

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

# MEZCLAS DE POLIURETANO TERMOPLASTICO CON POLIPROPILENO

Jorge Andrés Pineda Marín

Juan Pablo Herrera Agudelo

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Carlos Andrés Vargas Isaza

Adrián Benítez

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**14 de Junio de 2019**

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RESUMEN

---

Con el presente trabajo se realizarán mezclas en diferentes proporciones de materiales disponibles en el mercado (Poliuretanos termoplásticos, polipropilenos y aditivos), para realizar con ellos pruebas que puedan dar información sobre las propiedades de resistencia al medio ambiente y ductilidad necesaria para ser usadas en el medio industrial como reemplazo de las mezclas existentes de mayor valor.

Como resultado se obtendrán placas y probetas de diferentes proporciones realizadas en el reómetro de torque las cuales serán usadas en pruebas adicionales para ser verificados en medios controlados y así lograr un sustituto adecuado para el uso de las mismas en la industria colombiana. Los materiales a usar serán un poliuretano termoplástico del fabricante Bayer, un polipropileno homopolímero del fabricante Plassol y aditivos de absorción ultra violeta (UV), para que en diferentes proporciones de cada elemento se logren encontrar cualidades que permitan su producción masiva a menores costos de producción.

*Palabras clave:* Polipropileno, aditivo, poliuretano termoplástico, mezclas, reómetro de torque, prensa hidráulica.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RECONOCIMIENTOS

---

Queremos agradecer especialmente al Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), por brindarnos la oportunidad de realizar nuestro trabajo de grado en el laboratorio de polímeros ubicado en la sede de fraternidad. También agradecerle a los docentes Carlos Andrés Vargas Isaza y Adrián Benítez, por su apoyo y asesoría durante el desarrollo de este trabajo, y por darnos la oportunidad de hacer parte de este proyecto.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# ACRÓNIMOS

---

*bar* Bar

$CO_2$  Dióxido de carbono

*g* Gramos

*H* Hidrogeno

*h* Hora

$H_2O$  Agua

*iPP* Polipropileno isotáctico

*ITM* Instituto Tecnológico Metropolitano

*MB* Masterbatch

*min* Minutos

*N* Nitrógeno

*Nm* Newton Por Metro

*O* Oxigeno

*PP* Polipropileno

*PLLA* Poli-L de Ácido Láctico

*rpm* Revoluciones Por Minuto

*S* Azufre

*TPU* Poliuretano Termoplástico

*UV* Ultra Violeta

$^{\circ}C$  Grados Celsius

$\gamma$ -Fe 2 O 3 Maghemita

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	
1.1.	OBJETIVOS.....	
1.1.1.	OBJETIVO GENERAL .....	
1.1.2.	OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	
2.	MARCO TEÓRICO.....	
2.1.	POLIMEROS.....	
2.1.1.	PROPIEDADES DE LOS POLIMEROS.....	
2.1.2.	ESTRUCTURA DE LOS POLIMEROS .....	
2.1.3.	CLASIFICACION DE LOS POLIMEROS .....	
2.2.	POLIPROPILENO .....	
2.3.	POLIURETANO TERMOPLASTICO .....	
2.4.	PROCESO DE MEZCLADO .....	
2.4.1.	ROTORES.....	
2.5.	MOLDEO POR COMPRESION .....	
2.6.	ESTADO DEL ARTE .....	
3.	METODOLOGÍA .....	
3.1.	ANALISIS.....	
3.2.	REOMETRIA.....	
3.2.1.	VERIFICACION .....	
3.2.2.	CALEFACCION.....	
3.2.3.	LLENADO .....	
3.2.4.	VACIADO DE CAMARAS.....	
3.3.	MODELO POR COMPRESION .....	
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	
5.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....	
	REFERENCIAS .....	

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Reómetro de torque .....	15
Fig. 2. Rotores tipo Roller .....	15
Fig. 3. Prensa hidráulica .....	16
Fig. 4. Interruptor principal .....	22
Fig. 5. Pulsador de calefacción .....	23
Fig. 6. Pulsador del motor .....	24
Fig. 7. Partículas del material .....	25
Fig. 8. Indicador de temperatura .....	25
Fig. 9. Termocuplas .....	26
Fig. 10. Material para prensar .....	26
Fig. 11. Fundición del material .....	27
Fig. 12. Medidor de presión .....	28
Fig. 13. Manguera de refrigeración .....	28
Fig. 14. Material prensado .....	29
Fig. 15. Grafica de mezcla sin PP-1 .....	30
Fig. 16. Grafica de mezcla sin PP-2 .....	31
Fig. 17. Grafica de mezcla sin PP-3 .....	31
Fig. 18. Grafica de mezcla con PP-1 .....	32
Fig. 19. Grafica de mezcla con PP-2 .....	32
Fig. 20. Grafica de mezcla con PP-3 .....	33

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de mezclas ..... 21

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# 1. INTRODUCCIÓN

---

Actualmente, la industria agrónoma busca tener sistemas más eficientes con el fin de reducir costos, tiempos, mejorar la calidad de los materiales, facilidad en la elaboración, instalación y comodidad de uso para los animales que lo requieran. De acuerdo a lo anterior surge la necesidad de realizar este proyecto con el fin de encontrar un material que pueda sustituir y mejorar la calidad de las chapetas utilizadas en los animales (bovinos). Otra razón por la cual nació esta investigación es disminuir los costos, ya que el material que se utiliza en la actualidad, con respecto al que se usa en la investigación tiene la ventaja de su fácil acceso, pero la gran desventaja de su alto precio de adquisición, mientras que el empleado en la investigación tiene un menor costo para su elaboración.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. OBJETIVO GENERAL

Elaborar una serie de mezclas con diferentes polímeros, para evaluaciones experimentales.

### 1.1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Definir las composiciones de las mezclas a realizar con poliuretano termoplástico, polipropileno y agregar un aditivo para lograr el resultado esperado.
- Elaborar mezclas de TPU/PP mediante un procesamiento de reometría de torque.
- Fabricación de probetas para pruebas mecánicas mediante proceso de termoprensado y troquelado.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2. MARCO TEÓRICO

---

### 2.1. POLIMEROS

Los polímeros son macromoléculas formadas por la unión de una o varias moléculas unidad por enlaces covalentes. Un polímero es un compuesto molecular que se conoce por tener una masa molar muy grande, que parte desde miles a millones de gramos y además por estar formado por muchas unidades que se repiten (Chang & Goldsby, 2017). Las moléculas que se combinan para formar los polímeros son conocidas como monómeros y las reacciones que ocurren por medio de las mismas se denominan reacciones de polimerización. Cuando se encuentra dos o más moléculas diferentes que se repiten en una cadena se dice que se habla de copolimerización, copolímero y comonómeros, por el contrario cuando se encuentra un solo tipo de molécula se denomina homopolimerización y homopolímero (Seymour & Carraher, 1995). Las reacciones de polimerización se clasifican en dos grupos: reacciones de condensación y reacciones de adición.

Los polímeros de condensación se forman a partir de monómeros polifuncionales por medio de diferentes reacciones con la posible eliminación de una molécula, en cambio en los polímeros de adición, la unidad estructural tiene la misma composición que la del monómero inicial (Vélez M, 2008).

#### 2.1.1. PROPIEDADES DE LOS POLIMEROS

##### 2.1.1.1. PROPIEDADES MECANICAS

Es el modo en que el polímero responde a la aplicación de una fuerza o carga. Las propiedades principales son: resistencia a la tensión o tracción, resistencia a la

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

compresión, resistencia a la cizalla, resistencia al Impacto, resistencia a la flexión, fatiga y amortiguamiento, dureza y resistencia a la abrasión.

#### 2.1.1.2. PROPIEDADES FISICAS

No dependen de las fuerzas básicas (esfuerzo, compresión y cizalla), si no de la estructura molecular del material. Las propiedades más importantes son: densidad y densidad relativa, contracción de moldeo, fluencia a la tracción y viscosidad.

#### 2.1.1.3. PROPIEDADES TERMICAS

Cuando se calientan los termoplásticos las moléculas y los átomos del material empiezan a vibrar con mayor rapidez, ocasionando el alargamiento de las cadenas moleculares. Las propiedades que involucran el área térmica son: conductividad térmica, capacidad calorífica, expansión térmica, temperatura de deflexión, plásticos ablativos, resistencia al frío, inflamabilidad, índice de fundido, temperatura de transición vítrea, punto de reblandecimiento.

#### 2.1.1.4. PROPIEDADES ELECTRICAS

Los enlaces predominantemente covalentes de los polímeros limitan su conductividad térmica. Las principales propiedades eléctricas son: resistencia al arco eléctrico, resistividad, resistencia dieléctrica, constante dieléctrica, factor de disipación (Smith, 1997).

#### 2.1.2. ESTRUCTURA DE LOS POLIMEROS

La estructura de los polímeros parte de dos niveles las cuales son: estructura química y estructura física. La estructura física de los polímeros consiste básicamente en la

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

orientación y la cristalinidad que dependen en gran porcentaje de la estructura química y por lo tanto limitan el comportamiento del material durante el procesado y vida útil, mientras que la estructura química se centra en la construcción de la molécula individual (Seymour & Carraher, 1995).

### 2.1.3. CLASIFICACION DE LOS POLIMEROS

Los polímeros pueden clasificarse de varias formas, de acuerdo a su comportamiento frente al calor, producción, su estructura molecular, entre otros.

#### 2.1.3.1. TERMOPLASTICOS

Son polímeros que pueden cumplir un ciclo enfriamiento-solidificación y calentamiento-fusión debido a la temperatura. Estos materiales pueden ser reformados y recalentados sin sufrir cambios importantes en sus propiedades. Muchos termoplásticos tienen una cadena principal de átomos de carbono unidos mediante un enlace covalente, en ocasiones existen átomos de oxígeno (O), azufre (S) y nitrógeno (N) unidos mediante un enlace covalente en la cadena molecular principal. En este grupo de termoplásticos las cadenas moleculares se unen por enlaces secundarios (Smith, 1997).

#### 2.1.3.2. TERMOESTABLES

Los polímeros termoestables son materiales que en el momento que han sufrido el proceso de formación-solidificación y de calentamiento-fusión, se convierten en materiales muy rígidos que no pueden volver a ser fundidos (Vélez M, 2008).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 2.1.3.3. NATURALES

Son los polímeros donde los monómeros son derivados de productos de origen natural con características tales como: la celulosa y la caseína.

### 2.1.3.4. SINTETICOS

Son elementos que se producen por medio de productos elaborados por la mano del hombre, principalmente derivados del petróleo (Vélez M, 2008).

### 2.1.3.5. AMORFOS

Son amorfos los polímeros en los que las moléculas están en desorden; están ubicadas aleatoriamente sin corresponder a ningún orden. Por ende al no tener orden entre cadenas, se crean unos huecos por los que le entra luz y por lo tanto los polímeros amorfos son de color transparente.

### 2.1.3.6. SEMICRISTALINOS

Son elementos que poseen zonas de manera ordenada junto con zonas amorfas. Por lo tanto, al tener una estructura ordenada poseen menos huecos entre cadenas y tienden a no entrar la luz (Vélez M, 2008).

## 2.2. POLIPROPILENO

El polipropileno (PP) es un termoplástico muy versátil que tiene un excelente equilibrio de resistencia térmica y química, muy buenas propiedades mecánicas, eléctricas y una facilidad en el momento del procesamiento (Rubin, 2004).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Una de las ventajas que tiene es el bajo peso específico (densidad) y una de las desventajas que tiene es la inflamabilidad que puede interponerse para los fabricantes de equipos eléctrico (Rubin, 2004).

### 2.3. POLIURETANO TERMOPLASTICO

Los poliuretanos termoplásticos son copolímeros en bloque, cuentan con una estructura entrecruzada reversible a través de los enlace de tipo puente de hidrogeno (H), por lo tanto tienen la ventaja de poder ser procesados mediante, fundido, solución y además de que pueden ser reciclados (Mark, 1964) (Woods, 1990). En general este material está compuesto por segmentos rígidos y segmentos suaves. Si en el TPU, los segmentos suaves predominan en su estructura, este material presentará una alta deformabilidad, por el contrario si predominan los segmentos rígidos tendrá mayor rigidez (Hepburn, 1992).

### 2.4. PROCESO DE MEZCLADO

Este proceso se realiza por medio de un reómetro el cual es un instrumento de caracterización que permite el análisis de materiales poliméricos, para conocer con anterioridad el comportamiento que pueden tener dichos materiales en otros instrumentos o equipos de escalado industrial en grandes producciones como lo son la inyectora y la extrusora. En este equipo, el cual se presenta en la (ver Fig. 1), se realiza es la mezcla de polímeros con diferentes aditivos a cierta temperatura dependiendo las propiedades y requerimientos que se necesite.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



*Fig. 1. Reómetro de torque. Fuente: (elaboración propia)*

#### 2.4.1. ROTORES

Rotores Roller: Son usados para evaluar propiedades tales como viscosidad y reacciones de reticulación en materiales termoestables y termoplásticos, se presentan en la (ver Fig. 2) (Solutions, 2019).



*Fig. 2. Rotores tipo Roller. Fuente: (elaboración propia)*

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2.5. MOLDEO POR COMPRESION

Este proceso es muy importante para la finalizar la elaboración de las mezclas, ya que este depende la calidad de las probetas para ser analizadas más adelante. Este proceso se realiza por medio de una prensa hidráulica, ya que este equipo presenta un amplio campo en la industria de transformación, pues permite realizar piezas de gran precisión. Son llamadas hidráulicas y son diferentes a las demás ya que dependen de un fluido hidráulico presurizado, donde el pistón de la prensa está conectado a un cilindro que recibe el fluido a través de un motor que bombea el fluido hidráulico (ver Fig. 3).



Fig. 3. Prensa hidráulica. Fuente: (elaboración propia)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2.6. ESTADO DEL ARTE

Se realizaron una serie de investigaciones sobre los compuestos de poliuretano termoplástico (TPU) y polipropileno isotáctico (iPP) y sus mezclas reforzadas con talco no tratado y talco tratado con silano. La superficie del talco se modificó con un agente de acoplamiento de organosilano con el objetivo de mejorar la interacción entre polímero-relleno (Wakino & Fujiyama, 1991a). El TPU se combinó con iPP en una maquina llamada extrusora de doble tornillo y las respectivas muestras para la investigación se realizaron mediante moldeo por inyección a diferentes concentraciones (Wakino & Fujiyama, 1991b). Los resultados obtenidos arrojaron que las propiedades mecánicas de los compuestos de TPU e iPP rellenos de talco se mejoraron con la adición de talco no tratado y tratado con silano, ya que este generó una interfaz más rígida en la interfaz del polímero (Mandic, Filipan, Bulatovic, & Bajsic, 2017).

El campo de los materiales poliméricos es muy grande, es utilizado para muchas aplicaciones en la industria y en el sector de la ingeniería médica, por lo tanto día a día se realizan diferentes investigaciones en esta área de la medicina, con el fin de innovar y reducir el tamaño utilizando nuevas mezclas de polímeros. Una de estas investigaciones fue la optimización y desarrollo de nanofibras utilizando una mezcla de maghemita ( $\gamma$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) lleno de poli-L de ácido láctico (PLLA) y TPU para la válvula de corazón ingeniería de tejidos. Este elemento fue desarrollado utilizando el método de electrospinning (Fallahiarezoudar, Ahmadipourroudposht, Idris, & Yusof, 2017), para el desarrollo de este fue necesario tener en cuenta los parámetros tales como (voltaje, velocidad de rotación del colector y velocidad de flujo). Para esta optimización se lograron variaciones en el módulo elástico, una mayor porosidad y una mejor poliferración celular (Ngadiman et al., 2015).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Otra investigación también utilizando el TPU y PLA estudiaron las propiedades morfológicas, térmicas y reológicas por medio de una microscopia electrónica de barrido, calorimetría diferencial de barrido y reometría. Usando CO<sub>2</sub> para la formación de espuma por lotes y la capacidad de formación, esto se investigó sistemáticamente. Los investigadores encontraron que la mezcla 80/20 (% en peso/ % en peso) TPU/PLA (TPU 80%) da como resultado una capacidad de formación de espuma mucho mayor en un amplio rango de condiciones de formación de espuma, con el fin de producir espumas con una gran cantidad de morfología celular. Lo anterior se logró debido a la mejora de la nucleación celular y el crecimiento, y los cambios en la microestructura del polímero (Ahmed, Li, Yao, Cao, & Zeng, 2018).

Dice (Lin, Lou, & Lin, 2017) que uno de los factores más importantes a la hora de realizar estudios sobre mezclas nuevas, son las propiedades mecánicas, comportamiento de fusión, comportamiento de cristalización. Un estudio realizado para producir mezclas comunes de polipropileno (PP) y poliuretano termoplástico (TPU) y mezclas modificadas de polipropileno (MPP) resistente al impacto / TPU, todo este proceso fue realizado por medio de una calorimetría de barrido diferencial, el cual arrojó muestras donde se pudo observar que el uso del TPU influye en el comportamiento cristalino y de fusión de las mezclas de PP/TPU, pero no de las mezclas de MPP. Otra prueba realizada fue por medio de análisis de infracción de rayos X, indico que la presencia de TPU no influye en la estructura cristalina del PP, ni crea picos cristalinos y por último se obtuvieron los resultados de las pruebas de propiedades mecánicas que revelaron que las mezclas de PP/TPU muestran una mejor resistencia a la tracción, a la flexión y el módulo de Young, el caso contrario arrojaron las mezclas de MPP/TPU ya que exhiben mayor absorción de energía y resistencia al impacto (Lin et al., 2017).

En general el estudio y el análisis de las mezclas con materiales poliméricos se puede ver como un proceso simple, sin embargo, siempre se debe tener en cuenta cada uno de los factores nombrados anteriormente, ya que cada uno de ellos cumple una función

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

indispensable para lograr un buen material eficiente y poder remplazar a otro menos eficiente.

En los diferentes artículos científicos y proyectos investigados, se nota que emplearon métodos similares al presente proyecto, ya que el laboratorio de polímeros cuenta con equipos similares, en cuanto a reometría y moldeo por compresión.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 3. METODOLOGÍA

### 3.1. ANALISIS

De acuerdo con la investigación realizada por los docentes asesores, acerca de la importancia de encontrar materiales sustitutos para la industria agrónoma, por un método estadístico se lograron descifrar una cierta cantidad de mezclas, en donde cada una de ellas varía en su peso, para así poder obtener un compuesto que satisfaga las necesidades de dicha investigación. Con los datos obtenidos (ver Tabla 1) se procedió a dar inicio nuestro trabajo.

ORDEN ESTADÍSTICO	ORDEN DE CORRIDA	TIPO DE PUNTO	TPU	PP	MB	TRATAMIENTO
1	1	1	0.78	0.19	0.03	M1 (78TPU;19PP;3MB)
7	2	2	0.875	0.095	0.03	M2 (87,5TPU;9,5PP;3MB)
12	3	-1	0.92	0.045	0.035	M3 (92TPU;4,5PP;3,5MB)
6	4	2	0.96	0	0.04	M4 (96TPU;0PP;4MB)
5	5	2	0.78	0.18	0.04	M5 (78TPU;18PP;4MB)
10	6	-1	0.825	0.14	0.035	M6 (82,5TPU;14PP;3,5MB)
4	7	1	0.95	0	0.05	M7 (95TPU;0PP;5MB)
8	8	2	0.865	0.085	0.05	M8 (86,5TPU;8,5PP;5MB)
14	9	0	0.87	0.09	0.04	M9 (87TPU;9PP;4MB)
11	10	-1	0.825	0.13	0.045	M10 (82,5TPU;13PP;4,5MB)

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ORDEN ESTADÍSTICO	ORDEN DE CORRIDA	TIPO DE PUNTO	TPU	PP	MB	TRATAMIENTO
15	11	0	0.87	0.09	0.04	M11.9 (87TPU;9PP;4MB)
13	12	-1	0.91	0.045	0.045	M12 (91TPU;4,5PP;4,5MB)
2	13	1	0.78	0.17	0.05	M13 (78TPU;17PP;5MB)
3	14	1	0.97	0	0.03	M14 (97TPU;0PP;3MB)
9	15	0	0.87	0.09	0.04	M15.9 (87TPU;9PP;4MB)

Tabla 1. Tabla de mezclas .Fuente: (Vargas, 2019)

### 3.2. REOMETRIA

Para alcanzar los objetivos propuestos en el trabajo se empieza con el proceso de reometria, en el cual se utiliza un reómetro de torque para realizar las mezclas que se desean obtener.

#### 3.2.1. VERIFICACION

Se da inicio con el proceso de verificación, siempre se debe tener en cuenta que el computador este prendido y con el software (HAAKE PolySoft monitor) habilitado, luego se procede a energizar el reómetro de torque como se puede observar a continuación (ver Fig. 4)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Fig. 4. Interruptor principal. Fuente: (elaboración propia)

Otro factor importante que se tuvo en cuenta para este proceso fue, seleccionar el tipo de rotor que se consideró más útil para este tipo de mezclas. Después de escoger el rotor se realiza el montaje en el reómetro de torque y se observa que ya todos los elementos están verificados para su correcta operación.

### 3.2.2. CALEFACCION

Cuando se observó que el proceso de verificación estaba en óptimas condiciones, procedimos con el proceso de calefacción. Este se inició con la programación de la temperatura en el software (HAAKE PolySoft monitor), dicha variable se programó a una temperatura de 190°C. Esta temperatura se toma teniendo en cuenta los puntos de fusión de cada uno de los polímeros utilizados en el proceso.

Teniendo en cuenta que ya está establecido el parámetro de la temperatura máxima que alcanzaran las termocuplas, se procede a encender la calefacción del reómetro de torque (ver Fig. 5).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



*Fig. 5. Pulsador de calefacción. Fuente: (elaboración propia)*

Luego de encender la calefacción esperamos un determinado tiempo, con el fin de obtener una temperatura uniforme a lo largo de las placas y al interior de la cámara de mezclado del reómetro de torque, esto para estar seguros y poder obtener una correcta fusión entre los polímeros empleados.

### 3.2.3. LLENADO

Después de tener los dos procesos nombrados anteriormente, para comenzar con el proceso de llenado se debió tener en cuenta que la tolva estuviera en su posición y que el motor estuviera encendido (ver Fig. 6), y así mismo programar la respectiva velocidad del motor, que en este caso se utilizó una de 60rpm.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



*Fig. 6. Pulsador del motor. Fuente: (elaboración propia)*

Luego de esto se continuó con el respectivo llenado de las cámaras de mezclado del reómetro de torque, en esto se tuvo en cuenta la capacidad máxima de llenado de dichas cámaras, el cual es un aproximado de 65g. Después de llenar por completo las cámaras de mezclados, se procedió a grabar los datos desde el software para analizar el comportamiento de cada una de las mezclas, considerando la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), torque (Nm) y tiempo (min), como variables importantes para análisis de las mismas.

#### 3.2.4. VACIADO DE CAMARAS

Para finalizar con el proceso de reometria, se retiró el material mezclado en las cámaras, teniendo en cuenta que este proceso lo debemos realizar en caliente antes que el material disminuya su temperatura y aumente la dureza. En el mismo momento de retirar la mezcla se realizaron determinados cortes al material, esto debido que en el momento de compactar el material es más fácil con partículas más pequeñas (ver Fig. 7).



Fig. 7. Partículas del material. Fuente: (elaboración propia)

### 3.3. MODELO POR COMPRESION

Se dio inicio a este proceso llevando la prensa hidráulica a una temperatura de aproximadamente 215°C, esto por medio de un control de temperatura como se puede observar en la figura (ver Fig. 8). Este dispositivo controla la temperatura de la prensa hidráulica por medio de unas termocuplas (ver Fig. 9).



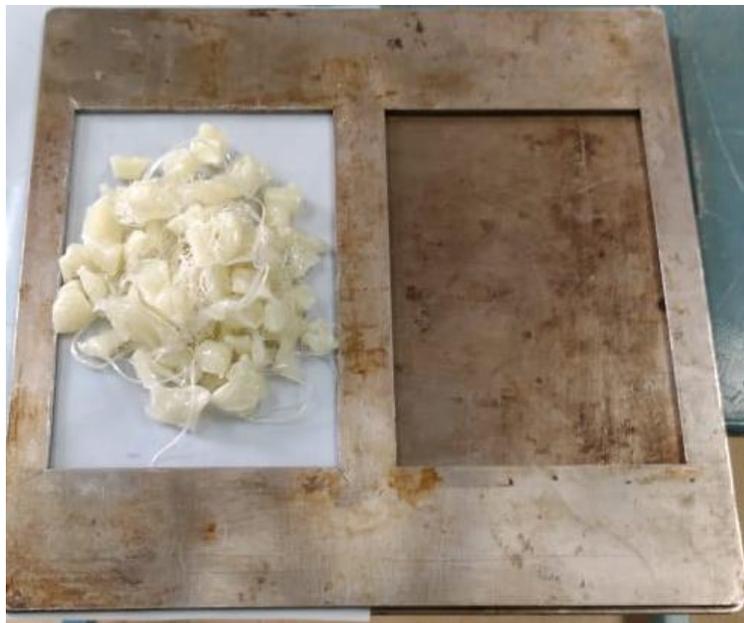
Fig. 8. Indicador de temperatura. Fuente: (elaboración propia)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



*Fig. 9. Termocuplas. Fuente: (elaboración propia)*

Al momento de tener la temperatura deseada en la prensa hidráulica, se procedió a colocar el material sobre el molde (ver Fig. 10). Una vez teniendo el material en el molde continuamos con el montaje del mismo en la prensa hidráulica (ver Fig. 11).



*Fig. 10. Material para prensar. Fuente: (elaboración propia)*

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Fig. 11. Fundición del material. Fuente: (elaboración propia)

Ya teniendo el material en la prensa hidráulica, se deja durante un periodo de tiempo entre 10-15min, ya que durante diferentes pruebas, se logró determinar que este tiempo era el estimado para una buena fundición del material.

Luego de obtener lo mencionado anteriormente, se continuó con la eliminación de las burbujas en el material, esto se realizó durante un tiempo de 1 min, en el transcurso de este minuto lo que se hizo fue subir la presión hasta 100 bar (ver Fig. 12), e inmediatamente se bajaba a 0 bar y así sucesivamente hasta terminar el tiempo propuesto.

Luego de obtener lo anterior, se procedió a llevar de nuevo el material a una presión de 100 bar durante un periodo de tiempo de 3 min.

Para terminar con el proceso de moldeo por compresión, se dio paso a la refrigeración del material por medio de unas mangueras de distribución (ver Fig. 13); el fluido utilizado para la refrigeración del mismo fue agua (H<sub>2</sub>O). La refrigeración se aplicó durante 5 min

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

manteniendo la misma presión de 100 bar. Transcurrido dicho tiempo se retira el molde con el material de la prensa hidráulica, y se retiró el respectivo molde para observar las placas obtenidas (ver Fig. 14)



*Fig. 12. Medidor de presión. Fuente: (elaboración propia)*



*Fig. 13. Manguera de refrigeración. Fuente: (elaboración propia)*



*Fig. 14. Material prensado. Fuente: (elaboración propia)*

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado del procesamiento del material en el reómetro, se observó en los gráficos arrojados por los datos de Excel, que existe gran diferencia en el comportamiento del torque cuando las mezclas carecen de PP (ver Fig. 15), (ver Fig. 16), (ver Fig. 17). Mientras que el comportamiento cuando se adiciona en PP (ver Fig. 18), (ver Fig. 19), (ver Fig. 20), se observa un comportamiento lineal en el torque.

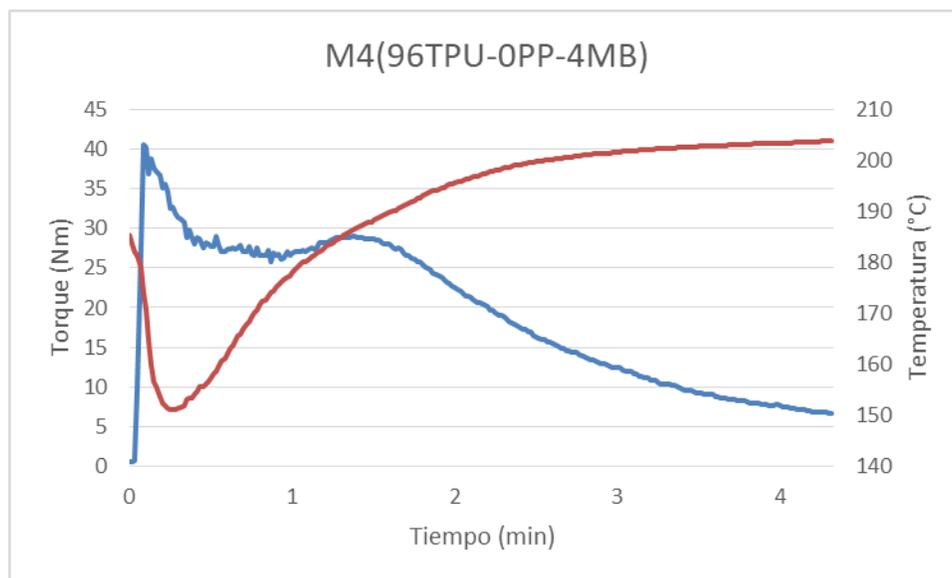


Fig. 15. Grafica de mezcla sin PP-1. Fuente: (elaboración propia)

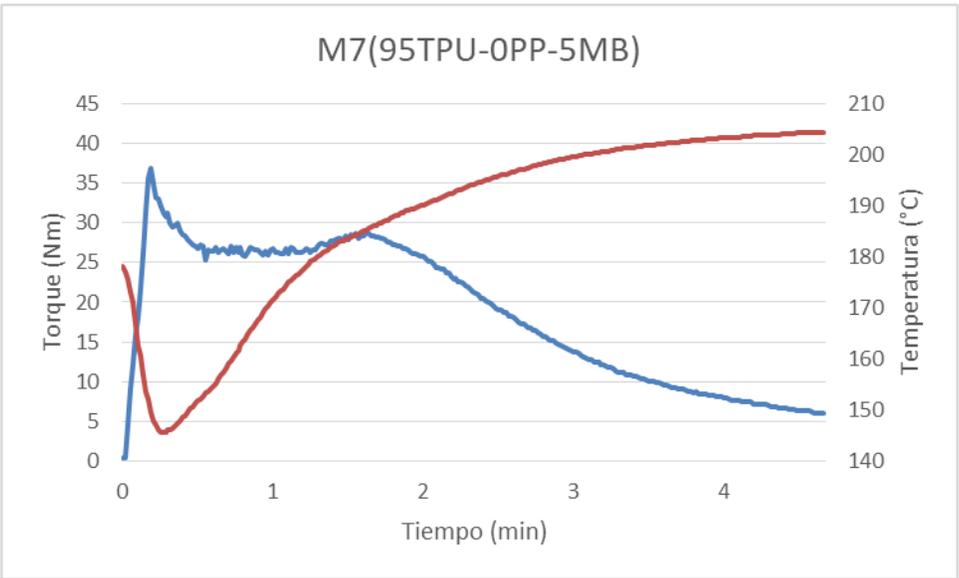


Fig. 16. Grafica de mezcla sin PP-2. Fuente: (elaboración propia)

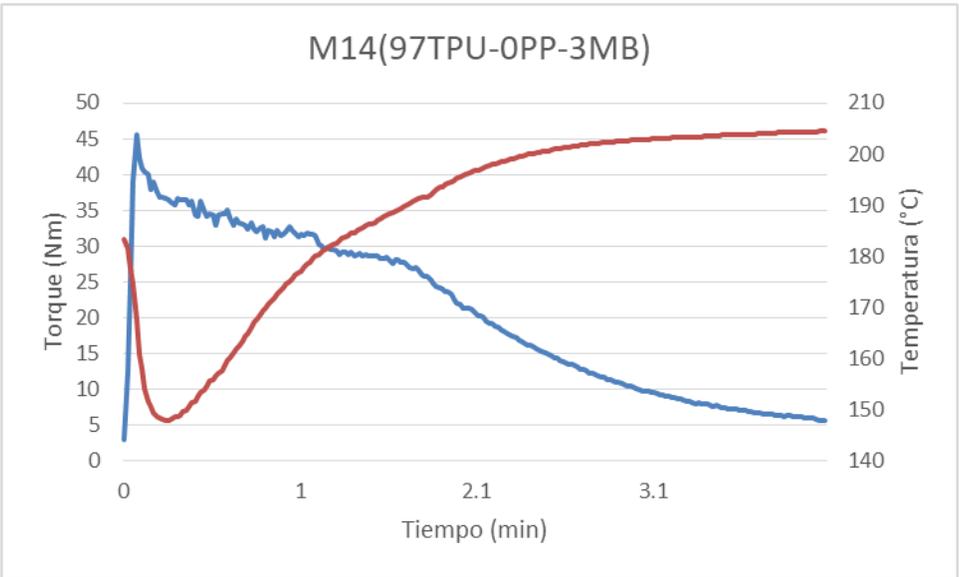


Fig. 17. Grafica de mezcla sin PP-3. Fuente: (elaboración propia)

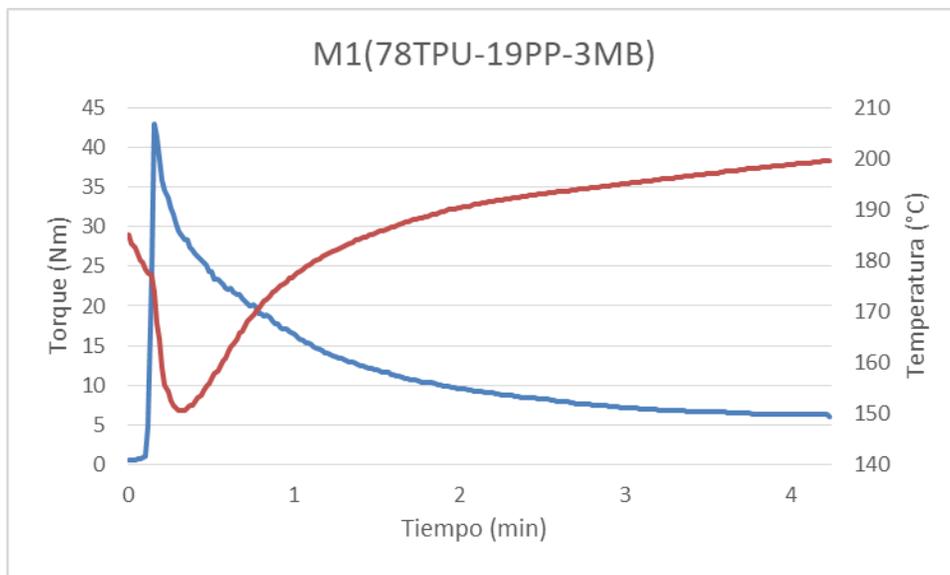


Fig. 18. Grafica de mezcla con PP-1. Fuente: (elaboración propia)

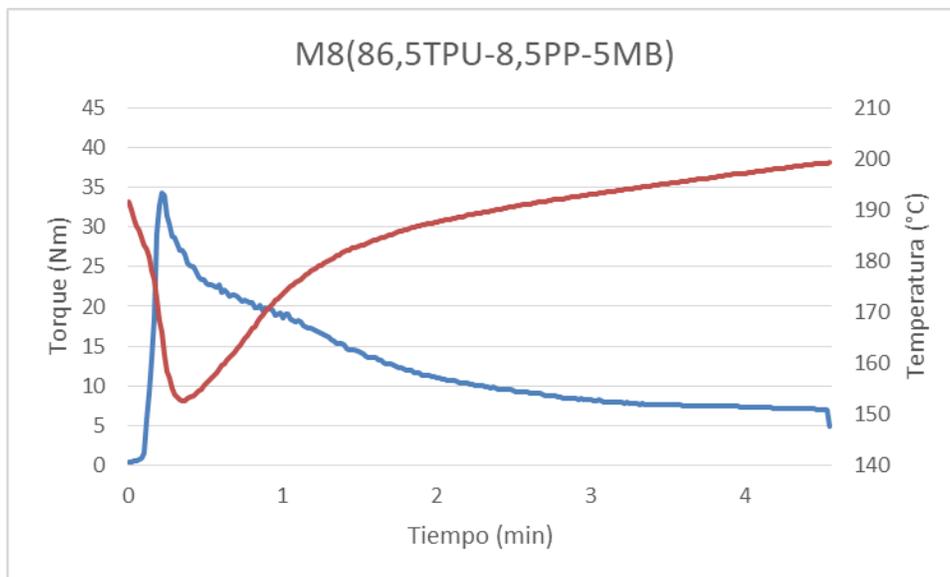


Fig. 19. Grafica de mezcla con PP-2. Fuente: (elaboración propia)

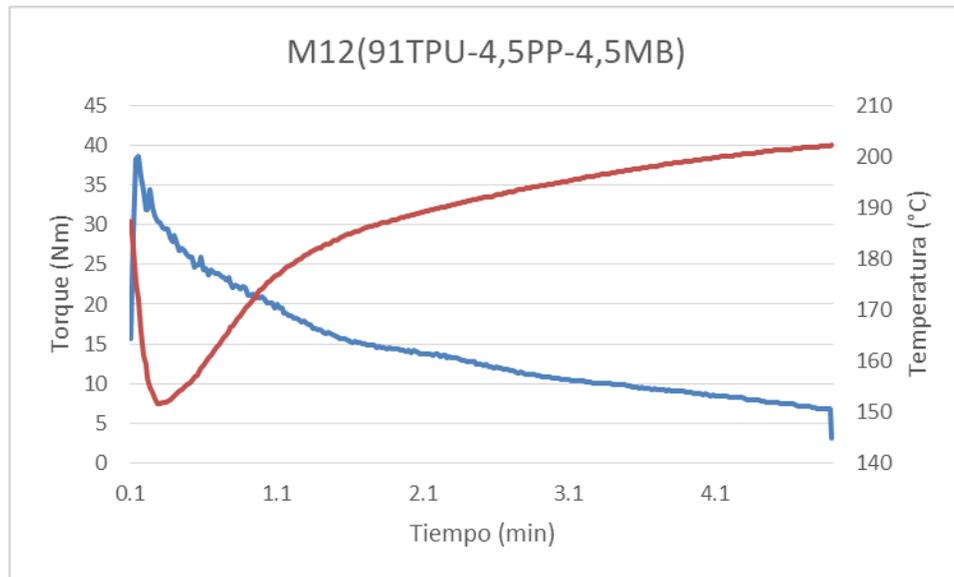


Fig. 20. Grafica de mezcla con PP-3. Fuente: (elaboración propia)

Como se puede observar en las gráficas anteriores, las mezclas que carecen de PP, tienden a tener un comportamiento más irregular en el tiempo de estabilización del torque, mientras que las que si poseen PP, muestran un comportamiento más estable con respecto al tiempo en que demora es estabilizar el torque.

Para discutir, durante el transcurso del proyecto, se tuvieron inconvenientes en prensado del material, puesto que en el momento de la finalización de este proceso se observó que algunas placas quedaban con una gran cantidad de burbujas. Por lo tanto se tuvieron que hacer varios ensayos para minimizar este defecto en las placas; una de las opciones que se tuvo en cuenta para resolver este inconveniente fue secar el material durante un tiempo de 2 h y una temperatura de 110°C. Con este paso se logró minimizar las burbujas para ciertas mezclas, pero luego de varios ensayos incidieron de nuevo, por lo cual se tuvo una última medida que fue dar la vuelta al molde durante la fundición del material.

Con este último cambio se obtuvieron unos buenos resultados en las placas reduciendo hasta en un 80% las burbujas en el material.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

- Por medio de la metodología planteada, se logró elaborar diferentes mezclas con poliuretano termoplástico y polipropileno, se observó que el aditivo fue un elemento de suma importancia para poder obtener una mezcla satisfactoria.
- Se optimizó el proceso de reometría, de una forma tal que se disminuyó el periodo de tiempo de 1 h a 30 min, logrando un proceso más rápido y eficiente.
- Con la ayuda de la prensa hidráulica y el reómetro de torque se pudo elaborar satisfactoriamente las mezclas propuestas en la investigación.
- Se recomienda un mantenimiento general para la prensa hidráulica con el fin de facilitar y mejorar los próximos trabajos que involucren dicha máquina.
- Para trabajos a futuro, se recomienda la realización de las pruebas de tensión y contra rayos UV, con el fin de profundizar la investigación.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## REFERENCIAS

---

- Ahmed, M. ., Li, Y., Yao, Z., Cao, K., & Zeng, C. (2018). TPU/PLA blend foams: Enhanced foamability, structural stability, and implications for shape memory foams. *Journal of Applied Polymer Science*.
- Chang, R., & Goldsby, K. A. (2017). *QUÍMICA* (12e ed.). Mc Graw Hill.
- Fallahiazouzar, E., Ahmadipourroudposht, M., Idris, A., & Yusof, N. M. (2017). Optimization and development of Maghemite ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) filled poly-L-lactic acid (PLLA)/thermoplastic polyurethane (TPU) electrospun nanofibers using Taguchi orthogonal array for tissue engineering heart valve. *Materials Science and Engineering C*, 76, 616–627. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.03.120>
- Hepburn, C. (1992). *Trends in polyurethanes elastomer technology*. 84–110.
- Lin, T. A., Lou, C.-W., & Lin, J.-H. (2017). The effects of thermoplastic polyurethane on the structure and mechanical properties of modified polypropylene blends. *Applied Sciences (Switzerland)*, 7.
- Mandic, V., Filipan, V., Bulatovic, V. ., & Bajsic, E. . (2017). The influence of filler treatment on the mechanical properties and phase behavior of thermoplastic polyurethane/polypropylene blends. *Polymer Bulletin*, 74.
- Mark, H. F. (1964). *Encyclopedia of Polymer Science and Technology* (3 e). Wildy.
- Ngadiman, N. H. A., Idris, A., Irfan, M., Kurniawan, D., Yusof, N. M., & Nasiri, R. (2015).  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  nanoparticles filled polyvinyl alcohol as potential biomaterial for tissue engineering scaffold. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 49, 90–104. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2015.04.029>
- Rubin, I. I. (2004). *MATERIALES PLÁSTICOS PROPIEDADES Y APLICACIONES*. México: EDITORIAL LIMUSA, S.A.DE C.V.
- Seymour, R. B., & Carraher, C. E. (1995). *Introducción a la química de los polímeros*. EDITORIAL REVERTÉ S.A.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Smith, W. F. (1997). *FUNDAMENTOS DE LA CIENCIA E INGENIERIA DE MATERIALES* (2 a).

Mc Graw Hill.

Solutions, R. (2019). Thermo Scientific Sistema HAAKE PolyLab OS - Rotores. Retrieved from 10-Jun-2019 website: <http://www.rheologysolutions.com/thermo-scientific-haake-polylab-os-system-rotors/>

Vélez M, L. M. (2008). *Materiales industriales teoría y aplicaciones* (1 a). Medellín: Fondo Editorial ITM.

Wakino, T., & Fujiyama, M. (1991a). Crystal orientation in injection molding octal-filled polypropylene. *Applied Polymer Science*.

Wakino, T., & Fujiyama, M. (1991b). Structures and properties of injection moldings of crystallization nucleator-added polypropylenes. I. Structure- property relationships. *Applied Polymer Science*.

Woods, G. (1990). *The ICI polyurethanes book* (2 e). New York: Scientific research.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES Juan Pablo Herrera A.  
Jorge Andrés Pineda

FIRMA ASESOR  cc.98569088

FIRMA ASESOR 

*Nota: Finalizan actividades de laboratorio e informe final*

FECHA ENTREGA: 20-Jun-2019

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD \_\_\_\_\_

RECHAZADO\_\_\_      ACEPTADO\_\_\_      ACEPTADO CON MODIFICACIONES\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD \_\_\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_