

**DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE MEJORAMIENTO PARA EL  
PROCESO DE SÍNTESIS Y ELABORACIÓN DE PRODUCTOS CON  
POLIURETANO A PARTIR DE ACEITE DE RICINO, PARA EL GRUPO DE  
INVESTIGACIÓN EN POLÍMEROS (GIP) DE LA UIS, CASO ESTUDIO:  
DISPOSITIVO PARA EVITAR FUGAS EN TUBERÍAS.**

**ÁLVARO ANDRÉS LAMUS CABALLERO  
CARLOS ENRIQUE SERRANO PEÑA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL  
BUCARAMANGA**

**2017**

**DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE MEJORAMIENTO PARA EL  
PROCESO DE SÍNTESIS Y ELABORACIÓN DE PRODUCTOS CON  
POLIURETANO A PARTIR DE ACEITE DE RICINO, PARA EL GRUPO DE  
INVESTIGACIÓN EN POLÍMEROS (GIP) DE LA UIS, CASO ESTUDIO:  
DISPOSITIVO PARA EVITAR FUGAS EN TUBERÍAS.**

**ÁLVARO ANDRÉS LAMUS CABALLERO**

**CARLOS ENRIQUE SERRANO PEÑA**

Trabajo de grado para optar por el título de:

**DISEÑADOR INDUSTRIAL**

Director:

**JOHN FABER ARCHILA DÍAZ**

**PhD. Ingeniería Mecánica**

Codirector:

**LUIS ALBERTO LAGUADO VILLAMIZAR**

**M.Sc. Ingeniería de Materiales**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL  
BUCARAMANGA**

**2017**

## DEDICATORIA

Por parte de Carlos Enrique Serrano:

*Con inmenso amor dedico este trabajo a mi Madre, porque nunca se rindió y me dio todo su apoyo durante esta larga espera*

*A mi padre por estar siempre ahí*

*A mi hermana Martha Yaneth Serrano Peña por su apoyo incondicional durante toda la carrera*

*A Laura Carolina Beltrán Meléndez por haber sido la inspiración para emprender esta lucha*

*A mi compañero de proyecto por su dedicación y entrega a este trabajo, a Sofía*

*Bernal por todo su apoyo, al profesor John Faber Archila, al profesor Gustavo*

*Emilio Ramírez, a todos los compañeros de carrera, amigos escaladores amigos de infancia, a todos ustedes está dedicado este trabajo*

*a la vida*

*Gracias*

Por parte de Alvaro Andrés Lamus:

*A los doctores por su guía, su amistad y confianza.*

*A mis padres por su paciencia y conciencia.*

*A ella por la tranquilidad.*

*A mis amigos.*

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	17
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	18
1.1 Título	18
1.2 Objetivo general	18
1.3 Objetivos Específicos:	18
1.4 Descripción del proyecto	19
1.5 Propuesta de valor	19
1.6 Alcances del proyecto	20
1.7 Impacto esperado	20
2. MARCO TEÓRICO	21
2.1 DISEÑO DE PROCESOS	21
2.2 GESTIÓN DE PROCESOS	22
2.3 DESIGN THINKING	24
2.4 METODOLOGÍA RUMMLER & BRACHE	26
2.5 POLIURETANO	26
2.6 POLIURETANO DE ORIGEN NATURAL	27
3. METODOLOGÍA	28
3.1 EMPATIZAR	28
3.1.1 Objetivo	28
3.1.2 Método	28
3.2 DEFINIR	28
3.2.1 Objetivo	29
3.2.2 Método	29
3.3 IDEAR	29
3.3.1 Objetivo	29
3.3.2 Método	30
3.4 PROTOTIPAR	30
3.4.1 Método	30

3.5 EVALUAR	30
3.5.1 Objetivos:	31
3.5.2 Método:	31
4. ANÁLISIS DEL PROCESO ACTUAL	32
4.1 ASPECTOS GENERALES DEL LABORATORIO	32
4.1.1 Descripción	33
4.1.2 Organigrama del GIP	33
4.1.3 Misión	34
4.1.4 Visión	34
4.1.5 Proyectos	34
4.2 MÉTODOS PARA LA OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN	35
4.2.1 Estudio de campo	35
4.2.2 Entrevista	35
4.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO	36
4.3.1 Etapa de síntesis del material	37
4.3.2 Etapa de elaboración del dispositivo.	37
4.3.3 Listado de herramientas usadas por el proceso.	37
4.4 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS	39
4.4.1 Lista de actividades y tareas del proceso.	39
4.4.2 Mapa de actividades	41
4.4.3 Diagrama de mapa del proceso	42
4.4.4 Gráfica de flujo del proceso	43
4.4.5 Análisis de la entrevista	51
4.5 DEBILIDADES IDENTIFICADAS	51
4.5.1 Debilidades de la etapa de síntesis del material	51
4.5.2 Debilidades de la etapa de elaboración del dispositivo	52
4.6 MATRIZ DOFA	53
Debilidades	53
Oportunidades	53
Fortalezas	53

Amenazas	54
5. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO	55
5.1 DEFINICIÓN DEL PROCESO	55
5.1.1 Límites del proceso	56
5.1.2 Puntos fuertes identificados en el desarrollo del proceso.	56
5.1.3 Requerimientos del proceso	57
5.1.4 Objetivos del diseño del proceso.	58
5.2 DESARROLLO DEL PROCESO	58
5.2.1 Puntos críticos del proceso	58
5.2.2 Desconexiones del proceso	60
5.2.3 Mapa indicativo “Should”	60
5.2.4 Estrategia para la implementación	62
5.3 DESPLIEGUE DEL PROCESO	63
5.3.1 Metodología	63
5.3.2 Diseño de la tapa para el contenedor de mezclado	63
5.3.3 Diseño del sistema de soporte.	72
5.3.4 Ficha de control del proceso	85
5.4 CONCLUSIONES	85
6. DISEÑO DEL DISPOSITIVO PARA EVITAR FUGAS	86
6.1 PLANTEAMIENTO O ESTRUCTURACIÓN DEL PROBLEMA	86
6.1.1 Situación a analizar	86
6.1.2 Posible acción de diseño	87
6.1.3 Detección de necesidades	87
6.1.4 Definición del problema a resolver	87
6.1.5 Requerimientos	87
6.2 DISEÑO DEL DISPOSITIVO	88
6.2.1 Elaboración de alternativas	88
6.2.2 Selección de alternativas	90
6.2.3 Desarrollo de las alternativas seleccionadas	93
6.2.4 Construcción de prototipos	93

6.3 DISEÑO DEL MOLDE	93
6.3.1 Requerimientos del molde	94
6.3.2 Preparación de la pieza	94
6.3.3 Desarrollo del molde	96
6.3.4 Pruebas del material de construcción del molde	97
6.3.5 Construcción del molde	98
7. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS	101
7.1 GRÁFICA DE FLUJO DEL PROCESO	101
7.1.1 Conclusión	109
7.2 DIAGRAMA DE MAPA DEL PROCESO	109
7.3 ESTUDIO DE TIEMPOS	109
7.4 ANÁLISIS DE DISMINUCIÓN DE TAREAS	111
7.5 EVALUACIÓN DE REQUERIMIENTOS	113
8. EVALUACIÓN DEL DISPOSITIVO PARA EVITAR FUGAS.	115
8.1 ANALISIS COMPARATIVO ENTRE DISPOSITIVOS	115
8.2 PRUEBA HIDROSTÁTICA	117
8.2.1 Protocolo experimental de la prueba	118
8.3 RESULTADOS	121
8.4 CONCLUSIONES	123
9. CONCLUSIONES	125
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127
BIBLIOGRAFÍA	129
ANEXOS	131

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pag.</b>
Figura 1. Proceso Design Thinking.	25
Figura 2. Etapas Metodología de Rummler & Brache.	26
Figura 3. Poliuretano a partir de aceite de ricino.	27
Figura 4. Organigrama del GIP.	33
Figura 5. Relación de herramientas usadas en el proceso.	38
Figura 6. Control del rotoevaporador.	44
Figura 7. Uso del soporte.	46
Figura 8. Goteo de MDI.	47
Figura 9. Limpieza de las piezas.	50
Figura 10. Alternativa #1 tapa del contenedor.	65
Figura 11. Alternativa #2 tapa del contenedor.	66
Figura 12. Alternativa #3 tapa del contenedor.	66
Figura 13. Piezas de la tapa para el contenedor.	68
Figura 14. Acople de la tapa con el contenedor.	68
Figura 15. Detalle de las conexiones de la tapa con el exterior.	69
Figura 16. Prototipo de la tapa mediante impresión 3D en ABS.	70
Figura 17. Alternativa #1 sistema de soporte.	74
Figura 18. Alternativa #2 sistema de soporte.	75
Figura 19. Alternativa #3 sistema de soporte.	75
Figura 20. Alternativas diseño del mango.	75
Figura 21. Diseño del sistema de soporte.	82
Figura 22. Acople del sistema de soporte y contenedor.	83
Figura 23. Fotografías del trípode y del mango.	84
Figura 24. Dispositivo tipo tapón.	86
Figura 25. Alternativa #1 tapón.	88

Figura 26. Alternativa #2 tapón.	89
Figura 27. Alternativa #3 tapón.	89
Figura 28. Análisis estático alternativa #1.	90
Figura 29. Análisis estático alternativa #2.	90
Figura 30. Análisis estático alternativa #3.	90
Figura 31. Fuerzas resultantes alternativa #1.	91
Figura 32. Fuerzas resultantes alternativa #2.	92
Figura 33. Fuerzas resultantes alternativa #3.	92
Figura 34. Detalle del dispositivo para evitar fugas.	93
Figura 35. Análisis de ángulos de salida.	95
Figura 36. Detalle de la pieza con ángulos de salida.	96
Figura 37. Modelo 3D del molde.	96
Figura 38. Molde para la prueba.	97
Figura 39. Desmoldeo de piezas.	98
Figura 40. Centro de mecanizado.	99
Figura 41. Molde.	99
Figura 42. Actividad de montaje.	103
Figura 43. Inyección del MDI.	105
Figura 44. Llenado del molde.	106
Figura 45. Extracción del dispositivo.	108
Figura 46. Comparación de dispositivos.	116
Figura 47. Bordes de los dispositivos.	117
Figura 48. Tubería y tapón.	119
Figura 49. Montaje dentro del loop bridado.	120
Figura 50. Gráfica Tiempo vs Porcentaje de éxito.	121
Figura 51. Gráfica Tiempo vs presión dispositivo 5.	123

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Listado de actividades del proceso.	39
Tabla 2. Mapa de actividades.	41
Tabla 3. Gráfica del flujo del proceso actual.	43
Tabla 4. Matriz DOFA.	54
Tabla 5. Puntos críticos.	59
Tabla 6. Desconexiones del proceso.	60
Tabla 7. Mapa indicativo Should.	61
Tabla 8. Requerimientos para la tapa del contenedor.	64
Tabla 9. Requerimientos del sistema de soporte.	73
Tabla 10. Aleatorización de la prueba.	79
Tabla 11. Requerimientos del dispositivo para evitar fugas.	88
Tabla 12. Requerimientos para el diseño del molde.	94
Tabla 13. Gráfica de flujo del proceso propuesto.	101
Tabla 14. Análisis de tiempos.	109
Tabla 15. Desconexiones del proceso.	110
Tabla 16. Tareas y actividades en cada proceso.	111
Tabla 17. Evaluación de requerimientos.	113
Tabla 18. Comparativa de los dispositivos para evitar fugas.	116
Tabla 19. Resultados de las pruebas hidrostáticas.	121

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A. Diagrama de mapa del proceso actual.	131
Anexo B. QFD tapa.	134
Anexo C. QFD sistema de soporte.	136
Anexo D. Formato para evaluación.	138
Anexo E. Ficha de control del proceso.	139
Anexo F. Diagrama de mapa del proceso propuesto.	140
Anexo G. Gráficas de Tiempo vs Presión producto de la prueba hidrostática.	143

## RESUMEN

**TÍTULO:** DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE MEJORAMIENTO PARA EL PROCESO DE SÍNTESIS Y ELABORACIÓN DE PRODUCTOS CON POLIURETANO A PARTIR DE ACEITE DE RICINO, PARA EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN POLÍMEROS (GIP) DE LA UIS, CASO ESTUDIO: DISPOSITIVO PARA EVITAR FUGAS EN TUBERÍAS.<sup>1</sup>

**AUTORES:** ÁLVARO ANDRÉS LAMUS CABALLERO<sup>2</sup>  
CARLOS ENRIQUE SERRANO PEÑA<sup>2</sup>

**PALABRAS CLAVE:** PROPUESTA DE MEJORAMIENTO, POLIURETANO, ACEITE DE RICINO, DESARROLLO DE PRODUCTO, GESTIÓN DE PROCESOS.

### DESCRIPCIÓN:

El grupo de investigación en polímeros (GIP) perteneciente a la escuela de Ingeniería Química de la UIS, se encuentra desarrollando un poliuretano (PU) obtenido a partir de la mezcla de poliglicerol, aceite de ricino y diisocianato con el objetivo de desarrollar productos con aplicaciones industriales; entre ellos un kit para la reparación de tuberías de baja presión que entre sus piezas cuenta con un dispositivo tipo tapón. Sin embargo, durante el proceso de síntesis del material y elaboración de este producto se identificaron debilidades que incidían tanto el correcto desarrollo del proceso como en la calidad de las piezas finales. Por tal razón se propuso como objetivo general de este desarrollar una propuesta de mejoramiento para el proceso de síntesis y elaboración de productos con poliuretano a partir de aceite de ricino. Caso estudio: Dispositivo para evitar fugas en tuberías. Para el cumplimiento del objetivo, se realizó un análisis del proceso actual y, a partir de este, se definió una propuesta de mejoramiento, incluyendo la implementación de soluciones objetuales. Como método de validación de la propuesta se realizó un análisis comparativo entre el proceso del GIP y el propuesto en el desarrollo de este proyecto, y se realizaron pruebas experimentales de los dispositivos elaborados.

---

<sup>1</sup> Trabajo de grado.

<sup>2</sup> Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Diseño Industrial. Director: John Faber Archila. Codirector: Luis Alberto Laguado.

## ABSTRACT

**TITLE:** DEVELOPMENT OF AN IMPROVEMENT PROPOSAL FOR THE SYNTHESIS PROCESS AND PRODUCTION OF PRODUCTS WITH POLYURETHANE FROM CASTOR OIL, FOR THE UIS POLYMER RESEARCH GROUP (GIP), CASE STUDY: DEVICE TO PROVENT PIPELINE LEAKAGE<sup>3</sup>.

**AUTHORS:** ÁLVARO ANDRÉS LAMUS CABALLERO<sup>4</sup>  
CARLOS ENRIQUE SERRANO PEÑA<sup>4</sup>

**KEY WORDS:** IMPROVEMENT PROPOSAL, POLYURETHANE, CASTOR OIL, PRODUCT DEVELOPMENT, PROCESS MANAGEMENT.

### DESCRIPTION:

The Polymer Research Group (GIP), belonging to the School of Chemical Engineering of the UIS, is developing a polyurethane (PU) obtained from the mixture of polyglycerol, castor oil and diisocyanate in order to develop products with industrial applications, including a kit for the repair of low pressure pipes that has a plug-type device. However, during the process of material synthesis and processing of this product weaknesses were identified that affected both the correct development of the process and the quality of the final pieces. For this reason, it was proposed as a general objective to develop an improvement proposal for the process of synthesis and production of products with polyurethane from castor oil. Case study: Device to avoid leaks in pipes. To accomplish the objective, an analysis of the current process was performed and, from this, an improvement proposal was defined, including the implementation of objectual solutions. As a method of validation of the proposal, a comparative analysis was carried out between the GIP process and the one proposed in the development of this project, and experimental tests of the elaborated devices were also carried out.

---

<sup>3</sup> Degree Work.

<sup>4</sup> Physical Mechanical Engineering Faculty. Industrial Design School. Director: John Faber Archila. Codirector: Luis Alberto Laguado.

## INTRODUCCIÓN

En la búsqueda por desarrollar materiales de bajo impacto con el medio ambiente, se han desarrollado algunas alternativas como: Aglomerados compuestos por fibras naturales, materiales a partir de recursos renovables y polímeros biodegradables. Uno de estos polímeros es el poliuretano elaborado a partir de aceite de ricino, el cual es extraído de la semilla de una planta comúnmente conocida como Higuera, siendo un recurso renovable y de fácil consecución. Comúnmente, en la elaboración del poliuretano comercial se utilizan dos componentes básicos: polioliol y diisocianato. Estos polioliolos son derivados de la industria de los petroquímicos. En la elaboración de poliuretano a partir del aceite de ricino se utiliza el mismo componente de diisocianato, pero el polioliol es elaborado con la mezcla de dos componentes: aceite de ricino y poliglicerol.

El grupo de investigación en polímeros (GIP) perteneciente a la escuela de Ingeniería Química de la UIS, elabora este tipo de poliuretano obtenido a partir de la mezcla de poliglicerol, aceite de ricino y diisocianato; con el objetivo de estudiar sus propiedades y desarrollar productos para aplicaciones industriales. Sin embargo, durante el proceso de síntesis y elaboración de estos productos se han presentado inconvenientes que afectan tanto su correcto desarrollo como la calidad de las piezas finales.

Para contrarrestar esta situación, se desarrolló una propuesta de mejoramiento del proceso de síntesis y elaboración de productos de poliuretano a partir de aceite de ricino, se propusieron acciones de mejora que se centraron en el diseño de propuestas objetuales para la resolución de debilidades, puntos críticos y desconexiones detectadas en el proceso. El proceso propuesto fue ejecutado en su totalidad en el desarrollo del dispositivo para evitar fugas en tuberías como caso de estudio.

## **1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.1 TÍTULO**

Desarrollo de una propuesta de mejoramiento para el proceso de síntesis y elaboración de productos con poliuretano a partir de aceite de ricino, para el grupo de investigación en polímeros (GIP) de la UIS, caso estudio: Dispositivo para evitar fugas en tuberías.

### **1.2 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar una propuesta de mejoramiento para el proceso de síntesis y elaboración de productos con poliuretano a partir de aceite de ricino. Caso estudio: Dispositivo para evitar fugas en tuberías.

### **1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Determinar las debilidades presentes en el proceso actual de síntesis y elaboración de productos a partir de poliuretano a base de aceite de ricino, por medio de un estudio de campo y un análisis del mismo.
- Desarrollar una propuesta de mejoramiento al proceso de síntesis y elaboración de productos, implementando las fortalezas del proceso actual y solventando sus debilidades, mediante la aplicación de la metodología de Rummler & Brache.
- Diseñar un dispositivo para evitar fugas en tuberías, propuesto desde el caso estudio, aplicando el proceso definido en la etapa anterior.
- Identificar los puntos de mejora en el proceso, mediante un análisis comparativo entre el proceso actual desarrollado por el GIP y el definido mediante el trabajo de investigación.
- Validar el desempeño del dispositivo desarrollado para evitar fugas, comparándolo con los dispositivos que actualmente desarrolla el GIP.

#### **1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

El Grupo de Investigación en Polímeros (GIP) de la Universidad Industrial de Santander, con sede en el Parque Tecnológico Guatiguará, está encargado de generar conocimientos y prestar servicios tecnológicos avanzados en el campo de la ciencia y la tecnología de los polímeros [1]. Actualmente se encuentra trabajando con poliuretano a partir de aceite de ricino. Si bien este material ya cuenta con un protocolo químico para su síntesis, el GIP busca solventar problemas presentados durante su ejecución y durante la elaboración de un dispositivo tipo tapón que se encuentra desarrollando como parte de kit para la reparación de tuberías para la industria del petróleo. Con este proyecto, se determinaron debilidades del proceso, se analizaron y desarrollaron acciones de solución viables dentro del contexto del laboratorio, incluyendo propuestas objetuales, y se validaron mediante análisis comparativos.

#### **1.5 PROPUESTA DE VALOR**

El Grupo de Investigación en Polímeros sintetiza un poliuretano a base de Aceite de Ricino y estudia sus propiedades físicas y químicas con el fin de encontrar posibles aplicaciones en la industria. Actualmente, existe un proyecto en curso en donde se plantea la elaboración de un conjunto de objetos, entre ellos un dispositivo tipo tapón, para evitar fugas en tuberías de baja presión usadas por la industria del petróleo, su fabricación se realiza mediante un proceso en dos etapas (síntesis del material y elaboración del dispositivo) en el cual se vienen presentando problemas que repercuten en la calidad final de los productos. Como propuesta de valor se realizó el análisis del proceso detectando debilidades que, mediante una propuesta de mejoramiento en conjunto con soluciones objetuales, se buscó solventar lo cual significó una ventaja para las prácticas experimentales en el laboratorio, un mayor control en el proceso de síntesis del polímero y una mejora en el producto final.

## **1.6 ALCANCES DEL PROYECTO**

Como resultado de este proyecto se obtuvo una propuesta de mejoramiento del proceso para la síntesis y elaboración de productos con poliuretano a partir de aceite de ricino. Adicionalmente, se diseñaron propuestas objetuales que aportaron a la solución de las debilidades encontradas.

El proceso propuesto fue ejecutado en su totalidad en el desarrollo del dispositivo para evitar fugas en tuberías como caso de estudio. Adicionalmente, se realizaron pruebas comparativas entre los procesos y pruebas hidrostáticas al dispositivo para comprobar su funcionalidad.

## **1.7 IMPACTO ESPERADO**

- Realizar un diagnóstico del estado actual del proceso de síntesis del Poliuretano a base de Aceite de Ricino y de la elaboración de los dispositivos para evitar fugas en tuberías
- Disminuir el número de tareas ejecutadas durante proceso actual de síntesis del material mediante acciones de mejora formuladas desde una propuesta de mejoramiento producto del diagnóstico realizado.
- Mejorar la elaboración del dispositivo para evitar fugas mediante un proceso de diseño, comprobaciones CAD y con el desarrollo de un molde adecuado a su forma.
- Generar una percepción positiva sobre las expectativas que se tienen de la disciplina del Diseño Industrial como generador de soluciones para los grupos de investigación de UIS, en especial en el GIP.

## **2. MARCO TEÓRICO**

Fue importante para el desarrollo del proyecto establecer bases conceptuales fuertes que permitieron el correcto direccionamiento y ejecución de las actividades propuestas para la consecución del objetivo final. A continuación, se presentan conceptos fundamentales para la comprensión del problema y el desarrollo del proyecto.

### **2.1 DISEÑO DE PROCESOS**

Para definir este concepto, desde el punto de vista del diseño industrial, es importante analizar definiciones separadas de lo que es un proceso y lo que es el diseño, todo desde una perspectiva industrial y productiva.

Un proceso, según la norma ISO 9001, es una actividad o un conjunto de actividades que utiliza recursos, y que se gestiona con el fin de permitir que los elementos de entrada se transformen en resultados [2]. Esta gestión se denomina Gestión de Procesos, y es definida en la norma ISO 9000, como el conjunto de actividades para dirigir y controlar los procesos de la empresa u organización [3]. Cabe complementar que estos procesos pueden ser productivos, administrativos, científicos, de comercialización, etc. Y que su estudio ha sido abordado por múltiples disciplinas buscando que esta gestión resulte en un mejoramiento de cada uno de estos procesos.

Por otro lado, el diseño, desde una perspectiva productiva, es el concepto usado para especificar cómo crear o hacer algo basado en una necesidad. Un diseño debe satisfacer una especificación funcional; se ajusta a las limitaciones del medio objetivo. Cumple con requisitos implícitos o explícitos sobre el rendimiento y el uso de recursos. Un diseño también puede tener que satisfacer las restricciones sobre el proceso de diseño en sí, como su longitud o costo, o las herramientas

disponibles para producirlo [4]. Con base a esta definición, el diseño está direccionado a cubrir necesidades satisfaciendo requerimientos. En el caso del Diseño Industrial, su intención es ser un proceso estratégico de resolución de problemas uniendo la brecha entre lo que es y lo que es posible, de naturaleza transdisciplinaria, que aprovecha la creatividad para resolver problemas y co-crear soluciones con la intención de hacer un producto, sistema, servicio, experiencia o un negocio, mejor. Vincula la innovación, la tecnología, la investigación, los negocios y los clientes para proporcionar un nuevo valor y una ventaja competitiva en las esferas económica, social y ambiental [5]. Como se puede ver, la resolución de problemas basado en requerimientos y su adaptabilidad a diversos ámbitos del conocimiento humano, son características que el Diseño desarrolla y hace de sí una disciplina fundamental para el entorno productivo.

Explorado ambos conceptos, tanto el de Proceso como el de Diseño, se visibiliza a este último como parte de las disciplinas que pueden aportar a la gestión de procesos gracias a su capacidad de resolver problemáticas y de aportar valor a los resultados finales de los mismos, siendo adecuado hablar del Diseño de procesos como un proceso en sí mismo, que de manera estratégica se encarga de resolver problemas o co-crear soluciones con la intención de mejorar una actividad o un conjunto de actividades que utiliza recursos con el fin de permitir que unas materias primas se transformen en resultados.

## **2.2 GESTIÓN DE PROCESOS**

El termino Gestión de procesos encuentra su relevancia para el desarrollo del proyecto en cuanto aporta numerosas técnicas para el análisis y mejoramiento de los mismos.

La gestión de procesos es una disciplina de gestión que ayuda a la dirección de la empresa a identificar, representar, diseñar, formalizar, controlar, mejorar y hacer más productivos los procesos de la organización [6].

Un proceso correctamente gestionado cuenta con características específicas, entre ellas se encuentran:

- Estable, con resultados repetibles y dentro de los estándares esperados de calidad del producto y de rendimiento.
- Diseñado según las mejores prácticas.
- Considera en primer lugar al cliente.
- Satisface las necesidades de los “clientes internos”, tales como la dirección, los participantes del proceso y los usuarios [6].

En términos generales, la gestión de procesos sigue una serie de pasos para su correcta aplicación en las organizaciones:

- Constituir un equipo de trabajo que analice los objetivos del proceso.
- Identificar el proceso y clasificarlo.
- Determinar los factores clave.
- Analizar el desarrollo del proceso con las técnicas más adecuadas.
- Establecer los indicadores de control del proceso.
- Iniciar el ciclo de mejora sobre la base de los indicadores asociados a los factores clave [7].

Una definición importante para la gestión de procesos, puesto que siempre se apunta a la mejora tanto del proceso como del resultado, es la de Acción de Mejora, esta es toda acción destinada a cambiar la forma en que se desarrolla un proceso. Estas mejoras, se deben reflejar en una mejora de los indicadores del proceso. Se puede mejorar un proceso mediante aportaciones creativas, análisis y sentido crítico [7].

Para concluir, es importante que, más allá de las definiciones presentadas, los beneficios que aporta la gestión de procesos queden claros. Los objetivos de esta práctica siempre apuntan a disminuir los recursos usados por el proceso, lograr la reducción en el tiempo de ejecución del mismo (sin afectar la productividad), evitar errores o llevarlos al mínimo posible, ofrecer una visión sistemática del proceso y por extensión de la organización, entre otros [7].

### **2.3 DESIGN THINKING**

Design thinking (DT), o Pensamiento de Diseño, es un conjunto de métodos y procesos que buscan dar solución a un problema a través de ideas innovadoras y centradas en el usuario. IDEO, firma de diseño reconocida mundialmente por la expansión del concepto de Design Thinking, define esta metodología como un proceso enteramente humano que se nutre de sus capacidades, pero en la cual se pasan por alto las prácticas de resolución de problemas más convencionales” [cita acá], además, Tim Brown expone al Design Thinking como “una disciplina que usa la sensibilidad y métodos de los diseñadores para hacer coincidir las necesidades de las personas con lo que es tecnológicamente factible y con lo que una estrategia viable de negocios puede convertirse en valor para el cliente, así como en una gran oportunidad para el mercado” [8].

Adicionalmente, el design thinking se propone tres elementos importantes para su desarrollo: un espacio flexible, un equipo de trabajo y un proceso de diseño enfocado a la resolución de problemas [9]. El Manual de DT para Educadores agrega, a su vez, cuatro características que apoyan su enfoque humanista, estas son:

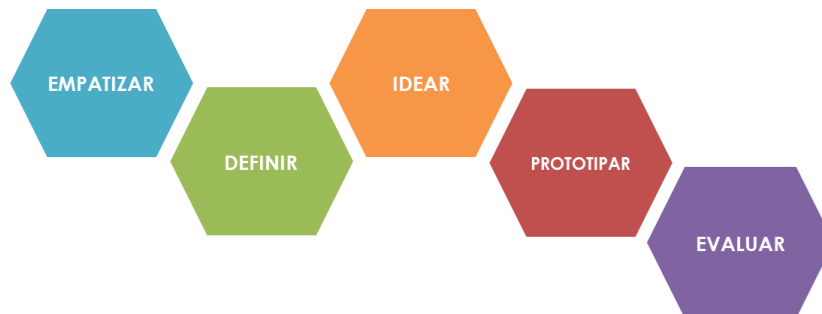
- Centrado en el humano: basado en la empatía con las demás personas y en la comprensión de sus necesidades.

- Colaborativo: se beneficia de los diferentes puntos de vista aportados, al igual que de la creatividad que aportan los demás.
- Optimista: Considera que cualquier persona tiene un potencial creativo y que puede aportar un cambio.
- Empírico: Permite la experimentación dentro de su ciclo, el fracaso alimenta el proceso y lo impulsa a su mejoramiento.

La conjunción de estas características refuerza los conceptos de inclusión, en donde cualquier persona puede opinar y aportar ideas visibles para el desarrollo de las problemáticas.

La metodología de design thinking cuenta con cinco etapas diferenciadas: Empatizar, Definir, Idear, Prototipar y Evaluar. Estas etapas han sido nombradas de múltiples formas, pero tienden a conservar la siguiente estructura (Figura 1):

**Figura 1. Proceso Design Thinking.**



Fuente: Gonzalez, F. Institute of Design Stanford. [10].

En la página web “designthinking.es” [11] se explica con mayor detalle cada una de estas etapas:

- Empatizar: se busca la comprensión a profundidad de las necesidades de las personas implicadas y de su entorno con el objetivo de dar una base sólida a las siguientes etapas del proceso.

- Definir: Implica ordenar y condensar la información recibida en la etapa anterior con el objetivo de identificar problemas claves.
- Idear: Exploración de múltiples opciones, se debe favorecer el pensamiento divergente y se eliminan los juicios de valor.
- Prototipar: Hacer tangibles las ideas con el objetivo de visualizar las posibles soluciones y concretar aspectos relacionados con estas.
- Evaluar: Comprobación de prototipos, verificación con usuarios, detección de fallos y retroalimentación. Evolución de la idea.

## 2.4 METODOLOGÍA RUMMLER & BRACHE

Esta metodología fue propuesta por Geary Rummler y Alan P. Brache y se centra en entender la organización como un sistema de tres niveles interconectados: El nivel organizacional, el nivel de procesos y el nivel del trabajador. Para el desarrollo del proyecto se centró en el nivel de procesos y en las fases que esta propone para su mejoramiento (figura 2).

**Figura 2. Etapas Metodología de Rummler & Brache**



Estas cuatro etapas se enfocan en el mejoramiento de los procesos desarrollados por la organización, partiendo de la definición de sus debilidades, sus parámetros y fortalezas, pasando por la planificación del desarrollo de nuevos modelos del “hacer” y generando estrategias para implementar una mejora continua del mismo [12].

## 2.5 POLIURETANO

El poliuretano es uno de los productos poliméricos más empleados, comprende una amplia gama de aplicaciones como: espumas, elastómeros flexibles a

plásticos. Está formado a partir de reacciones de isocianato o diisocianatos de difenilmetano (MDI) o diisocianato de tolueno (TDI) con polirol de poliéter o polioles de poliéster, se utilizan diferentes catalizadores y aditivos con agentes de expansión, las combinaciones entre isocianatos, polioles y aditivos generan una variedad de poliuretanos, algunas de estas aplicaciones están dadas en la industria de mobiliario, construcción civil, electrodomésticos, automotriz y calzado [13].

## 2.6 POLIURETANO DE ORIGEN NATURAL

Los poliuretanos son sintetizados por la reacción de tres componentes: poliisocianato, un polímero polihidroxílico y un extendedor de cadena, actualmente la mayoría de polioles son derivados de la industria de los petroquímicos, un recurso no renovable. Los bio-materiales están recibiendo considerable atención, la síntesis de aceites naturales ofrecen una ruta alternativa a los poliuretanos derivados de la industria de los petroquímicos, estos aceites vegetales se están convirtiendo en un recurso renovable para la preparación de polioles en el desarrollo de nuevos bio-materiales, los poliuretanos son sintetizados a partir de aceites como: soja, aceite de ricino y aceite de palma. Estos aceites se convierten en alternativas viables para reemplazar materias primas de hidrocarburos, pueden ser renovables anualmente y su costo es competitivo y es amigable con el medio ambiente [14].

**Figura 3. Poliuretano a partir de aceite de ricino.**



### 3. METODOLOGÍA

El enfoque metodológico aplicado en el proyecto se basa en la metodología de design thinking planteada por IDEO conformada por cinco etapas diferenciadas: Empatizar, Definir, Idear, Prototipar y Evaluar. Con base en estas etapas, el proyecto se desarrolló cumpliendo cada uno de los objetivos planteados y siguiendo la siguiente estructura metodológica:

#### 3.1 EMPATIZAR

En esta primera etapa se realizó: observación y análisis al proceso de producción del dispositivo para evitar fugas, del GIP- UIS, con el objetivo de identificar sus debilidades.

**3.1.1 Objetivo.** Determinar las debilidades presentes en el proceso actual de síntesis y elaboración de productos a partir de poliuretano a base de aceite de ricino, por medio de un estudio de campo y un análisis del mismo.

**3.1.2 Método.** Se realizó un estudio de campo que consistió en aplicar entrevistas al personal del laboratorio que trabaja directamente con la síntesis del material y con la elaboración de los dispositivos para evitar fugas en tuberías. Adicionalmente, se realizó captura de video, fotografías, cronometraje y toma de apuntes de las diferentes actividades que componen el proceso en cuestión. Para determinar problemáticas y debilidades se analizaron los datos obtenidos mediante técnicas de gestión de procesos. Por último, se realizó una matriz DOFA con el objetivo de trazar estrategias para aportar al mejoramiento del proceso.

#### 3.2 DEFINIR

En esta fase se desarrolló una propuesta de mejora para el proceso de síntesis de poliuretano a base de aceite de ricino y elaboración de un dispositivo para evitar

fugas a partir de este material. Para el cumplimiento de esta fase se usó la metodología de Rummler & Brache para el mejoramiento de procesos.

**3.2.1 Objetivo.** Desarrollar una propuesta de mejoramiento al proceso de síntesis y elaboración de productos, implementando las fortalezas del proceso actual y solventando sus debilidades, mediante la aplicación de la metodología de Rummler & Brache.

**3.2.2 Método.** De acuerdo a los análisis realizados en la etapa anterior, en conjunto con la metodología de Rummler & Brache para el mejoramiento de procesos se determinaron los puntos débiles que afectaban el desarrollo del proceso y la calidad de su resultado final mediante una identificación de desconexiones, a partir de esto, se elaboró un mapa indicativo “Should” del proceso estableciendo los nuevos controles, unas soluciones objetuales a desarrollar y la estrategia para su implementación. Todo esto direccionado a la reducción de actividades, al mejoramiento en la ejecución de las mismas y en la calidad del producto final, todo esto teniendo en cuenta el contexto del laboratorio.

### **3.3 IDEAR**

En esta fase se diseñó un dispositivo para evitar las fugas en tuberías de la industria del petróleo como caso estudio planteado por parte del laboratorio.

**3.3.1 Objetivo.** Diseñar un dispositivo para evitar fugas en tuberías, propuesto desde el caso estudio, aplicando el proceso definido en la etapa anterior.

**3.3.2 Método.** Se aplicó una metodología de diseño para el desarrollo de un dispositivo para evitar fugas en tuberías para la industria del petróleo. Este dispositivo se elaboró siguiendo las acciones de mejora definidas en la etapa anterior.

### **3.4 PROTOTIPAR**

En esta fase se realizó la construcción tanto de las propuestas objetuales que resultaron de la etapa de Definición como del dispositivo para evitar fugas en tuberías resultado de la etapa de Ideación, la producción de este dispositivo se realizó mediante la aplicación del proceso de desarrollo de productos diseñado en este proceso.

**3.4.1 Método.** Respecto a las soluciones objetuales propuestas, estas se construyeron usando medios de producción local con apoyo económico del laboratorio GIP; cabe resaltar que estas propuestas objetuales se desarrollaron hasta la etapa de prototipo funcional. En cuanto al dispositivo para evitar fugas en tuberías su proceso de elaboración se realizó conforme al proceso de desarrollo de productos diseñado en la etapa de Definición.

### **3.5 EVALUAR**

El diseño del proceso para desarrollar productos enfocado en el dispositivo fue validado mediante un análisis comparativo entre el proceso utilizado por el GIP de la UIS y el proceso diseñado en este proyecto. Adicionalmente, y con respecto al caso estudio, se evaluó el dispositivo realizando una comparación entre las características de uno y otro, y mediante una prueba hidrostática de resistencia a la presión.

### **3.5.1 Objetivos.**

- Identificar los puntos de mejora en el proceso, mediante un análisis comparativo entre el proceso actual desarrollado por el GIP y el definido mediante el trabajo de investigación.
- Validar el desempeño del dispositivo desarrollado para evitar fugas, comparándolo con los dispositivos que actualmente desarrolla el GIP.

**3.5.2 Método.** Respecto al primer objetivo de esta etapa se aplicaron los métodos de diagnóstico Diagrama de mapa del proceso y Gráfica de flujo del proceso al proceso actual y al proceso propuesto, luego se hizo un análisis comparativo para identificar puntos de mejora entre los dos. Para el segundo objetivo, como se habló en la descripción de la anterior etapa, el dispositivo fue producido mediante la ejecución del proceso propuesto y se realizó una comparación entre las características de uno y otro.

## **4. ANÁLISIS DEL PROCESO ACTUAL**

El objetivo de esta etapa del proyecto fue determinar las debilidades presentes en el proceso actual de desarrollo de productos a partir de poliuretano a base de aceite de ricino. Como primera medida para lograr este objetivo se contextualiza el entorno en donde el proyecto se va a desarrollar, para este caso el Laboratorio de Polímeros de la Universidad Industrial de Santander. Seguidamente, se realizó un estudio de campo que consistió en aplicar entrevistas al personal del laboratorio que trabaja directamente con la síntesis del material y con la producción de los dispositivos para evitar fugas en tuberías. Este estudio contó con capturas de video, fotografías, cronometraje y toma de apuntes de las diferentes actividades que componen el proceso en cuestión. Por otra parte, con el objetivo de determinar problemáticas y debilidades, se analizaron los datos obtenidos mediante técnicas de análisis de procesos. Por último, se realizó una matriz DOFA con el objetivo de trazar estrategias para aportar al mejoramiento del proceso.

### **4.1 ASPECTOS GENERALES DEL LABORATORIO**

Los datos que se presentan a continuación están compilados en su mayoría en la página web del Grupo de Investigación en Polímeros [1], grupo encargado del Laboratorio de Polímeros UIS.

**4.1.1 Descripción.** El grupo de investigación en polímeros (GIP) de la Universidad Industrial de Santander, se encuentra ubicado en el Parque Tecnológico Guatiguará con sede en Piedecuesta, fue fundado en 1975, y cuenta con más de 40 años en el desarrollo de avances científicos. La dirección del GIP está a cargo del profesor Gustavo Emilio Ramírez. El objetivo del grupo de investigación es formar investigadores de alta calidad para dar soluciones reales al sector productivo. Actualmente el GIP se encuentra investigando y desarrollando materiales que sean más amigables con el medio ambiente, como los polímeros a partir de recursos naturales biodegradables. Entre los materiales que el GIP se encuentra desarrollando son:

- Poliuretanos
- Hidrogeles
- Oilgeles

**4.1.2 Organigrama del GIP.** A continuación, se presenta un organigrama de la línea administrativa a cargo del Laboratorio de polímeros (figura 4):

**Figura 4. Organigrama del GIP**



Fuente: [www.gipuis.com](http://www.gipuis.com) [1].

**4.1.3 Misión.** La misión del grupo de investigación en polímeros es formar, generar conocimiento y prestar servicios tecnológicos avanzados en el campo de la ciencia y la tecnología de los polímeros. Se propone formar ingenieros y científicos con capacidad para producir, caracterizar y buscar aplicaciones de materiales poliméricos y materiales compuestos. El grupo desarrolla investigación para generar conocimientos y desarrollar tecnologías en todas las áreas de interés de un material como es un polímero. El grupo de investigación se propone prestar servicios de análisis fisicoquímico de forma confiable y oportuna; contando con personal calificado que sigue los lineamientos de un sistema de gestión basado en la norma NTC ISO-IEC 17025 y con una infraestructura que permite brindar a sus clientes una atención con calidad y excelencia.

**4.1.4 Visión.** Para el año 2020, el grupo de investigación en polímeros se habrá consolidado con personas de alta calificación científica, tecnológica y humana; contará con una infraestructura de equipos moderna y suficiente para desarrollar sus funciones; habrá generado una red de prestación de servicios científicos y tecnológicos, y será referente de la comunidad científica, tecnológica e industrial, en el campo de los materiales, específicamente de los polímeros.

**4.1.5 Proyectos.** El grupo de investigación en polímeros tiene una larga trayectoria desarrollando nuevos materiales poliméricos a partir de materias primas biodegradables provenientes de la agroindustria como:

- Poliuretanos
- Redes poliméricas tipo hidrogeles
- Oilgeles
- Redes poliméricas interpenetradas (IPN).

Entre las materias primas más utilizadas se encuentran:

- Aceite de ricino

- Glicerol
- Almidón de yuca
- Ácido cítrico
- Ácido oleico

## **4.2 MÉTODOS PARA LA OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN**

Con el objetivo de recolectar información y datos del proceso actual que ejecuta el laboratorio para la síntesis del poliuretano a partir de aceite de ricino y la producción del dispositivo para evitar fugas en tuberías, se realizaron dos actividades en el laboratorio GIP: un estudio de campo para recolectar información sobre el proceso y una entrevista con los investigadores a cargo.

**4.2.1 Estudio de campo.** El estudio de campo se realizó a través de una captura de video, cronometraje y fotografías a la ejecución del proceso de síntesis del poliuretano a partir de aceite de ricino y de la elaboración del dispositivo para evitar fugas en tuberías.

El proceso fue ejecutado por dos estudiantes de Ingeniería Química, investigadoras pertenecientes al laboratorio GIP con experiencia en esta tarea, en condiciones normales de temperatura y humedad. La composición del material en esa ocasión fue 60% aceite de ricino y 40% glicerol.

**4.2.2 Entrevista.** Se realizó una entrevista a dos estudiantes de Ingeniería Química, investigadoras pertenecientes al laboratorio GIP, que se encuentran trabajando con este material como parte de su tesis de pregrado, para la elaboración de un kit para la reparación de tuberías de la industria del petróleo. El objetivo fue identificar debilidades en el proceso, inconvenientes encontrados en su ejecución, problemáticas con los equipos y demás, todo desde la voz de las personas directamente relacionadas con el mismo.

En la entrevista se realizaron las siguientes preguntas:

- ¿Cuánto tiempo llevan realizando este proceso?
- ¿Qué inconvenientes han encontrado con las herramientas que usan para la síntesis del material?
- ¿Qué problemas han encontrado con las actividades que deben realizar durante la síntesis del material?
- ¿Qué problemas han encontrado con las herramientas para la fabricación de los dispositivos para evitar fugas en tuberías?
- ¿Qué problemas han encontrado con las actividades que deben realizar para la fabricación de dichos dispositivos?
- ¿Consideran que el proceso tiene problemas que afectan el desempeño de los dispositivos en las pruebas?
- ¿Han identificado problemas respecto al dispositivo para evitar fugas?  
¿Cuáles?

Cabe mencionar que la entrevista fue realizada mientras las investigadoras realizaban las actividades propias del proceso, haciendo más sencillo evidenciar las problemáticas a las cuales hacían referencia. La aplicación de algunas de estas preguntas fue innecesaria por la manera en que evolucionó la entrevista.

#### **4.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO**

El proceso para la síntesis y elaboración de productos con poliuretano a partir de aceite de ricino es ejecutado por tres investigadoras del Laboratorio de Polímeros GIP de la Universidad Industrial de Santander, dos de las cuales lo ejecutan con la finalidad de fabricar un kit de elementos para la reparación de tuberías a baja presión, entre ellos un dispositivo tipo tapón. Este proceso se subdivide en dos etapas: etapa de síntesis del material y etapa de elaboración del dispositivo.

**4.3.1 Etapa de síntesis del material.** La síntesis del poliuretano a base de aceite de ricino es la etapa inicial en la cual se elabora la materia prima para la elaboración del dispositivo para evitar fugas en tuberías. Este proceso cuenta con protocolo en el cual se especifica los aspectos químicos de esta etapa, entre ellos cantidades de cada componente y tiempos de reacción. Para su ejecución se necesitan dos investigadores y dados los amplios intervalos de tiempo químicamente necesarios entre diferentes actividades este investigador no permanece en el puesto de trabajo durante toda la ejecución del proceso.

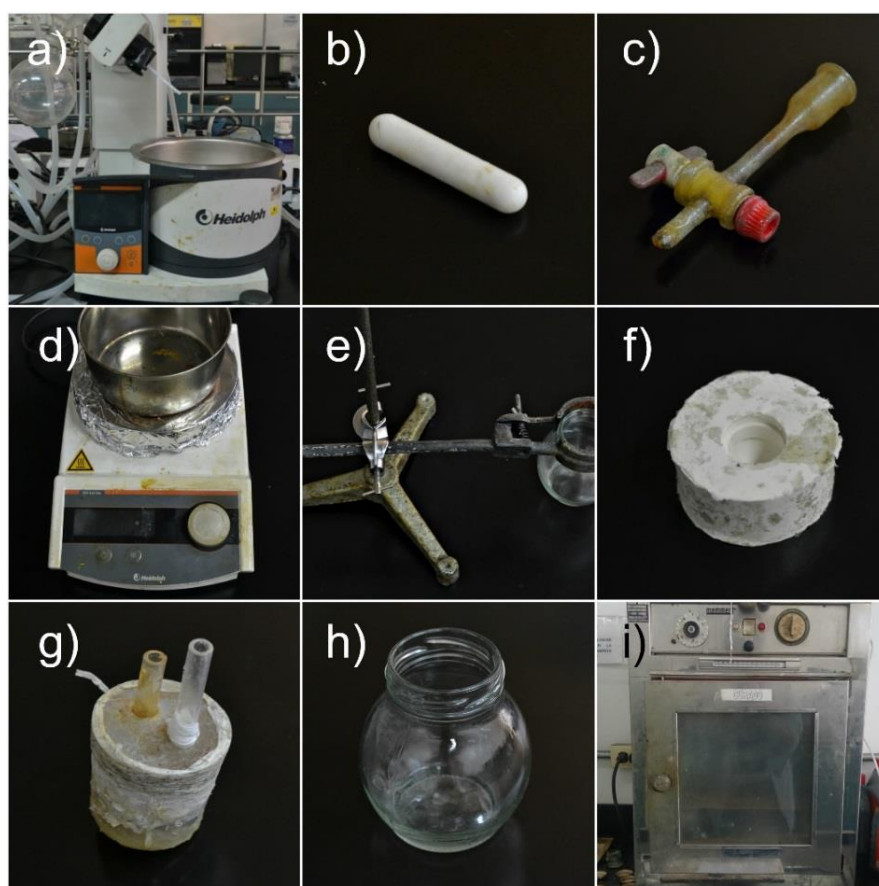
**4.3.2 Etapa de elaboración del dispositivo.** Esta etapa del proceso se ejecuta inmediatamente después de la etapa de síntesis del material. Para el correcto desarrollo de esta etapa dos investigadores son necesarios debido a que la solidificación del material comienza una vez se integra el MDI (diisocianato de difenilmetano) a la mezcla. Como resultado se obtiene un producto el cual se somete a diversas pruebas en un ambiente controlado con el objetivo de comprobar sus propiedades físicas en aplicaciones industriales.

**4.3.3 Listado de herramientas usadas por el proceso.** A continuación, se presenta la relación de herramientas utilizadas por los investigadores en el desarrollo del proceso (figura 5):

- Rotoevaporador (a)
- Agitador magnético (b)
- Bomba de vacío
- Llave de paso (c)
- Plancha de calentamiento con agitación magnética (d)
- Brazo de soporte (e)
- Manguera
- Jeringa

- Moldes en silicona (f)
- Tapón (g)
- Aguja
- Espátula
- Contenedor (h)
- Horno (i)

**Figura 5. Relación de herramientas usadas en el proceso.**



#### 4.4 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS

Para realizar el análisis de los datos obtenidos mediante el estudio de campo se usaron técnicas para el diagnóstico de procesos con los cuales se detalló el número de actividades contenidas en el proceso, el flujo que estas actividades tienen y los tiempos de ejecución de cada una. Con los resultados obtenidos de la entrevista se conoció la percepción de los investigadores con respecto al proceso, lo cual permitió identificar una serie de debilidades con base a lo expresado.

Estos dos análisis sirvieron para realizar una identificación de los puntos críticos del proceso y sus debilidades, para poder definir estrategias para su mejora.

**4.4.1 Lista de actividades y tareas del proceso.** Conforme al estudio de campo realizado, se elaboró una lista de actividades y tareas del proceso, la cual es una relación paso a paso de las acciones que conforman el proceso para la síntesis y elaboración de productos con poliuretano a base de aceite de ricino (tabla 1). El objetivo de su realización es exponer en una primera mirada las actividades que se realizan durante la ejecución del proceso por parte del personal encargado.

**Tabla 1. Listado de actividades del proceso.**

LISTA DE ACTIVIDADES DEL PROCESO	
<b>Nombre del proceso:</b> Proceso para la síntesis y elaboración de productos con poliuretano a base de aceite de ricino.	
<input checked="" type="checkbox"/> Etapas <input type="checkbox"/> Actividades <input checked="" type="checkbox"/> Tareas	
<b>Etapa de Síntesis de Poliuretano de Aceite de Ricino</b>	
1	Deshumidificar el aceite de ricino.
2	Deshumidificar el glicerol.
3	Mezclar los componentes.
3.1	Poner la barra de agitación dentro del contenedor
3.2	Medición de la cantidad de aceite de ricino
3.3	Vertido del aceite
3.4	Medición de la cantidad de glicerol

3.5	Vertido del glicerol
4	Cerrar el recipiente
4.1	Poner el tapón.
4.2	Poner la llave de paso.
4.3	Poner la manguera de extracción del aire.
5	Preparar la plancha de calentamiento con agitación magnética junto con el contenedor para el baño maría.
6	Realizar el montaje del recipiente en el soporte.
7	Ubicar el montaje en el contenedor para el baño maría.
8	Encender el motor de vacío.
9	Encender la plancha de calentamiento con agitación magnética.
10	Esperar que se mezclen los componentes.
11	Introducir los moldes al horno para calentamiento previo
12	Inyectar el Diisocianato de difenilmetano (MDI) por medio de la llave de paso en el tapón.
13	Esperar que mezclen los tres componentes
<b>Etapa de producción de los dispositivos para evitar fugas</b>	
14	Desmontar el recipiente
14.1	Soltar el soporte
14.2	Sacar el recipiente del baño María.
14.3	Soltar la bomba de vacío.
14.4	Extracción del tapón del recipiente
15	Vaciar el material en los moldes
16	Extraer las burbujas de aire de la pieza con una aguja
17	Quitar el material sobrante.
18	Esperar el curado de la pieza dentro del molde.
19	Extraer la pieza del molde
20	Esperar el curado de la pieza fuera del molde.
21	Realizar la limpieza del tapón y de la llave de paso.

De esta lista se puede concluir que el proceso se realiza de forma lineal, no tiene ramificaciones en su desarrollo. Se puede observar que hay actividades que requieren de conocimientos especializados, como puede ser la deshumidificación, y otras que se pueden considerar actividades más comunes como el vaciado en el molde, la extracción de las piezas y la limpieza.

**4.4.2 Mapa de actividades.** Cada proceso está conformado por actividades que a su vez están integradas por tareas más específicas, es de especial importancia que a partir de la tabla elaborada en el punto anterior se detallen las actividades del proceso junto con la serie de tareas de las cuales están compuestas. El mapa de actividades (tabla 2) expone aspectos de importancia para el análisis como los recursos necesarios, los controles establecidos y los tiempos de ejecución.

**Tabla 2. Mapa de actividades**

MAPA DE ACTIVIDADES					
Nombre del proceso: Proceso de síntesis y elaboración de productos a partir de poliuretano a base de aceite de ricino.					
Nombre Actividad	Responsables	Recursos Necesarios	Controles	Documentos Generados	Tareas Específicas
<b>Etapa de Síntesis de Poliuretano de Aceite de Ricino</b>					
Deshumidificación	Investigadores del GIP	Rotoevaporador Bomba de vacío.	Temperatura Presión Rpm		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Llevar lo componentes al puesto de trabajo.</li> <li>- Encender equipos.</li> <li>- Introducir el componente en el recipiente.</li> <li>- Definir las variables de control.</li> <li>- Activar el rotoevaporador.</li> <li>- Retirar el componente del recipiente.</li> <li>- Reenvasar el componente deshumidificado.</li> <li>- Guardar el componente en el secador.</li> </ul>
Preparación para el mezclado	Investigadores del GIP	Contenedor Mezclador Tapón Llave de paso Manguera de extracción. Jeringas.	Cantidad		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Introducir la barra de agitación al contenedor</li> <li>- Medir el aceite de ricino.</li> <li>- Verter el aceite de ricino en el contenedor.</li> <li>- Medir el glicerol.</li> <li>- Verter el glicerol en el contenedor.</li> <li>- Conectar la llave de paso.</li> <li>- Conectar la manguera de extracción de aire.</li> <li>- Cerrar el contenedor con el tapón.</li> </ul>
Montaje	Investigadores del GIP	Soporte Recipiente metálico	Angular		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ubicar el contenedor dentro de la pinza del soporte.</li> <li>- Prensar el contenedor con el tornillo de la pinza.</li> <li>- Ubicar el contenedor dentro del recipiente de aceite mineral.</li> <li>- Posicionar el soporte a 90° con la vertical.</li> <li>- prensar el tornillo que controla la altura</li> </ul>
Mezclado	Investigadores del GIP	Plancha de calentamiento con agitación magnética. Bomba de vacío.	Temperatura Presión Rpm		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definir las variables de control de la plancha de calentamiento.</li> <li>- Encender la bomba de vacío.</li> <li>- Activar la plancha de calentamiento.</li> </ul>

Calentamiento del molde	Investigadores del GIP	Molde Horno	Temperatura		- Introducir los moldes al horno. - Encender el horno. - Definir las variables de control.
Adición de MDI	Investigadores del GIP	Jeringa Llave de paso	Cantidad		- Medir la cantidad de MDI. - Verter el componente en la llave de paso. - Abrir la llave de paso manteniendo cerrada la parte superior. - Cerrar la llave de paso. - Esperar tiempo de mezclado.
Desmante del recipiente	Investigadores del GIP				- Quitar la manguera de extracción. - Recubrir la mano con un protector. - Soltar la pinza del contenedor. - Sacar el recipiente del baño maría. - Soltar el tapón.
<b>Etapas de producción de los dispositivos para evitar fugas.</b>					
Vaciado en el molde	Investigadores del GIP	Moldes Espátula Aguja			- Llevar los moldes del horno a la mesa de trabajo. - Llenar los moldes vaciando el material desde el contenedor. - Agitar suavemente los moldes. - Limpiar el exceso de material. - Extraer burbujas de aire.
Tiempo de solidificación	Investigadores del GIP	Moldes Horno			- Introducir los moldes al horno. - Esperar el tiempo indicado.
Desmolde	Investigadores del GIP	Moldes			- Retirar los moldes del horno. - Extraer el tapón del molde. - Verificar la calidad del tapón.
Tiempo de curado	Investigadores del GIP				- Esperar el tiempo indicado.
Limpieza (solo después de la primera reacción)	Investigadores del GIP	Brillo Limpiadores Espátula Agujas			- Quitar la llave de paso del tapón. - Desmontar las piezas de la llave de paso. - Limpiar las piezas. - Limpiar el conducto del tapón. - Limpiar el contorno del tapón.]

Como se observa, no se generan documentos que contengan información de los controles que se presentan en las actividades, el único registro se realiza externo del proceso y es un requerimiento del laboratorio para el uso de sus herramientas. En este análisis el proceso queda conformado por dos etapas, doce actividades de las cuales siete hacen parte de la etapa de síntesis del material y cinco conforman la etapa de producción de los dispositivos.

**4.4.3 Diagrama de mapa del proceso.** En el análisis del proceso se realizaron los diagramas de flujo del proceso (Anexo A). En estos se utilizaron cinco categorías para clasificar cada una de las tareas ofreciendo un panorama visual del flujo que tiene el proceso en cada una de sus actividades. Estas categorías son:

- Operación: una tarea u operación de trabajo.
- Inspección: Una revisión del producto.
- Transporte: Movimiento de un punto a otro.

- Demora: Retraso en la secuencia de operaciones.
- Acopio: Colocar o almacenar materiales en espera de otra operación [15].

En este diagrama se pueden identificar los tiempos específicos de cada una de las tareas, en donde priman las operaciones de trabajo, entre estas operaciones se identificaron seis tareas con demora, de estas tareas cuatro son justificadas por el protocolo de síntesis del material y por el curado del mismo; dos son demoras presentadas por el modo de funcionamiento del molde usado y pueden ser evitables.

**4.4.4 Gráfica de flujo del proceso.** Como continuación al análisis del proceso, se realizó una gráfica de flujo del mismo (tabla 3), este tiene como finalidad desglosar cada actividad en tareas indicando tiempos para cada una; debajo de cada una de estas actividades en la gráfica se realizaron anotaciones que sirven para integrar observaciones. Este diagrama es una herramienta clave para entender y mejorar el flujo del proceso. Después de su desarrollo se pueden combinar operaciones, eliminar otras o simplificarlas para mejorar la eficiencia general [15].

**Tabla 3. Gráfica de flujo del proceso actual.**

Nombre de la actividad: Deshumidificación						
Tarea	Operación	Transporte	Inspección	Demora	Acopio	Tiempo
Traer el glicerol al puesto de trabajo.		➡				0,83min
Encender el rotoevaporador, la bomba de vacío y el motor de extracción.	●					0,58min
Introducir el glicerol en el recipiente.	●					0,5min
Definir las variables de temperatura, presión y rpm	●					0,05min

Activar el rotoevaporador.	●		■	D		40min
Retirar el glicerol del recipiente.	●					0,41min
Reenvasar el glicerol deshumidificado.	●					0,16min
Guardar el glicerol en el secador.		➔			▼	1min
<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>43,53min</b>

La actividad de deshumidificación se realiza dos veces por proceso tanto para el aceite de ricino como para el glicerol. En el desarrollo de esta actividad no se observaron dificultades (figura 6).

**Figura 6. Control del rotoevaporador.**



<b>Nombre de la actividad:</b> Preparación para el mezclado						
<b>Tarea</b>	<b>Operación</b>	<b>Transporte</b>	<b>Inspección</b>	<b>Demora</b>	<b>Acopio</b>	<b>Tiempo</b>
Introducir la barra de agitación al contenedor	●					0,08min
Medir el aceite de ricino.	●		■			0,5min
Verter el aceite de ricino.	●					0,25min
Medir el glicerol.	●		■			0,41min
Verter el glicerol.	●					0,16min

Conectar la llave de paso al tapón	●					0,11min
Cerrar el contenedor con el tapón.	●					0,13min
Conectar la manguera de extracción de aire.	●					0,06min
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1,7min</b>

Durante esta actividad se observó que el tapón de silicona con que se sella el contenedor, al ser sometido a una presión de vacío de 60 mmHg, se incrusta generando una fricción entre las superficies que dificulta su extracción. Este tapón se encuentra en malas condiciones y con bastante sedimento de MDI (diisocianato de difenilmetano).

<b>Nombre de la actividad:</b> Montaje						
<b>Tarea</b>	<b>Operación</b>	<b>Transporte</b>	<b>Inspección</b>	<b>Demora</b>	<b>Acopio</b>	<b>Tiempo</b>
Ubicar el contenedor dentro de la pinza del soporte.	●					0,08min
Prensar el contenedor con el tornillo de la pinza.	●					0,18min
Ubicar el contenedor dentro del recipiente de aceite mineral.	●					0,08min
Posicionar el soporte a 90° con la vertical.	●		■			0,25min
Prensar el tornillo que controla la altura.	●					0,18min
<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,77min</b>

En la actividad de montaje se observó que el brazo de soporte no ofrece facilidad en su uso y es complicado de ajustar a una posición (se necesita ajustar tres tornillos mariposa). Se necesitan las dos manos libres para esta operación, en ocasiones es necesario que un segundo investigador intervenga (figura 7).

**Figura 7. Uso del soporte.**



<b>Nombre de la actividad:</b> Mezclado						
<b>Tarea</b>	<b>Operación</b>	<b>Transporte</b>	<b>Inspección</b>	<b>Demora</b>	<b>Acopio</b>	<b>Tiempo</b>
Definir las variables de control de la plancha de calentamiento.	●		■			0,16min
Encender la bomba de vacío.	●					0,05min
Activar la plancha de calentamiento.	●			■		40min
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>40,21min</b>

La plancha de calentamiento no se mantiene en la temperatura indicada, su medida varía constantemente, posiblemente por problemas de mantenimiento.

<b>Nombre de la actividad:</b> Calentamiento del molde						
<b>Tarea</b>	<b>Operación</b>	<b>Transporte</b>	<b>Inspección</b>	<b>Demora</b>	<b>Acopio</b>	<b>Tiempo</b>
Introducir los moldes al horno.	●					0,88min
Definir la variable de control de la temperatura.	●		■			10min
Encender el horno.	●					0,05min
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>10,93min</b>

En esta actividad no se observaron complicaciones.

Nombre del proceso: Adición de MDI (diisocianato de difenilmetano)						
Tarea	Operación	Transporte	Inspección	Demora	Acopio	Tiempo
Medir la cantidad de MDI.	●		■			0,33min
Verter el MDI en la llave de paso.	●					0,1min
Abrir la llave de paso manteniendo cerrada la parte superior.	●					0,16min
Cerrar la llave de paso.	●					0,2min
Esperar tiempo de mezclado				⌒		1,83min
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>2,62min</b>

La adición de MDI a la mezcla es una de las actividades que cuenta con mayor número de tareas-problema. Puesto que al abrir la llave de paso para introducir el componente este queda goteando y no se mezcla de manera uniforme (figura 8), las investigadoras indican que genera impurezas en el producto final. Cabe mencionar también que mientras la llave de paso está abierta es necesario tapanla en su parte superior con la palma de la mano a fin de que no se pierda el vacío al interior del contenedor.

**Figura 8. Goteo de MDI**



<b>Nombre de la actividad:</b> Desmante del recipiente						
<b>Tarea</b>	<b>Operación</b>	<b>Transporte</b>	<b>Inspección</b>	<b>Demora</b>	<b>Acopio</b>	<b>Tiempo</b>
Quitar la manguera de extracción.	●					0,08min
Recubrir la mano con un protector.	●					0,06min
Soltar la pinza del contenedor	●					0,03min
Sacar el recipiente del baño maría.	●					0,08min
Soltar el tapón.	●					0,05min
<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,3min</b>

Esta actividad presenta problemas al desmontar el soporte puesto que este, como se mencionó anteriormente, no ofrece facilidad para su manipulación. La tarea de soltar el tapón es igualmente complicada puesto que su ajuste tiene mucha presión y en esos momentos el contenedor está caliente, lo cual impide que se pueda sostener con firmeza.

<b>Nombre de la actividad:</b> Vaciado en el molde						
<b>Tarea</b>	<b>Operación</b>	<b>Transporte</b>	<b>Inspección</b>	<b>Demora</b>	<b>Acopio</b>	<b>Tiempo</b>
Llevar los moldes del horno a la mesa de trabajo.		➡				0,4min
Llenado de moldes.	●					0,21min
Agitar suavemente los moldes.	●			⏸		0,11min
Limpiar el exceso de material.	●		■			0,38min
Extraer burbujas de aire.	●		■			0,2min
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1,3min</b>

Otra de las actividades que presenta más complicaciones es la de vaciado del material en el molde puesto que sus tres últimas tareas son realizadas a modo de corrección por las limitaciones del molde. Adicionalmente, el llenado del molde se

complica puesto que el operario debe sostener el contenedor caliente en sus manos lo cual complica la manipulación de este.

<b>Nombre de la actividad:</b> Solidificación						
Tarea	Operación	Transporte	Inspección	Demora	Acopio	Tiempo
Introducir los moldes al horno	●					0,28min
Esperar el tiempo indicado para la solidificación del material	●			D		45min
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>45min</b>

Esta actividad no presenta problemas en su desarrollo.

<b>Nombre de la actividad:</b> Desmolde						
Tarea	Operación	Transporte	Inspección	Demora	Acopio	Tiempo
Llevar los moldes del horno a la mesa de trabajo.		→				0,4min
Extraer el tapón del molde.	●			D		1,16min
Verificar la calidad del tapón.			■			0,16min
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1,32min</b>

El desmoldeo del dispositivo para evitar fugas (tapón) presenta complicaciones puesto que el molde, construido en una sola pieza, no facilita su extracción.

<b>Nombre de la actividad:</b> Curado						
Tarea	Operación	Transporte	Inspección	Demora	Acopio	Tiempo
Esperar el tiempo indicado para el curado del material.	●			D		14 días
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>14 días</b>

Esta actividad no presenta problemas en su desarrollo.

Nombre de la actividad: Limpieza						
Tarea	Operación	Transporte	Inspección	Demora	Acopio	Tiempo
Quitar la llave de paso del tapón.	●					0,01min
Desmontar las piezas de la llave de paso	●					0,23min
Limpiar las piezas.	●					10,66min
Limpiar el conducto del tapón.	●					4,23min
Limpiar el contorno del tapón.	●					2,1min
<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>17,23min</b>

En cuanto a lo observado en esta actividad se puede concluir que se invierte un tiempo considerable con respecto a otras tareas del proceso (10,66min) en la limpieza de las piezas que están en contacto con el poliuretano y con el MDI (contenedor, tapón del contenedor y llave de paso). Adicionalmente, las piezas de la llave tienen pequeños orificios y ángulos de difícil acceso en los cuales se forma sedimento que afecta gradualmente el correcto funcionamiento de las herramientas (figura 9).

**Figura 9. Limpieza de las piezas.**



**4.4.5 Análisis de la entrevista.** Conforme a la entrevista realizada a las investigadoras a cargo del proceso en el Laboratorio de Polímeros GIP, se identificó una serie de problemáticas que, según su percepción, afectan el desarrollo del proceso. A continuación, se muestra una lista detallada de las necesidades expresadas:

- Deben mejorarse las condiciones de los elementos involucrados en la actividad de montaje (brazo de soporte, tapón del contenedor, llave de paso).
- El brazo de soporte debe ser más fácil de usar y de ajustar.
- Sería bueno que la bomba de vacío no variara la presión durante el proceso de mezclado.
- Debe mejorarse el molde usado para que no haya variaciones en las dimensiones del tapón ni imperfecciones en el mismo.
- Sería bueno que el vertimiento del material en el molde se hiciera de manera más adecuada.
- Sería bueno que, en la etapa de vertimiento, el contenedor no entrara en contacto con las manos del investigador ya que está a altas temperaturas.
- Deberían eliminarse las tareas de agitar el molde y limpiar el exceso de material.

## **4.5 DEBILIDADES IDENTIFICADAS**

Conforme a las observaciones realizadas, los análisis de diagnóstico y las problemáticas expresadas por las investigadoras a cargo del proceso se listó una serie de debilidades identificadas.

### **4.5.1 Debilidades de la etapa de síntesis del material.**

- En la preparación para el mezclado, el montaje del tapón que cierra el contenedor es complicado por las condiciones en que este se encuentra, mientras estas se desarrollan los componentes se encuentran en condiciones ambientales no controladas.

- La limpieza del tapón y la llave de paso es bastante tediosa y consume más de quince minutos realizarla de manera correcta.
- El brazo de soporte complica la actividad de montaje porque su forma robusta dificulta su ubicación haciendo más probable que ocurran toques con las manos de las investigadoras desestabilizando la barra de agitación dentro del contenedor afectado así el mezclado. Adicionalmente, tiene tres sistemas de ajuste que ocupan las manos del investigador y en ocasiones es necesario un segundo investigador que intervenga en el proceso.
- En cuanto a la adición del MDI al contenedor, la llave de paso no permite que este componente fluya completamente y se integre a la solución generando un goteo que produce impurezas.
- Al igual que en la preparación para el mezclado, el desmonte del recipiente del brazo de soporte complica la ejecución del proceso debido a que en esta actividad interviene de nuevo el brazo de soporte y el tapón los cuales, por sus características funcionales, implican que las manos de las investigadoras estén en contacto con el contenedor, este se encuentra a una temperatura aproximada de 60°C por la acción de la plancha de calentamiento. Adicionalmente, es importante tener en cuenta que el material debe verterse en los moldes con la mayor prontitud posible puesto que su solidificación comienza apenas se detiene el agitador.

#### **4.5.2 Debilidades de la etapa de elaboración del dispositivo.**

- En el vertido del molde se encontraron tres tareas (agitar el molde, limpiar exceso y extraer burbujas de aire) que surgen en consecuencia del molde usado y que constituyen una demora para la ejecución de la actividad.
- Los moldes usados actualmente no conservan las dimensiones del producto y facilitan la aparición de imperfecciones en la pieza.
- La construcción del molde en una sola pieza dificulta la actividad de desmoldeo.

- El producto final tiene impurezas y burbujas.
- La actividad de limpieza consume más de quince minutos debido a las herramientas usadas y a las características de los reactivos.

#### **4.6 MATRIZ DOFA**

A partir de las observaciones adquiridas en la visita al laboratorio en conjunto con los datos arrojados por las diferentes técnicas de diagnóstico se elaboró una matriz DOFA (tabla 4) con el objetivo de condensar la situación actual del proceso y aportar posibles estrategias para su mejora.

##### **Debilidades**

- D1. Algunas de las herramientas usadas en el proceso presentan problemas de funcionamiento.
- D2. Falta en el mantenimiento de equipos.
- D3. Inconsistencias en la calidad del material.
- D4. No cuenta con el molde adecuado para el producto final.
- D5. Problemas identificados en el análisis de la ejecución del proceso.

##### **Oportunidades**

- O1. Demanda de nuevos productos.
- O2. Mayor apertura a productos con materia prima de bajo impacto ambiental.
- O3. Investigaciones alrededor del material.
- O4. Adquisición de nuevas herramientas por parte del laboratorio.
- O5. Diseño del proceso

##### **Fortalezas**

- F1. Experiencia en el desarrollo del proceso.
- F2. Pruebas de laboratorio constantes al producto desarrollado.

F3. Procedimientos químicos definidos.

F4. Equipamiento especializado.

### **Amenazas**

A1. Limitaciones en la adquisición de insumos.

A2. Limitaciones en el apoyo del laboratorio para continuar el desarrollo del proceso.

**Tabla 4. Matriz DOFA**

<b>Matriz DOFA</b>	<b>Oportunidades</b>	<b>Amenazas</b>
<b>Fortalezas</b>	<b>Estrategias FO</b> - Diversificar los productos desarrollados por el laboratorio. - Oferta de material para empresas de manufactura.	<b>Estrategias FA</b> Establecer controles a lo largo del proceso basados en la experiencia que se tiene en la producción y en el protocolo químico para el material.
<b>Debilidades</b>	<b>Estrategias DO</b> - Desarrollar una propuesta de mejoramiento al proceso de síntesis y elaboración de productos. -Diseñar soluciones objetuales que mejoren la efectividad del proceso.	<b>Estrategias DA</b> - Realizar mantenimiento constante a las herramientas. - Plantear proyecto a partir del desarrollo del material y de los productos que de ahí se obtienen.

De acuerdo a los objetivos de este proyecto, las acciones de mejora realizadas corresponden a las estrategias Debilidad-Oportunidad y Fortaleza-amenaza, estas contemplan la implementación de controles en la ejecución del proceso basados en la experiencia que se tiene en la ejecución del proceso, algunos parámetros que se pueden tener en cuenta son: la medida de cantidad para cada componente, la presión de vacío en el mezclado, la temperatura del rotoevaporador, de la plancha de calentamiento y del horno.

## **5. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO**

El objetivo de este capítulo es desarrollar una propuesta de mejoramiento del proceso para el desarrollo de productos a partir de poliuretano a base de aceite de ricino rescatando las fortalezas del proceso actual y solventando sus debilidades. Para esto se hizo uso la metodología de Rummler & Brache para el mejoramiento de procesos.

En el marco de la etapa de definición se establecieron los límites, puntos fuertes y requerimientos del proceso, junto con sus objetivos. La etapa de desarrollo se fundamentó en los análisis y diagnósticos realizados en el capítulo anterior donde se identificó el estado actual del proceso, adicionalmente, se establecieron los puntos críticos del proceso y se realizó una tabla de desconexiones por actividades. A partir de lo anterior, se construyó un mapa indicativo “Should” del proceso estableciendo los nuevos controles, las herramientas a desarrollar y la estrategia para su implementación. La etapa de Despliegue muestra el diseño de las propuestas objetuales, la ficha técnica de control y deja la implementación del proceso y su posterior sostenimiento para ser detallado en el capítulo de análisis comparativo del proceso de este proyecto.

### **5.1 DEFINICIÓN DEL PROCESO**

Se realizó una definición del proceso con el objetivo de centrar los esfuerzos hacia la solución de los aspectos críticos del mismo, para esto se establecieron sus límites, puntos fuertes, requerimientos y objetivos.

**5.1.1 Límites del proceso.** Como parte de la definición que hace del proceso se realizó una exploración de lo que se pueden considerar los límites a los cuales se encuentra sometido el proceso, estos límites, que se listan a continuación, están determinados por características tanto del proceso como del laboratorio.

- El proceso no contempla una producción en grandes cantidades ni del material ni de los dispositivos elaborados.
- El proceso se ejecuta para elaborar dispositivos tipo tapón para evitar fugas en tuberías, los cuales son sometidos a pruebas físicas en el laboratorio con el fin de comprobar su funcionamiento en aplicaciones industriales.
- El laboratorio no cuenta con un ambiente controlado de temperatura y humedad en el cual se pueda realizar la ejecución del proceso.
- El proceso es ejecutado por tres investigadoras pertenecientes al GIP, de estas dos son estudiantes de pregrado y una estudiante de maestría.
- Herramientas involucradas en el proceso, como la plancha de calentamiento o la bomba de presión, presentan fallas en su funcionamiento y están en espera de ser sometidas a mantenimiento.

**5.1.2 Puntos fuertes identificados en el desarrollo del proceso.** Con base en los análisis realizados al proceso actual se identificaron los siguientes puntos fuertes que ejercen una conexión positiva en la ejecución del mismo:

- La actividad de deshumidificación para el Glicerol y el Aceite de Ricino, materia prima del proceso, es una destilación simple mediante presión y temperatura que extrae el agua de los componentes.
- Durante la ejecución del proceso este no exige que el investigador permanezca en el puesto de trabajo durante los lapsos de tiempo más extensos presentados en el análisis del mismo (deshumidificación, mezclado,

solidificación, calentamiento del molde) por lo tanto se evita un posible detrimento de su salud ocasionado por el puesto de trabajo.

- Contar con un protocolo químico del proceso permite saber con precisión las cantidades de cada componente usados en la reacción y el tiempo de espera necesario para que esta suceda.
- La producción se realiza en pequeñas cantidades que permite un mayor control en cada actividad del proceso.

**5.1.3 Requerimientos del proceso.** A partir de las debilidades del proceso actual, las cuales fueron identificadas en el capítulo anterior, se levantó una serie de requerimientos que se deben cumplir para su mejoramiento.

- El proceso debe contar con un rotoevaporador, una plancha de calentamiento y una bomba de vacío en óptimas condiciones.
- Se debe contar con una tapa para el contenedor que reduzca el número de tareas en la cual está involucrada y facilite su limpieza.
- Se debe plantear un sistema de soporte que simplifique las tareas en la que este interviene.
- Se debe realizar una reducción de tareas en la actividad de montaje para disminuir su complejidad.
- Se debe contar con un molde que mantenga constante las dimensiones del producto y que permita un desmoldeo manteniendo la integridad estructural de la pieza.
- Se debe evitar que los investigadores tengan contacto directo con el contenedor después de la actividad de mezclado.
- Se deben plantear controles para las cantidades, los tiempos y las actividades realizadas para garantizar una ejecución controlada del proceso.

**5.1.4 Objetivos del diseño del proceso.** El establecimiento de unos objetivos claros hacia los cuales dirigir el proceso de mejoramiento fue fundamental para definir las propuestas, a continuación, se presenta una relación de los mismos:

- Reducir el número de tareas relacionadas con la preparación para el mezclado y el montaje del recipiente.
- Mejorar los tiempos de ejecución de las etapas del proceso.
- Establecer tareas de control durante el desarrollo del proceso.
- Integrar soluciones objetuales que reemplacen herramientas que conlleven desconexiones en el proceso.
- Mejorar la funcionalidad del molde a partir de un nuevo diseño del mismo.

## **5.2 DESARROLLO DEL PROCESO**

El desarrollo del proceso contiene los pasos realizados para cumplir con los requerimientos y objetivos definidos en el anterior numeral. Este desarrollo está fundamentado en el trabajo realizado en el capítulo Análisis del Estado Actual de este proyecto. Adicionalmente, se establecieron los puntos críticos del proceso y se realizó una tabla de desconexiones por actividades. Con esto se elaboró un mapa indicativo “Should” o “Debería ser” en donde se muestran las acciones de mejora a implementar en el proceso.

**5.2.1 Puntos críticos del proceso.** A continuación, se establecen los puntos en donde el proceso encuentra un nivel determinante para su ejecución y pueden afectar tanto la calidad del producto final como su correcto desarrollo (tabla 5). Estos puntos fueron definidos con base a los análisis realizados anteriormente en conjunto con los aspectos establecidos en la etapa de definición.

**Tabla 5. Puntos críticos**

Punto crítico	Dimensiones	Medidas	Cambios Requeridos
<b>Etapa de Síntesis de Poliuretano de Aceite de Ricino</b>			
Deshumidificación	- Temperatura - Presión - RPM	- 80°C - 60 mmHg - 70 RPM	No se han presupuestado cambios
	Notas: En los análisis realizados con anterioridad solo se identificaron unas pequeñas averías mecánicas en el rotoevaporador que pueden resolverse con un mantenimiento al equipo.		
Preparación para el Mezclado	- Cantidad	La cantidad del glicerol y el aceite de ricino varía según los porcentajes de composición.	- Cambio en el orden de las tareas. - Sustituir el tapón ya que presentan problemas de uso.
	Notas: Con el cambio de orden en las tareas se busca menor exposición de los compuestos al medio ambiente. Por otra parte, se busca sustituir el tapón y la llave de paso ya que su uso y limpieza afectan el proceso.		
Adición de MDI	- Cantidad	Determinada por los porcentajes de composición.	Se debe eliminar el goteo presentado por la llave de paso.
	Notas: La adición de este componente debe hacerse de manera inmediata, las herramientas que intervienen debe ser fáciles de limpiar ya que el MDI es fotosensible y suele endurecerse con rapidez.		
<b>Etapa de elaboración de los dispositivos para evitar fugas.</b>			
Vaciado en el molde	- velocidad de vaciado.	12,6 segundos por pieza.	- Eliminar las actividades de inspección innecesarias. - Evitar el contacto manual con el contenedor. - Sustituir el molde.
	Notas: Es necesario evitar que las investigadoras viertan el material sosteniendo con las manos el contenedor, con un nuevo molde se evitan las tareas de inspección y se corrigen problemas provenientes del diseño del molde anterior.		

**5.2.2 Desconexiones del proceso.** Adicionalmente a los puntos críticos, se identificaron una serie de tareas o condiciones que dificultan la ejecución fluida del proceso creando desconexiones al interior de las actividades nombradas a continuación (Tabla 6).

**Tabla 6. Desconexiones del proceso.**

Actividad	Desconexión
<b>Etapas de Síntesis de Poliuretano de Aceite de Ricino</b>	
Preparación para el mezclado	Las tareas de preparación del tapón generan una ruptura en la linealidad del proceso ya su ensamblaje es complicado y necesita rectificación en algunas ocasiones.
Montaje	Las tareas de montaje del soporte son una desconexión evidente ya que este, por su sistema de ajuste mediante tornillos mariposa y su forma de uso, entorpecen el desarrollo de la actividad.
Desmonte del recipiente	De igual forma que en la actividad de montaje el soporte es el que genera la desconexión. En este caso es más notable ya que el contenedor se encuentra aproximadamente a 60°C y el material ha comenzado a solidificarse.
<b>Etapas de elaboración de los dispositivos para evitar fugas.</b>	
Desmolde	El tiempo para la extracción del dispositivo se complica debido a la forma del molde y a las propiedades altamente adhesivas del material generando una desconexión casi al final del proceso. Adicionalmente, el dispositivo tiene burbujas y presenta sedimentos blancos en su interior.
Limpieza	Luego de la primera ejecución del proceso el tapón y la llave de paso consumen más de quince minutos en su limpieza y preparación.

**5.2.3 Mapa indicativo “Should”.** El mapa indicativo “Should” o “Debería ser” (Tabla 7), basado en el mapa de actividades del proceso, presenta la propuesta de mejoramiento desarrollada para la ejecución del proceso con base en las consideraciones propuestas en el desarrollo de este capítulo. Este mapa condensa en su interior las acciones de mejora propuestas para el proceso en sus dos etapas.

**Tabla 7. Mapa indicativo “Should”.**

MAPA “SHOULD” DE ACTIVIDADES					
Nombre del proceso: Proceso de síntesis y elaboración de productos a partir de poliuretano a base de aceite de ricino.					
Nombre Actividad	Responsables	Recursos Necesarios	Controles	Documentos Generados	Tareas Específicas
<b>Etapa de Síntesis de Poliuretano de Aceite de Ricino</b>					
Deshumidificación	Investigadores del GIP	-Rotoevaporador - Bomba de vacío. - Secador.	Temperatura Presión [Rpm]	Ficha de control del proceso.	- Llevar lo componentes al puesto de trabajo. - Encender equipos. - Introducir el componente en el recipiente. - Definir las variables de control. - Activar el rotoevaporador. - Retirar el componente del recipiente. - Reenvasar el componente deshumidificado. - Guardar el componente en el secador.
	Esta actividad no presenta mayores problemas en cuanto al desarrollo de las tareas, se sugiere hacer un mantenimiento al rotoevaporador y comenzar el proceso diligenciando una ficha de control para generar datos de retroalimentación el proceso.				
Preparación para el mezclado	Investigadores del GIP	- Contenedor con mango de sujeción. - Mezclador - Tapa para el mezclado -Manguera de extracción. - Jeringas.	Cantidad	Ficha de control del proceso.	- Introducir la barra de agitación al contenedor - Medir la cantidad de aceite de ricino. - introducir el aceite de ricino. - Medir la cantidad del glicerol. - introducir el glicerol. - Cerrar el contenedor con la tapa para mezclado. - Conectar la manguera de extracción de aire.
	Para esta actividad se propone el diseño de una propuesta objetual de una tapa para el contenedor del mezclado, a partir de esta propuesta se hace un cambio en el orden de las tareas para evitar que los componentes estén sometidos a las condiciones ambientales. Se mantiene la ficha de control para recopilar datos.				
Montaje	Investigadores del GIP	- Trípode - Recipiente.	Posición		- Ubicar el trípode sobre la plancha de calentamiento. - Ubicar el contenedor en el trípode.
	En cuanto al montaje se propone diseñar una propuesta objetual que elimine el soporte actual usado durante el mezclado, esta propuesta objetual debe apoyar también la actividad de vaciado en el molde eliminando la necesidad de sostener en las manos el contenedor caliente.				
Mezclado	Investigadores del GIP	- Plancha de calentamiento con agitación magnética. - Bomba de vacío.	Temperatura Presión [Rpm]	Ficha de control del proceso.	- Encender la bomba de vacío. - Definir las variables de control de la plancha de calentamiento. - Activar la plancha de calentamiento.
	Se propone el mantenimiento de las herramientas que intervienen en esta actividad. Adicionalmente se continúa con la ficha de control de proceso.				
Preparación del molde	Investigadores del GIP	- Molde - Horno	Temperatura	Ficha de control del proceso.	- Aplicar el líquido desmoldante al molde. - Introducir el molde al horno. - Definir las variables de control. - Encender el horno.
	En cuanto al molde es necesario realizar un nuevo diseño de este para hacerlo más adecuado para su función y para los requerimientos del laboratorio.				
Adición de MDI	Investigadores del GIP	- Jeringa. - Tapa para el mezclado.	Cantidad	Ficha de control del proceso.	- Medir la cantidad de MDI. - Ubicar la jeringa en la boquilla de la tapa para mezclado. - Abrir la compuerta. - Verter el MDI. - Cerrar la compuerta. - Esperar tiempo de mezclado.
	La propuesta objetual de la tapa del contenedor para el mezclado debe solventar el goteo del MDI reduciendo igualmente el número de tareas presente en la actividad.				
Desmonte del recipiente	Investigadores del GIP				- Sacar el recipiente del baño maría. - Quitar la manguera de extracción. - Soltar la tapa para mezclado.
	Otra actividad que se ve afectada por la propuesta objetual de un sistema de soporte más sencillo que el actual ya que simplifica las tareas, reduce su tiempo y evita el contacto de las manos con el contenedor caliente.				

Etapa de producción de los dispositivos para evitar fugas.					
Vaciado en el molde	Investigadores del GIP	Molde			- Llevar el molde del horno a la mesa de trabajo. - Llenar lentamente el molde.
Actividad altamente influenciada por la propuesta objetual del soporte y del molde.					
Tiempo de solidificación	Investigadores del GIP	Molde Horno			- Introducir el molde lleno en el horno. - Esperar el tiempo indicado.
Desmolde	Investigadores del GIP	Molde			- Retirar el molde del horno. - Extraer la pieza del molde. - Verificar la calidad de la pieza.
En cuenta al desmoldeo, la propuesta objetual de un nuevo molde cambia por completo la tarea de extracción haciéndola más adecuada para la integridad del tapón.					
Tiempo de curado	Investigadores del GIP	Molde			- Esperar el tiempo indicado.
Limpieza	Investigadores del GIP	Tela limpia			- Desmontar las piezas de la tapa del contenedor. - Limpiar las piezas con una tela seca.

En conclusión, se propuso el diseño de tres soluciones objetuales que incidirán en la ejecución del proceso: Una tapa para el contenedor de mezclado, un sistema de soporte y un molde para el dispositivo para evitar fugas. Su objetivo es dar respuesta a los requerimientos identificados, reducir tanto el número de tareas por actividad como su tiempo de ejecución y aportar a la resolución de las desconexiones del proceso. Adicionalmente, se planteó una ficha de control que mantendrá una base de información sobre la ejecución del progreso para su mejora continua y se sugirió un proceso de mantenimiento a las herramientas que intervienen en el desarrollo del proceso como la plancha de calentamiento y la bomba de vacío.

**5.2.4 Estrategia para la implementación.** Como estrategia para la implementación del nuevo proceso se diseñaron las nuevas propuestas objetuales teniendo en cuenta sus propios requerimientos con base en las particularidades propias del proceso, para comprobar el desempeño de estos objetos se construyeron modelos funcionales que fueron sometidos a pruebas en el laboratorio y se ejecutó la propuesta de mejoramiento desarrollada siguiendo el mapa indicativo “Should” con las investigadoras. Adicionalmente, se realizó el registro de las medidas de tiempo, cantidad y temperatura mediante la ficha de control propuesta.

### **5.3 DESPLIEGUE DEL PROCESO**

El despliegue del proceso contiene el desarrollo del diseño para la tapa del contenedor de mezclado y para el sistema de soporte, este sistema se subdividió en dos componentes: un soporte fijo y una abrazadera con mango para el contenedor. Adicionalmente, se elaboró la ficha de control con base en los controles y el tiempo de ejecución presentes en las actividades que componen el proceso.

**5.3.1 Metodología.** El proceso de diseño fue desarrollado conforme a la metodología propuesta por Gui Bonsiepe para la resolución de problemas. Esta metodología consta de tres fases: Estructuración del problema, Diseño o Proyección y Producción o fabricación; que a su vez se subdividen en múltiples etapas y actividades [16]. Para este proyecto solo se abordaron las dos primeras etapas ya que la fase de fabricación contempla ítems para producción seriada y evaluación de productos en el tiempo que no corresponde a las necesidades del GIP.

#### **5.3.2 Diseño de la tapa para el contenedor de mezclado.**

- **Planteamiento o estructuración del problema**

- Situación a analizar

Durante los análisis realizados al proceso para la síntesis y elaboración de productos con poliuretano a partir de aceite de ricino se detectaron desconexiones que afectan el desarrollo del proceso, entre ellas se encuentra el tapón con el que se sella el contenedor donde se realiza la reacción y la llave de paso con que se adiciona el MDI.

- Posible acción de diseño

Mediante una observación de la ejecución del proceso se identificaron problemas en la configuración formal y funcional tanto del tapón como de la

llave de paso, se sugirió un desarrollo de una solución objetual que procure el mejoramiento en la ejecución de las tareas y reduzca su tiempo.

- **Detección de necesidades**

Se detectó que una de las necesidades que presenta el desarrollo del proceso proviene del tapón de silicona, aunque presenta un sellado hermético la presión con la que este se ajusta dificulta su extracción lo cual afecta la actividad de desmonte del recipiente y por extensión la actividad de vaciado en el molde, dos actividades clave para la calidad del dispositivo para evitar fugas. Para la llave de paso fue necesario que se eliminara el goteo del MDI sobre la reacción y se mantuviera el vacío sin intervención del investigador. Una necesidad que se identificó para estas herramientas es que debían ser sencillas de limpiar puesto que consumía 15 minutos en esta actividad.

- **Definición del problema a resolver**

Se desarrolló una propuesta objetual para solventar los problemas generados en las actividades de preparación para el montaje, adición del MDI, desmonte del recipiente y limpieza, esto con el fin de mejorar la ejecución de las mismas.

- **Requerimientos**

A continuación, se presenta la tabla de requerimientos (tabla 8) con cada uno de los requerimientos establecidos para la propuesta objetual que se diseñó. Esta tabla es resultado de la identificación de necesidades y de los análisis realizados previamente a la ejecución del proceso.

**Tabla 8. Requerimientos para la tapa del contenedor.**

Requerimientos	Descripción
De uso	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Debe ser fácil de limpiar.</li> <li>2. Debe ser fácil de introducir y extraer del contenedor.</li> <li>3. Debe ser fácil de usar.</li> </ol>
Funcionales	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Debe mantener el vacío dentro del contenedor.</li> <li>2. Debe permitir introducir materia prima al contenedor sin perder el vacío.</li> <li>3. Debe soportar la temperatura con que se trabaja en la fase de mezclado.</li> <li>4. Debe soportar la presión de vacío que se genera en el contenedor durante el mezclado.</li> </ol>

Técnico-productivos	1. Su producción debe ofrecer un alto margen de precisión para que su sellado sea adecuado.
Formales	1. Debe tener una boquilla para conectar la manguera de la bomba de vacío. 2. Debe tener lenguaje de uso
Formal Expresivos	1. Debe tener un indicador que diferencie donde va la bomba de vacío. 2. Debe tener una marca que indique cuando la compuerta está abierta y cuando está cerrada.

- **Diseño de la propuesta**

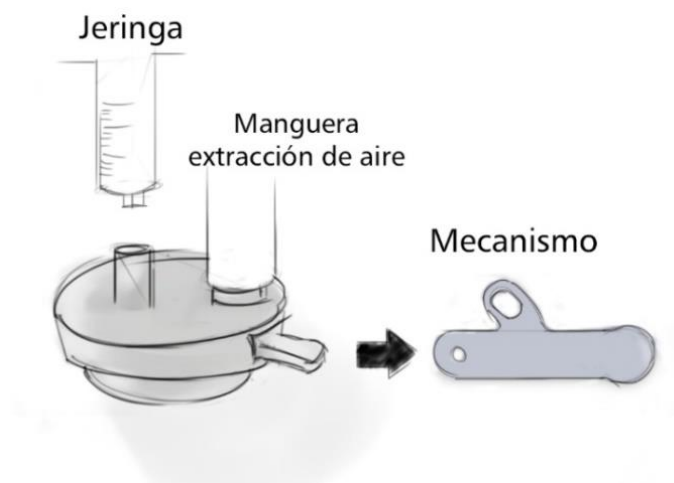
- Elaboración de alternativas

Se bocetaron diversas soluciones que cumplieran con los requerimientos planteados anteriormente, durante el proceso se fueron depurando concluyendo en las tres alternativas presentadas a continuación.

Alternativa #1

Consta de un sistema de compuerta con accionamiento tipo palanca para permitir el paso de los componentes sin necesidad de destapar el contenedor. Su sistema de sellado se realiza con el mismo cuerpo de la jeringa (figura 10).

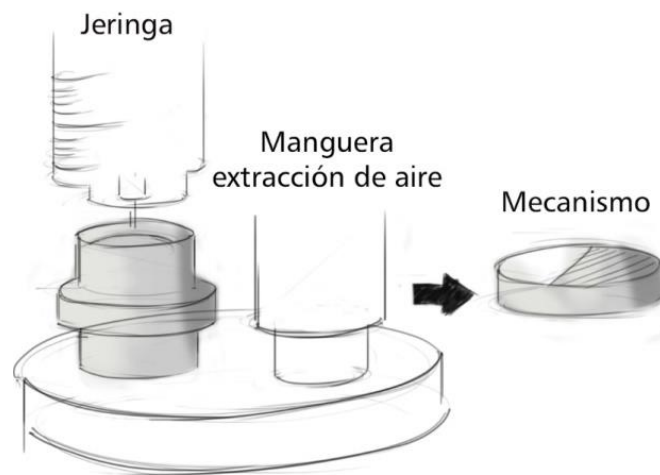
**Figura 10. Alternativa #1 tapa del contenedor.**



### Alternativa #2

La segunda alternativa cuenta con un sistema giratorio que se abre para dejar pasar los componentes a través suyo (figura 11). Permite ser acoplada a otras tapas.

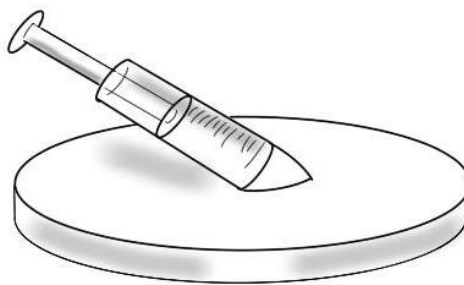
**Figura 11. Alternativa #2 tapa del contenedor.**



### Alternativa #3

La alternativa #3 prescinde del accionamiento manual de la compuerta, para este caso esa acción es realizada por la jeringa al introducirse en la boquilla empujando con su parte delantera la parte móvil de la compuerta (figura 12).

**Figura 12. Alternativa #3 tapa del contenedor.**



- Selección de alternativas

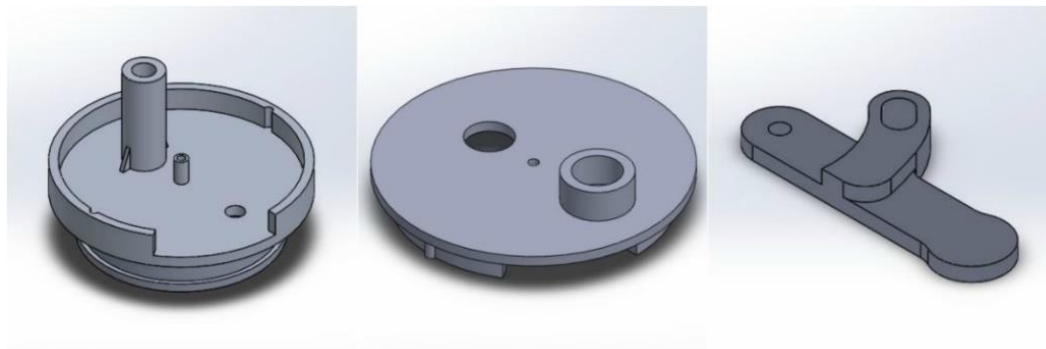
Con el objetivo de analizar las tres alternativas propuestas se realizó un QFD (Quality Function Deployment) (Anexo B) a partir de los requerimientos obtenidos de la voz del usuario y de los análisis realizados al proceso, junto con los requerimientos funcionales necesarios para un correcto cumplimiento de las tareas, que se espera, ejecute el objeto. Con base en sus resultados, se seleccionó una de las alternativas para el diseño de detalle.

Como se muestra en el QFD, se establecieron como requerimientos de alta importancia tanto la facilidad de introducir y extraer la tapa del contenedor como la capacidad de esta para contener el vacío en su interior. Para estos requerimientos las mejores calificaciones fueron obtenidas por la alternativa #1, la cual también logró puntuar con mayor número en el requerimiento técnico referente al sistema de sellado del contenedor el cual tenía un peso relativo de 21% en la cuantificación técnica. Por estas razones, la alternativa #1 fue seleccionada para ser desarrollada en detalle.

- Desarrollo de las alternativas seleccionadas

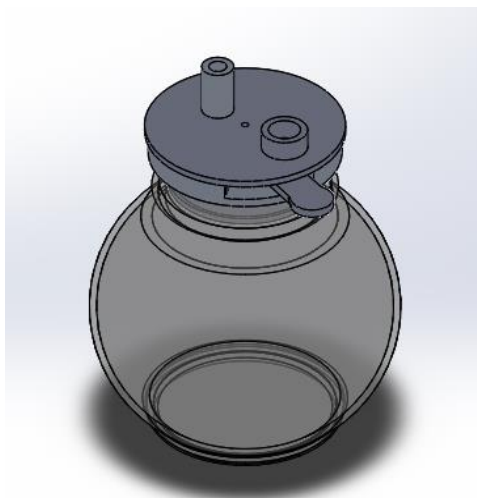
Para el desarrollo del diseño de detalle de la alternativa seleccionada se usó Solidworks 2016, con el cuál se definieron las dimensiones para cada una de las piezas que conforman el diseño, los detalles formales que van a tener impacto en la funcionalidad y el modo de funcionamiento en general. A continuación, la figura 13 presenta las tres piezas que componen el diseño final de la tapa para el contenedor.

**Figura 13. Piezas de la tapa para el contenedor.**



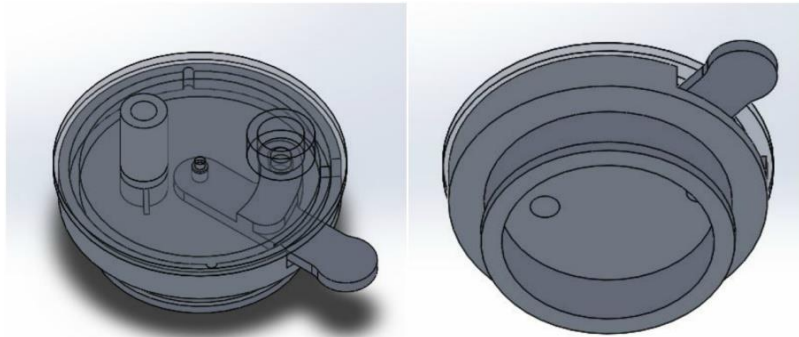
Las dimensiones se definieron a partir de dos elementos que hacen parte del proceso y con los cuales esta propuesta objetual interactúa: el contenedor y las jeringas. En el caso del contenedor este definió el diámetro del acople inferior de la tapa, las jeringas definieron el diámetro de la boquilla por el cual se introducen los componentes de la reacción (figura 14). El largo de la palanca de accionamiento fue definido sobre medidas ergonómicas para la sujeción tipo pinza con sobredimensionamiento para su uso con guantes de laboratorio [17].

**Figura 14. Acople de la tapa con el contenedor.**



Su funcionamiento fue definido con base a dos requerimientos funcionales principales: Debe mantener el vacío dentro del contenedor y debe permitir introducir materia prima al contenedor sin perder el vacío. Con respecto al primero se definió una estructura inferior con espacio para una banda sellante para mantener aislado el ambiente dentro del contenedor, las conexiones con el exterior después de sellado son el orificio para la manguera de vacío y la compuerta por la cual se introducen los componentes (figura 15). Con respecto a esto último, se integró un sistema de compuerta de paso, con un mando tipo interruptor, este se encuentra ubicado entre la tapa superior y la inferior. Para mantener el vacío cuando la compuerta se abre la boquilla se diseñó para que el recubrimiento de la punta de la jeringa quede ajustado a sus paredes y ella misma sea el sello hermético del sistema de vacío.

**Figura 15. Detalle de las conexiones de la tapa con el exterior.**



- Construcción de prototipos

La construcción del prototipo se realizó mediante impresión 3D en ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) (figura 16), el cual ofrece una tolerancia a la temperatura de hasta 60°C [18]; con pared sólida para soportar la presión de vacío al interior del contenedor. Las tres piezas se imprimieron de forma independiente para su ensamble manual. Se decidió por la impresión 3D ya que ofrece alta precisión en cuanto a las dimensiones de las piezas y ofrece

una resistencia adecuada para las condiciones de temperatura y esfuerzos a las cuales van a ser sometidas.

**Figura 16. Prototipo de la tapa mediante impresión 3D en ABS.**



○ Pruebas y observaciones

Con el objetivo de verificar el funcionamiento del dispositivo se sometió a pruebas de conservación de la presión de vacío y pruebas de adición de ingredientes mediante la compuerta en condiciones de vacío.

- Pruebas de conservación de vacío:

Tiempo: 1 hora

Presión: 60mmHg (presión a la que se realiza el proceso)

Montaje: Primero se ajusta la tapa al contenedor, luego se pone la manguera de la bomba de vacío en la boquilla dispuesta para tal fin.

Procedimiento: Luego de hacer la labor de montaje se procedió a encender la bomba de vacío, se verifica en el medidor de la bomba la presión de vacío presente al interior del contenedor, en 60mmHg se comienza a contabilizar una hora y se verifica si hay variaciones a lo largo del tiempo.

Resultados: al comenzar el procedimiento se percibieron entradas de aire en la compuerta que afectaban la consecución de la presión de vacío de

60mmHg. Para resolver este inconveniente se selló con cinta adhesiva aislante en diferentes lugares para verificar el origen puntual de la entrada de aire. Una vez detectada, se selló de manera temporal observando que la presión se estabilizó. El material no presentó fallas y el sello tanto en la boquilla de la bomba de vacío como en el acople al contenedor funcionaron de manera adecuada. El ajuste de la tapa con respecto al contenedor no se vio modificada por la presión de vacío aplicada durante la ejecución de la prueba, efecto que era evidente con el tapón de silicona, lo cual permitió que su extracción se realizase con un leve giro y sin esfuerzo manual.

Conclusiones: Para solventar las entradas de aire presentes en la compuerta se modificó la palanca de accionamiento con dos películas adhesivas a la medida, una en la parte inferior y una en la superior. Luego de estas modificaciones se realizó de nuevo la prueba con resultados favorables.

- Prueba de adición de componentes en condiciones de vacío.

Tiempo: 5 min por adición de ingrediente.

Presión: 60mmHg (presión a la que se realiza el proceso)

Montaje: Primero se ajusta la tapa al contenedor, luego se pone la manguera de la bomba de vacío en la boquilla dispuesta para tal fin, se preparan las jeringas sin aguja de 5ml, 20ml y 50ml. Se dispone de contenedor con aceite mineral para su adición.

Procedimiento: Luego de hacer la labor de montaje se procedió a encender la bomba de vacío, se verifica en el medidor de la bomba la presión de vacío presente al interior del contenedor en 60mmHg, se toma cada una de las jeringas y se les llena con aceite mineral para simular la viscosidad de los ingredientes verdaderos, se procede a poner la jeringa en la boquilla de la tapa y se abre la compuerta. Luego de ingresado el aceite se cierra la compuerta y se retira la jeringa.

Resultados: En la adición del aceite mineral se percibe que, una vez ajustada la jeringa en la boquilla, al abrir la compuerta la presión de vacío acciona el

émbolo sin necesidad de intervención por parte del usuario. El ingrediente entra en su totalidad sin problemas.

Conclusiones: Gracias a la acción de la presión de vacío y el sello que hace la boquilla de la tapa con las paredes de la punta de la jeringa se evita el accionamiento del usuario en esta tarea, por lo tanto, se puede eliminar de la lista de tareas a realizar.

- **Conclusiones del diseño de la tapa para el contenedor de mezclado.**

El primer prototipo de la tapa para el contenedor funcionó de acuerdo a los requerimientos establecidos generando un aporte a la solución de las problemáticas para la cual fue diseñada, mantiene la presión de vacío constante durante el procedimiento y permite integrar ingredientes a la mezcla sin perder presión. Adicionalmente, se evita la tarea de inyectar el componente gracias a que el sello entre boquilla y jeringa acciona el émbolo sin problemas.

### **5.3.3 Diseño del sistema de soporte.**

- **Planteamiento o estructuración del problema**

- Situación a analizar

El soporte usado durante el proceso de diseño es una estructura metálica con ajustes de tornillo con tuercas mariposa para su manipulación. Está conformado por una pinza con dos de estos tornillos, uno en cada extremo, y una base con un eje vertical por donde se desliza la pinza para graduar la altura deseada. Este soporte interviene en el proceso durante cuatro de las actividades que lo componen.

- Posible acción de diseño

A partir de la observación del proceso, y en conjunto con lo expresado por las investigadoras a cargo, se pudo detectar problemas funcionales y formales en la herramienta de soporte que dificultan el desarrollo de las actividades de montaje. Como un modo de ofrecer una solución para estos problemas se

propuso una intervención del diseño industrial mediante una solución objetual que posibilitara una ejecución más fluida de las actividades, una simplificación de la interacción con el elemento y una reducción de los tiempos que en él se invierten.

- **Detección de necesidades**

El soporte interviene en las actividades desde el montaje hasta el desmonte del recipiente. Para el montaje se detectaron necesidades funcionales con respecto a los mecanismos de ajuste ya que no ofrecen un accionamiento rápido y preciso, es dependiente de la habilidad del investigador y retrasa el comienzo de la actividad de mezclado, es necesario que el accionamiento sea más sencillo. En cuanto a las características formales, el soporte ocupa un área mínima de 300cm<sup>2</sup> en su base y una altura de 30cm a 40 cm dependiendo cuál de estos se encuentre disponible para su uso, lo que hace necesario una reducción de sus dimensiones.

- **Definición del problema a resolver**

Se desarrolló una propuesta objetual para solventar los problemas de ajuste y posicionamiento generados en el soporte en las actividades de montaje, mezclado y desmonte, esto con el fin de mejorar la ejecución de las mismas.

- **Requerimientos**

A continuación, se presenta la tabla de requerimientos (tabla 9) con una relación de los requerimientos establecidos para la propuesta objetual que se diseñó. Esta tabla es resultado de la identificación de necesidades y de los análisis realizados previamente de la ejecución del proceso.

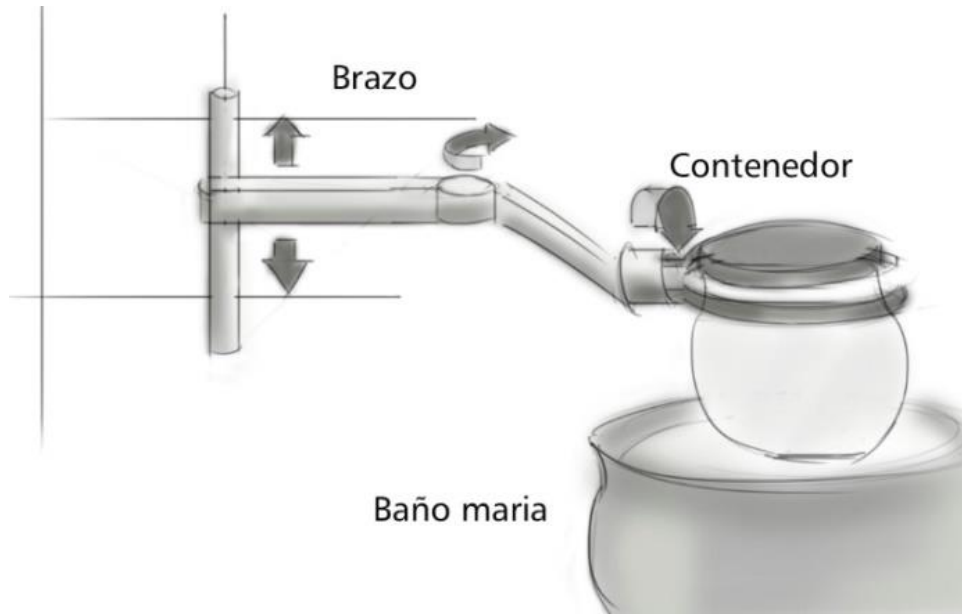
**Tabla 9. Requerimientos del sistema de soporte.**

Requerimientos	Descripción
De uso	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fácil de ajustar su posición.</li> <li>2. Fácil de instalar en el puesto de trabajo</li> <li>3. Debe ser fácil de mover.</li> </ol>
Funcionales	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El contenedor debe ser fácil de ajustar al soporte</li> <li>2. Debe ser capaz de sostener el peso del contenedor.</li> </ol>

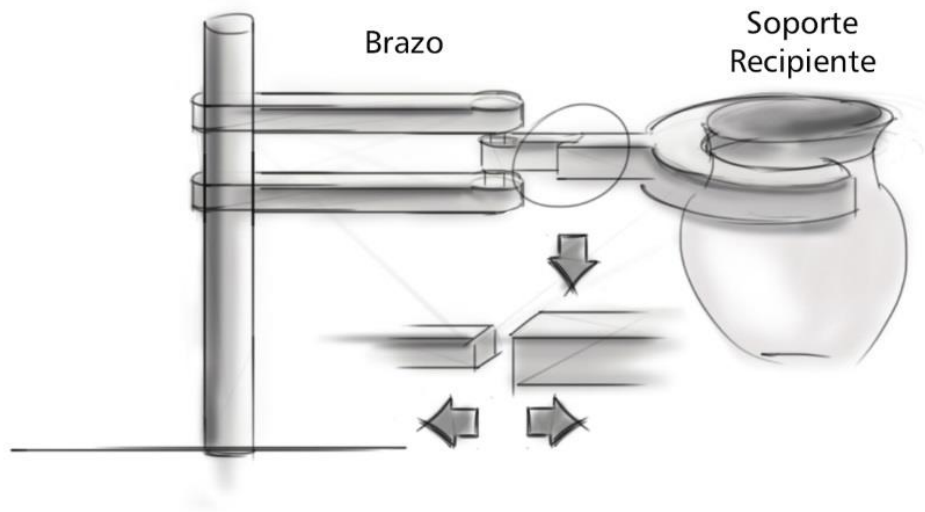
	<ol style="list-style-type: none"> <li>3. Debe facilitar la labor de vertido.</li> <li>4. Debe mantener la estabilidad del recipiente durante el mezclado.</li> </ol>
Técnico-productivos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Debe estar construido en un material que soporte la temperatura con que se trabaja en la fase de mezclado.</li> </ol>
Formales	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Debe ser poco voluminoso.</li> <li>2. Las partes que interactúan con el usuario deben tener formas ergonómicas.</li> </ol>
Formal Expresivos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Las formas del soporte deben indicar el uso que tienen.</li> </ol>

- **Diseño o proyectación.**
  - Elaboración de alternativas (figuras 17-19).

**Figura 17. Alternativa #1 sistema de soporte.**



**Figura 18. Alternativa #2 sistema de soporte.**



**Figura 19. Alternativa #3 sistema de soporte.**



- Selección de alternativas

De igual manera que el diseño anterior, se analizaron las tres alternativas propuestas mediante un QFD (Quality Function Deployment) (Anexo C) a partir de los requerimientos obtenidos a través de los usuarios y de los análisis realizados al proceso, junto con los requerimientos funcionales necesarios para un correcto cumplimiento de las tareas, que se espera, ejecute el objeto. Con base en sus resultados, se seleccionó una de las alternativas para el diseño de detalle.

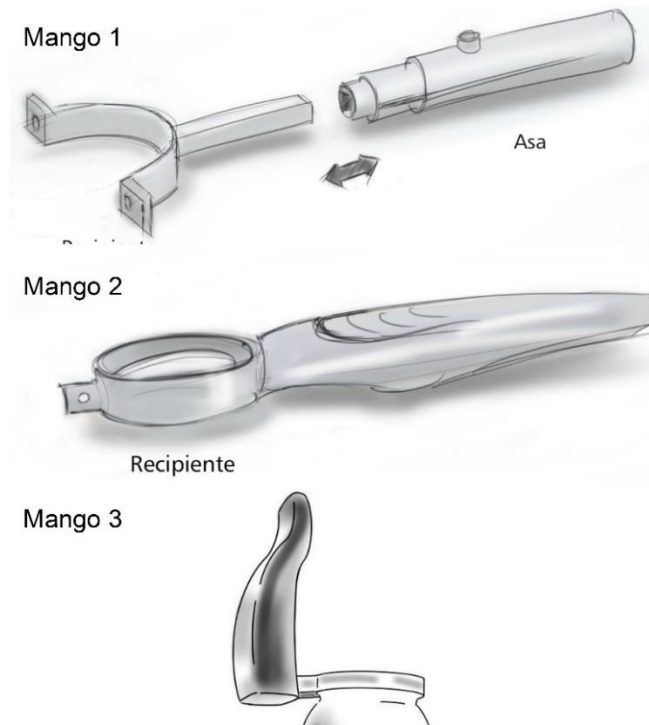
Como se muestra en el QFD, se establecieron como requerimientos de alta importancia la capacidad de sostener el contenedor y la estabilidad del soporte. Para estos requerimientos las mejores calificaciones fueron obtenidas por la alternativa #3. En cuanto a los requerimientos técnicos la alternativa # 3 logró puntuar con mayor número en aspectos como el mecanismo de ajuste y las dimensiones reducidas, ambos con un 19% de peso.

- Desarrollo de las alternativas seleccionadas

Conforme a la etapa de selección de las alternativas, el sistema de soporte quedó conformado por dos objetos: un trípode y un asa con una argolla prensil que sostiene el contenedor.

En cuando al diseño de detalle del mango, se plantearon tres alternativas de configuración formal con base en requerimientos funcionales tales como: debe ser fácil de mover, debe facilitar la labor de vertido y debe mantener la estabilidad del recipiente durante el mezclado. En la figura 20 se pueden ver las tres alternativas propuestas.

**Figura 20. Alternativas diseño del mango.**



La alternativa #1 se configuró pensando en evitar que el mango se mantenga en su puesto durante todo el proceso y busca eliminar la posibilidad de un choque que desestabilice el contenedor durante la actividad de mezclado. La alternativa #2 se presentó con una configuración de mango común, con una superficie llana en la parte inferior cerca al anillo de sujeción del contenedor para mantener la estabilidad mientras se encuentra sobre el trípode y con un accionamiento para el vertido similar a una cuchara. La alternativa #3 se configuró en el preconcepto del mango de una jarra y está enfocada en la actividad de vertido en los moldes.

Con el fin de seleccionar una de las alternativas, se realizó una prueba ergonómica con tres de las investigadoras que realizan el proceso. La selección de esta población se hizo con base al conocimiento que estas investigadoras tienen del proceso y sus dinámicas.

### Prueba ergonómica para la selección del mango:

A continuación, se presenta el protocolo formulado para la prueba ergonómica realizada con el objetivo de determinar qué mango era la más adecuada para las actividades de sujeción del contenedor y vertido del material.

Objetivo de la prueba: Determinar qué mango es el adecuado para las actividades de sujeción del contenedor y vertido del material en los moldes.

Hipótesis que se busca comprobar: La forma del mango influye en la percepción de funcionalidad del producto durante el desarrollo de dos actividades que hacen parte del procedimiento general.

### Variables

- Variable Independiente:

Forma del mango

Tratamientos n=3

T1: Mango 1

T2: Mango 2

T3: Mango 3

- Unidad Experimental

N= 3 usuarios (investigadoras).

- Variable Dependiente:

Cantidad de acciones realizadas

Percepción de funcionalidad y comodidad.

- Variables controladas

Entorno (Luz, Temperatura).

Postura (Bipedestación).

Modelo del soporte.

Contenedor.

Cantidad de líquido.

Actividades a realizar.

Guantes.

### Procedimiento

1. Explicación del propósito del estudio y de los dispositivos utilizados para llevar a cabo la prueba.
2. El participante se ubica en posición bipedestante frente al mesón del laboratorio en donde está ubicado el soporte y el contenedor con el mango definido (M1, M2 o M3).
3. Inicio de la prueba. Simultáneamente, se realiza la grabación de vídeo de la actividad.
4. Repetición del paso anterior con el segundo y tercer tratamiento especificado para la prueba.
5. Toma de datos: reporte de los usuarios.

Aleatorización de la prueba (Tabla 10).

**Tabla 10. Aleatorización de la prueba.**

	MANGO		
<b>Usuario 1</b>	M1	M2	M3
<b>Usuario 2</b>	M2	M3	M1
<b>Usuario 3</b>	M3	M1	M2

### Toma de datos

1. Observaciones por parte del diseñador.
2. VAS de comodidad M1, M2 y M3.
3. ¿Cuál mango considera el más adecuado para el procedimiento?

### Formato de recolección de datos

Se elaboró un formato para que las investigadoras diligenciaran durante la prueba (Anexo D).

### Resultados Usuario 1

Observaciones: Con el Mango 1 la investigadora se tomó un tiempo para comprender su funcionamiento, expresa que no era claro su modo de accionamiento. El Mango 2 fue relacionado con una cuchara para el vertido del material, expresa que su forma no es innovadora como la opción anterior pero que se siente más estable y funcional. Con respecto al Mango 3 comenta que es posible que su forma hacia arriba pueda entorpecer la actividad de adición de los componentes y con la ubicación de la manguera de la bomba de vacío.

Análisis VAS: Se recopilaron datos mediante una escala de VAS para cada uno de los mangos. Los resultados fueron los siguientes:

Mango 1: 7,5 cm en la escala.

Mango 2: 9cm en la escala.

Mango 3: 2,6cm en la escala.

Pregunta al usuario: La investigadora considera más adecuado el Mango 2 porque es más estable.

### Resultado Usuario 2

Observaciones: Para el Mango 2 se observó que no hubo dudas sobre su funcionamiento, las acciones se realizaron de manera rápida y sin problemas. Sobre el Mango 3 expresó que no consideraba funcional su ubicación y que se siente inestable para el vertido. Al respecto del Mango 1 expresó que era una solución innovadora pero que necesitaba un tiempo para acostumbrarse a su uso.

Análisis VAS: Los resultados fueron los siguientes:

Mango 1: 5 cm en la escala.

Mango 2: 6,8 cm en la escala.

Mango 3: 0 cm en la escala.

Pregunta al usuario:

La investigadora considera que el Mango 2 es más cómodo y adecuado para verter el poliuretano y para retirar el contenedor después del mezclado.

Resultado Usuario 3

Observaciones: Con respecto al Mango 3 expresa que, aunque la idea es buena, le preocupa que el mango interfiera con las actividades que se realizan en la parte superior del contenedor. El Mango 1 se consideró interesante pero un poco complejo de usar. Expresó sobre el Mango 2 que le parece un poco pequeño e incómodo y sugiere que se cambie un poco las dimensiones. En el desarrollo de la prueba cuando se accionó de manera incorrecta el Mango 1 en repetidas ocasiones.

Análisis VAS: Los resultados fueron los siguientes:

Mango 1: 4 cm en la escala.

Mango 2: 6,1 cm en la escala.

Mango 3: 1,2 cm en la escala.

Pregunta al usuario:

La investigadora considera que la forma del Mango 1 es mejor, pero que para la ejecución de las actividades es más adecuado el Mango 2 con algunas modificaciones en las dimensiones.

Resultado generales

Con respecto a las observaciones, se encontró que para el correcto cumplimiento de las actividades de montaje y vertido el mango que mejor se desempeña es el Mango 2. El Mango 1 se percibe como innovador, pero tiene una curva de aprendizaje que las investigadoras no encuentran adecuada para el desarrollo del proceso. El Mango 3 no fue percibido como adecuado en las pruebas por su posición con respecto al montaje impidiendo el correcto desarrollo de las actividades.

El análisis de la escala de VAS arrojó como resultado lo siguiente:

Mango 1: 5,5

Mango 2: 7,3

Mango 3: 1,2

Se concluye entonces, junto a las respuestas a la pregunta formulada, que el Mango 2 es el más adecuado para continuar con su desarrollo de detalle.

Con los resultados de la prueba ergonómica se continuó con el desarrollo del diseño de detalle para la alternativa seleccionada usando Solidworks 2016, con el cuál se definieron las dimensiones para cada una de las piezas que conforman el diseño, en el caso del mango se tomaron en cuenta medidas ergonómicas y para el trípode se tuvo en cuenta las dimensiones de la plancha de calentamiento. A continuación, la figura 21 presenta las piezas que componen el diseño del sistema de soporte.

**Figura 21. Diseño del sistema de soporte.**



La interacción de las dos partes conforma el sistema de soporte y el acople con el contenedor se ve en la figura 22.

**Figura 22. Acople sistema de soporte y contenedor.**



Para el diseño del trípode se tuvo en cuenta la altura del conjunto entre la plancha de calentamiento y el recipiente con aceite mineral puesto que el contenedor de mezclado debe quedar sumergido bajo los siguientes parámetros: Primero, el aceite debe estar a igual o más altura que los componentes presentes en el contenedor; segundo, el contenedor debe quedar a una altura menor de un centímetro de la plancha de calentamiento para que la barra de agitación funcione correctamente. Para el diseño del mango se tuvo en cuenta que este es un agarre de fuerza que conlleva tareas de precisión como el vertido del material en los moldes, también fue importante el hecho que este mango va a ser manipulado por los investigadores un porcentaje de tiempo mínimo con respecto al tiempo de ejecución del proceso.

- Construcción de prototipos

El sistema de soporte está conformado por dos piezas: un trípode elaborado para las dimensiones específicas requeridas en el laboratorio y un mango con un anillo prensil que sostiene el contenedor (figura 23). Para la construcción de la primera pieza se optó por el acero y los procesos de metalistería con un cromado para evitar que los componentes usados en el laboratorio los desgasten con facilidad. En cuanto a la construcción del mango se realizó

mediante impresión 3D en material ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) y el anillo prensil en lámina de acero mediante producción tradicional.

**Figura 23. Fotografía del trípode y el mango.**



- Observaciones

La ejecución de una prueba ergonómica permitió dirigir el desarrollo del sistema de soporte hacia una solución más estable y adecuada para su uso durante la ejecución de las actividades desde la perspectiva de los investigadores del GIP. El diseño del trípode, aunque resultó más sencillo y con una estructura formal tradicional, cumple con el mejoramiento de la estabilidad en la actividad de mezclado y ocupa un espacio más reducido que el soporte anterior haciendo innecesaria la tarea de moverlo de su puesto.

- **Conclusiones del diseño de la tapa para el contenedor de mezclado.**

La solución objetual que se presentó interviene no solo como soporte sino como una herramienta que evita el contacto de directo con el contenedor en el momento de desmonte y vertido del material en los moldes.

**5.3.4 Ficha de control del proceso.** Con el fin de promover el mejoramiento continuo del proceso, se creó una ficha de control (Anexo E) en donde se compilan datos como: la persona que ejecuta el proceso, la relación porcentual de componentes usada, las cantidades de cada componente, una lista con las actividades a realizar del proceso junto con sus variables de control, y un espacio para las anotaciones para cada actividad.

## **5.4 CONCLUSIONES**

Definir la metodología del Rummler & Brache como guía para el desarrollo de esta etapa fue un acierto ya que ofreció, de forma sencilla pero acertada, un camino hacia la definición del proceso para el desarrollo de productos a partir de poliuretano a base de aceite de ricino.

Al realizar un trabajo previo definiendo aspectos diagnósticos relevantes para el proceso, como sus puntos críticos y desconexiones, se abrió la posibilidad de proponer acciones de mejora con un mayor impacto, aportando de manera transversal al flujo de actividades y beneficiando la calidad de los productos finales del proceso.

La intervención del Diseño Industrial, como se había detectado en la DOFA del capítulo anterior, fue una oportunidad que aportó a la solución de debilidades identificadas que de otra forma podrían haber acarreado mayores costos para el GIP.

## 6. DISEÑO DEL DISPOSITIVO PARA EVITAR FUGAS

En este capítulo se desarrolló la etapa de diseño de un dispositivo para evitar fugas en tuberías usadas en la industria del petróleo. La metodología propuesta por Gui Bonsiepe fue la escogida para su desarrollo a través de dos de las tres etapas que la conforman: Estructuración del problema, Diseño o Proyección y Producción o fabricación. Esta última se omite ya que, aunque el dispositivo se elaboró como parte del desarrollo del proceso, la etapa de diseño contempla un prototipo funcional, por lo tanto, no va a ir a línea de producción ni incluye la evaluación de los productos en el tiempo.

### 6.1 PLANTEAMIENTO O ESTRUCTURACIÓN DEL PROBLEMA

**6.1.1 Situación a analizar.** El GIP se encuentra elaborando, dentro del marco de un proyecto de pregrado de dos estudiantes de Ingeniería Química, un kit para la reparación de tuberías de baja presión conformado por tres piezas: Un dispositivo tipo tapón, un parche y una banda de recubrimiento. Estas piezas fueron desarrolladas para reparaciones temporales de fallas o fracturas en la estructura de la tubería evitando posibles fugas y derramamientos. A manera de caso estudio, se eligió la elaboración del tapón como elemento de análisis y desarrollo del proceso (figura 24).

**Figura 24. Dispositivo tipo tapón.**



**6.1.2 Posible acción de diseño.** Se propone la elaboración de un nuevo diseño para el dispositivo, usando herramientas de modelado 3D con el objetivo de seleccionar las alternativas mediante un análisis estático del comportamiento del tapón simulando las condiciones a las cuales va a ser sometido.

**6.1.3 Detección de necesidades.** Dentro del estudio de campo y entrevistas a las investigadoras encargadas de la ejecución del proceso se pudo evidenciar debilidades en la síntesis del material y en la elaboración del dispositivo que repercutían en la calidad final del mismo. Algunas irregularidades observadas en las piezas fueron: variaciones en las dimensiones de la pieza, presencia de impurezas al interior de la pieza, presencia de burbujas de aire e imperfecciones estructurales.

**6.1.4 Definición del problema a resolver.** Se desarrolló una propuesta del dispositivo para evitar fugas tuberías de baja presión en conjunto con un nuevo molde para su elaboración. Su objetivo es solventar las debilidades identificadas en las actividades relacionadas y en la calidad final del producto.

**6.1.5 Requerimientos.** A continuación, se presenta un listado de requerimientos para el diseño del tapón basado en el análisis de las necesidades observadas tanto en el proceso de síntesis del material como en la elaboración del mismo, adicionalmente se tiene en cuenta datos proporcionados por las investigadoras sobre el uso de este en la industria (tabla 11).

**Tabla 11. Requerimientos del dispositivo para evitar fugas.**

Requerimientos	Descripción
De uso	1. Debe ser fácil de manipular por un operario con guantes. 2. Debe ser fácil de introducir en la tubería.
Funcional	1. Debe evitar fugas en la tubería a una presión mínima de 50psi 2. Debe soportar una temperatura constante de 90°C 3. Debe mantener su integridad formal al ser incrustado en un 90%.
Técnico-productivo	1. Debe ser elaborado en Poliuretano a base de aceite de ricino. 2. Debe ser elaborado por vaciado manual en molde.
Formales	1. Debe tener una pestaña que dificulte la expulsión del tapón. 2. El diámetro de la parte a incrustar del dispositivo debe ser de 1.56 cm

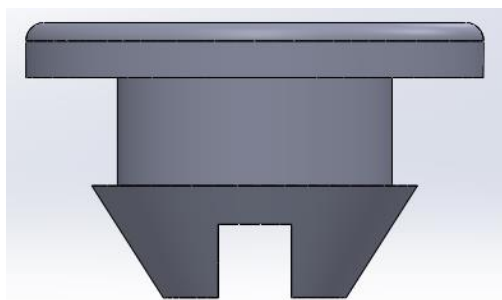
## 6.2 DISEÑO DEL DISPOSITIVO

**6.2.1 Elaboración de alternativas.** Las alternativas fueron desarrolladas implementando conceptos mecánicos de acción de la fuerza. Adicionalmente, se tuvo en cuenta que la forma propuesta genere fricción con las paredes del agujero de la tubería.

### Alternativa #1

Se desarrolló buscando que la fuerza que desarrolla la presión del fluido al interior de la tubería genere unas fuerzas en la apertura inferior de la forma y la deformación producida por estas se traduzca en un mayor ajuste del cilindro del dispositivo contra las paredes del tubo (figura 25).

**Figura 25. Alternativa #1 tapón.**



### Alternativa #2

El diseño de esta alternativa fue desarrollado con el objetivo de tener un mejor acople con la forma del tubo (figura 26).

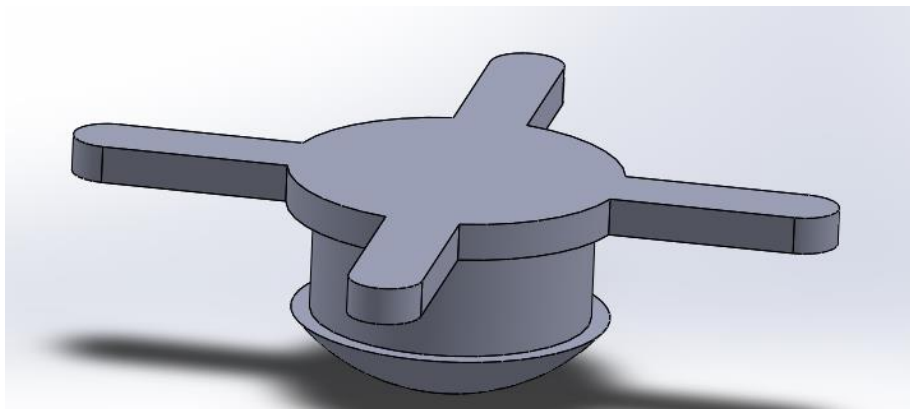
**Figura 26. Alternativa #2 tapón.**



### Alternativa #3

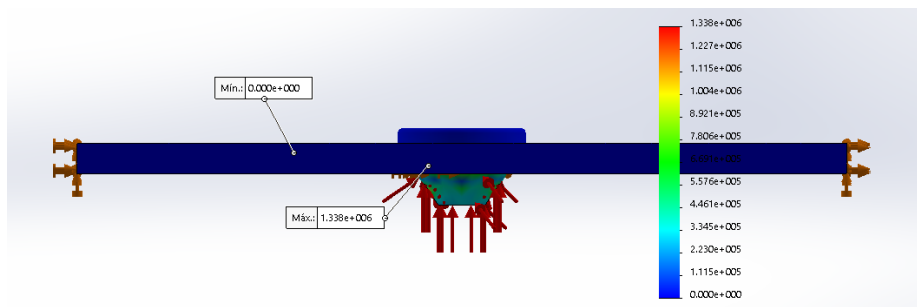
El dispositivo tapón de la alternativa #3 se basó en la idea de tener mayor área de contacto en la parte superior y que esta se encuentre adherida a la superficie del tubo mediante pegamento (figura 27).

**Figura 27. Alternativa #3 tapón.**

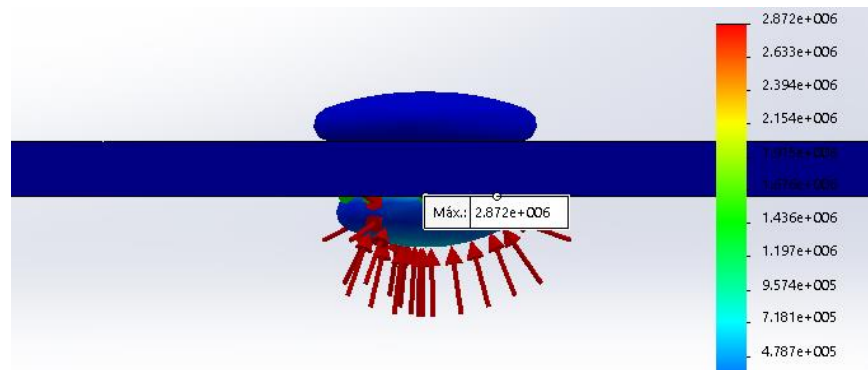


**6.2.2 Selección de alternativas.** Para la selección de la alternativa ganadora se decidió realizar un análisis estático de las alternativas, para esta prueba se utilizó el software SolidWorks 2016, el material que definido para el estudio fue poliuretano debido a sus similitudes mecánicas con el material elaborado por el GIP, la fuerza aplicada para el análisis de la prueba fue una carga distribuida de 100 psi (figura 28, 29 y 30).

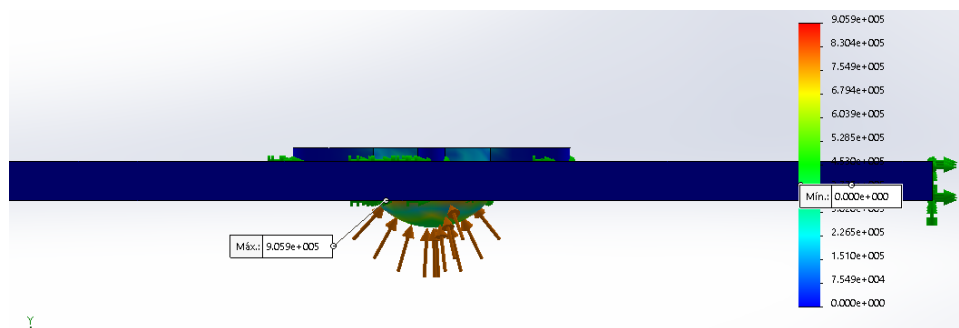
**Figura 28. Análisis estático alternativa #1.**



**Figura 29. Análisis estático alternativa #2.**



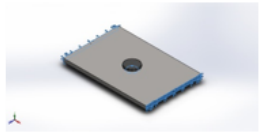
**Figura 30. Análisis estático alternativa #3.**



El parámetro que se tuvo en cuenta a evaluar fue la fuerza radial que actúa sobre el tapón, la fuerza radial para el estudio de los tres tapones es la que se encuentran en los ejes “x” y “z”, estas fuerzas son las que se encargan de hacer que el tapón se comprima o expanda radialmente, condición importante para su función, la fuerza en “y” es la fuerza que expulsa el tapón hacia afuera del tubo, a continuación se presenta un informe generado por SolidWorks, para la selección de la alternativa se tendrá en cuenta la dirección de la fuerza en “x” y “z”. Para la alternativa #1 las fuerzas resultantes en  $x= 4.76e-007N$  y en  $z= 0.0098N$ , el signo negativo indica la dirección de la fuerza (figura 31).

**Figura 31. Fuerzas resultantes alternativa #1.**

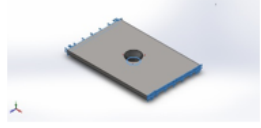
Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción			
Fijo-1		Entidades: 3 cara(s) Tipo: Geometría fija			
<u>Fuerzas resultantes</u>					
Componentes	X	Y	Z	Resultante	
Fuerza de reacción(N)	-4.76837e-007	-171.57	0.00981665	171.57	
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0	

Para la alternativa #2 las fuerzas resultantes en  $x= 0.025N$  y en  $z= 0.065N$  el signo negativo indica la dirección de la fuerza (figura 32).

**Figura 32. Fuerzas resultantes alternativa #2.**

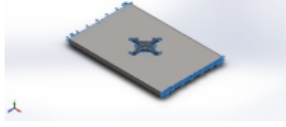
Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 arista(s), 2 cara(s) Tipo: Geometría fija		
<b>Fuerzas resultantes</b>				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0.0256354	-179.171	-0.0658191	179.171
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Para la alternativa #3 las fuerzas resultantes en  $x=108.76e-007N$  y en el eje  $Z = 0.0098N$  el signo negativo indica la dirección de la fuerza (figura 33).

**Figura 33. Fuerzas resultantes alternativa #3.**

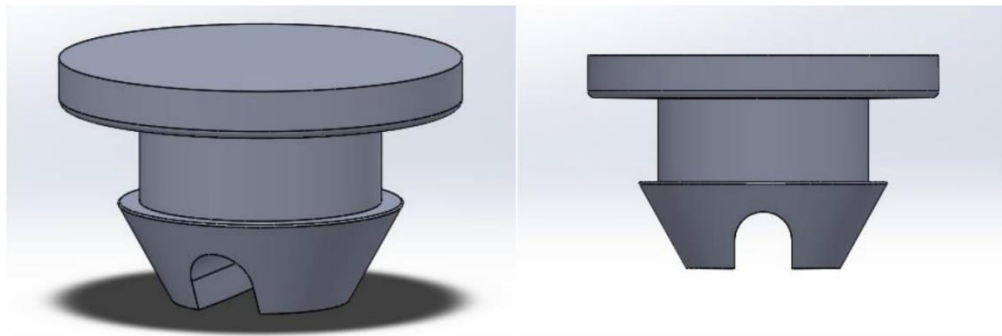
Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 4 cara(s) Tipo: Geometría fija		
<b>Fuerzas resultantes</b>				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0.0108548	-156.552	-0.0151812	156.552
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Como se observó mediante el análisis de fuerzas, la mejor alternativa fue la alternativa #1, mostrada en la figura 25, esta decisión se fundamenta en que la fuerza de reacción del eje Z es positiva, lo cual implica que la geometría inferior del tapón y las fuerzas que ejercen presión a la estructura del dispositivo harán que este expanda su estructura cilíndrica y genere mayor fricción con la superficie de agujero de la tubería dificultando así su expulsión.

**6.2.3 Desarrollo de las alternativas seleccionadas.** El diseño de detalle de las piezas fue desarrollado en la etapa anterior puesto que las pruebas requerían que el dispositivo estuviese lo más próximo a su diseño definitivo. Teniendo en cuenta esto, las modificaciones realizadas en esta etapa a la alternativa #1 se limitaron detalles formales, en búsqueda de un mejor desempeño. A continuación, se pueden ver detalles de la pieza (figura 34).

**Figura 34. Detalle del dispositivo para evitar fugas.**



Su parte superior tiene un aumento de 7mm en el diámetro superior para facilitar su sujeción con guantes de protección térmica, esto es un 38% más a la medida de los dispositivos actuales.

**6.2.4 Construcción de prototipos.** Teniendo en cuenta lo planteado desde la metodología, la elaboración de este dispositivo fue realizada aplicando el proceso diseñado el cual va a ser explicado en detalle en el capítulo siguiente al igual que las pruebas a las cuales fue sometido.

### **6.3 DISEÑO DEL MOLDE**

Desde el capítulo de definición del proceso se planteó como una acción de mejora el diseño de un nuevo molde que solventara las debilidades identificadas en las actividades correspondientes a la elaboración del dispositivo para evitar fugas. Para este diseño no se siguió la estructura metodológica desarrollada con las

anteriores propuestas objetuales ya que su desarrollo no es independiente, sino que va sujeto a la alternativa seleccionada para el dispositivo.

**6.3.1 Requerimientos del molde.** Siguiendo los parámetros para el diseño de moldes de vaciado se levantaron los siguientes requerimientos (tabla 12).

**Tabla 12. Requerimientos para el diseño del molde.**

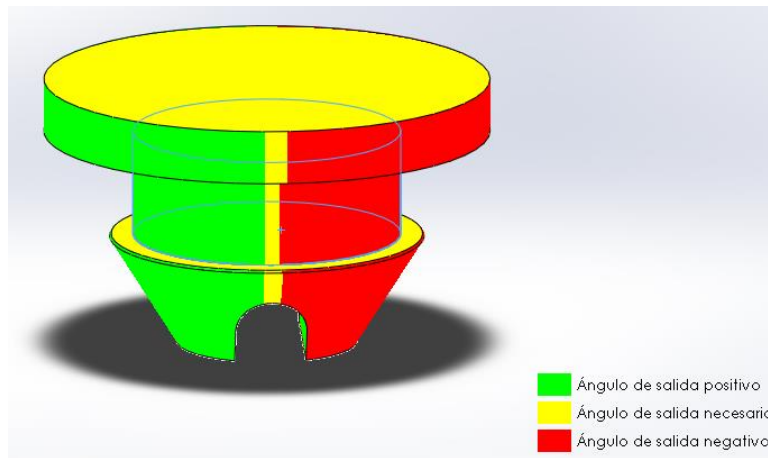
Requerimientos	Descripción
<b>De uso</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Debe ser llenado por vaciado manual.</li> <li>2. Debe ser de fácil montaje.</li> <li>3. Retirar las piezas del molde debe hacerse de forma sencilla.</li> <li>4. Debe ser fácil de limpiar.</li> </ol>
<b>Funcional</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Debe mantener las dimensiones de diseño del tapón.</li> <li>2. Debe ser posible construir dos tapones por cada síntesis.</li> <li>3. Debe tener ángulos de salida para la pieza.</li> <li>4. Debe tener dos piezas para mejorar la actividad de desmoldeo.</li> <li>5. Debe tener en cuenta la dirección de desmoldeo.</li> </ol>
<b>Técnico-productivo</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Debe ser de aluminio.</li> <li>2. Debe utilizarse la Tecnología CNC para garantizar su precisión.</li> </ol>
<b>Formales</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Debe tener dos pasadores para indicar la posición correcta de ajuste.</li> <li>2. Debe tener la forma adecuada para producir la pieza correctamente.</li> </ol>

**6.3.2 Preparación de la pieza.** Para la preparación de la pieza se usó el software de modelado 3D SolidWorks 2016 y se contó con la asesoría de la empresa PRODUSUELAS S.A.S, la cual está dedicada a la fabricación de moldes en aluminio y a la producción de piezas en diversos polímeros.

- Análisis de ángulos de salida

Para analizar los ángulos de salida de la pieza se recurrió a las herramientas de moldes de SolidWorks 2016. Este análisis nos muestra las caras de la pieza que necesitan un ajuste en sus formas para que el desmoldeo se realice de manera adecuada (figura 35).

**Figura 35. Análisis de ángulos de salida.**

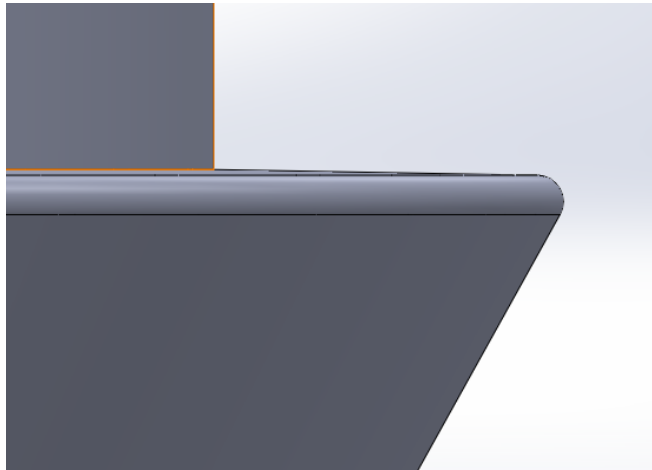


Como se observa, las caras con color amarillo son las partes en donde es necesario aplicar un ajuste en los ángulos de salida. Las caras verdes y rojas representan las caras que no tienen problemas para su desmoldeo en dirección horizontal con respecto al centro de la pieza.

- Aplicación de los ángulos de salida a la pieza

De igual manera que el paso anterior, se usó SolidWorks 2016 para ajustar los ángulos de salida de la pieza; de acuerdo a la información otorgada por PRODUSUELAS S.A.S, los ángulos de salida para esta pieza, de geometría sencilla, no necesitan más de 1° (figura 36).

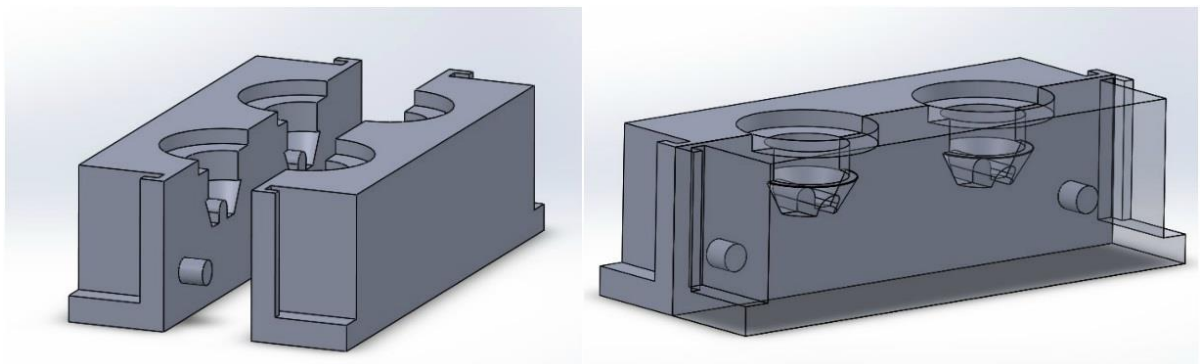
**Figura 36. Detalle de la pieza con ángulos de salida.**



Con base en esta pieza ya revisada se realiza el diseño del molde, en este caso la geometría es básica lo que hace necesario un molde de tan solo dos partes.

**6.3.3 Desarrollo del molde.** Luego del proceso de preparación de la pieza se elaboró el molde mediante modelado 3D en SolidWorks 2016 (figura 37). Por su configuración formal no fue necesaria la inclusión de canales de alimentación ni respiraderos. Su capacidad de volumen es de 3.38 centímetros cúbicos por pieza y se pueden elaborar dos de estas simultáneamente.

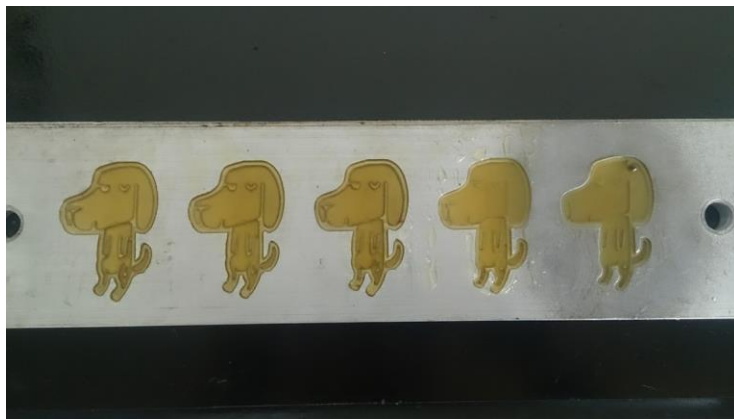
**Figura 37. Modelo 3D del molde.**



**6.3.4 Pruebas del material de construcción del molde.** Debido a que el poliuretano a partir de aceite de ricino es un material que tiene propiedades adherentes, se consideró necesario comprobar su comportamiento en moldes de aluminio. La empresa PRODUSUELAS S.A.S cedió un molde de una de sus piezas para realizar las pruebas correspondientes en el laboratorio. A continuación, se muestran los datos de la prueba realizada.

- Tiempo: 6 horas.
- Montaje: Se realizaron diversas pruebas para verificar el comportamiento del material en el molde. Para esto se realizaron dos síntesis del material de igual composición porcentual 60-40.
- Procedimiento: El primer vaciado se realizó en dos de las piezas, sin calentamiento previo del molde, una con desmoldante y otra sin él. El segundo vaciado se realizó con el molde precalentado a 60°C por diez minutos, de igual manera una de las piezas con desmoldante y dos sin él (figura 38).

**Figura 38. Molde para la prueba.**



- Resultados: Después del tiempo de solidificación se pudo comprobar que las piezas cuyos moldes tenían desmoldante salieron con facilidad, las otras, aunque ofrecieron una resistencia leve, fue posible retirarlas del molde. La temperatura del molde no afectó de manera perceptible la actividad de desmoldeo (figura 39).

**Figura 39. Desmoldeo de piezas.**



- Conclusiones: Los moldes de aluminio no presentaron problema en su interacción con el poliuretano a base de aceite de ricino. El uso de un desmoldante a base de silicona permite que el desmoldeo sea más sencillo de realizar.

**6.3.5 Construcción del molde.** La construcción del molde se realizó en la empresa PRODUSUELAS S.A.S, se utilizó un centro de mecanizado CNC (control numérico computarizado) para su fabricación (figura 40). Para definir los parámetros de construcción de la pieza, como los tipos de broca, buril y fresas que se usaron, se utilizó el software VisualMill 2015, el material usado fue aluminio y el tiempo de mecanizado del molde fueron 3 horas 50 minutos.

**Figura 40. Centro de mecanizado.**



A continuación, se muestra el resultado final del molde diseñado (figura 41).

**Figura 41. Molde.**



El molde cumple y resuelve adecuadamente los problemas que fueron detectados en la fase de moldeo: se mejoró la calidad final del dispositivo y no presenta ninguna reducción de dimensiones, cabe resaltar que esta mejora es de gran importancia para las pruebas que se realizan en el laboratorio ya que esta

reducción en su dimensión afecta notablemente el sellado de la abertura en las pruebas hidrostáticas. Otra mejora que se identificó fue la actividad de desmolde del tapón, al ser un molde de dos piezas esta actividad de desmolde disminuye notablemente su tiempo y su percepción de complejidad en cuanto a su ejecución.

## 7. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS

El objetivo de este capítulo es realizar un análisis comparativo entre el proceso diseñado en este trabajo y el proceso utilizado por el GIP, para cumplir este objetivo se realizó la ejecución del nuevo proceso en el laboratorio incluyendo sus dos etapas: Síntesis del material y elaboración del dispositivo para evitar fugas. Este proceso se ejecutó con base a lo propuesto en el mapa indicativo “Should” y en conjunto con las propuestas objetuales diseñadas. Estuvo a cargo de un investigador del GIP experimentado en la síntesis del material. Para su registro se realizó captura de video, cronometraje y fotografías de la ejecución del proceso. Posteriormente, se analizó este material y se extrajeron los tiempos y las tareas para cada actividad. A continuación, se presenta una gráfica de flujo del proceso, un mapa del proceso, un estudio de tiempos, y un análisis de tareas.

### 7.1 GRÁFICA DE FLUJO DEL PROCESO

La siguiente gráfica de flujo del proceso (tabla 13) compila las actividades que se ejecutaron en el nuevo proceso con sus respectivas tareas y tiempo, identificando cada una como: operación, transporte, inspección, demora, y acopio.

**Tabla 13. Gráfica de flujo del proceso propuesto.**

Nombre de la actividad: Deshumidificación						
Tarea	Operación	Transporte	Inspección	Demora	Acopio	Tiempo
Llevar los componentes al puesto de trabajo.		➡				0,8min
Encender el rotoevaporador, la bomba de vacío y el motor de extracción.	●					0,58min
Introducir componentes en el recipiente.	●					0,5min
Definir las variables de	●					0,05min

temperatura, presión y rpm						
Activar el rotoevaporador.	●		■	D		40min
Retirar componentes del Recipiente.	●					0,41min
Reenvasar el componente deshumidificado.	●					0,16min
Guardar los componentes en el secador.		➔			▼	1min
<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>43,53min</b>

Esta actividad no presentó cambios para el nuevo proceso, se mantienen las tareas realizadas en el proceso anterior, pero se sugiere al laboratorio realizar un mantenimiento al equipo.

<b>Nombre de la actividad:</b> Preparación para el mezclado						
<b>Tarea</b>	<b>Operación</b>	<b>Transporte</b>	<b>Inspección</b>	<b>Demora</b>	<b>Acopio</b>	<b>Tiempo</b>
Introducir la barra de agitación al contenedor	●					0,07min
Medir el aceite de ricino.	●		■			0,4min
Verter el aceite de ricino.	●					0,25min
Medir el glicerol.	●		■			0,34min
Verter el glicerol.	●					0,16min
Cerrar el contenedor con el tapón.	●					0,05min
Conectar la manguera de extracción de aire.	●					0,06min
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1,33min</b>

En esta actividad el diseño de la tapa propuesta para el contenedor, eliminó la tarea *conectar la llave de paso*, esta era una tarea que se realizaba ubicando una llave de paso en el tapón del recipiente para introducir el MDI, con el nuevo diseño esta tarea desaparece junto con esta herramienta.

Nombre de la actividad: Montaje						
Tarea	Operación	Transporte	Inspección	Demora	Acopio	Tiempo
Ubicar el contenedor en el trípode	●					0,03min
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0.03min</b>

En esta actividad fue donde más se simplificaron tareas del proceso, la actividad inicialmente contaba con cinco tareas para su ejecución, con el nuevo proceso solo se necesita de una tarea para realizar el montaje del recipiente. El trípode por el poco espacio que ocupa se mantiene en el puesto indicado para el proceso (figura 42).

**Figura 42. Actividad de montaje.**



Nombre de la actividad: Mezclado						
Tarea	Operación	Transporte	Inspección	Demora	Acopio	Tiempo
Encender la bomba de vacío.	●					0,05min

Definir las variables de control de la plancha de calentamiento.	●		■			0,12min
Activar la plancha de calentamiento.	●			◐		40min
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>40,17min</b>

Esta actividad no presentó cambios para el nuevo proceso, se mantienen las tareas realizadas en el proceso anterior. Se sugirió al laboratorio realizar mantenimiento a la plancha de calentamiento para solucionar problemas de funcionamiento.

<b>Nombre de la actividad:</b> Calentamiento del molde						
Tarea	Operación	Transporte	Inspección	Demora	Acopio	Tiempo
Aplicar líquido desmoldante	●					0,5min
Introducir el molde al horno	●					0.08min
Definir la variable de control de la temperatura.	●		■			0.03min
Encender el horno.	●					10min
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>10,61min</b>

Es importante resaltar en esta actividad que el molde al que se hace referencia es el nuevo molde en aluminio de dos piezas, por lo tanto, aparece una nueva tarea, *aplicar líquido desmoldante*, esta tarea está relacionada con la simplificación de la tarea *extracción del molde* ya que se identificó que era una tarea-problema que afectaba la calidad final del tapón.

<b>Nombre del proceso:</b> Adición de MDI (diisocianato de difenilmetano)						
Tarea	Operación	Transporte	Inspección	Demora	Acopio	Tiempo
Medir la cantidad de MDI.	●		■			0,33min
Ubicar la jeringa en la boquilla de la tapa para mezclado	●					0,06min

Abrir la compuerta.	●					0,1min
Cerrar la compuerta.	●					0,1min
Esperar tiempo de mezclado				●		1,83min
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>2,42min</b>

En esta actividad se elimina la tarea *Inyectar MDI*, con la nueva tapa para el contenedor esta tarea se realiza bajo las mismas condiciones de presión de vacío. Cabe resaltar que esta tarea era la que más presentaba problemas respecto al vertido de los componentes, el MDI es el encargado de curar el material y si esta tarea presenta problemas en su ejecución se refleja en el resultado final del material o inclusive se podrá perder todo el trabajo de la síntesis (figura 43).

**Figura 43. Inyección del MDI.**



<b>Nombre de la actividad:</b> Desmonte del recipiente						
<b>Tarea</b>	<b>Operación</b>	<b>Transporte</b>	<b>Inspección</b>	<b>Demora</b>	<b>Acopio</b>	<b>Tiempo</b>
Quitar la manguera de extracción.	●					0,03min
Sacar el recipiente del baño maría.	●					0,03min
Soltar la tapa del recipiente.	●					0,03min

<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,09min</b>
--------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------------

En esta actividad se simplificaron dos tareas, *recubrir la mano con un protector y soltar la pinza del contenedor*, el diseño del mango de sujeción del contenedor simplifica la realización de esta actividad ya que las manos del usuario no entran en contacto con el contenedor que se encuentra a una temperatura de aproximadamente 60°C, esta era actividad que se realizaba con un protector para evitar quemaduras.

<b>Nombre de la actividad:</b> Vaciado en el molde						
<b>Tarea</b>	<b>Operación</b>	<b>Transporte</b>	<b>Inspección</b>	<b>Demora</b>	<b>Acopio</b>	<b>Tiempo</b>
Llevar el molde del horno a la mesa de trabajo. Reventar		➔				0,4min
Llenado del molde.	●					0,16min
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,20min</b>

Para esta actividad se suprimieron tres tareas del proceso, *agitar los moldes, limpiar el exceso de material y extraer burbujas de aire*, dos de ellas eran consideradas demoras innecesarias producto de tareas-problema previas. En esta actividad intervienen dos de las propuestas objetuales diseñadas: Mango y molde, su funcionamiento simplifica la operación restante de *llenado del molde* (figura 44).

**Figura 44. Llenado del molde.**



<b>Nombre de la actividad:</b> Solidificación						
<b>Tarea</b>	<b>Operación</b>	<b>Transporte</b>	<b>Inspección</b>	<b>Demora</b>	<b>Acopio</b>	<b>Tiempo</b>
Introducir el molde lleno al horno	●	➡				0.08min
Esperar el tiempo indicado	●			⏸		45 min
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>45,08min</b>

Esta actividad no presentó cambios para el nuevo proceso, se mantienen las tareas realizadas en el proceso anterior.

<b>Nombre de la actividad:</b> Limpieza						
<b>Tarea</b>	<b>Operación</b>	<b>Transporte</b>	<b>Inspección</b>	<b>Demora</b>	<b>Acopio</b>	<b>Tiempo</b>
Desmontar las piezas de la tapa del contenedor	●					1min
Limpia las piezas con una tela seca	●					1min
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2min</b>

La actividad de limpieza también se ve simplificada de cinco tareas a solo dos y sus tiempos disminuyen en más de 15 minutos. Esta actividad es una medida preventiva para el cuidado del tapón, esto se debe a que el MDI es fotosensible y una vez entra en contacto con el medio ambiente se endurece y puede afectar el funcionamiento de la compuerta de la tapa. Su ubicación en la línea del proceso también está supeditada a esta condición.

<b>Nombre de la actividad:</b> Desmolde						
<b>Tarea</b>	<b>Operación</b>	<b>Transporte</b>	<b>Inspección</b>	<b>Demora</b>	<b>Acopio</b>	<b>Tiempo</b>
Retirar el molde del horno		➡				0.06min
Extraer la pieza del molde.	●					0,16min
Verificar la calidad del tapón.			■			0.06min

<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0.28min</b>
--------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------------

Esta actividad no presentó cambios en las tareas realizadas, pero cabe resaltar la disminución de tiempo que se logró en la tarea *extraer la pieza del molde*. Con el molde en silicona que se usaba en el laboratorio para producir el dispositivo tardaba aproximadamente 1,16 min, con el nuevo molde la extracción del tapón tarda aproximadamente 0,16 min (figura 45).

**Figura 45. Extracción del dispositivo.**



<b>Nombre de la actividad:</b> Curado						
<b>Tarea</b>	<b>Operación</b>	<b>Transporte</b>	<b>Inspección</b>	<b>Demora</b>	<b>Acopio</b>	<b>Tiempo</b>
Esperar el tiempo indicado para el curado del material.	●			D		14 días
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>14 días</b>

Esta actividad no presentó cambios para el nuevo proceso, se mantiene la tarea realizada en el proceso anterior.

**7.1.1 Conclusión.** Como se observó, el nuevo proceso simplificó tareas en la mayoría de las actividades ejecutadas durante el proceso, esta simplificación no solo es perceptible en el número de tareas y sus tiempos de ejecución, también se evidencia en la manera en que estas se desarrollan en conjunto con las propuestas objetuales que se integraron. Además, como se verá en el siguiente capítulo, se logró impactar de manera positiva en la calidad del dispositivo para evitar fugas.

## 7.2 DIAGRAMA DE MAPA DEL PROCESO

A continuación, se presenta el mapa del nuevo proceso, con este diagrama se desea ilustrar el flujo de sus tareas y clasificarlas en las siguientes categorías: Operación, Inspección, Transporte, Demora y Acopio (Anexo F).

Se evidencia que el nuevo proceso contiene 41 tareas en comparación de las 53 del proceso anterior. El número de actividades en este proceso se mantiene igual a las del proceso del GIP. Se eliminaron dos tareas-demora gracias a los nuevos controles sobre el vertido del material en los moldes y al diseño del molde como tal.

## 7.3 ESTUDIO DE TIEMPOS

A continuación, se presenta un estudio de tiempos entre el nuevo proceso y el proceso del GIP (tabla 14).

**Tabla 14. Análisis de tiempos.**

Actividad	Nuevo proceso	Proceso GIP
	Tiempo (min)	Tiempo (min)
Deshumidificación	43.53	43.53
Preparación para el mezclado	1.33	1.7
Montaje	0.03	0.77
mezclado	40.17	40.21

Calentamiento del molde	<b>10.61</b>	<b>10.93</b>
Adición de MDI	<b>2.42</b>	<b>2.62</b>
Desmonte del recipiente	<b>0.09</b>	<b>0.3</b>
Vaciado en el molde	<b>0.20</b>	<b>1.3</b>
Solidificación	<b>45.08</b>	<b>45</b>
Desmolde	<b>0.28</b>	<b>1.32</b>
limpieza	<b>2</b>	<b>17.23</b>
Total	<b>147.74 min</b>	<b>164.91min</b>

El estudio de tiempos presentó una disminución de 17.17min por el proceso diseñado en este trabajo, se puede observar que la actividad que más presentó cambios fue la actividad de limpieza del tapón, esta actividad demandaba 17.23min ya que una vez el MDI se solidificaba en el tapón del contenedor era bastante complicado realizar esta actividad, con el nuevo diseño del tapón se logró simplificar esta actividad a tan solo 2 min.

Este estudio también evidencia reducción de tiempos en las cinco actividades que fueron identificadas con desconexiones durante la definición del proceso: Preparación para el mezclado, Montaje, Desmonte, Desmoldeo y Limpieza. A continuación, se exponen en detalles los cambios encontrados en su desarrollo (Tabla 15).

**Tabla 15. Desconexiones del proceso.**

<b>Actividad</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Desconexión</b>
<b>Etapa de Síntesis de Poliuretano de Aceite de Ricino</b>		
Preparación para el mezclado	<b>1.33 min</b>	Se eliminó el uso del antiguo tapón y se implementó una tapa para el contenedor que los tiempos no solo en esta actividad sino en todas las tareas en que esta interviene.
Montaje	<b>0.03 min</b>	Se eliminó el uso del soporte y se implementó un sistema de dos partes que simplifica las tareas en que este interviene.
Desmonte del recipiente	<b>0.09 min</b>	El nuevo sistema de soporte planteado elimina el contacto con el contenedor y permite un desmonte más rápido.
<b>Etapa de elaboración de los dispositivos para evitar fugas.</b>		

Desmoldeo	<b>0.28 min</b>	El nuevo molde de dos piezas junto con el uso de desmoldante permite una reducción de un minuto del tiempo empleado en esta actividad. Adicionalmente, el dispositivo no sufre problemas en su estructura durante la extracción.
Limpieza	<b>2 min</b>	El uso de la tapa para el contenedor redujo esta actividad en 15 minutos y redujo el número de tareas que la componían.

#### 7.4 ANÁLISIS DE DISMINUCIÓN DE TAREAS

A continuación, se presenta un cuadro comparativo entre el proceso diseñado en este trabajo y el proceso utilizado por GIP, este cuadro desglosa todas las actividades y tareas para ambos procesos con el objetivo de identificar el total de tareas realizadas por cada proceso (tabla 16).

**Tabla 16. Tareas y Actividades en cada proceso.**

Actividad	Nuevo proceso	Proceso GIP
Deshumidificación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Llevar lo componentes al puesto de trabajo.</li> <li>- Encender equipos.</li> <li>- Introducir el componente en el recipiente.</li> <li>- Definir las variables de control.</li> <li>- Activar el rotoevaporador.</li> <li>- Retirar el componente del recipiente.</li> <li>- Reenvasar el componente deshumidificado.</li> <li>- Guardar el componente en el secador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Llevar lo componentes al puesto de trabajo.</li> <li>- Encender equipos.</li> <li>- Introducir el componente en el recipiente.</li> <li>- Definir las variables de control.</li> <li>- Activar el rotoevaporador.</li> <li>- Retirar el componente del recipiente.</li> <li>- Reenvasar el componente deshumidificado.</li> <li>- Guardar el componente en el secador.</li> </ul>
Preparación para el mezclado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Introducir la barra de agitación al contenedor</li> <li>- Medir el aceite de ricino.</li> <li>- Verter el aceite de ricino en el contenedor.</li> <li>- Medir el glicerol.</li> <li>- Verter el glicerol en el contenedor.</li> <li>- Cerrar el contenedor con el tapón.</li> <li>- Conectar la manguera de extracción de aire.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Introducir la barra de agitación al contenedor</li> <li>- Medir el aceite de ricino.</li> <li>- Verter el aceite de ricino en el contenedor.</li> <li>- Medir el glicerol.</li> <li>- Verter el glicerol en el contenedor.</li> <li>- Conectar la llave de paso.</li> <li>- Conectar la manguera de extracción de aire.</li> <li>- Cerrar el contenedor con el tapón.</li> <li>- Conectar la manguera de extracción de aire.</li> </ul>

Montaje	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ubicar el contenedor en el trípode.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ubicar el contener dentro de la pinza de soporte.</li> <li>- Prensar el contenedor con el soporte.</li> <li>- Ubicar el contener dentro del baño maria.</li> <li>- Posicionar el soporte a 90° con la vertical.</li> <li>- Prensar el tornillo que controla la altura</li> </ul>
Mezclado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Encender la bomba de vacío.</li> <li>- Definir las variables de control de la plancha de calentamiento.</li> <li>- Activar la plancha de calentamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definir las variables de control de la plancha de calentamiento.</li> <li>- Encender la bomba de vacío.</li> <li>- Activar la plancha de calentamiento.</li> </ul>
Preparación del molde	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicar el líquido desmoldante al molde.</li> <li>- Introducir el molde al horno.</li> <li>- Definir las variables de control.</li> <li>- Encender el horno.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Introducir los moldes al horno.</li> <li>- Definir las variables de control.</li> <li>- Encender el horno.</li> </ul>
Adición de MDI	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medir la cantidad de MDI.</li> <li>- Ubicar la jeringa en la boquilla de la tapa para mezclado.</li> <li>- Abrir la compuerta.</li> <li>- Cerrar la compuerta.</li> <li>- Esperar tiempo de mezclado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medir la cantidad de MDI.</li> <li>- Verter el componente en la llave de paso.</li> <li>-Abrir la llave de paso manteniendo cerrada la parte superior.</li> <li>- Cerrar la llave de paso.</li> <li>- Esperar tiempo de mezclado.</li> </ul>
Desmonte del recipiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sacar el recipiente del baño maría.</li> <li>- Quitar la manguera de extracción.</li> <li>- Soltar la tapa para mezclado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Quitar la manguera de extracción.</li> <li>- Recubrir la mano con un protector</li> <li>- Soltar el tapón.</li> <li>- Sacar el recipiente del baño maría.</li> <li>- soltar el tapón.</li> </ul>
Vaciado en el molde	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Llevar el molde del horno a la mesa de trabajo.</li> <li>- Llenar lentamente el molde.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Llevar los moldes del horno a la mesa de trabajo.</li> <li>- Llenado de los moldes.</li> <li>- Agitar suavemente los moldes.</li> <li>- Limpiar el exceso de material.</li> <li>- Extraer burbujas de aire.</li> </ul>
Tiempo de solidificación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Introducir el molde lleno en el horno.</li> <li>- Esperar el tiempo indicado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Introducir el molde lleno en el horno.</li> <li>- Esperar el tiempo indicado.</li> </ul>
Desmolde	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Retirar el molde del horno.</li> <li>- Extraer la pieza del molde.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Retirar el molde del horno.</li> <li>- Extraer la pieza del molde.</li> </ul>

	- Verificar la calidad de la pieza.	- Verificar la calidad de la pieza.
Tiempo de curado	- Esperar el tiempo indicado.	- Esperar el tiempo indicado.
Limpieza	- Desmontar las piezas de la tapa del contenedor. - Limpiar las piezas con una tela seca.	- Quitar la llave de paso del tapón. - Desmontar las piezas de la llave de paso - Limpiar las piezas - Limpiar el conducto del tapón - Limpiar el contorno del tapón
<b>Total</b>	<b>41</b>	<b>54</b>

El nuevo proceso logró eliminar trece tareas que ejecutaba el GIP para el proceso de la síntesis y elaboración de productos con poliuretano a partir de aceite de ricino, las propuestas objetuales diseñadas simplificaron el proceso de síntesis del material y la elaboración del dispositivo para evitar fugas en tuberías, mejoró su calidad, y simplificó las tareas realizadas durante todo el proceso.

## 7.5 EVALUACIÓN DE REQUERIMIENTOS

Para la evaluación de los requerimientos planteados en la propuesta de mejoramiento se realizó una tabla para verificar el cumplimiento de estos ítems en el desarrollo del nuevo proceso (Tabla 17).

**Tabla 17. Evaluación de requerimientos.**

Requerimiento	Cumple	Descripción
El proceso debe contar con un rotoevaporador, una plancha de calentamiento y una bomba de vacío en óptimas condiciones.	Sí	El rotoevaporador fue sometido a mantenimiento y la bomba de vacío mantiene constante la presión cuando se usa la tapa del contenedor diseñada para este proceso.
Se debe contar con una tapa para el contenedor que sea de fácil manipulación y limpieza.	Sí	La tapa del contenedor eliminó el uso del tapón de silicona y la llave de paso, mantiene constante la presión de vacío al interior del recipiente en 52psi y disminuye su tiempo de limpieza a tan solo 2min.
Se debe plantear un sistema de soporte que simplifique las tareas en la que este interviene.	Sí	La actividad de montaje tuvo una disminución del 80% de sus tareas, el desmonte del recipiente una disminución del 40%
Se debe contar con un molde que mantenga constante las	Sí	La reducción de las dimensiones del dispositivo se redujo en un 100%, el molde de dos piezas

dimensiones del producto y que permita un desmoldeo más eficiente.		reduce la actividad de desmoldeo en 1.04 minutos.
Se debe evitar que los investigadores tengan contacto directo con el contenedor después de la actividad de mezclado.	Sí	El mango del sistema de soporte permite un mayor control en el vertido evitando que se sostenga el contenedor caliente en las manos durante la actividad de mezclado.
Se deben plantear controles para las cantidades, los tiempos y las actividades realizadas para garantizar una ejecución controlada del proceso.	Sí	Se propone una ficha de control para que durante el proceso se diligencie.

Con respecto a los requerimientos, su cumplimiento fue de un 100% dado que el enfoque otorgado a la propuesta de mejoramiento fue dirigido a su cumplimiento y los resultados conforme a su ejecución arrojaron datos que lo confirman.

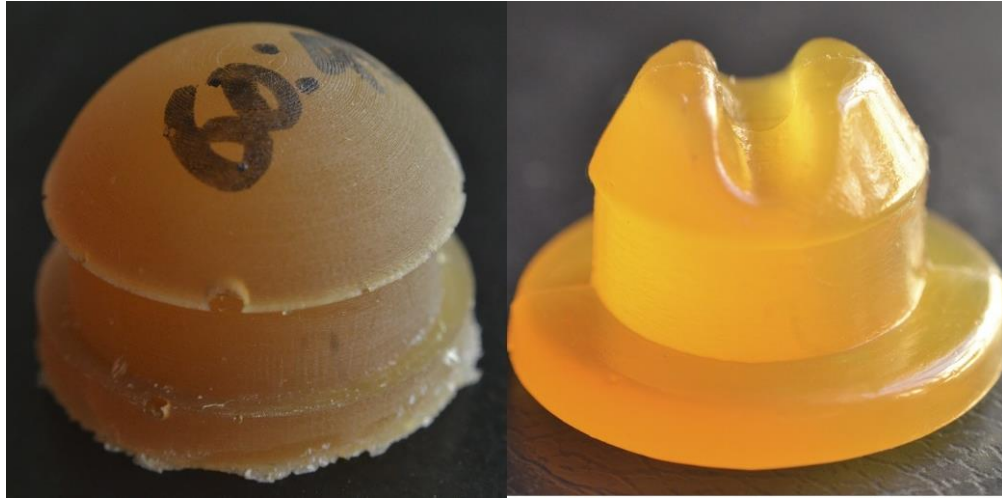
## **8. EVALUACIÓN DEL DISPOSITIVO PARA EVITAR FUGAS.**

El objetivo de este capítulo es evaluar los dispositivos, resultado del proceso de diseño realizado respecto al dispositivo para evitar fugas en tuberías de baja presión para la industria del petróleo. Este dispositivo hace parte de una familia de objetos desarrollada en el marco del proyecto “Diseño, síntesis y evaluación de un kit de poliuretano a partir de aceite de ricino y glicerol para la reparación de fallas en tuberías metálicas de transporte de fluidos incompresibles” a cargo de dos estudiantes de Ingeniería Química, y se escogió como caso de estudio para el proceso para la síntesis y elaboración de productos con poliuretano a partir de aceite de ricino. Como parte de este capítulo se hace una relación de las acciones de mejoramiento que generaron un impacto en el dispositivo, adicional a eso, se incluye un cuadro comparativo entre las características del dispositivo diseñado en el marco de este proyecto y el producido por las investigadoras del GIP. Por último, se presentan los resultados de las pruebas hidrostáticas realizadas para determinar la presión soportada por el dispositivo y las conclusiones que de ellos se desprenden.

### **8.1 ANALISIS COMPARATIVO ENTRE DISPOSITIVOS**

El análisis comparativo se realizó con respecto al dispositivo tipo tapón construido como resultado de este proyecto y el construido por las investigadoras en el laboratorio del GIP. Estos dispositivos tienen diferencias notables en cuanto a sus características formales por lo cual, a continuación, se presenta en la figura 46 una comparativa fotográfica de los dos.

**Figura 46. Comparación de dispositivos.**



Para hacer una relación más precisa de estas diferencias evidentes desde la inspección visual a continuación presentamos una tabla comparativa entre las características presentadas por estos dispositivos (tabla 18).

**Tabla 18. Comparativa de los dispositivos para evitar fugas.**

Características	GIP	Nuevo tapón
<b>Textura</b>	Textura rayada debido a la producción del molde utilizado, esta textura proviene del modelo en impresión 3D usado para hacer el molde.	Textura lisa debido a la producción en aluminio por CNC.
<b>Inconsistencia en sus bordes</b>	El molde de una sola pieza genera, con la continua extracción de piezas, un desgaste que se ve reflejada en el dispositivo.	Acabo liso sin irregularidades, la extracción del dispositivo no genera desgaste en el aluminio, no se adhiere gracias al desmoldante, lo cual permite que los dispositivos sean extraídos sin inconsistencias.
<b>Contracción</b>	0.56 mm	No presenta
<b>Presencia de impurezas</b>	Se encuentran algunas impurezas en el cuerpo inferior del dispositivo, de color blanquecino.	El dispositivo no presenta impurezas en su estructura.
<b>Color</b>	Amarillo ocre opaco.	Amarillo brillante y translucido.

La calidad de sus acabados superficiales a continuación se muestra una figura comparativa entre los bordes de uno y otro dispositivo (figura 47).

**Figura 47. Bordes de los dispositivos.**



## **8.2 PRUEBA HIDROSTÁTICA**

Para el proceso de evaluación del dispositivo para evitar fugas en tuberías de petróleo se elaboraron 10 piezas para ser sometidos a la prueba hidrostática con una relación de sus componentes de 60% aceite de ricino y 40% glicerol.

Debido a la etapa de desarrollo del proyecto “Diseño, síntesis y evaluación de un kit de poliuretano a partir de aceite de ricino y glicerol para la reparación de fallas en tuberías metálicas de transporte de fluidos incompresibles” a cargo de las investigadoras del GIP, los datos de las pruebas hidrostáticas realizadas no fueron cedidas en su totalidad y por lo tanto no se pudo realizar un análisis comparativo con sus resultados. Con respecto a estas pruebas la información cedida corresponde a que se realizaron dos pruebas hidrostáticas por relación de componentes del poliuretano y el mejor resultado fue 100 psi en un tiempo de 10 minutos con una pieza elaborada con la relación de 60-40.

De igual manera, otra razón por la cual no se desarrolló un análisis comparativo es que tanto las características formales como el proceso con el cual se elaboraron los dispositivos son diferentes por lo cual son dos variables de fondo que afectaría el desarrollo de un análisis de este tipo.

**8.2.1 Protocolo experimental de la prueba.** A continuación, se presenta el protocolo de la prueba hidrostática realizada con el objetivo de determinar la presión soportada por el dispositivo tipo tapón elaborado en el marco de este proyecto.

- Objetivo de la prueba: Determinar la presión soportada por el dispositivo tipo tapón elaborado en el marco de este proyecto.
- Hipótesis que se busca comprobar: La presión aplicada influye en la resistencia del dispositivo y el tiempo.

- Variable:

Variable Independiente:

Presión aplicada

Tratamientos

n=4

T1: 50 psi

T2: 100 psi

T3: 150 psi

T4: 200psi

Unidad Experimental

N= 10 dispositivos.

Variable Dependiente:

Resistencia a la presión hidrostática.

Tiempo.

VARIABLES CONTROLADAS:

Geometría del tapón.

Dimensiones del agujero del tubo.

Temperatura del tubo.

Montaje.

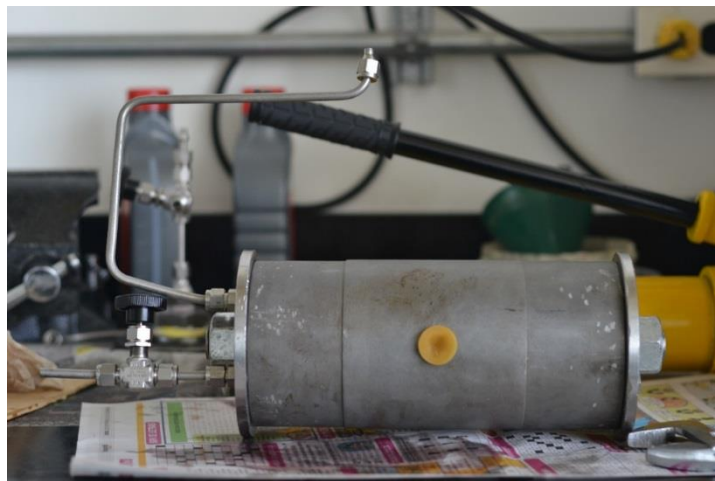
- Herramientas

Tubería, tapas de la tubería, tubing, aceite hidráulico ISO68, gato hidráulico, llaves, teflón, loop bridado, software Arduino y S-cilab.

- Protocolo

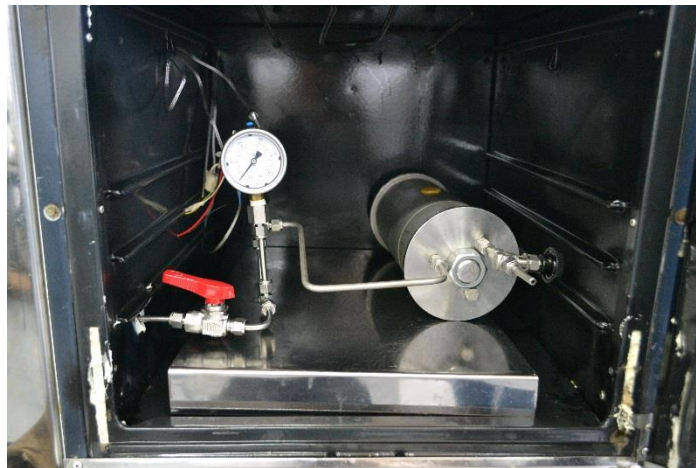
- Antes de empezar se quitan las tapas, tubing y racores con una llave 9/16, se quita el teflón y se lavan las piezas con desengrasante industrial con el fin de quitar el óxido y demás residuos.
- Secar las piezas y se forran en teflón.
- Poner las tapas a la tubería.
- Calentar el tubo una hora a 100°C
- Insertar el dispositivo con un martillo y poner los accesorios restantes excepto uno de los tapones metálicos el cual se utilizará para llenar el sistema de aceite hidráulico (figura 48).

**Figura 48. Tubería y tapón.**



- Dejar enfriar la tubería.
- Llenar completamente la tubería de aceite por el orificio del tapón faltante con un embudo, y se procede a cerrar.
- Llenar el gato con aceite hidráulico con una jeringa hasta que se rebose.
- Poner un tapón en la T y prender el loop bridado y el computador.
- Verificar que la perilla del gato se encuentre completamente cerrada para que este produzca presión.
- Realizar el montaje de la tubería en el loop bridado y se conecta el tubing a la conexión T.
- Abrir el programa ARDUINO y verificar que este en el comando 6 (herramientas/ puerto CMO6), luego se ejecuta el comando Monitor serie (herramientas/ monitor serie) y se verifica que este marcando (-15 a -5) que es equivalente 0 psi.
- Cerrar ARDUINO y se abre S-cilab (file/open file/ equipo/equipo PT)
- Dar click en OK al mensaje y luego en ejecutar y ir a la consola, poner nombre a la prueba y las horas de la prueba.
- Para aumentar la presión, la llave roja debe estar abierta y cuando el sistema alcance la presión deseada se cierra y se cronometra 30 minutos (figura 49).

**Figura 49. Montaje dentro del loop bridado.**



- Hacer las rampas de presión. Llevar el sistema a presión de 50psi por 30 min y verificar que no haya cambios abruptos de presión.
  - Si no presenta cambios, incrementar la presión en 50psi por 30 min y realizar el proceso repetidamente hasta q se evidencie un cambio de presión abrupto.
  - Si presenta cambios abruptos de presión, desmontar el sistema y se concluye que la prueba.
  - Se despresuriza el gato, se desmonta la tubería y se quita uno de los tapones que están en la tapa para poder desocupar el aceite.
- Toma de datos.  
Software S-cilab mediante el cual se mide la presión del sistema y el tiempo.

### 8.3 RESULTADOS

La prueba se realizó en dos sesiones con un promedio de dos horas y media por prueba. A continuación, se presentan la tabla de resultados en donde podemos ver los dispositivos que superaron el T1 de 50 psi en un tiempo de 30 min, los que alcanzaron el T2 de 100 psi y los que superaron el T2 en su totalidad (tabla 19).

**Tabla 19. Resultados de las pruebas hidrostáticas.**

Dispositivo	50 psi	tiempo	100psi	tiempo	Presión de estallido*
1	x	x	x	x	48 psi
2	x	x	x	x	0 psi
3	x	x	x	x	77,41 psi
4	si	30min	si	1min	109,23 psi
5	si	30min	si	30min	158,58 psi
6	si	30min	x	x	83,79 psi
7	si	30min	si	1min	102 psi
8	si	30min	x	x	67,66 psi
9	si	30min	si	5min	98,96psi

10	si	30min	si	3min	104,51psi
----	----	-------	----	------	-----------

\*Presión a la que fue sometido el dispositivo para su expulsión el fallar la prueba.

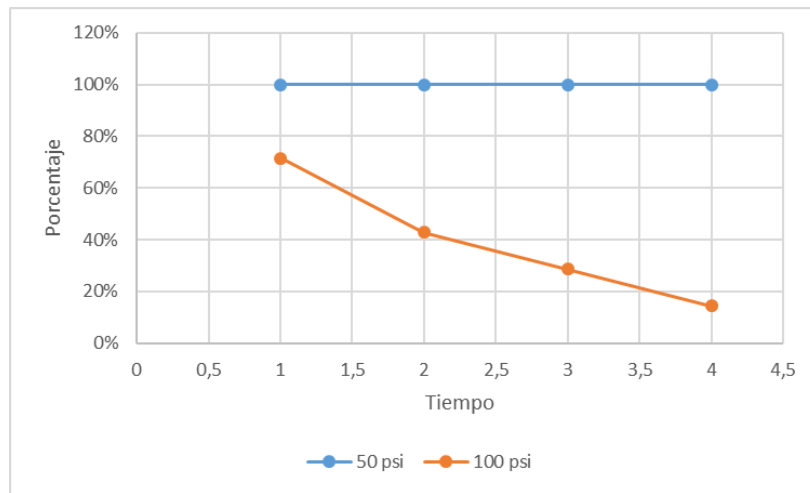
Para el tratamiento estadístico de la prueba se descartaron los dispositivos 1, 2 y 3 los cuales presentaron fugas desde su inserción, esto debido a que durante este procedimiento el golpe asestado con el martillo desplazaba el dispositivo de su eje recto haciendo que las paredes del mismo sufrieran mayor desgaste lo cual permitía la fuga del aceite por los bordes del agujero.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede observar que entre los 7 dispositivos que fueron sometidos al T1 el porcentaje de éxito en 30 minutos fue del 100%, pero al finalizar el tiempo de T2 este porcentaje de éxito disminuye a 14,28%.

Para el T2 igualmente se puede observar que su porcentaje de éxito en 1 minuto es del 71,43%, en 3 minutos es del 42,86%, para 5 minutos ha disminuido a 28,57%, para finalizar en el minuto 30 con el 14,29%.

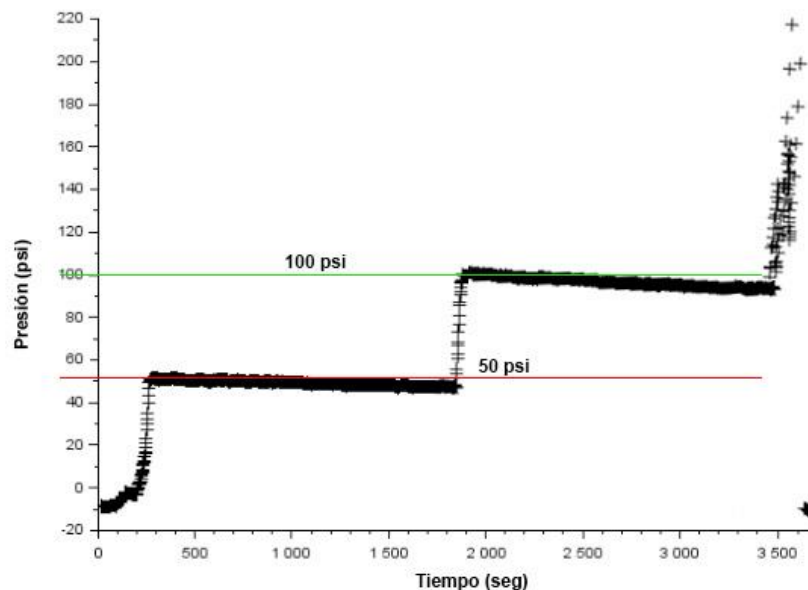
Estos resultados están contenidos en la siguiente gráfica de porcentaje de éxito respecto a tiempo soportado (figura 50).

**Figura 50. Gráfica Tiempo vs Porcentaje de éxito.**



Con diferencia de 25 minutos sobre los otros, el dispositivo 5 fue el que obtuvo mejores resultados superando el T2 con una variación de presión de tan solo 2 psi durante los 30 minutos sugeridos por el protocolo. A continuación, se puede observar la gráfica de Tiempo vs Presión, obtenido mediante S-cilab, de este dispositivo (figura 51). Las gráficas de los demás dispositivos se pueden encontrar en el Anexo G.

**Figura 51. Gráfica Tiempo vs Presión dispositivo 5.**



#### **8.4 CONCLUSIONES**

De acuerdo a los resultados obtenidos de las pruebas hidrostáticas se puede concluir que el dispositivo funciona de manera correcta a 50 psi de presión sin variaciones drásticas ni goteo del aceite. Al aumentar la presión a 100 psi el dispositivo se hace inestable en sus resultados, pero cabe destacar que, aunque no se realizó un análisis comparativo, se superaron los resultados obtenidos por parte de las investigadoras con respecto a los resultados de sus pruebas en 20 minutos en la misma cantidad de presión. De igual forma se puede afirmar que los

dispositivos elaborados con el proceso propuesto en este proyecto lograron mejorar los acabados finales, algunas de estas mejoras son: no se presentaron inconsistencias en los acabados de sus bordes, no presentó contracción en su etapa de solidificación del material, no presentan impurezas en su estructura y sus acabados son más limpios al presentar un acabado liso y un color amarillo translucido. Cabe destacar que, respecto a la experiencia, la perpendicularidad en la inserción del dispositivo es clave para su desempeño en la prueba.

## 9. CONCLUSIONES

Al llevar a cabo el desarrollo de una propuesta de mejoramiento, enfocado en el proceso de síntesis del poliuretano a base de aceite de ricino como en la elaboración de dispositivos para evitar fugas, es de vital importancia mantener una comunicación constante con los investigadores a cargo. Este aspecto permitió la realización de un análisis del estado actual en el cual se identificaron seis debilidades de la etapa de síntesis y cinco de la etapa de elaboración del dispositivo. Lo cual fue un indicio de que, aunque el proceso fuese funcional y sus protocolos químicos estuvieran definidos, la intervención del diseño industrial era una oportunidad de ofrecer solución a problemáticas latentes.

Mediante la definición del proceso de mejoramiento se logró una reducción del 22,6% de las tareas del mismo, la mayoría de las cuales pertenecían a actividades con desconexiones en su ejecución. Las propuestas objetuales diseñadas para el proceso influyeron de manera importante en estas reducciones dejando entrever el valor real del objeto como elemento facilitador en la interacción con el entorno.

El dispositivo diseñado para evitar fugas fue el reflejo de que las acciones de mejora, dispuestas para las actividades a lo largo del proceso, surtieron efectos positivos en la calidad del material. Se logró ejercer mayor control de las dimensiones logrando una contracción que tiende a 0% mediante la implementación de un molde rígido de dos piezas en aluminio. Por otra parte, en cuanto a las pruebas hidrostáticas, se pudo evidenciar un porcentaje de éxito del 100% a 50 psi haciendo confiable el funcionamiento de estos dispositivos a este nivel de presión. En cuanto a un resultado comparativo con respecto al dispositivo elaborado por las investigadoras del GIP, aunque no coincidan ni en proceso de elaboración ni en diseño formal, se detectó un aumento de 20 minutos a 100psi para el mejor resultado obtenido lo cual indica que tanto las acciones de mejora al proceso como el diseño formal del dispositivo resultaron de este proyecto

incidieron de forma positiva en su desempeño, pero aun así deben estudiarse medidas para estabilizar la resistencia hidrostática a este nivel de presión.

Una de las limitaciones de este proyecto es respecto a la mejora continua, concepto extendido en la gestión de procesos y que conlleva análisis más extenso de las acciones de mejora propuestas para que constantemente sean ajustadas logrando la optimización del proceso, y aunque la ficha de control implementada es un paso en esta dirección ofreciendo una oportunidad a futuro para su implementación, los límites de tiempo del proyecto no alcanzan tal punto.

Por último, se recomienda al Grupo de Investigación en Polímeros continuar con el trabajo en colaboración con el del Diseño Industrial, ya que las acciones que se pueden desarrollar desde esta disciplina pueden ofrecer mejoras no solo en procesos, sino además en productos, herramientas y servicios ofrecidos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN POLÍMEROS. Universidad Industrial de Santander (1975). *Nuestra Misión*. Bucaramanga, Colombia. Recuperado de: <http://www.gipuis.com/index.php/nuestra-mision>
2. ISO 9001. Sistemas de Gestión de la Calidad: Requisitos. Norma Internacional. Traducción Oficial. Ginebra, Suiza, 2008.
3. NTC - ISO 9000. Sistemas de Gestión de la Calidad: Fundamentos y Vocabulario. Adopción idéntica de ISO 9000:2005. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, Colombia, 2005.
4. GRADY, Booch. Object-oriented analysis and design with applications. *Benjamin Cummings*, 1994.
5. World Design Organization. *Definition of Industrial Design*. Montreal, Quebec, 1957. Recuperado de: <http://wdo.org/about/definition/>
6. CARRASCO, Juan Bravo. Gestión de procesos. *Santiago de Chile: Evolución SA*, 2011.
7. MINISTERIO DE FOMENTO. La gestión por Procesos. *Modelos para implantar la mejora continua en la gestión de empresas de transporte por carretera*. España. Edición: Mayo, 2005.
8. IDEO. Fecha de consulta: 18 de julio de 2016. Disponible en: <https://www.ideo.com/about/>

9. SCHEER, Andrea; NOWESKI, Christine; MEINEL, Christoph. Transforming constructivist learning into action: Design thinking in education. *Design and Technology Education*, 2012, vol. 17, no 3, p. 8-19.
10. GONZALEZ, F. Mini guía: una introducción al Design Thinking + Bootcamp bootleg. *Hasso Platner, Institute of design at Stanford*, 2012.
11. DESIGN THINKING EN ESPAÑOL. Recuperado de: [designthinking.es/](http://designthinking.es/)
12. RUMMLER, Geary A.; BRACHE, Alan P. Improving Performance: How To Manage the White Space on the Organization Chart. The Jossey-Bass Management Series. Jossey-Bass, Inc., 350 Sansome Street, San Francisco, CA 94104, 1995.
13. COMPANY, B. Poliuretanos e seus intermediarios., pp. 1-42, 2014.
14. SHARMA V. Y KUNDU, P.P. Condensation polymers from natural oils. *Progress in Polymer Science (Oxford)*, 33(12), pp.1199–1215, 2008.
15. CARRO, Roberto; GONZÁLEZ GÓMEZ, Daniel A. Diseño y selección de procesos. 2012.
16. GERARDO, Rodríguez. Manual de diseño industrial. *Curso básico. Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco. Edit. GG. México*, 2011.
17. MONDELO, Pedro R., et al. *Ergonomía 3: Diseño de puestos de trabajo*. Universitat Politecnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politecnica, 2004.
18. CARPIO VARGAS, Jenny Marilú. Influencia de las condiciones de procesado mediante FDM sobre las propiedades físicas y mecánicas del plástico ABS. 2015.

## BIBLIOGRAFÍA

ARCHILA, J. F. D., CANTERO, K., Simulación de un Proceso de Producción de Biodiesel por Lotes a Través de Medios Químicos, Revista Prospectiva, V. 8, N 1, Junio 2010, pg 35 - 42. ISSN 1692-8261.

CARPIO VARGAS, Jenny Marilú. Influencia de las condiciones de procesado mediante FDM sobre las propiedades físicas y mecánicas del plástico ABS. 2015.

CARRASCO, Juan Bravo. Gestión de procesos. *Santiago de Chile: Evolución SA*, 2011.

CARRO, Roberto; GONZÁLEZ GÓMEZ, Daniel A. Diseño y selección de procesos. 2012.

COMPANY, B. Poliuretanos e seus intermediarios., pp. 1-42, 2014.

DESIGN THINKING EN ESPAÑOL. Recuperado de: [designthinking.es/](http://designthinking.es/)

GONZALEZ, F. Mini guía: una introducción al Design Thinking + Bootcamp bootleg. *Hasso Platner, Institute of design at Stanford*, 2012.

GRADY, Booch. Object-oriented analysis and design with applications. *Benjamin Cummings*, 1994

GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN POLÍMEROS. Universidad Industrial de Santander (1975). *Nuestra Misión*. Bucaramanga, Colombia. Recuperado de: <http://www.gipuis.com/index.php/nuestra-mision>

IDEO. Fecha de consulta: 18 de julio de 2016. Disponible en: <https://www.ideo.com/about/>

ISO 9001. Sistemas de Gestión de la Calidad: Requisitos. Norma Internacional. Traducción Oficial. Ginebra, Suiza, 2008.

MINISTERIO DE FOMENTO. La gestión por Procesos. *Modelos para implantar la mejora continua en la gestión de empresas de transporte por carretera*. España. Edición: Mayo, 2005.

MONDELO, Pedro R., et al. *Ergonomía 3: Diseño de puestos de trabajo*. Universitat Politecnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politecnica, 2004.

NTC - ISO 9000. Sistemas de Gestión de la Calidad: Fundamentos y Vocabulario. Adopción idéntica de ISO 9000:2005. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, Colombia, 2005.

RODRÍGUEZ, Gerardo. Manual de diseño industrial. *Curso básico. Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco. Edit. GG. México, 2011.*

RUMMLER, Geary A.; BRACHE, Alan P. Improving Performance: How To Manage the White Space on the Organization Chart. The Jossey-Bass Management Series. Jossey-Bass, Inc., 350 Sansome Street, San Francisco, CA 94104, 1995.

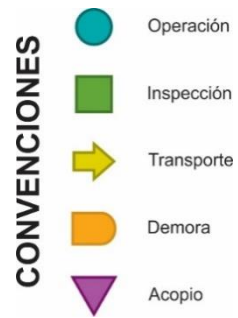
SCHEER, Andrea; NOWESKI, Christine; MEINEL, Christoph. Transforming constructivist learning into action: Design thinking in education. *Design and Technology Education*, 2012, vol. 17, no 3, p. 8-19.

SHARMA V. Y KUNDU, P.P. Condensation polymers from natural oils. *Progress in Polymer Science (Oxford)*, 33(12), pp.1199–1215, 2008.

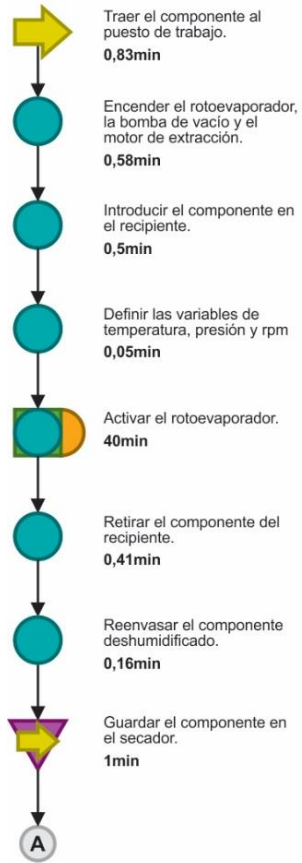
WORLD DESIGN ORGANIZATION. *Definition of Industrial Design*. Montreal, Quebec, 1957. Recuperado de: <http://wdo.org/about/definition/>

## ANEXOS

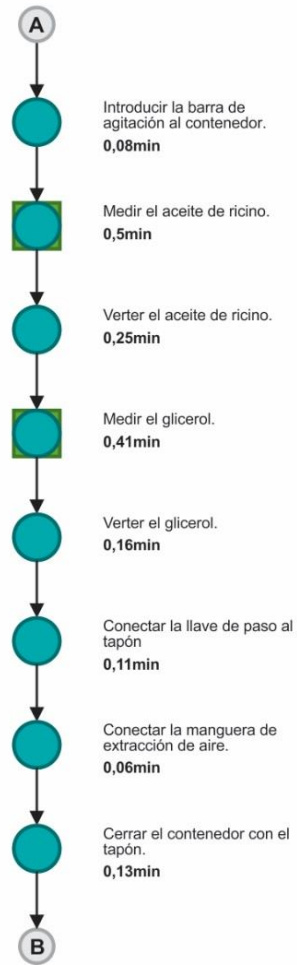
### Anexo A. Diagrama de mapa del proceso actual.



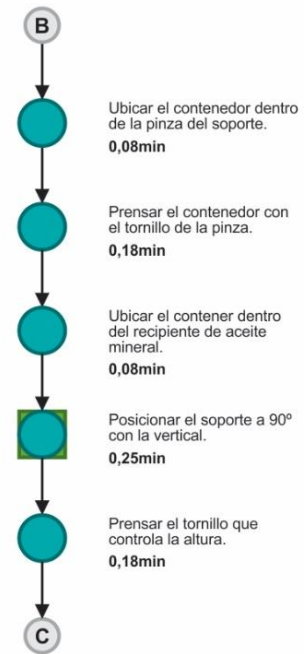
### Deshumidificación



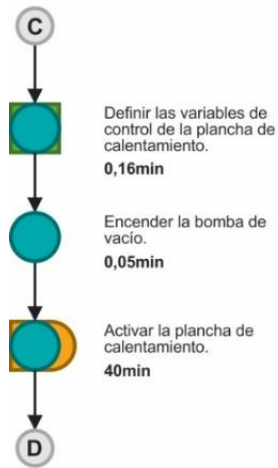
### Preparación para el mezclado



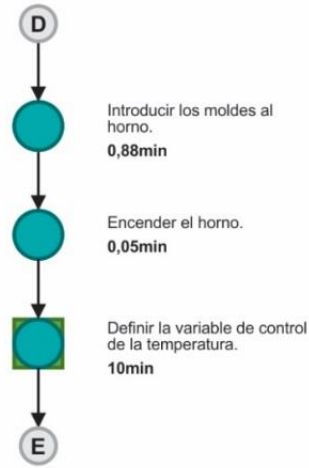
### Montaje



### Mezclado



### Calentamiento del molde



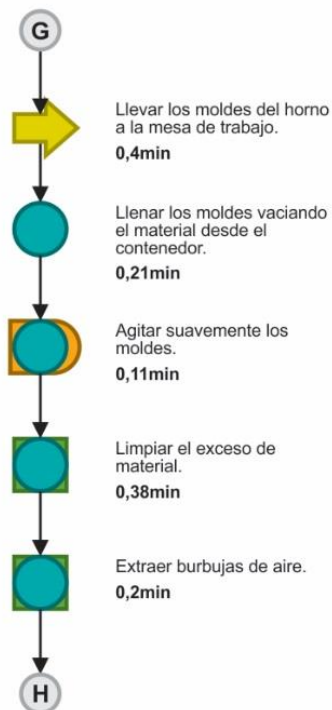
### Adición de MDI



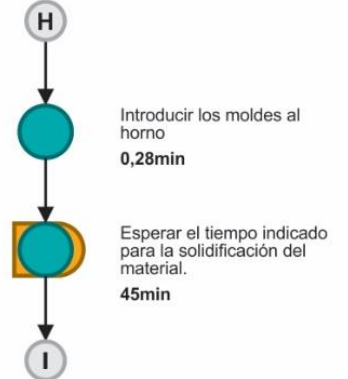
### Desmonte del recipiente



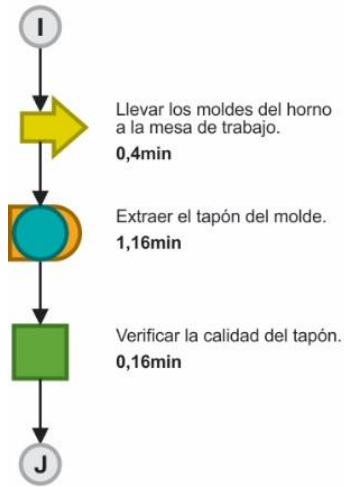
### Vaciado en el molde



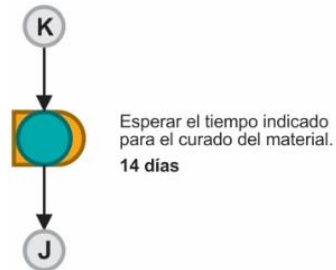
### Solidificación



### Desmolde



### Curado



### Limpieza



# Anexo B. QFD tapa

Correlations	
Positive	+
Negative	-
No Correlation	

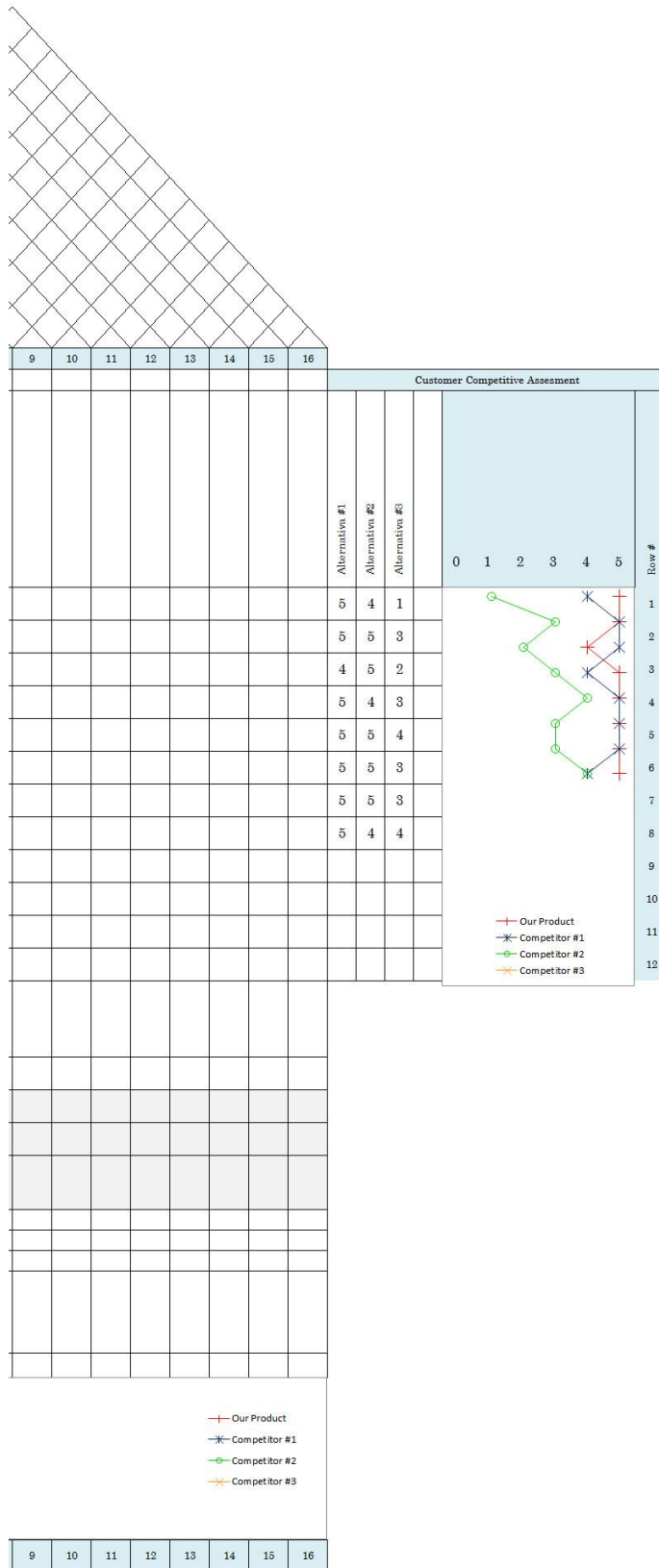
  

Relationships	
Strong	●
Moderate	○
Weak	▽

Direction of Improvement	
Maximize	▲
Target	◇
Minimize	▼

Row #	Weight Chart	Relative Weight	Customer Importance	Maximum Relationship	Customer Requirements (Explicit and Implicit)	Functional Requirements								
						1	2	3	4	5	6	7	8	
1		13%	4	9	Que sea fácil de limpiar.	●	●	○	●	●				
2		10%	3	9	Que sea fácil de instalar.	●		●		●	○			
3		13%	4	9	Que sea fácil de usar.	○	▽	●	●	●	○	○		
4		10%	3	9	Que sea fácil de desinstalar	●		●		●	●	○		
5		17%	5	9	Que Conserve el vacío dentro del contenedor.	●	●	●	●	○	○			
6		17%	5	9	Que permita introducir los componentes al contenedor conservando el vacío.	○	●	○	●	●	●			
7		10%	3	9	Que soporte la temperatura con que se trabaja en la fase de mezclado.	●	●				▽	●		
8		10%	3	9	que soporte la presión de vacío	●	●	●	●	●	●	▽		
9		0%	0											
10		0%	0											
11		0%	0											
12		0%	0											
Target						<6	Material funcional	Material funcional	Mecanismo funcional	Mecanismo funcional	69mmHg	60°		
Max Relationship						9	9	9	9	9	9	9		
Technical Importance Rating						720	613,33	630	630	710	460	210		
Relative Weight						18%	15%	16%	16%	18%	12%	5%		
Weight Chart														
Alternativa #1						5	5	5	5	4	5	5		
Alternativa #2						4	5	5	4	5	4	5		
Alternativa #3						3	4	2	4	3	4	3		
Technical Competitive Assessment														
						0	1	2	3	4	5			
Column #						1	2	3	4	5	6	7	8	



# Anexo C. QFD sistema de soporte.

				<table border="1"> <tr><th>Correlations</th></tr> <tr><td>Positive +</td></tr> <tr><td>Negative -</td></tr> <tr><td>No Correlation</td></tr> </table>								Correlations	Positive +	Negative -	No Correlation
Correlations															
Positive +															
Negative -															
No Correlation															
				<table border="1"> <tr><th>Relationships</th></tr> <tr><td>Strong ●</td></tr> <tr><td>Moderate ○</td></tr> <tr><td>Weak ▼</td></tr> </table>								Relationships	Strong ●	Moderate ○	Weak ▼
Relationships															
Strong ●															
Moderate ○															
Weak ▼															
				<table border="1"> <tr><th>Direction of Improvement</th></tr> <tr><td>Maximize ▲</td></tr> <tr><td>Target ◇</td></tr> <tr><td>Minimize ▼</td></tr> </table>								Direction of Improvement	Maximize ▲	Target ◇	Minimize ▼
Direction of Improvement															
Maximize ▲															
Target ◇															
Minimize ▼															
Row #	Weight Chart	Relative Weight	Customer Importance	Maximum Relationship	Customer Requirements (Explicit and Implicit)	Forma	Mecanismo de ajuste del recipiente	Material del soporte	Dimensiones	Peso soportado por el soporte	Mecanismo para el vertido	Mecanismo de ajuste al puesto de trabajo	Tiempo de vertido		
Column #					1	2	3	4	5	6	7	8			
Direction of Improvement					◇	▲	▼	▼	◇	▲	▲	▲			
1		13%	3	9	Fácil de ajustar su posición.	●	●	▼	●	○	●				
2		13%	3	9	Fácil de instalar en el puesto de trabajo	●	●	○	●	▼	○	●			
3		13%	3	9	Que el contenedor sea fácil de ajustar al soporte	●	○	●	○	○	○	●			
4		22%	5	9	Que sea capaz de sostener el peso del contenedor.	●	●	●	●	▼	○	●			
5		17%	4	9	Que facilite la fase de vertido del material en los moldes	●	●	●	●	●	▼	●			
6		22%	5	9	Que mantenga la estabilidad del recipiente durante el mezclado.	●	●	●	●	●	●	●			
7		0%	0												
8		0%	0												
9		0%	0												
10		0%	0												
11		0%	0												
12		0%	0												
Target						<4	Material funcional temperatura >60°	<50°/2	100 gr o más	Mecanismo funcional	Mecanismo funcional	<15min			
Max Relationship						9	9	9	9	9	9	9			
Technical Importance Rating						900	900	482,61	900	430,43	543,48	552,17			
Relative Weight						19%	19%	10%	19%	9%	12%	12%			
Weight Chart															
Alternativa #1						3	3	4	3	3	4	3			
Alternativa #2						4	3	4	4	4	4	4			
Alternativa #3						5	5	5	5	5	5	5			
Technical Competitive Assessment															
Column #						1	2	3	4	5	6	7	8		



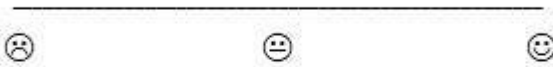
## Anexo D. Formato para evaluación.

Usuario 1.

---

### Prueba 1.

Mango 1



Mango 2



Mango 3



- ¿Cuál mango considera que es el más adecuado para el procedimiento?

---

---

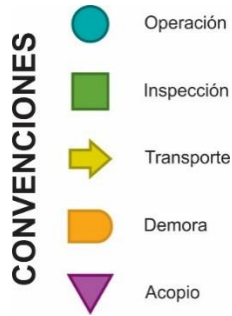
---

## Anexo E. Ficha de control del proceso.

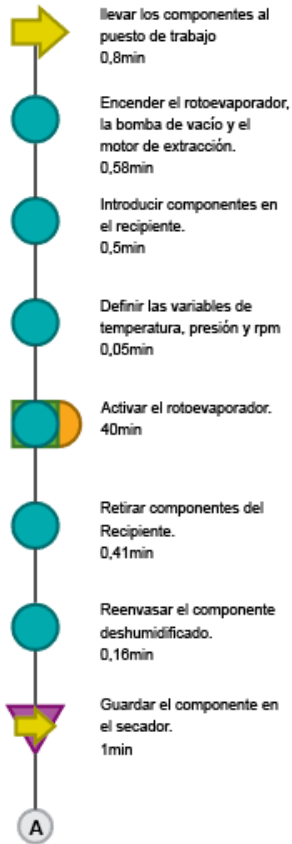
**FICHA DE CONTROL**  
**Grupo de Investigación en Polimeros**  
 Proceso para la síntesis y elaboración de productos  
 con poliuretano a partir de aceite de ricino.

<b>Fecha:</b>			
<b>Nombre del investigador:</b>			
<b>Relación porcentual de componentes:</b>			
<b>Cantidad para cada componente usado</b>			
<b>Aceite de Ricino</b>		<b>Glicerol</b>	<b>MDI</b>
<b>Control de variables por actividad</b>			
<b>Deshumidificación</b>			
	Temperatura		
	Presión de vacío		
	R.P.M		
<b>Mezclado</b>			
	Tiempo de mezclado		
	Temperatura		
	Presión de vacío		
	R.P.M		
<b>Preparación del molde</b>			
	Tiempo en horno		
	Temperatura		
<b>Vaciado en el molde</b>			
	Tiempo de vaciado		
<b>Solidificación</b>			
	Tiempo solidificación		
	Temperatura		
<b>Curado</b>			
	Tiempo de curado		
<b>Observaciones:</b>			

## Anexo F. Diagrama de mapa del proceso propuesto.



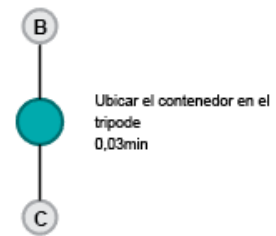
### Deshumidificación



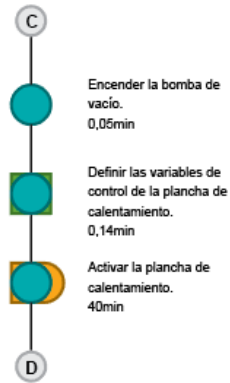
### Preparación para el mezclado



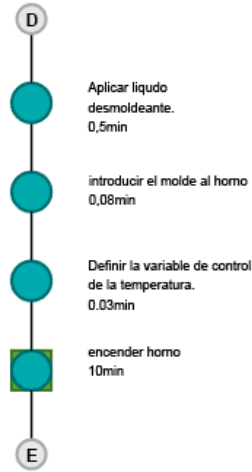
### Montaje



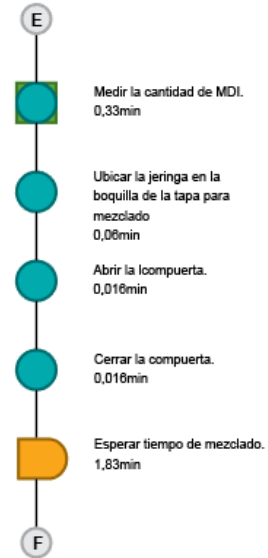
### Mezclado



### Calentamiento del molde



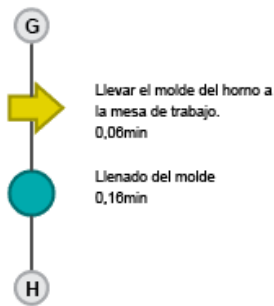
### Adición de MDI



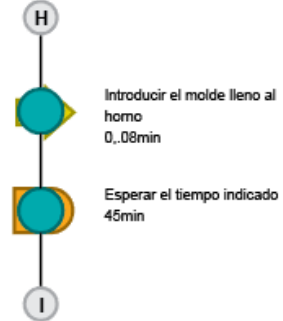
### Desmonte del recipiente



### Vaciado en el molde



### Solidificación



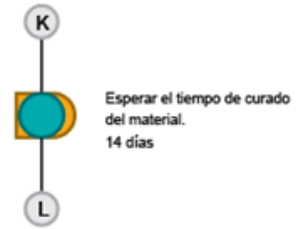
### Limpieza



### Desmolde

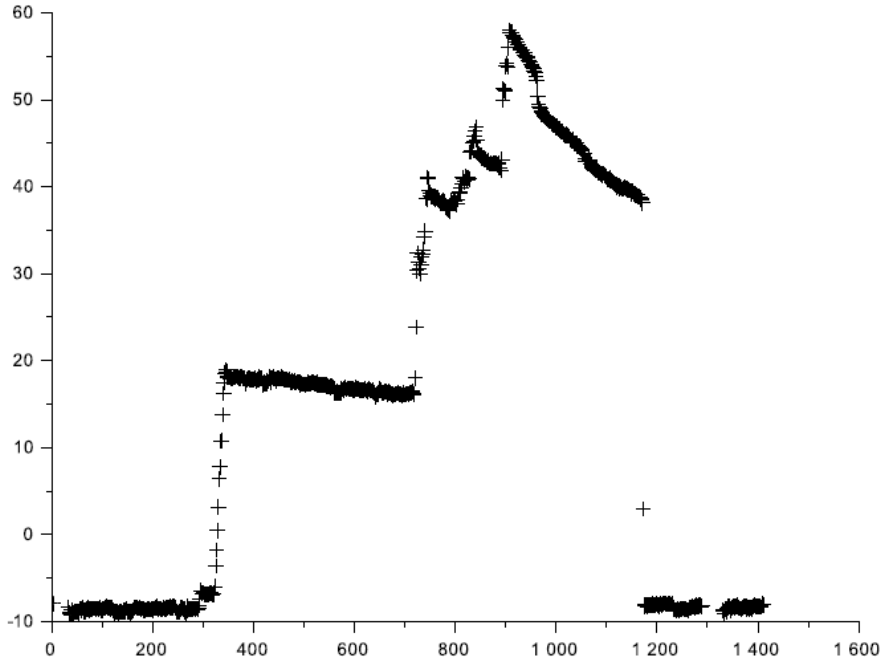


### Curado

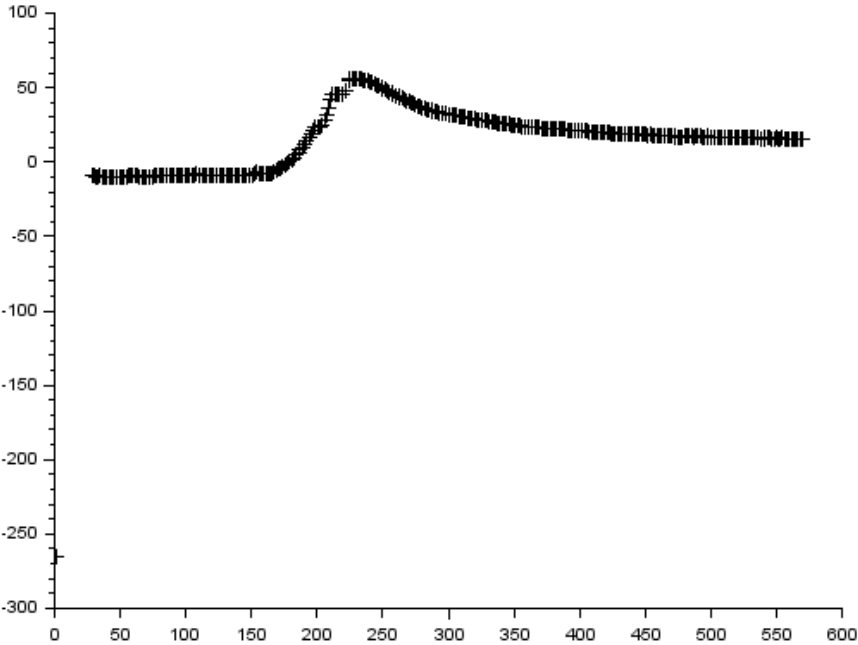


**Anexo G. Gráficas de Tiempo vs Presión producto de la prueba Hidrostática.**

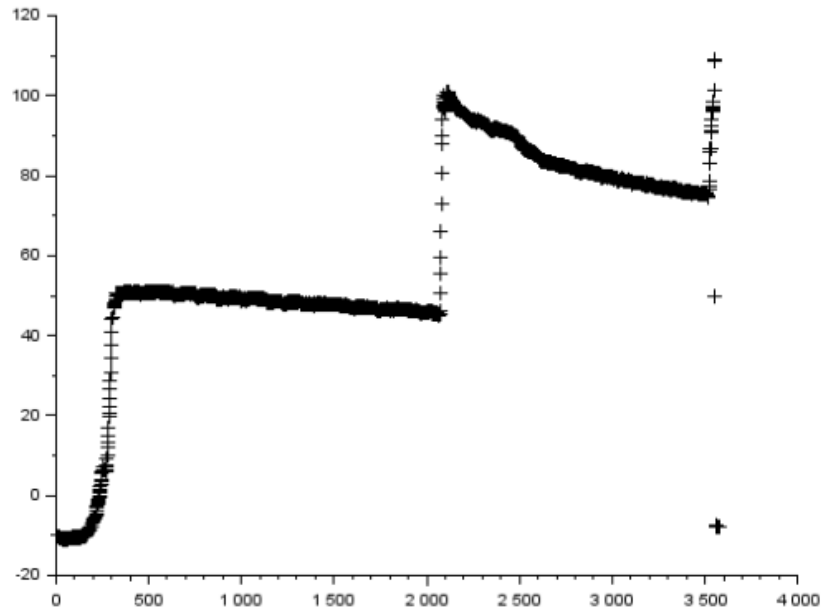
**Dispositivo 1**



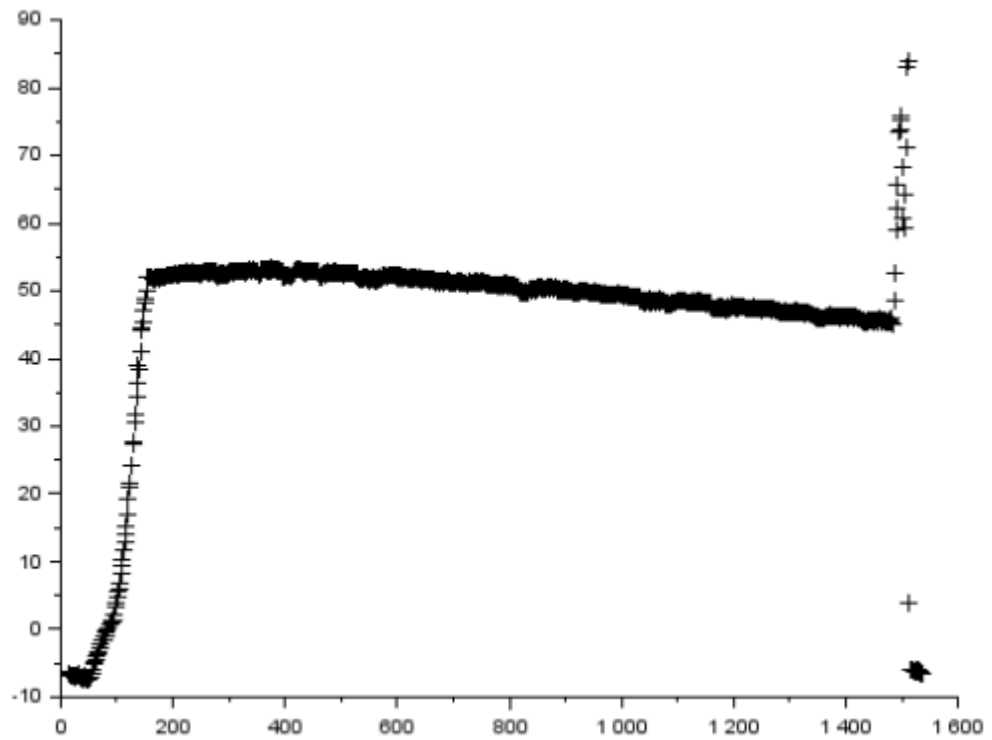
**Dispositivo 2**



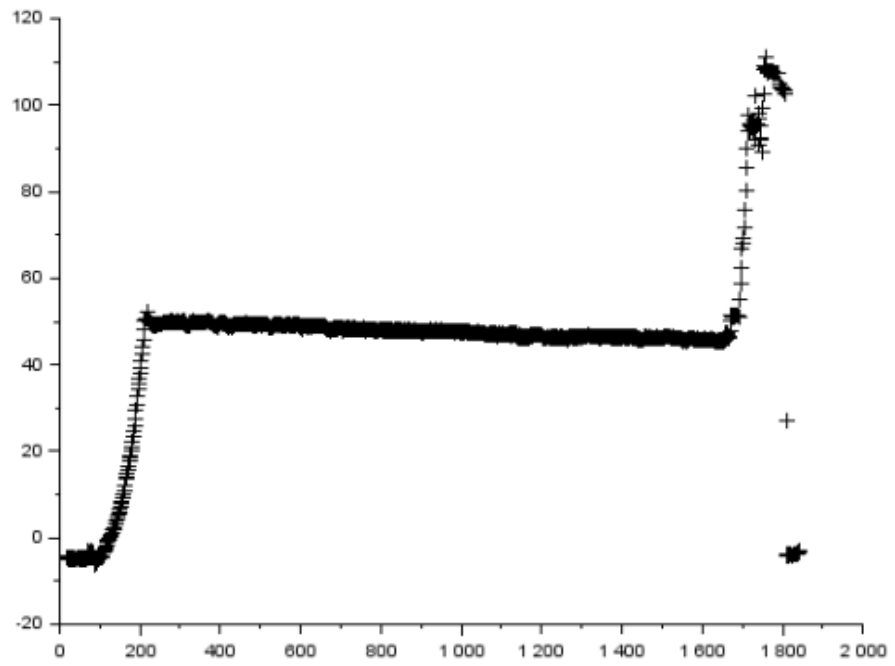
Dispositivo 4



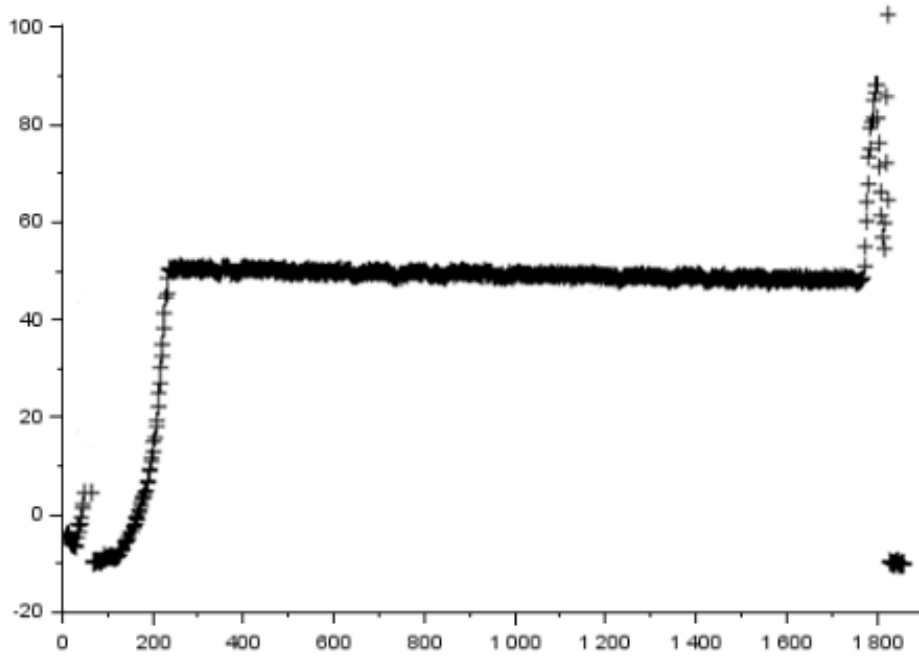
Dispositivo 6



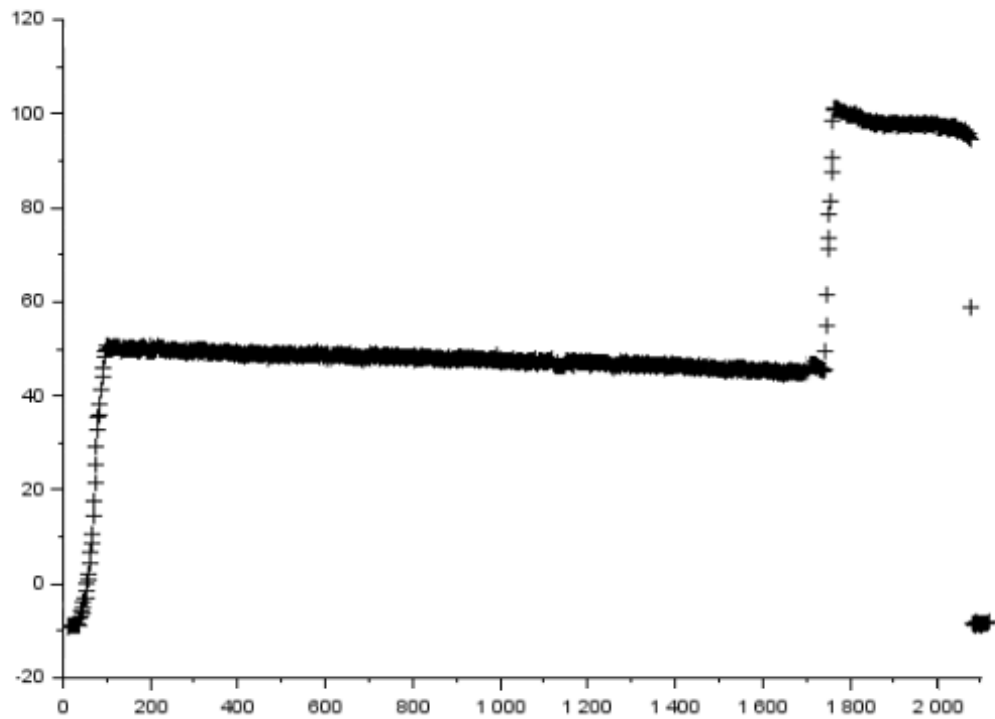
### Dispositivo 7



### Dispositivo 8



Dispositivo 9



Dispositivo 10

