

H_f: Perdidas mayores o perdidas por fricción

Ecuación 2. Velocidad del fluido en el punto 1

$$V = \frac{Q}{A}$$

Entonces:

$$V = \frac{87 \frac{cm^3}{min}}{\frac{\pi}{4} \phi^2} = \frac{110,77 \frac{cm^3}{min} * \frac{1 min}{60 s}}{\phi^2} = \frac{1,846 \frac{cm^3}{s}}{\phi^2}$$

Ecuación 2.1.

$$V^2 = \frac{3,41 \frac{cm^6}{s^2}}{\phi^4}$$

Ecuación 3. Perdida por fricción

$$H_f = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

Donde:

f : Coeficiente de fricción.

L: longitud total.

D. Diámetro de la tubería.

Si se reemplaza la **ecuación 2.1** en la **ecuación 3** obtenemos:

$$H_f = f \frac{240 \text{ cm}}{D} \frac{3,41 \frac{\text{cm}^6}{\text{s}^2}}{\varnothing^4} \frac{\text{cm}}{2 * 981 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}}$$

Ecuación 3.1

$$H_f = 0,4171 \text{ cm}^6 * \frac{f}{\varnothing^5}$$

Ecuación 4. Perdida por accesorios

$$H_l = \sum k \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Si se reemplaza la **ecuación 2.1** en la **ecuación 4** obtenemos:

$$H_l = \sum k \left(\frac{\frac{3,41 \frac{\text{cm}^6}{\text{s}^2}}{\varnothing^4}}{2 * 981 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}} \right)$$

$$H_l = \sum k \left(\frac{1,738 \times 10^{-3} \text{ cm}^5}{\varnothing^4} \right)$$

En la **tabla 6**. Se expresa el valor **K** de cada accesorio.

Tabla 6. Tabla de valores **K** de cada accesorio para cálculo de las perdidas.

Accesorios	L/D	Diámetro nominal (en pulgadas)											
		½	¾	1	1 ¼	1 ½	2	2 ½ -3	4	6	8 - 10	12 - 16	18 - 24
		Valores de K											
Válvula Compuerta (abierta)	8	0.22	0.2	0.18	0.18	0.15	0.15	0.14	0.14	0.12	0.11	0.1	0.1
Válvula Globo (abierta)	340	9.2	8.5	7.8	7.5	7.1	6.5	6.1	5.8	5.1	4.6	4.4	4.1
Válvula Retención horizontal (check)	100	2.7	2.5	2.3	2.2	2.1	1.9	1.8	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2
Válvula Retención horiz. Oscilatoria (check)	50	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	0.75	0.7	0.65	0.6
Válvula Pie de disco (de huso) con colador	420	11.3	10.5	9.7	9.3	8.8	8.0	7.6	7.1	6.3	5.9	5.5	5.0
Válvula Pie de disco con bisagra	75	2	1.9	1.7	1.7	1.7	1.4	1.4	1.3	1.1	1.1	1.0	0.9
Codo estándar 90°	30	0.81	0.75	0.69	0.66	0.63	0.57	0.54	0.51	0.45	0.42	0.39	0.36
Codo estándar 45°	16	0.43	0.4	0.37	0.35	0.34	0.3	0.29	0.27	0.24	0.22	0.21	0.19
Codo estándar 90° radio largo	16	0.43	0.4	0.37	0.35	0.34	0.3	0.29	0.27	0.24	0.22	0.21	0.19
Codo estándar 180°	50	1.35	1.25	1.15	1.10	1.05	0.95	0.9	0.85	0.75	0.7	0.65	0.6
Curvas de 90°	20	0.54	0.5	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.3	0.28	0.26	0.24
T en línea (con derivación en la línea principal y lateral cerrada)	20	0.54	0.5	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.3	0.28	0.26	0.24
T en línea (con circulación por derivación)	60	1.62	1.5	1.38	1.32	1.26	1.14	1.08	1.02	0.9	0.84	0.78	0.72

Tabla 7. Tabla de valor total de $\sum k$ para el cálculo de las pérdidas menores:

ACCESORIOS	CANTIDAD	K	VALOR [CANTIDAD*K]
Codo 90°	3	30 f	90f
Entrada	1	1	1
Salida	1	1	1
V. Globo	2	340 f	680 f
V. cheque	1	100 f	100 f
		VALOR TOTAL	870 f + 2

Entonces:

$$H_l = (870f + 2) \left(\frac{1,738 \times 10^{-3} \text{ cm}^5}{\phi^4} \right)$$

Ecuación 4.1.

$$H_l = \frac{1,512 f \text{ cm}^5}{\phi^4} + \frac{0,0035 \text{ cm}^5}{\phi^4}$$

Condiciones del sistema

- ▲ Los contenedores 1 y 2 están abierta a presión atmosférica P_1 y P_2 son iguales a 0.
- ▲ La velocidad de entrada y salida del fluido entre los contenedores es mínima, así que la velocidad es despreciable en estos puntos $V_1=V_2=0$
- ▲ El análisis de alturas se realiza con respecto al punto 1, por ende $Z_1=0$

Debido a estas condiciones, la **ecuación 1** queda reducida a:

$$\frac{P_1^0}{\delta} + \frac{V_1^0}{2g} + Z_1^0 + H_B = \frac{P_2^0}{\delta} + \frac{V_2^0}{2g} + Z_2 + H_l + H_f$$

Ecuación 5. Pérdidas totales

$$H_l + H_f = H_B - Z_2$$

Entonces:

$$H_l + H_f = (275 - 90) \text{ cm}$$

$$H_l + H_f = 185 \text{ cm}$$

Si se reemplaza la **ecuación 3.1** y la **ecuación 4.1** en la **ecuación 5** obtenemos:

$$\frac{0,4171 f \text{ cm}^6}{\phi^5} + \frac{1,512 f \text{ cm}^5}{\phi^4} + \frac{0,0035 \text{ cm}^5}{\phi^4} = 185 \text{ cm}$$

Si se multiplica a ambos lados de la igualdad por ϕ^5 obtenemos:

$$0,4171f cm^6 + 1,512 f cm^5\phi + 0,0035 cm^5\phi = 185 cm\phi^5$$

Ecuación 6.

$$185 cm\phi^5 - 1,512 f cm^5\phi - 0,0035 cm^5\phi - 0,4171f cm^6 = 0$$

En la **ecuación 6** se observa la existencia de 2 incógnitas, siendo **f** dependiente del valor ϕ y del valor del número de Reynolds, si el número de Reynolds es menor de 2100 el flujo será laminar y si es mayor de 4000 el flujo será turbulento.

El flujo turbulento se divide en:

- Flujo turbulento liso.
- Flujo turbulento intermedio.
- Flujo turbulento rugoso

Conformando así un total de cuatro posibles respuestas.

5.1.1 Caso 1. Flujo laminar

Ecuación 7. Calculo de fricción para flujo laminar

$$f = \frac{64}{Re}$$

Ecuación 8. Calculo del número de Reynolds

$$Re = \frac{\phi * V * \rho}{\mu}$$

Si se reemplaza la **ecuación 2** y los datos de caudal, densidad y viscosidad dinámica del fluido se obtiene:

Ecuación 8.1

$$Re = \frac{572cm}{\phi}$$

Si se reemplaza la **ecuación 8.1** en la **ecuación 7**, se obtiene **ecuación 9**:

$$f = \frac{64}{\frac{572 \text{ cm}}{\emptyset}} = \frac{0,1118 * \emptyset}{\text{cm}}$$

Si se reemplaza la **ecuación 9** en la **ecuación 6**, se obtiene:

$$185 \text{ cm}\emptyset^5 - (1,512\text{cm}^5\emptyset) * \frac{0,1118\emptyset}{\text{cm}} - 0,0035 \text{ cm}^5\emptyset - 0,4171 * 0,1118\emptyset \frac{\text{cm}^6}{\text{cm}} = 0$$

$$185 \text{ cm}\emptyset^5 - 0,169 \text{ cm}^4\emptyset^2 - 0,0035 \text{ cm}^5\emptyset - 0,0466\text{cm}^5\emptyset = 0$$

Ecuación 10.

$$185 \text{ cm}\emptyset^5 - 0,169 \text{ cm}^4\emptyset^2 - 0,0501 \text{ cm}^5\emptyset = 0$$

La ecuación 10. Es un polinomio de grado 5 y por ende tiene 5 respuestas, se hará uso del software Matlab para el cálculos de las raíces y se seleccionara la raíz real positiva que cumpla con la igualdad a 0. **Figura 29**

Figura 29. Calculo de las raíces de la **ecuación 10**

```

Trial>> B=[185 0 0 -0.169 -0.0501 0]

B =

    185.0000         0         0    -0.1690    -0.0501         0

Trial>> roots(B)

ans =

    0.0000 + 0.0000i
    0.1414 + 0.0000i
   -0.0139 + 0.1290i
   -0.0139 - 0.1290i
   -0.1137 + 0.0000i

fx Trial>>

```

Fuente. (Imagen tomada de Matlab 2015)

En este caso el diámetro a seleccionar es 0,1414 cm, y si se reemplaza este valor en la **ecuación 10** se obtiene:

$$f = 0,0158$$

5.1.2 Caso 2. Turbulento liso

Ecuación 91. (Ecuación de Blasius para fricción en turbulento liso)

$$f = 0,316 \times Re^{-0,25}$$

Si se reemplaza la **ecuación 8.1** en la **ecuación 11**, se obtiene **ecuación 12**:

$$f = 0,316 \times \left(\frac{572}{\phi}\right)^{-0,25}$$

$$f = 0,316 \times \left(\frac{\phi}{572}\right)^{0,25}$$

Ecuación 10

$$f = 0,06 * \phi^{0,25}$$

Si se reemplaza la **ecuación 12** en la **ecuación 6**, se obtiene la **ecuación 13**:

$$185 \text{ cm} \phi^5 - (1,512 \text{ cm}^5 \phi) * (0,06 \phi^{0,25}) - 0,0035 \text{ cm}^5 \phi - 0,4171 \text{ cm}^6 * 0,06 \phi^{0,25} = 0$$

Ecuación 13.

$$185 \phi^5 - 0,0907 \phi^{1,25} - 0,0035 \phi - 0,025 \phi^{0,25} = 0$$

La **ecuación 13**. Es un polinomio de grado 5 y por ende tiene 5 respuestas, debido a que uno de sus monomios ($0,0907 \phi^{1,25}$ y $0,025 \phi^{0,25}$) tiene como exponente una fracción y el software que utilizamos, Matlab, no permite ingresar polinomios con exponentes que no sean naturales se realizara un proceso de iteración de la incógnita ϕ y se seleccionara la respuesta que cumpla con la igualdad a cero. Los resultados se muestran en la **tabla 8**.

Tabla 8. Resultados iteraciones con el diámetro en el **caso 2**

\emptyset	<i>Resultado igualdad</i>
0,1547	-0,055774
0,1557	-0,052611
0,1567	-0,049399
0,1577	-0,046138
0,1587	-0,042826
0,1597	-0,039462
0,1607	-0,036047
0,1617	-0,032579
0,1627	-0,029058
0,1637	-0,025482
0,1647	-0,021851
0,1657	-0,018165
0,1667	-0,014421
0,1677	-0,010620
0,1687	-0,006760
0,1697	-0,002842
0,1707	0,001137
0,1717	0,005176
0,1727	0,009278
0,1737	0,013441
0,1747	0,017668

Fuente. (Hoja de cálculos de Excel)

En este caso el diámetro a seleccionar es 0,1707 cm, se observa que a partir de este valor el resultado tiende a aumentar alejándose del cero de la igualdad, ahora si se reemplaza este valor en la **ecuación 12** se obtiene:

$$f = 0,0386$$

5.1.3 Caso 3. Turbulento intermedio

Ecuación 14. Calculo de fricción para flujo Turbulento intermedio:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1,8 * \text{Log} \left[\frac{6,9}{Re} + \frac{E_r^{1,11}}{3,7} \right]$$

Si se reemplaza la **ecuación 8.1** y el coeficiente de rugosidad del acero inoxidable en la **ecuación 14**, se obtiene la **ecuación 15**:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1,8 * \text{Log} \left[\frac{6,9}{\frac{572}{\emptyset}} + \frac{0,002^{1,11}}{3,7} \right]$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1,8 * \text{Log}[0,0121\emptyset + 0,003]$$

Ecuación 15.

$$f = \left(\frac{1}{3,4 * (\text{Log}[0,0121\emptyset + 0,003]^2)} \right)$$

Si se reemplaza la **ecuación 15** en la **ecuación 6**, se obtiene la **ecuación 16**:

$$185 \text{ cm}\emptyset^5 - \frac{(1,512 \text{ cm}^5\emptyset)}{3,4 * (\text{Log}[0,0121\emptyset + 0,003]^2)} - 0,0035 \text{ cm}^5\emptyset - \frac{0,4171 \text{ cm}^6}{3,4 * (\text{Log}[0,0121\emptyset + 0,003]^2)} = 0$$

Ecuación 16.

$$185\emptyset^5 - \frac{(0,467\emptyset)}{(\text{Log}[0,0121\emptyset + 0,003]^2)} - 0,0035 \emptyset - \frac{0,129}{(\text{Log}[0,0121\emptyset + 0,003]^2)} = 0$$

La **ecuación 16**. Es un polinomio de grado 5 y por ende tiene 5 respuestas, debido a que dos de sus monomios tienen exponentes no naturales y el software que se utilizó, Matlab, no permite ingresar este tipo de exponentes se realizará un proceso de iteración de la incógnita \emptyset y se seleccionara la respuesta que cumpla con la igualdad a cero. Los resultados se muestran en la **tabla 9**.

Tabla 9. Resultado de iteraciones con el diámetro en el caso 3

\emptyset	Resultado igualdad
0,132	- 0,021818751
0,15	- 0,017275295
0,1667	- 0,009475144
0,17	- 0,007414437
0,1745	- 0,004284717
0,1768	- 0,002534005
0,1801	0,000167009
0,1840	0,003630939
0,1874	0,006959489
0,1908	0,010568267
0,1942	0,014472862
0,1976	0,018689433
0,2010	0,023234710
0,2044	0,028126015
0,2078	0,033381263
0,2112	0,039018977
0,2146	0,045058297
0,2180	0,051518988
0,2214	0,058421454
0,2248	0,065786744
0,2282	0,073636566

Fuente. (Hoja de cálculos de Excel)

En este caso el diámetro a seleccionar es 0,1801 cm, se observa que a partir de este valor el resultado tiende a aumentar alejándose del cero de la igualdad, ahora si se reemplaza este valor en la **ecuación 15** se obtiene:

$$f = 0,0563$$

5.1.4 Caso 4. Turbulento rugoso

Ecuación 17. Calculo de fricción para flujo Turbulento rugoso

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \text{Log} \left[\frac{E_r}{3,7} \right]$$
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \text{Log} \left[\frac{0,002}{3,7} \right]$$
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 6,53$$
$$f = 0,0234$$

Si se reemplaza **la ecuación 17** en **la ecuación 6**, se obtiene la **ecuación 18**:

$$185 \text{ cm} \phi^5 - (1,512 \text{ cm}^5 \phi) * 0,0234 - 0,0035 \text{ cm}^5 \phi - 0,4171 \text{ cm}^6 * 0,0234 = 0$$

Ecuación 118.

$$185 \phi^5 - 0,0354 \phi - 0,0035 \phi - 0,0098 = 0$$

La **ecuación 18**. Es un polinomio de grado 5 y por ende tiene 5 respuestas, se hará uso del software Matlab para el cálculos de las raíces y se seleccionara la raíz real positiva que cumpla con la igualdad a cero. **Figura 30**

Figura 30. Calculo de las raíces de la ecuación 9

```
Trial>> A=[185 0 0 0 -0.0389 -0.0098]
A =
    185.0000         0         0         0    -0.0389    -0.0098

Trial>> roots(A)
ans =
    0.1535 + 0.0000i
    0.0321 + 0.1427i
    0.0321 - 0.1427i
   -0.1088 + 0.0656i
   -0.1088 - 0.0656i
```

Fuente. (Imagen tomada de Matlab 2015)

En este caso el diámetro a seleccionar es 0,1535 cm.

Ahora teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los cuatro casos; se selecciona los valores del **caso 3**, por ser los resultados con mayor valor generan un factor de seguridad para el proceso de recirculación. Comercialmente el diámetro calculado no se encuentra disponible, por lo que se selecciona un diámetro lo más cercano posible, y en tubería de acero inoxidable se encuentra disponible un diámetro de 1/8”.

Dado esto se debe cumplir que:

$$H_B = 275 \text{ cm} \geq H_l + H_f + Z_2$$

$$H_B = 275 \text{ cm} \geq \frac{1.512 f \text{ cm}^5}{\emptyset^4} + \frac{0.0035 \text{ cm}^5}{\emptyset^4} + 0.4171 \text{ cm}^6 * \frac{f}{\emptyset^5} + 90 \text{ cm}$$

Dadas las condiciones del **caso 3**, se obtiene:

$$\emptyset = 1/8 = 0.3175 \text{ y } f = 0.0563$$

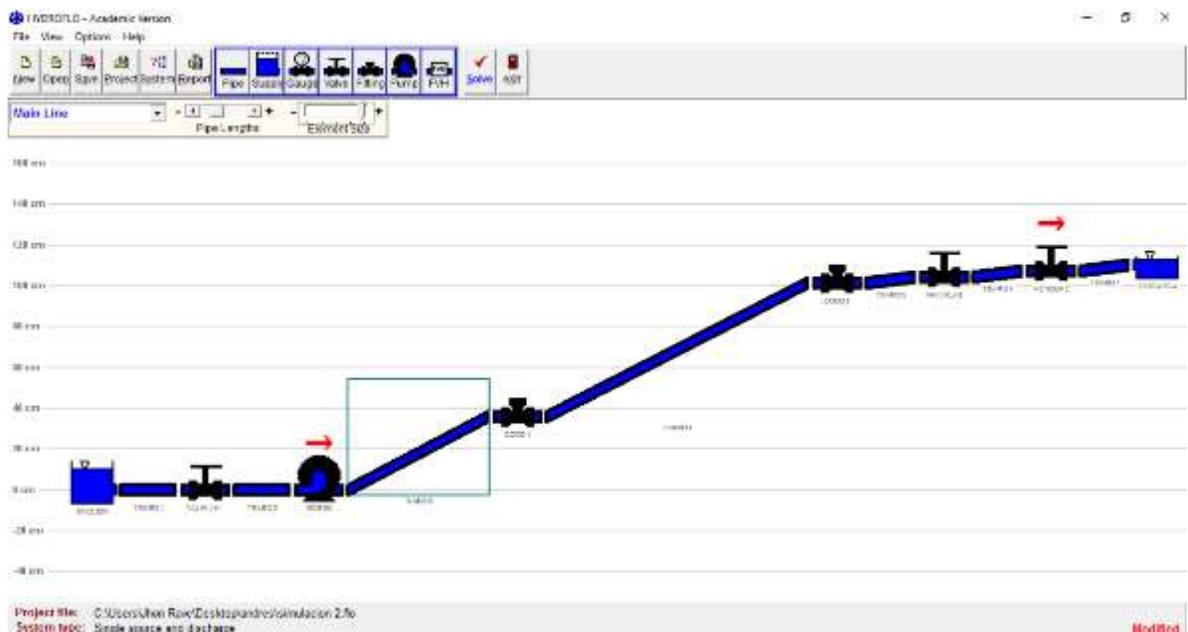
$$H_B = 275 \text{ cm} \geq 105,9982 \text{ cm}$$

Dado que el dato de la cabeza de la bomba KNF “H_B” suministrado por el fabricante, es mucho mayor que el cálculo de pérdidas totales se comprueba que la bomba **Si** es adecuada para el trabajo (**página 64**).

5.2 SIMULACIÓN DE LA SOLUCIÓN

En la **figura 31** se muestra el sistema de bombeo para la recirculación del cloruro de metileno en el software donde se realizará la simulación, HYDROFLO.

Figura 31. Sistema de bombeo para la recirculación del cloruro de metileno



Al realizar la simulación en el software seleccionado, el programa genera por cada tramo de tubería y accesorio una tabla de datos relevantes tales como: material, longitud, diámetros entre otros (estos datos son determinados para el cálculo del sistema), además de mostrar los resultados de los cálculos realizados por el programa que son: flujo, velocidad y pérdidas.

Figura 32. Tanque de suministro



Figura 33. Tramo 1

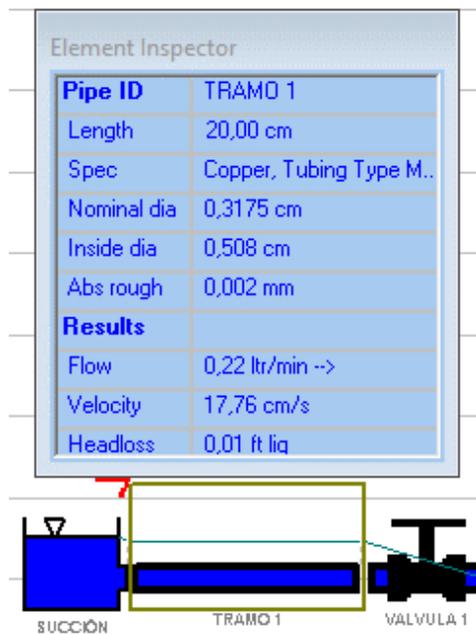


Figura 34. Válvula 1

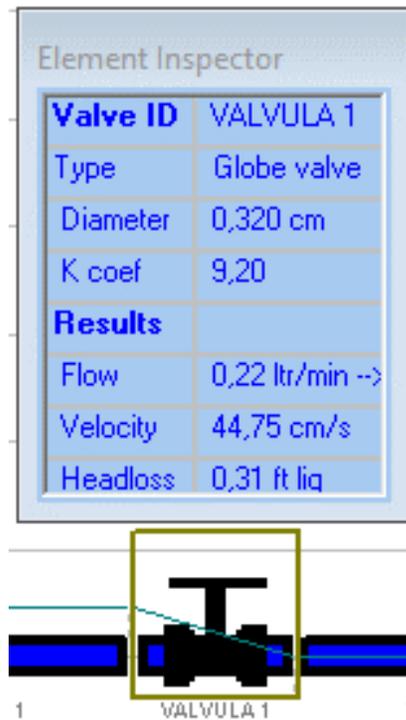


Figura 35. Tramo 2

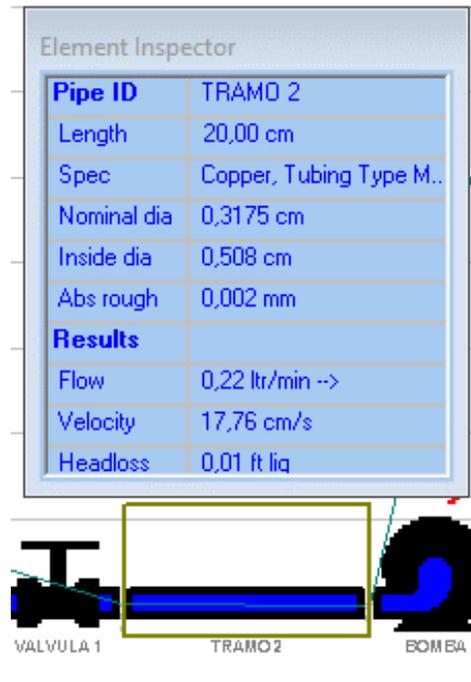


Figura 36. Bomba

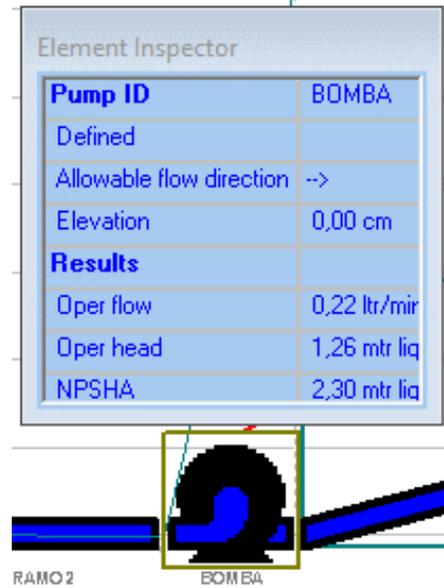


Figura 37. Tramo 3

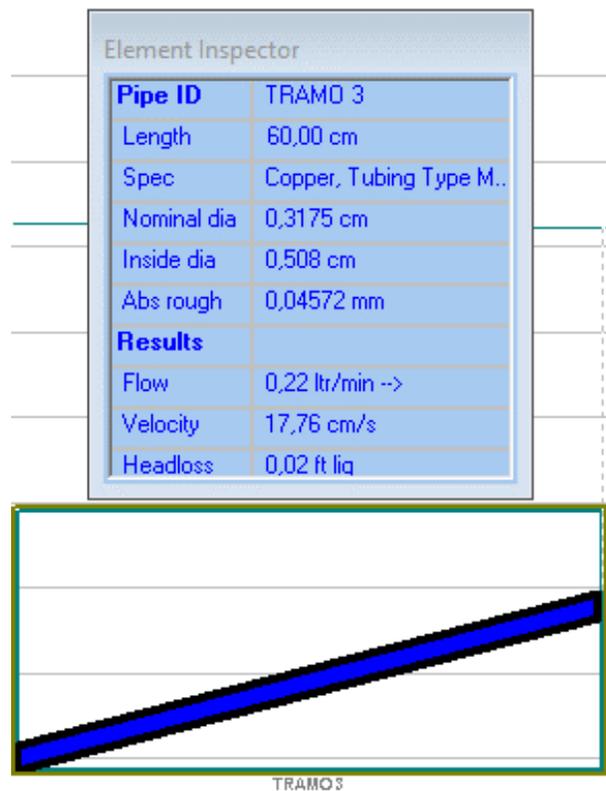


Figura 38. Codo 1

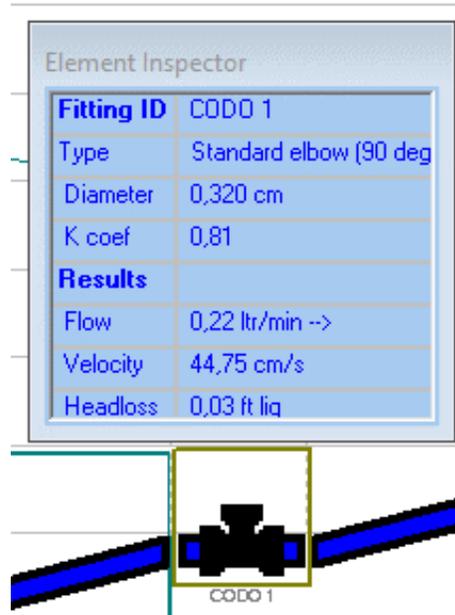


Figura 39. Tramo 4



Figura 40. Codo 2

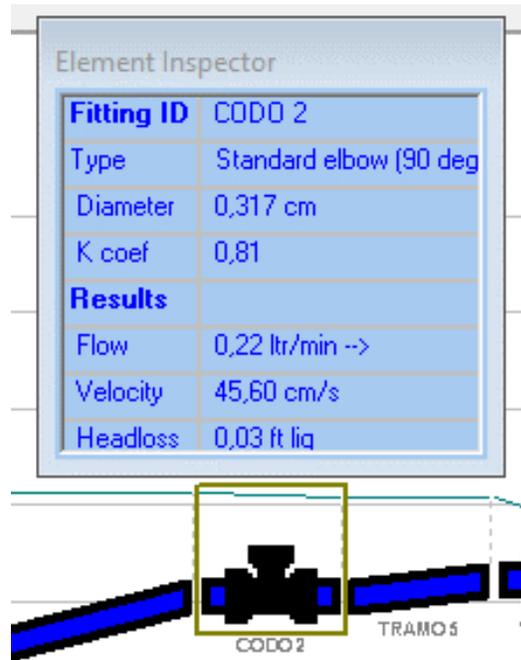


Figura 41. Tramo 5

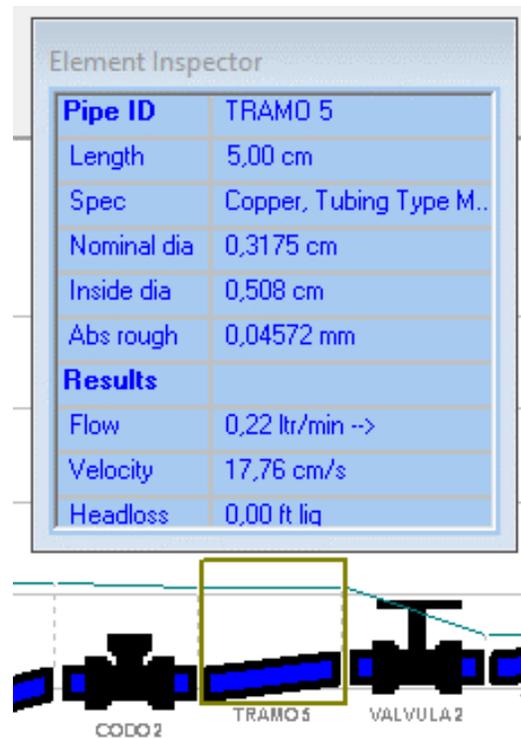


Figura 42. Válvula 2

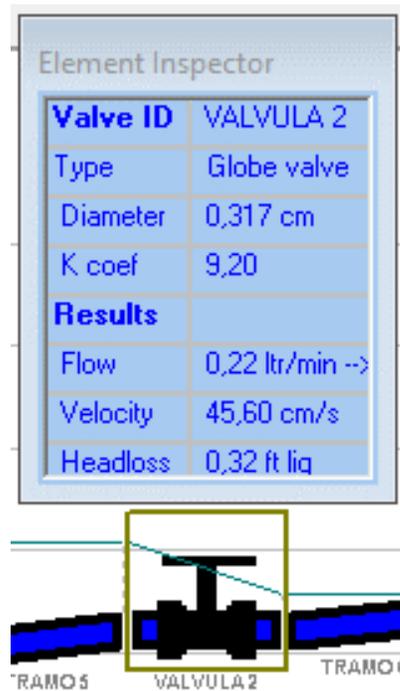


Figura 43. Tramo 6



Figura 44. Válvula cheque

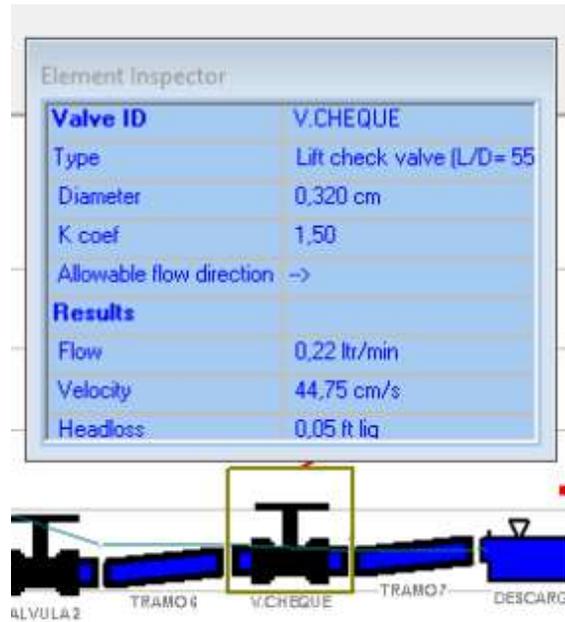


Figura 45. Tramo 7

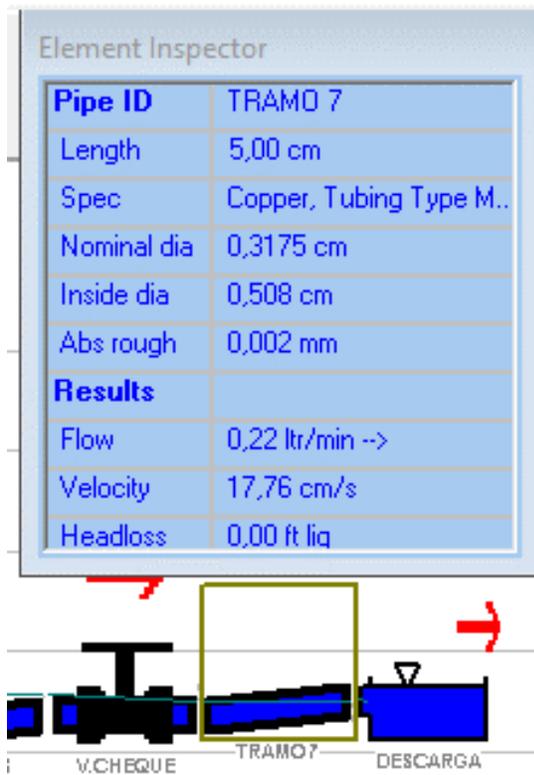


Figura 46. Tanque de descarga



Fuente. (Figuras de la 31 a la 46 tomadas del software de simulación HYDROFLO)

En la **tabla 10** se presenta la relación de componentes calculados y seleccionados en los numerales 5.1 y 5.2.

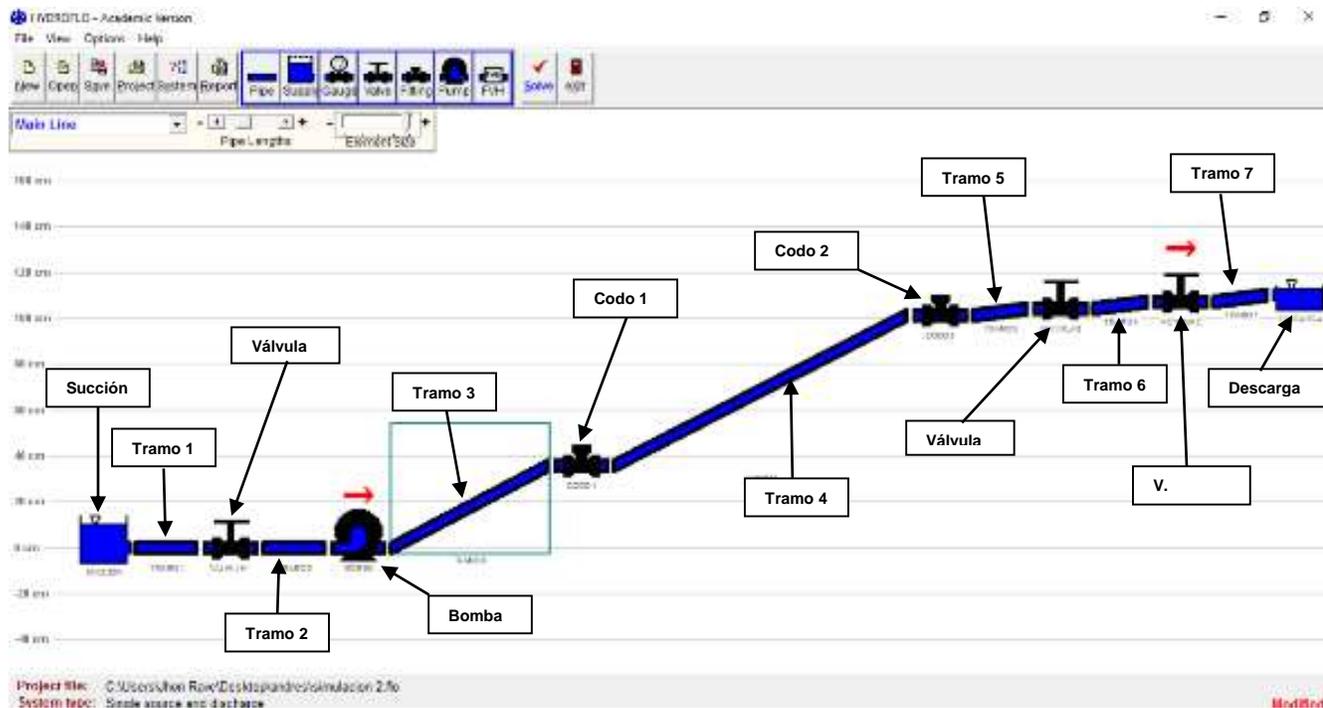
Tabla 10. Componentes seleccionados a base de los cálculos hechos

Componente	Información técnica	Cantidad
Bomba	KNF Simdos serie 10	1 uni.
Tubería	Tubing acero inox. 304 ó 316 de 1/8"	2,4 metros
Racor codo 90°	Acero inox. De 1/4"	3 uni.
Valvula globo	Acero inox. de 1/8" ó 1/4"	2 uni.
Valvula cheque	Acero inox. de 1/8" ó 1/4"	1 uni.
Entrada tanque	Acero inox. conexion 1/8"	1 uni.
Salida tanque	Acero inox. conexion 1/8"	1 uni.
Tanque	AC. Inoxidable 4 Gal	1 uni.

5.3 TUBERÍA E INFORMACIÓN DE PÉRDIDAS

En la **tabla 11** se realizará una comparación entre las pérdidas obtenidas en los cálculos (numeral **5.1**) y las pérdidas obtenidas en la simulación (numeral **5.2**) para verificar la variación y la confiabilidad de los resultados; la tabla está compuesta por el número del tramo, el valor obtenido por cálculo y el valor real seleccionado, acompañado de un plano con tramos debidamente numerados (Figura 47).

Figura 47. Plano de la simulación



Para la solución de la **tabla 11** se usaran las **ecuaciones 3** y **4** del numeral **5.1** para cada uno de los tramos y accesorios del sistema respectivamente. A continuación se expresan dichas ecuaciones:

Tabla 11. Información y Comparación de pérdidas

Tramo ó Accesorio	Pérdidas Calculadas [Cm]	Perdidas Por Simulación [Ft Liq]	Perdidas Por Simulación [Cm Liq]
Salida	0,171	0,02	0,6096
Entrada	0,171	0,02	0,6096
Tramo1	0,6	0,01	0,3048
Tramo2	0,6	0,01	0,3048
Tramo3	1,8	0,02	0,6096
Tramo4	3,3	0,05	1,524
Tramo5	0,15	0,01	0,3048
Tramo6	0,15	0,01	0,3048
Tramo7	0,15	0,01	0,3048
V.Globo 1	3,274	0,31	9,4488
V.Globo2	3,274	0,32	9,7536
V.Cheque	0,963	0,05	1,524
Codo 1	0,289	0,03	0,9144
Codo 2	0,289	0,03	0,9144
Codo 3	0,289	0,03	0,9144
Total	15,47	0,93	28,3464

Ecuación 12. Perdidas por fricción

$$H_f = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

Ecuación 13. Perdidas por accesorios

$$H_l = \sum k \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Los valores de f y D son tomados del **caso 3** (ver numeral **5.1.3** y pág. **80**), el valor de k se tomó de la **tabla 7** (ver pág. **71**).

Los valores obtenidos en la **tabla 11** son valores que expresan únicamente las pérdidas del sistema, a este dato debe ser sumado una altura de 90 cm la cual

representa la diferencia entre el punto 2 del sistema con respecto a un punto de análisis, en este caso el punto 1 del sistema.

$$\text{Pérdidas calculadas} = (15,47+90) \text{ cm} = 105,47 \text{ cm}$$

$$\text{Perdidas por simulación} = (28,3464+90) \text{ cm} = 118,3464 \text{ cm}$$

De acuerdo a lo anterior y basado en la siguiente ecuación, se encuentra un error porcentual de:

$$\% \text{ error} = \left[\frac{\text{pérdidas calculadas} - \text{pérdidas por simulación}}{\text{pérdidas calculadas}} \right] \times 100\%$$

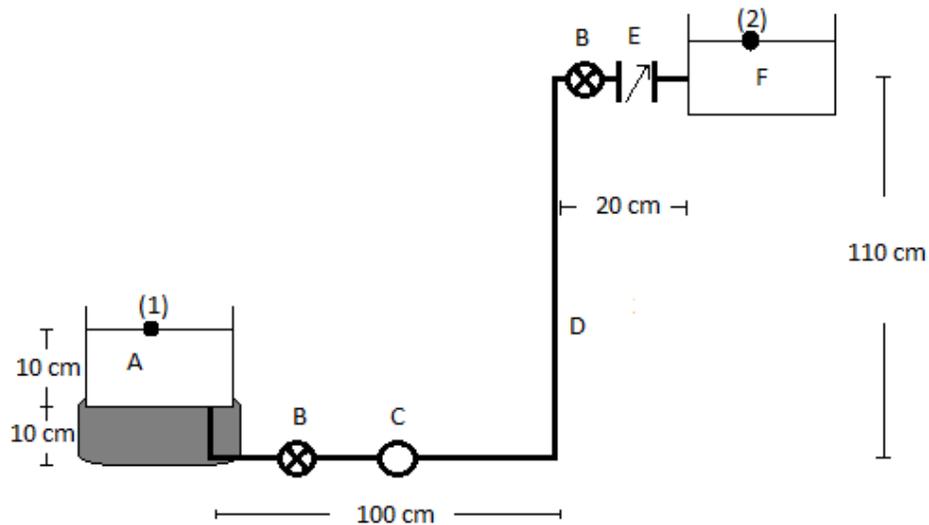
$$\% \text{ error} = \left[\frac{105,47 - 118,34}{105,47} \right] \times 100\%$$

$$\% \text{ error} = 12,20\%$$

5.4 TANQUE Y SOPORTES

La Descripción geométrica que corresponde a dar especificaciones en dimensiones, material y estructura se hará partir de un diagrama presentado en la **figura 26**.

Retornando a la **figura 26**:



- A. Contenedor para el cloruro de metileno previamente recuperado en el rota evaporador, este contenedor tiene capacidad para 4 L.
- B. Dos válvulas globo que se encargaran de facilitar el mantenimiento
- C. Una bomba que se encargue de impulsar el cloruro de metileno entre el contenedor A y el contenedor F.
- D. Tubería en acero inoxidable o tubing, se harán los dobleces necesarios para simular los codos.
- E. Válvula cheque para garantizar que el fluido a impulsar no retornara al contenedor A cuando la bomba se encuentra fuera de servicio.
- F. Contenedor de cloruro de metileno, este contenedor es el usado en la máquina para realizar el proceso de lavado.

El material a utilizar en los tanques de almacenamiento al igual que en la tubería y accesorios deberá ser acero inoxidable, debido que el fluido a transportar es agresivo (corrosivo).

Los soportes debido a que no tendrán contacto directo con el fluido se podrán hacer en otro tipo de material buscando reducir costos en la instalación.

Accionamiento de la bomba

La bomba se conectará al sistema eléctrico de la planta, la puesta en marcha se podrá realizar desde el control analógico o mediante el control remoto.

Presión y caudal

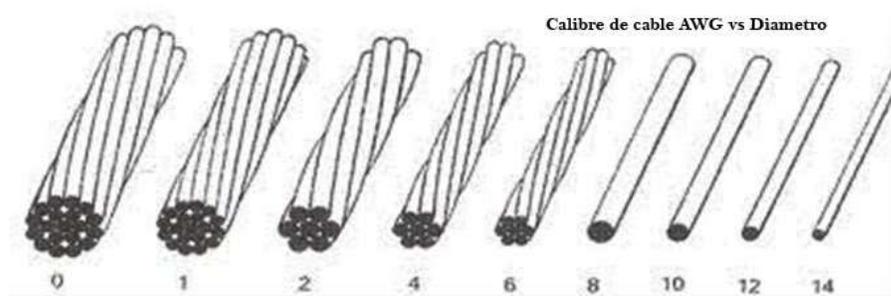
El caudal es determinado por el volumen a transportar en un tiempo determinado. En este caso es $87 \text{ cm}^3/\text{min}$.

La presión máxima de trabajo de la bomba es suministrada por el fabricante, para la bomba seleccionada la presión es: 85 Psig

5.5 SELECCIÓN DE COMPONENTES ELÉCTRICOS DE MANO Y MANIOBRA

Los componentes eléctricos para la operación de la bomba según las necesidades que se registran en la planta son:

- Cableado eléctrico Calibre No.12 con una longitud aproximada de 6 metros



Fuente: <http://i1197.photobucket.com/albums/aa426/comercialelectronicacom/blog/calibre.jpg>

- Caja de componentes para la protección de elementos electrónicos



Fuente. http://blog.bricogeek.com/img_cms/1964-como-hacer-caja-proyecto-electronica.jpg

6. CÁLCULO FINANCIERO DE LA SELECCIÓN PROPUESTA

La implementación del sistema de recuperación y recirculación sugerido para la empresa Goby Filters requiere de una inversión de \$ 12.000.000 de pesos aproximadamente. Esta inversión se divide en los diversos componentes como se muestra en la **tabla 12**.

Tabla 12. Cotización del sistema de recuperación y recirculación

ACCESORIO	CANTIDAD	VALOR
Rota evaporador	1	\$8.216.239.40
Tubing 1/8"x0.035mm esp. 316L AC Inoxidable sin costura	6 m	\$468.700
Racor codo 90° AC Inoxidable 1/8"	3	\$150.000
Válvula cheque AC Inoxidable 1/4"	1	\$69.400
Válvula globo AC Inoxidable 1/4"	2	\$160.000
Reducciones 1/4"x1/8"	6	\$171.600
Manguera neumática 1/4"OD	6m	\$11.220
Tanque AC Inoxidable	1 x 4 Gal	\$800.000
Subtotal		\$10.047.159.4
IVA 16%		\$1.607.545.504
Total		\$11.654.704.9

De acuerdo al numeral **2.1**, sección *Algunos datos de rendimiento*, en la empresa Goby Filters se genera un gasto mensual de \$400.000 pesos en la compra de cloruro de metileno y un gasto de \$414.960 pesos en el manejo de los residuos peligrosos generados, para un aproximado de \$815.000 pesos mensuales.

Si se implementara la solución propuesta en el presente trabajo, es decir, recuperando y recirculando el cloruro de metileno, y por ende evitando su recolección por una empresa recolectora de residuos peligrosos, habría un ahorro de \$815 000 mensuales.

Con lo anterior se concluye que si la inversión para el proyecto es de \$11.654.705 pesos aproximadamente y se produce un ahorro mensual de \$815.000 pesos, el tiempo estipulado para la recuperación de la inversión sería:

$$\text{Tiempo de recuperación (mes)} = \frac{\$11.654.705 \text{ pesos}}{\$815.000 \text{ pesos/mes}}$$

Tiempo de recuperación = 14,3 meses

De acuerdo a lo anterior la inversión sería recuperada en un tiempo de un año y dos meses y medio aproximadamente.

6.1 RECOMENDACIONES DE ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE PRODUCTOS

Con base a Normas de salud ocupacional y seguridad industrial sobre manejo y almacenamiento de residuos peligrosos, se han establecido una serie de recomendaciones para la operación, stock, equipos de protección individual y situaciones de accidentes o incidentes laborales (primeros auxilios).

6.1.1 Manipulación y almacenamiento

- ▲ Antes de trabajar con cloruro de metileno debe estar en el almacenamiento y la manipulación apropiados apropiada de esta sustancia química.
- ▲ El cloruro de metileno no es compatible con agentes oxidantes tales como: Percloratos, Peróxidos, Permanganatos, Cloratos, Nitratos, Cloro, Bromo y Flúor y metales químicamente activos tales como: Aluminio, Sodio, Magnesio, y zinc.
- ▲ Almacene en recipientes bien cerrados, en un área fresca y bien ventilada y lejos del calor y de la luz solar directa.
- ▲ Las fuentes de ignición, tales como el fumar y las llamas abiertas, están prohibidas donde se usa, maneja o almacena cloruro de metileno.
- ▲ Los recipientes de metal que se usan en el traslado de cloruro de metileno deben estar conectados a tierra y entre sí.

- ▲ Use solamente equipos y herramientas que no produzcan chispas, especialmente al abrir y cerrar recipientes de cloruro de metileno.

6.1.2 Equipos de protección individual

6.1.2.1 Ropa

- ▲ Evite el contacto de la piel con cloruro de metileno, use guantes y ropa de protección. Los proveedores o fabricantes de equipos de seguridad pueden ofrecer recomendaciones acerca del material para guantes o ropa que provea la mayor protección para su función laboral.
- ▲ Si existe la posibilidad de exposición a equipos, líquidos o vapores fríos, los empleados deben estar provistos con ropa especial, diseñada para impedir la congelación de los tejidos corporales.
- ▲ Toda la ropa de protección debe estar limpia, disponible todos los días y debe ponerse antes de comenzar a trabajar.
- ▲ Los fabricantes de equipos de seguridad recomiendan el alcohol polivinílico como material de protección.

6.1.2.2 Protección para ojos

- ▲ Cuando trabaje con líquidos, use gafas de protección anti salpicadura y anti impacto con ventilación indirecta.
- ▲ Cuando trabaje con humos, gases o vapores, use gafas de protección anti impacto sin ventilación.
- ▲ Cuando trabaje con sustancia corrosivas, sumamente irritantes o tóxicas, use una pantalla facial junto con gafas de protección.

6.1.2.3 Protección respiratoria

- ▲ Necesaria en presencia de vapores/aerosoles.
- ▲ Uso de filtro AX (NE 371).

6.1.2.4 Protección para manos

- ▲ Guantes: Viton.
- ▲ Espesor: 0.70 mm.
- ▲ Tiempo de penetración >120 min.

6.1.3 Primeros auxilios

6.1.3.1 Tras inhalación

Aire fresco. En caso necesario, respiración asistida o por medio instrumentales. Mantener libres las vías respiratorias. Consultar con el médico en caso de malestar

6.1.3.2 Tras contacto con la piel

Aclarar con abundante agua. Eliminar ropa contaminada.

6.1.3.3 Tras contacto con los ojos

Aclarar con abundante agua. Mantener abiertos los párpados. Llamar al oftalmólogo.

6.1.3.4 Tras ingestión

Cuidado con los vómitos. ¡Peligro de aspiración! Mantener libres las vías respiratorias. Beber abundante agua. Aplicación posterior: Carbón activo (20-40 g suspensión al 10%). Llamar inmediatamente al médico.

6.1.4 Medidas de lucha contra incendios

Los medios de extinción adecuados:

- Agua
- Dióxido de carbono (CO₂)
- Espuma
- Polvo seco

7. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 RESULTADOS

Una vez culminado el presente trabajo de grado, se han obtenido los siguientes resultados concretos.

- Caracterización química de las sustancias suministradas por Goby Filters: Polioliol, isocianato, poliuretano y mezcla de residuos. (Ver numeral 2.2 caracterización fisicoquímicas de subproductos poliméricos y termoestables guiados a su reutilización en la producción de espuma a nivel industrial).
- Diseño de un sistema de recuperación y lavado. (Ver numeral 5 diseño y selección de accesorios para el sistema de recuperación y recirculación).
- Estudio básico de tiempo de recuperación (ver numeral 6 cálculos financieros de la selección propuesta).
- Manual básico de manejo y almacenamiento de los productos químicos usados en Goby Filters. (Ver numeral 6.1 recomendaciones de almacenamiento y manejo de productos).

7.2 CONCLUSIONES

Una vez terminado el presente trabajo de grado y teniendo en cuenta los resultados concretos, se puede llegar a las siguientes conclusiones.

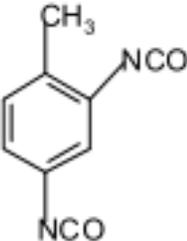
- Se hizo una revisión bibliográfica sobre diferentes sistemas de lavado con recirculación existentes en el mercado.
- Se estudiaron los manuales de operación y mantenimiento de la máquina existente en Goby Filters, para comprender el proceso actual.
- Se estudiaron los métodos de separación de sustancias y se seleccionó el que mejor se adaptó a la necesidad requerida.
- Se definieron los parámetros iniciales de diseño del sistema.
- Se esquematiza el sistema de lavado y se realizan los cálculos pertinentes de componentes del sistema de recirculación.
- Se seleccionó el software de simulación acorde a los requerimientos del sistema de recirculación.

- Se simuló el sistema de recirculación en el software seleccionado, se realizaron ajustes al diseño final.
- Se seleccionaron componentes comerciales para el sistema diseñado y se presentó un presupuesto de ejecución.
- Se evaluó la reducción de costos en el proceso según el fluido utilizado en el proceso de recirculación y se estimó un tiempo de recuperación de la inversión.
- Se estudiaron y se plantearon a la empresa mejoras en la cultura de seguridad industrial y salud ocupacional, en lo concerniente al manejo de los químicos actuales.
- Finalmente, se diseñó y simuló un sistema de recirculación para una máquina inyectora de espuma de poliuretano, con el fin de recuperar y recircular un porcentaje del disolvente usado, además de recuperar poliuretano de los residuos resultantes mediante un rota evaporador.

7.3 RECOMENDACIONES

A continuación se hace una recomendación general sobre los compuestos utilizados para la formación de poliuretano comercial que presentan muy buenos rendimientos y las proporciones estequiométricas ya se encuentran tabuladas. Es necesario la utilización de catalizadores que disminuyan la energía de activación de la reacción y optimicen el proceso haciéndolo más rápido y por ende menos costoso. Así mismo, es necesario utilizar un surfactante que mejore de forma homogénea la espuma de poliuretano. Este surfactante generalmente es surfactante de silicona. Finalmente en la tabla son especificadas las proporciones por medio de las cuales se lleva a cabo la reacción estequiométrica, punto de partida para evitar pérdidas de polioliol e isocianato por exceso.

Tabla 13. Tabla de recomendaciones para la formación de poliuretano

Reactivo	Nombre Comercial	Partes por peso de poliol
Poliol	Voranol	100
Agentes espumantes	Agua	3.2
Surfactante de silicona	Tegostab BF 2370	1.5
Catalizador de amina	Debco 33 LV	0.28
Catalizador metálico	T-9	0.28
Isocianato	<p>TDI 80/20</p>  <p>TDI</p> <p>Índice TDI</p>	<p>41.6</p> <p>105</p>

8. ANEXOS

En este capítulo se hará énfasis en datos técnicos y físicos de algunos de los productos usados en el proceso de producción de la espuma de poliuretano, elementos seleccionados para el sistema de recuperación y recirculación tales como cotizaciones, fichas técnicas de equipos, catálogos entre otros.

Anexo 1. Datos técnicos de la bomba SIMDOS

Technical data

Operating instructions SIMDOS10 EN

3.5 Dimensions

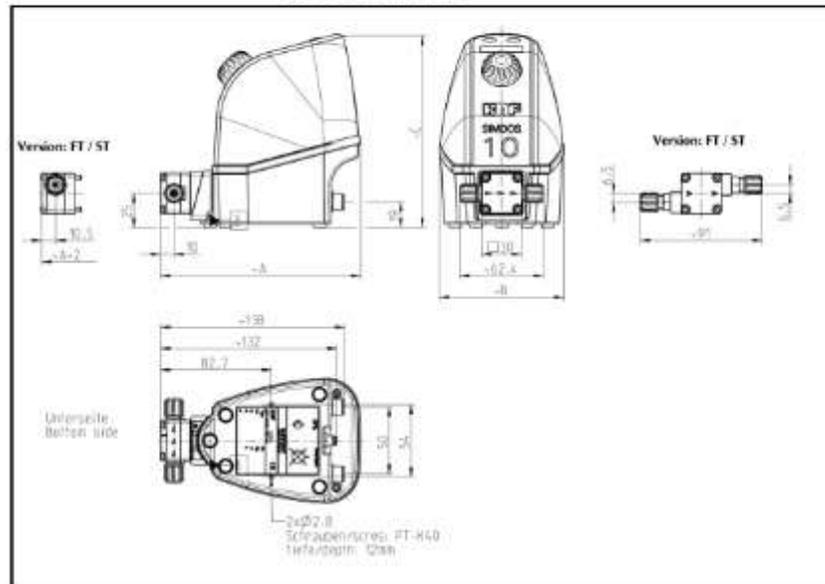


Fig. 2: Mounting measurements (measurement tolerances as per DIN ISO 2768-1, tolerance class V)

Parameter	Value (metric)	Value (imperial)
Width (A)	150 mm	6.102 inches
Depth (B)	93 mm	3.740 inches
Height (C)	144 mm	5.708 inches
Weight of pump ¹	0.9 kg	1.98 lb

Tab. 6: Dimensions

Type plate

The type plate is on the bottom of the device. It contains the following information:

- Manufacturer's address
- Type
- Serial Number
- Design pressure
- CE mark
- Year of manufacture
- Electrical connection data

Anexo 2. Ficha técnica de subproductos para fabricación de poliuretano

Ficha de Datos de Seguridad Merck
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Artículo número: 822271
Denominación: Diclorometano EMPLURA™

pH	a 20 °C neutro
Viscosidad, dinámica	0,43 mPa.s a 20 °C
Punto de fusión	-95 °C
Punto /intervalo de ebullición	40 °C a 1.013 hPa
Temperatura de ignición	605 °C (DIN 51794)
Punto de inflamación	no se inflama
Propiedades comburentes	sin datos disponibles
Inflamabilidad	sin datos disponibles
Límite de explosión, inferior	13 %(V)
Límite de explosión, superior	22 %(V)
Presión de vapor	475 hPa a 20 °C
Densidad relativa del vapor	2,93
Densidad	1,33 g/cm ³ a 20 °C
Solubilidad	sin datos disponibles
Solubilidad en agua	20 g/l a 20 °C
Coefficiente de reparto n- octanol/agua	log Pow: 1,25 (experimentalmente), (Literatura), No es de esperar un notable potencial de bioacumulación (log Pow 1- 3).
Velocidad de evaporación	1,9

Anexo 4. Oferta económica por disposición final de residuos peligrosos

 EMDEPSA <small>EMPRESA DE RESIDUOS PELIGROSOS S.A.</small>		"Seguridad y Confianza en la Gestión de Residuos Peligrosos"			
OFERTA ECONÓMICA RECOLECCIÓN, TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS PELIGROSOS					
TIPO DE RESIDUO	TRATAMIENTO	TARIFA POR KILO			
QUIMICOS	INCINERACIÓN Y/O ENCAPSULAMIENTO	\$1.929			
	DEACTIVACIÓN QUIMICA	\$4.000			
		Los precios de desactivación química tienen variabilidad una vez realizada prueba al residuo.			
LIQUIDO REVELADOR, FIJADOR Y PLACAS RADIOGRAFICAS	RECUPERACION Y APROVECHAMIENTO	\$1.600			
RESIDUOS VARIOS	ENCAPSULAMIENTO Y/O INCINERACIÓN	\$1.929			
Y29- LUMINARIAS	ENCAPSULAMIENTO	\$0			
		El tratamiento y disposición final es pago por CORPORACIÓN LUMINA			
Y23- PILAS	ENCAPSULAMIENTO	\$0			
		PAGO POR EL PROGRAMA RECOPILA			
BATERIAS DE PLOMO ACIDO	APROVECHAMIENTO	\$0			
LLANTAS	APROVECHAMIENTO	\$800			
FRECUENCIA DE RECOLECCIÓN					
ESPORADICA					
TIPO DE FACTURACIÓN					
DIRECTA x		ENERGÍA:			
TÁRIFA BÁSICA					
Este valor corresponde al mínimo costo de facturación que se realizara al cliente por visitas de recolección.					
N° DE VISITAS MENSUALES	1	RANGO DE KILOS	0 A 15	VALOR	29.000
CONDICIONES DE PAGO					
CONTADO			CREDITO	Detalle el número de días	
				A partir de radicada la factura	
				15	

Recargo de transporte: NA Vigencia: 30 días.


FABIO ALBERTO SALAZAR ROJAS
 Representante Legal

Contacto: 3387769- 3003408973
/Info@emdepsa.com;dramirez@emdepsa.com

Carrera. 10 No. 17 - 55 Piso 1, local 118 Edificio. Torre Central Tel. (+6) 3387701 Km 15 vía a
 Cartago entrada 7ª Tels (+6) 3118711- 01 8000 515 244
WWW.EMDEPSA.COM.CO

Anexo 5. Oferta económica por equipo de laboratorio, rota evaporador

<p>Comercializadora Instrumentos Técnicos S.A.S. Calle 43 N° 50-88 Int. 1601 Tels: 57 (4) 2399375- 57 (4)2175751 Medellín - Colombia info@myminstrumentostecnicos.com // www.myminstrumentostecnicos.com</p>				
		PAGINA N° 1		
FECHA: Mayo 28 de 2014		COTIZACIÓN N°: 7315		
SEÑORES: Andres Felipe Vinasco López				
ATENCIÓN: DEPENDENCIA: CIUDAD: Pereira FORMA DE PAGO: Anticipo VALIDEZ DE LA OFERTA: 30 días		DIRECCIÓN: mz 14 casa 2 malaga-parque industrial TELEFONO: 3178442354 E. MAIL: incubus1318@hotmail.com TIEMPO DE ENTREGA:		
ITEM	CANT	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNIT	PRECIO TOTAL
1	1	R203B Rotaevaporador Condensador oblicuo balon de 1000 ml Colector de 500 ml Marca: Boyn Industrial Ver características pdf adjunto	7.082.965,00	7.082.965,00
				
		OBSRVACIONES: Fletes a destino por cuenta del comprador garantía un año por defectos de fabricación		
			SUB TOTAL	7.082.965,00
			IVA 16%	1.133.274,40
			TOTAL	8.216.239,40
		GUSTAVO MOLINA V Dpto. Comercial		
Carrera 43 N° 50-88 Int. 1601 Tels: 57 (4) 2399375- 57 (4)2175751 Medellín - Colombia info@myminstrumentostecnicos.com // www.myminstrumentostecnicos.com				

9. BIBLIOGRAFÍA

1. **Lesko, Jim.** *DISEÑO INDUSTRIAL*. Mexico : Limusa Wiley, 2007.
2. **Groover, Mikell P.** *FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA*. Mexico : PRENTICE-HALL HISPANOAMERICA, S.A., 1997.
3. **Wikipedia.** WIKIPEDIA la enciclopedia libre. [En línea] [Citado el: 26 de Noviembre de 2012.] http://es.wikipedia.org/wiki/Moldeo_por_inyecci%C3%B3n.
4. **Merck.** merck-chemical. [En línea] [Citado el: 2 de Diciembre de 2012.] http://www.merckmillipore.com/colombia/chemicals/diclorometano/MDA_CHEM-822271/p_Xkyb.s1LSXUAAAEW8OEFvHTI?WFSimpleSearch_NameOrID=dicloro+metano+EMPLURA&BackButtonText=search+results.
5. **Z.S.PETROVIC, I. CVETKOVIC, D. HONG, X. WAN, W.ZHANG, T. ABRAHAM and J.MALSAM.** *J. Applied Polymer Science*. 108(2008).
6. **MOTT, ROBERT L.** *Applied fluid mechanics sexta edicion*.
7. **YUNUS A. CENGEL, JOHN M. CIMBALA.** *Mecanica de fluidos fundamentos y aplicaciones*.
8. **KNF.** *KNFUSA*. [En línea] [Citado el: 11 de 05 de 2015.] <http://www.knfusa.com/products/laboratory-equipment/product/products/diaphragm-liquid-dosing-pumps/diaphragm-liquid-dosing-pumps/>.
9. **fibermaq.** [En línea] En línea. [Citado el: 20 de febrero de 2015.] <http://www.fibermaq.com.br/es/baixa-pessao-completa.php>.
10. **PLAEN** - plasticos, envasados y afines. *PLAEN*. [En línea] <http://plaen.blogspot.com/2012/03/maquinas-dispensadoras-de-poliuretano.html>.
11. **SATCH poliuretanos.** *SATCH*. [En línea] <http://www.satchpoliuretanos.com.ar/PRODUCTOS%20-%20SPR%2040.htm>.