

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción**

"Diseño de un prototipo de recolección de filamentos adaptado a una tina de enfriamiento y evaluación de mezclas de poliolefinas recicladas extruidas para impresoras 3D "

### **PROYECTO INTEGRADOR**

Previo a la obtención del Título de:

### **Ingeniero Mecánico**

Presentado por:

Gustavo Andrés Coello Sánchez

Byron Andrés Macías Balda

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2019

## **DEDICATORIA**

A Dios.

A mis padres Alexandra y Gregorio que me han acompañado en esta lucha constante durante esta etapa.

A mi Familia que nunca dejo de creer en mí.  
Para los que están y para los que se fueron.

***Gustavo Andrés Coello Sánchez***

El presente proyecto se lo dedico a mi querida abuelita María Eugenia, por el gran espíritu de lucha que tiene, por haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios en esta unidad educativa y por el inmenso cariño que siempre me ha tenido; a mis Padres Byron y Mónica por el amor que obsequian, por haber creído en mí y por el apoyo moral que me han entregado.

A mis hermanos Valen y Fabio por ser siempre mi alegría, a mi tía Silvia por el sustento que me dio en los peores momentos.

A Yari por ser parte de mi familia en estos últimos años, por los grandiosos días que me ha regalado, por el cariño y amor que me tiene; y por ser la persona tan grandiosa que es.

***Byron Andrés Macías Balda.***

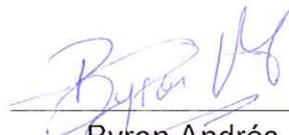
## **AGRADECIMIENTOS**

A todos los que hicieron esto posible

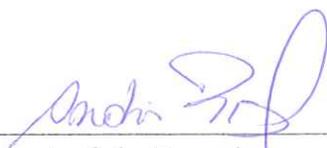
Gracias Totales.

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, corresponde al equipo conformado por; *Byron Andrés Macías Balda* , *Gustavo Andrés Coello Sánchez* y *Andrés Francisco Rigail Cedeño, Phd.* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

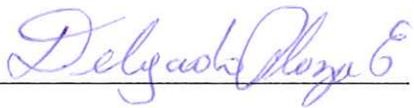
  
Byron Andrés  
Macías Balda

  
Gustavo Andrés  
Coello Sánchez

  
Andrés Francisco  
Rigail Cedeño, Phd.

Tutor de Materia Integradora

## EVALUADORES

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Delgado Plaza E", written over a horizontal line.

**Emerita Delgado, Ph.D.**

PROFESOR DE LA MATERIA

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Andrés Rigail", written over a horizontal line.

**Andrés Rigail, Ph.D.**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

Muchas investigaciones han llegado a un problema en común, hoy en día se produce más plástico del que se produce aumentando en sí el riesgo ecológico debido a la acumulación de plásticos. Uno de los modelos ecoamigables es la economía circular, estos plásticos que cumplen con su función básica deben de alguna u otra manera reingresar a una economía circular. En la actualidad se ha evidenciado un crecimiento considerable en cuanto a la manufactura aditiva por medio de las impresoras 3D ya sea para fines investigativos, diseño, prototipado entre otros, es aquí cuando un problema se puede convertir en una solución. El presente reinserto materiales reciclados a la economía circular escogiendo una mezcla de polietileno de alta densidad con ciertos aditivos , pero para poder llegar a aquello se caracterizaron mezclas, la caracterización de las mezclas se las realizó en equipos de laboratorio tales como el difractómetro de rayos X , reómetro , plastómero de doble tornillo , calorímetro diferencial de barrido y máquina de ensayos universal estas proveyeron información como las propiedades mecánicas , temperaturas de fusión , temperaturas de cristalización, entalpías espaciamento basal y viscosidad , estas propiedades fueron comparadas entre sí . La comparación de las mezclas determinó que la mezcla de 92.5%rHDPE-1%C20A-%5OBC-1.5%CAPS KPR resultó ser la mejor en cuanto propiedades mecánicas siendo esta una potencial mezcla para producir filamentos para impresoras 3D además se realizó una prueba piloto con la mezcla 100%rHDPE un sistema de embobinado adaptativo a la tina de enfriamiento del laboratorio de plásticos de la Escuela Superior Politécnica del Litoral considerando todas las limitaciones y las consideraciones de diseño dadas ,el resultado de esta prueba piloto sirvió para dar mejoras al sistema y verificar los diámetros obtenidos .

**Palabras Clave:** Filamento para impresoras 3D, poliolefinas , polietileno de alta densidad, extrusión, C20A , CAPS KPR , OBC .

## ABSTRACT

*Many investigations have reached a problem in common, today more plastic is produced than is produced by increasing the ecological risk due to the accumulation of plastics. One of the eco-friendly models is the circular economy, these plastics that fulfill their basic function must somehow re-enter a circular economy. At present, there has been considerable growth in additive manufacturing through 3D printers, whether for research, design, prototyping, among others, it is here that a problem can become a solution. The present reinserted recycled materials to the circular economy by choosing a mixture of high density polyethylene with certain additives, but in order to reach that, mixtures were characterized, the characterization of the mixtures was carried out in laboratory equipment such as the X-ray diffractometer , rheometer, double screw plastomer, differential scanning calorimeter and universal testing machine these provided information such as mechanical properties, melting temperatures, crystallization temperatures, enthalpies basal spacing and viscosity, these properties were compared to each other. The comparison of the mixtures determined that the mixture of 92.5% rHDPE-1% C20A-% 5OBC-1.5% CAPS KPR proved to be the best in terms of mechanical properties, this being a potential mixture to produce filaments for 3D printers and a pilot test was performed with the 100% rHDPE mixture, an adaptive winding system to the cooling tub of the plastics laboratory of the Escuela Superior Politécnica del Litoral considering all the limitations and design considerations given, the result of this pilot test served to give improvements to the system and verify the diameters obtained.*

**Keywords:** *Filament for 3D printers, polyolefins, high density polyethylene, extrusion, C20A, CAPS KPR, OBC.*

# INDICE GENERAL

RESUMEN .....	I
ABSTRACT .....	II
INDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
INDICE DE FIGURAS .....	VIII
INDICE DE TABLAS .....	IX
CAPÍTULO 1 .....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Definición del Problema.....	1
1.2 Justificación del Proyecto .....	2
1.2 Objetivos .....	3
1.2.1 Objetivo General.....	3
1.2.2 Objetivos Específicos .....	4
1.3 Marco Teórico .....	4
1.3.1 Polímeros .....	4
1.3.2 Polietileno de Alta Densidad.....	5
1.3.3 Polipropileno.....	6
1.3.4 Organoarcillas (C20A) .....	6
1.3.5 Copolímero OBC .....	7
1.3.6CAPS KPR .....	7
1.3.7Caracterización de Material .....	8
1.4 Extrusión de plásticos.....	9
1.5 Filamentos para impresión 3D .....	9
CAPITULO 2 .....	11

2. METODOLOGÍA .....	11
2.1 Selección de materia prima .....	12
2.2 Materiales para la mezcla.....	13
2.2.1 HDPE Reciclado y Polipropileno.....	13
2.2.2 Cloisite 20A.....	13
2.2.3 CAPS KPR.....	14
2.2.4 INTUNE™ OBCs.....	14
2.3 Preparación de las mezclas .....	14
2.3.1 Proporciones de Mezcla .....	14
2.3.2 Proceso de Mezclado .....	15
2.4 Caracterización del Material .....	15
2.4.1 Ensayo DSC .....	15
2.4.2 Ensayo de tracción .....	16
2.4.3 Ensayo reológico .....	17
2.4.4 Difracción de Rayos X .....	18
2.5 Acerca de la extrusora.....	19
2.6 Requerimientos del diseño .....	20
2.7 Equipos disponibles para la implementación del diseño. ....	21
2.8 Consideraciones del diseño.....	23
2.8 .1 Diseño de forma.....	23
2.9 Condiciones de la prueba piloto .....	30
CAPITULO 3 .....	31
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	31
3.1 Resultados de DSC.....	31
3.1.1 Resultado 100% HDPE .....	31
3.1.2 Resultado 100% rHDPE .....	31
3.1.3 Resultado 85% rPEAD 15% rPP .....	32

3.1.4	Resultado 99% rPEAD -1% Closite 20A.....	33
3.1.5	Resultado 94% rPEAD 1% Closite 20A 5% OBC .....	34
3.1.6	Resultado 92.5% rPEAD 1% Closite 20A 5% OBC 1.5 %CAPS .....	35
3.1.7	Resultados Comparativos DSC .....	36
3.4	Resultados de XRD.....	37
3.5	Resultados Reología.....	39
3.6	Resultados Tracción.....	41
3.6.1	Resultado 100%HDPE .....	41
3.6.2	Resultados 100% rHDPE .....	42
3.6.3	Resultados 85% rHDPE-15% rPP .....	44
3.6.4	Resultados 99% rHDPE-1% C20A .....	45
3.6.5	Resultados 94% rHDPE-1% C20A-5%OBC .....	47
3.6.6	Resultados rHDPE 92.5%-C20A 1%-5% OBC INTUNE-1.5% CAPS .....	48
3.6.7	Resumen ensayos de Tracción.....	49
3.7	Resultados de Diseño .....	51
3.7.1	Resultados de Velocidades y Diámetros .....	51
3.7.2	Resultados de potencia para los rodillos de laminación. ....	52
3.7.3	Esquema de reducción por bandas y poleas .....	53
3.8	Resultados de la prueba piloto .....	54
CAPITULO 4	.....	56
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	56
4.1	Conclusiones .....	56
4.2	Recomendaciones .....	57
BIBLIOGRAFIA		
APÉNDICES		

## ABREVIATURAS

ASTM	American Society for Testing and Materials
C20A	Cloisite 20A
OBC	Polypropylene Based Compatibilizers
rPS	Recycled Polystyrene
rHDPE	Recycled Polyethylene High Density
rPP	Recycled Polypropylene
PVC	Polyvinyl Chloride
DSC	Calorimetría Diferencial de Barrido
XRD	Difractometría de Rayos X

## SIMBOLOGÍA

Å	Ángstrom
g	Gramo
Kg	Kilogramo
T <sub>m</sub>	Temperatura de Fusión
T <sub>c</sub>	Temperatura de cristalización
ΔH <sub>m</sub>	Entalpía de fusión
ΔH <sub>c</sub>	Entalpía de Cristalización
N	Newton
W	Watts
cm/s	Centímetro sobre segundo
J	Joule
RPM	Revoluciones Por Minuto
cm <sup>3</sup> /s	Centímetro cúbico sobre segundo
rad/s	Radianes sobre segundos
cm	Centímetros
mm	Milímetros
m	Metro
s	Segundos
Pa s	Pascal por segundo
Mpa	Megapascales
Hz	Hertz
°C	Celsius

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Consumo de energía específica vs Velocidad del tornillo.....	3
Figura 1.2 Esqueleto de Polietileno de Alta Densidad y su Estructura .....	6
Figura 1.3 Cadenas de polipropileno en monómero y mero repetición. ....	6
Figura 1.4 Comportamiento de organoarcilla.....	7
Figura 1.5 Partes y secciones de una extrusora.....	9
Figura 2.1 Diagrama del diseño del proceso .....	11
Figura 2.2 Reómetro Brabender.....	15
Figura 2.3 Equipo DSC.....	16
Figura 2.4 Máquina de prensado en caliente y colocación del material .....	17
Figura 2.5 Discos para el ensayo reológico.....	18
Figura 2.6 Reómetro Malver .....	18
Figura 2.7 Difractómetro de Rayos X .....	19
Figura 2.8 Extrusora de tornillo simple .....	20
Figura 2.9 Tina de enfriamiento.....	21
Figura 2.10 Motor DC- 2HP .....	22
Figura 2.11 Convertidor .....	22
Figura 2.12 Breaker.....	23
Figura 3.1 Calorimetría diferencial de barrido PEAD 100%.....	31
Figura 3.2 Calorimetría diferencial de barrido rPEAD 100% .....	32
Figura 3.3 Calorimetría diferencial de barrido rHDPE 85% con rPP 15% .....	33
Figura 3.4 Calorimetría diferencial de barrido rHDPE 99% con 20A 1%.....	34
Figura 3.5 Calorimetría diferencial de barrido rHDPE 94% C20A 1% y 5%OBC.....	35
Figura 3.6 Calorimetría diferencial de barrido rHDPE 94% 20A 1% 5%OBC y 1.5%CAPS.....	36
Figura 3.7 Resultados de difractómetro de rayos X superpuestas .....	37
Figura 3.8 Difractometría de rayos X de la mezcla 99% rHDPE -1%C20A .....	38
Figura 3.9 Difractometría de rayos X de la mezcla 94% rHDPE -1%C20A -5%OBC ....	38
Figura 3.10 Difractometría de rayos X de la mezcla 92.5% rHDPE -1%C20A -5%OBC-1.5 CAPS .....	39
Figura 3.11 Curvas de viscosidad vs velocidad de corte de las mezclas. ....	40

Figura 3.12 Curvas de Esfuerzo [Mpa] vs Deformación [%] de 100% HDPE .....	42
Figura 3.13 Curvas de Esfuerzo [Mpa] vs Deformación [%] de 100% rHDPE .....	43
Figura 3.14 Curvas de Esfuerzo [Mpa] vs Deformación [%] de 85% rHDPE- 15%rPP .....	45
Figura 3.15 Curvas de Esfuerzo [Mpa] vs Deformación [%] de 99% rHDPE- 1%C20A .....	46
Figura 3.16 Curvas de Esfuerzo [Mpa] vs Deformación [%] de 94% rHDPE 1%C20A-5%OBC .....	48
Figura 3.17 Curvas de Esfuerzo [Mpa] vs Deformación [%] de 92.5% rHDPE 1%C20A-5%OBC-1.5%CAPS .....	49
Figura 3.18 Evolución del módulo elástico en las diferentes mezclas con respecto al 100% rHDPE.....	51
Figura 3.19 Esquema de reducción por bandas y poleas.....	53
Figura 3.20 Conjunto de bandas y poleas ensamblado a la tina de enfriamiento.....	54
Figura 3.21 Carrete embobinador.....	54
Figura C.1 Gráfica Log-Log Viscosidad [Pa s] vs Velocidad de corte [ $S^{-1}$ ] .....	80
Figura C.2 Ilustración del método matemático utilizado.....	80
Figura C.3 Gráfica Log-Log Viscosidad [Pa s] vs Velocidad de corte [ $S^{-1}$ ] 100%HDPE .....	81
Figura C.4 Gráfica Log-Log Viscosidad [Pa s] vs Velocidad de corte [ $S^{-1}$ ] 100% rHDPE .....	81
Figura C.5 Gráfica Log-Log Viscosidad [Pa s] vs Velocidad de corte [ $S^{-1}$ ] de la mezcla 85% rHDPE15%rPP.....	82
Figura C.6 Gráfica Log-Log Viscosidad [Pa s] vs Velocidad de corte [ $S^{-1}$ ] 99%HDPE-1%C20A .....	82
Figura C.7 Gráfica Log-Log Viscosidad [Pa s] vs Velocidad de corte [ $S^{-1}$ ] 94%HDPE-1%C20A-5%OBC.....	83
Figura C.8 Gráfica Log-Log Viscosidad [Pa s] vs Velocidad de corte [ $S^{-1}$ ] 92.5%HDPE-1%C20A-5%OBC-1.5%CAPS KPR .....	83
FiguraC.9 Gráfica XRD de C20A.....	84
Figura D1 Tina de enfriamiento del laboratorio.....	85
Figura D2 Conjunto de poleas del motor .....	85
Figura D3 Montaje de la polea principal en el eje principal.....	86

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Matriz de decisión del Material .....	13
Tabla 2.2 Proporciones de Mecla .....	14
Tabla 2.3 Condiciones de Mezclado.....	15
Tabla 2.4 Parámetros de operación de la extrusora.....	19
Tabla 2.5 Datos obtenidos para encontrar el caudal .....	24
Tabla 3.1 Tabla de resultados cuantitativos DSC.....	36
Tabla 3.2 Dimensiones de las probetas 100% HDPE .....	41
Tabla 3.3 Resumen de resultados de las muestras de 100%HDPE.....	41
Tabla 3.4 Dimensiones de las probetas 100% rHDPE .....	42
Tabla 3.5 Resumen de resultados de las muestras de 100% rHDPE .....	42
Tabla 3.6 Dimensiones de las probetas 85% rHDPE-15%rPP .....	44
Tabla 3.7 Resumen de resultados de las muestras de 85% rHDPE-15%rPP .....	44
Tabla 3.8 Dimensiones de las probetas 99% rHDPE-1%C20A.....	45
Tabla 3.9 Resultados de tracción 99% rHDPE-1%C20A.....	45
Tabla 3.10 Dimensiones de las probetas 94% rHDPE-1%C20A-5%OBC.....	47
Tabla 3.11 Resultados de Tracción 94% rHDPE-1%C20A-5%OBC .....	47
Tabla 3.12 Dimensiones de las probetas 92.5%-C20A 1%-5% OBC INTUNE-1.5% CAPS.....	48
Tabla 3.13 Resultados Tracción 92.5%-C20A 1%-5% OBC INTUNE-1.5% CAPS.....	48
Tabla 3.14 Comparación en prueba de tracción 100%HDPE y 100% rHDPE.....	49
Tabla 3.15 Comparación en prueba de tracción 100%rHDPE con mezclas con aditivos.....	50
Tabla 3.19 Medidas del filamento obtenidas .....	54

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Definición del Problema

Actualmente hay una tendencia de reciclar o reutilizar plásticos a nivel mundial, esto para evitar la destrucción total de los ecosistemas del planeta, puesto que los productos están diseñados de manera lineal dejando varios residuos y emisiones nocivas durante el proceso de producción y manufactura. En muchos de los casos resulta ser más económico y conveniente procesar material virgen que reciclados, sin embargo, en estudios anteriores se demostró que se puede reducir costes por medio de la eficiencia energética por medio del material, estos materiales pueden ser PEAD y PP puesto que son los más utilizados en la industria ecuatoriana.

Uno de los procesos de manufactura que está revolucionando los ámbitos de educación, diseño salud es el proceso de impresión 3D el cual utiliza filamentos de polímeros vírgenes para manufacturar un prototipo o diseño. Debido a que el uso de materiales vírgenes para el desarrollo de plásticos cada vez es más reglamentado por los problemas de contaminación y por ser parte de una economía lineal la industria esta forzada en utilizar materiales reciclados los cuales deben ser competitivos tanto en la calidad en el producto final como consumo energético.

Uno de los materiales que sirven como filamentos para las impresoras 3D debido a sus ventajas en propiedades mecánicas y reológicas son los polímeros PEAD y PP, estas poliolefinas pueden ser manufacturadas por medio del proceso de extrusión. Debido a que se utilizará materiales reciclados estos al ser procesados y manufacturados degradan sus propiedades mecánicas, sin embargo, estas propiedades pueden ser mejoradas con la adición de compatibilizantes, reactivos y copolímeros.

La Escuela Superior Politécnica del Litoral en convenio con ASEPLAS con el fin de desarrollar la investigación se gestionó la donación de una máquina de extrusión de poliolefinas para investigación, debido al gran avance en la manufactura aditiva y por los objetivos del desarrollo sustentable es posible interrelacionar estos conceptos para elaborar filamentos para impresoras 3D, sin embargo para poder llegar al producto es necesario investigar propiedades mecánicas y reológicas de las posibles mezclas poliméricas .

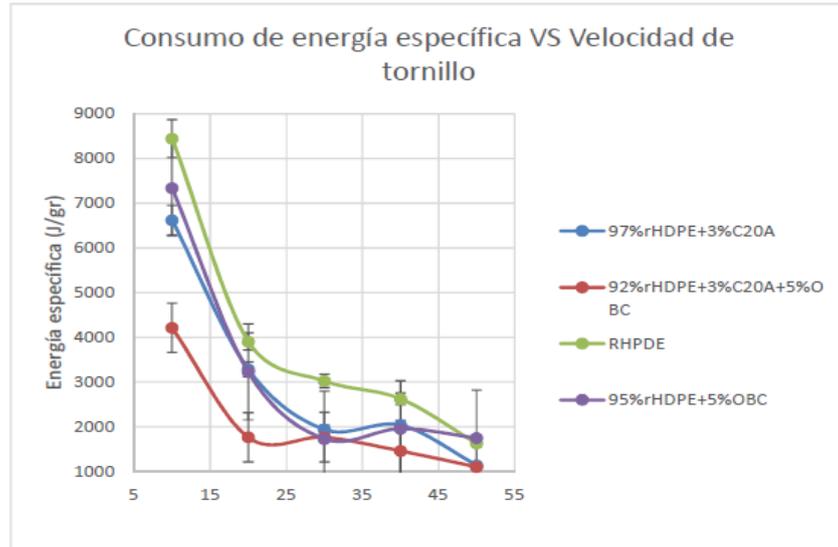
La máquina extrusora del laboratorio de plásticos de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción carece de un sistema que capte filamentos individuales, para obtener dicho filamento se debe poseer un sistema de captación y embobinado, esto dificulta en gran medida la investigación de posibles mezclas que permitan demostrar la viabilidad de futuros filamentos.

## **1.2 Justificación del Proyecto**

Ecuador, siendo un país biodiverso en busca de proteger el medio ambiente se estableció en el año 2014 en los artículos 6, 7, 8 de las políticas para gestión integral de plásticos, determinando que todo proceso de manufactura que incluya plástico debe plantear un plan de eficiencia energética, minimizar los desechos sólidos y diseñar el producto para un reciclaje constante. Estos conceptos obedecen a las bases de la Economía Circular. (Registro Oficial Órgano del Gobierno del Ecuador, 2014)

El presente busca obtener un producto a partir de material reciclado con el debido proceso de adquisición y bobinado. En el estudio "*Efecto del procesamiento de polietileno de Alta Densidad Reciclado en la demanda de Energía en el Proceso de Extrusión*" (Salas & Quiroz, 2018), se demostró que es posible mejorar las propiedades mecánicas por medio de adición de aditivos a reciclados comparado con polietileno sin adiciones, como se detalla en la Figura

1.1



**Figura 1.1 Consumo de energía específica vs Velocidad del tornillo**

Fuente: (Salas & Quiroz, 2018)

Basado en observaciones físicas, Difractometría de rayos x y microscopía electrónica de barrido se determinó que el mezclado óptimo de HDPE/nanoarcillas se obtiene a 30 rpm y adicionalmente su consumo energético es menor.

En base a esta investigación se procesará filamentos a una velocidad de extrusión de 30 RPM a partir de material reciclado con 3 aditivos como potenciales mejoradores de propiedades mecánicas: organoarcilla (Cloisite 20A), compatibilizantes basado en titanato CAPS KPR (Ken-React) y un copolímero (Olefin block copolymer).

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo General

Diseñar un prototipo de sistema de captación y embobinado de poliolefinas recicladas extruidas para la investigación de filamentos para impresión 3D en el laboratorio de plásticos de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

1. Determinar de manera experimental la temperatura de salida del material del dado de la extrusora mediante cámara infrarroja.
2. Realizar la caracterización de las mezclas mediante los ensayos XRD, DSC, Ensayo de tracción y Reología.
3. Determinar el espacio basal por medio de Difractometría de rayos x.
4. Cuantificar de manera experimental el flujo másico de una mezcla como referencia a una velocidad del tornillo a 30 RPM.
5. Diseñar un sistema mecánico simple adaptativo a la tina de enfriamiento de la máquina extrusora del laboratorio de plástico, considerando los instrumentos disponibles.
6. Analizar las curvas obtenidas en DSC y determinar la temperatura de fusión, temperatura de cristalización, entalpías de cada muestra.
7. Analizar las curvas de esfuerzo deformación de cada mezcla
8. Analizar los resultados reológicos de las mezclas
9. Determinar mediante el análisis de los resultados de DSC, XRD, Ensayo de tracción, Reología la mejor mezcla para procesar.
10. Realizar una prueba piloto para el sistema de embobinado.

### **1.3 Marco Teórico**

#### **1.3.1 Polímeros**

Los polímeros son compuestos orgánicos formados por cadenas largas de carbono las cuales se reiteran en un determinado ciclo, comúnmente conocidos como plásticos los polímeros datan a penas a partir del siglo XIX. Estos compuestos pueden proceder de materia orgánica o de procesos sintéticos o semisintéticos y conllevar aditivos en las mezclas, dependiendo su comportamiento a diferentes temperaturas se los puede clasificar. (Groover, 2007)

### **1.3.1.1 Clasificación de los Polímeros**

Los polímeros pueden clasificarse en tres grupos.

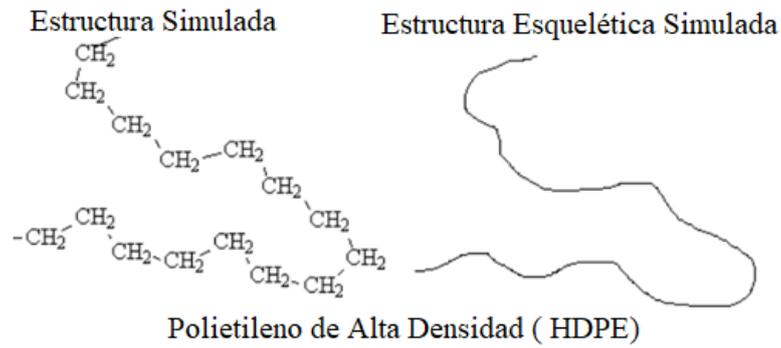
**Termoplásticos:** Este tipo de polímero se caracteriza por no sufrir cambios en su estructura interna a temperatura ambiente sin embargo al aumentar la temperatura se verá afectado tan solo en sus propiedades mecánicas, resistiendo así varios ciclos de trabajo con cambios de temperatura dependiendo a las necesidades del diseño.

**Termofijos:** Los termofijos a diferencia de los termoplásticos cuando se llega a una temperatura elevada su estructura interna sufre un cambio químico de modo que después de su endurecimiento si se vuelve a incrementar la temperatura se deterioran y se calcina.

**Elastómero:** Son aquellos polímeros conocidos como cauchos que se caracterizan por incrementar sus longitudes al aplicar fuerzas y luego recuperan la forma inicial sin sufrir ningún cambio químicos ni físicos siempre y cuando se lo realice a una temperatura ambiente. (Groover, 2007)

### **1.3.2 Polietileno de Alta Densidad**

El polietileno de alta densidad es un termoplástico conformado por cadenas lineales flexibles con pocas ramificaciones, altas fuerzas intermoleculares lo que conlleva a una densidad igual o mayor de  $0.91 \text{ [g/cm}^3\text{]}$ . Entre sus características principales se encuentra su alta resistencia a la tensión, compresión, tracción, impermeabilidad y baja reactividad. (University of York, 2017)

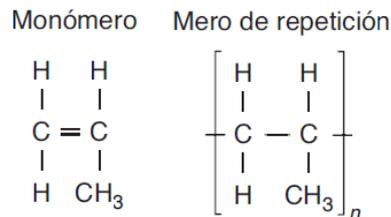


**Figura 1.2 Esqueleto de Polietileno de Alta Densidad y su Estructura**

Fuente: (University of South Carolina Upstate , 2000)

### 1.3.3 Polipropileno

El polipropileno es un termoplástico relativamente de estructura cristalina, se usa principalmente como barreras contra la humedad, tiene un gran coste beneficio en comparación con otros polímeros termoplásticos. (Petroquim, 2018)

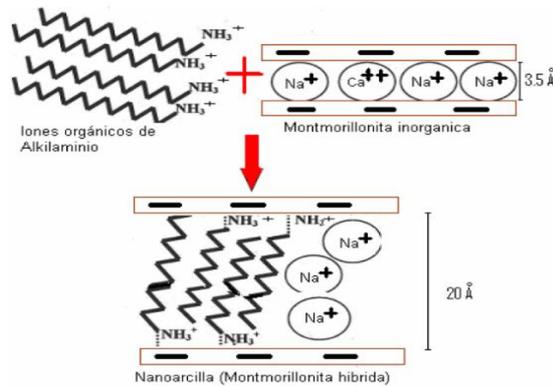


**Figura 1.3 Cadenas de polipropileno en monómero y mero repetición.**

Fuente: (Groover, 2007)

### 1.3.4 Organoarcillas (C20A)

Las organoarcillas son arcillas híbridas con compuestos orgánicos e inorgánicos manipuladas a escalas nanométricas, esta manipulación da como resultado el intercambio de cationes inorgánicos  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$ , etc. que están dentro entre las capas de arcilla con cationes orgánicos, este proceso incrementa el espacio entre las capas tetraédricas. (Y. KOJIMA, 1993). A partir de los grupos de silicatos y fosilicatos (Montmorillonita) se obtiene este compuesto que posee una cadena larga con ~65% C18, ~30% C16, ~%5 C14 y Aniones de cloruro. (Cáceres & García , 2013)



**Figura 1.4 Comportamiento de organoarcilla**  
Fuente: (Chen Shoong Chin, 2002)

Las organoarcillas son utilizados comúnmente en la industria del plástico como un aditivo para aumentar la viscosidad en los termoplásticos y dar estabilidad en el proceso de extrusión. (BYK, 2018)

### 1.3.5 Copolímero OBC

Un copolímero es una macromolécula compuestas por monómeros, que tienen una alta masa molecular relativa, y su estructura comprende esencialmente en la repetición de unidades derivadas. (Chemistry, 1996)

Los hidrocarburos insaturados como el polietileno y el polipropileno pertenecientes al grupo de olefinas para realizar una sola interfaz de mezcla que necesita del compatibilizante OBC, el copolímero de bloque olefina D5541 además de compatibilizar la mezcla mejora las propiedades al impacto. (Prospector).

### 1.3.6 CAPS KPR

El CAPS KPR es un reactivo que permite combinar polímeros diferentes, aunque el PP y HDPE son poliolefinas, el HDPE no aceptará más del 5% sin crear problemas de compatibilización, el CAPS KPR mejora las propiedades mecánicas a tal punto de llegar a las propiedades similares a las vírgenes. (Kenrich Petrochemicals, 2017)

### 1.3.7 Caracterización de Material

La caracterización de materiales consiste en determinar las propiedades físicas y químicas de materiales donde se desconocen características como las propiedades mecánicas, punto de fusión, densidad, etcétera. Para obtener estas características se cuenta con una serie de ensayos que nos ayudará a determinar los mismos. Tales como:

**Calorimetría Diferencial de Barrido:** Conocido como DSC es un ensayo destructivo donde se realizan análisis térmicos de un material. Este análisis consiste en aumentar linealmente los gradientes de temperatura y analizar que ocurre con la capacidad calorífica del material en un rango de temperatura predeterminado. El fin de este ensayo es identificar los picos de temperatura para identificar si las muestras realmente constituyen al material descrito por los proveedores. (PerkinElmer, 2018)

**Reología:** La reología estudia el comportamiento de un fluido sometido a esfuerzos de deformación a lo largo del tiempo, para aquello se utiliza instrumentos llamados reómetros, estos pueden ser rotacional y capilar. El rotacional está formado por un sistema de placas una fija y la otra que gira a una velocidad angular constante, por lo general la placa superior realiza una fuerza de corte rotativa para obtener la tensión resultante. El objetivo fundamental es determinar la viscosidad del material. (Ltd, 2019)

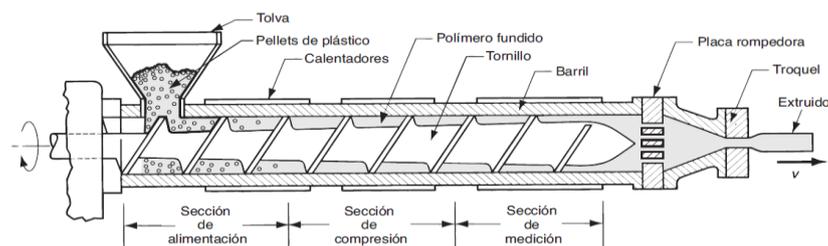
**Microscopía Electrónica de Barrido:** Es un método para obtener imágenes de una resolución muy alta. El instrumento utilizado es el microscopio electrónico de barrido el cual proyecta un haz de electrones para formar imágenes a partir de los electrones secundarios. (Nanotecnología, 2017)

**Ensayo de Tracción:** Consiste en aplicar una carga axial sobre una probeta, el objetivo principal es estudiar la manera en que se deforma a medida que se aumenta la carga. Esto se visualiza en la curva de esfuerzo deformación proporcionada por la máquina de ensayos universal. (Balvatín, 2016)

**Difractometría de Rayos X:** Es un ensayo no destructivo el cual consiste en proyectar una radiación electromagnética sobre una muestra de material, esta radiación al impactar con partículas subatómicas del material difractará el haz formando un patrón que servirá para estudiar el material, esta técnica está basada en la Ley de Bragg. (Vasco, 2006)

#### 1.4 Extrusión de plásticos

Es uno de los procesos de conformado de plásticos el cual se fuerza al material a fluir a lo largo de un tornillo para ser extruido en un orificio. La máquina que se encarga de realizar dicho proceso es la extrusora, se necesita ingresar el polímero peletizado sobre la tolva, este es calentado gradualmente desde la sección de alimentación hasta la sección el final del tornillo, en la placa rompedora el material viscoso se divide en hilos .La extrusora como tal presenta las secciones de alimentación, compresión y medición. (Groover, 2007)



**Figura 1.5 Partes y secciones de una extrusora**

Fuente: (Groover, 2007)

#### 1.5 Filamentos para impresión 3D

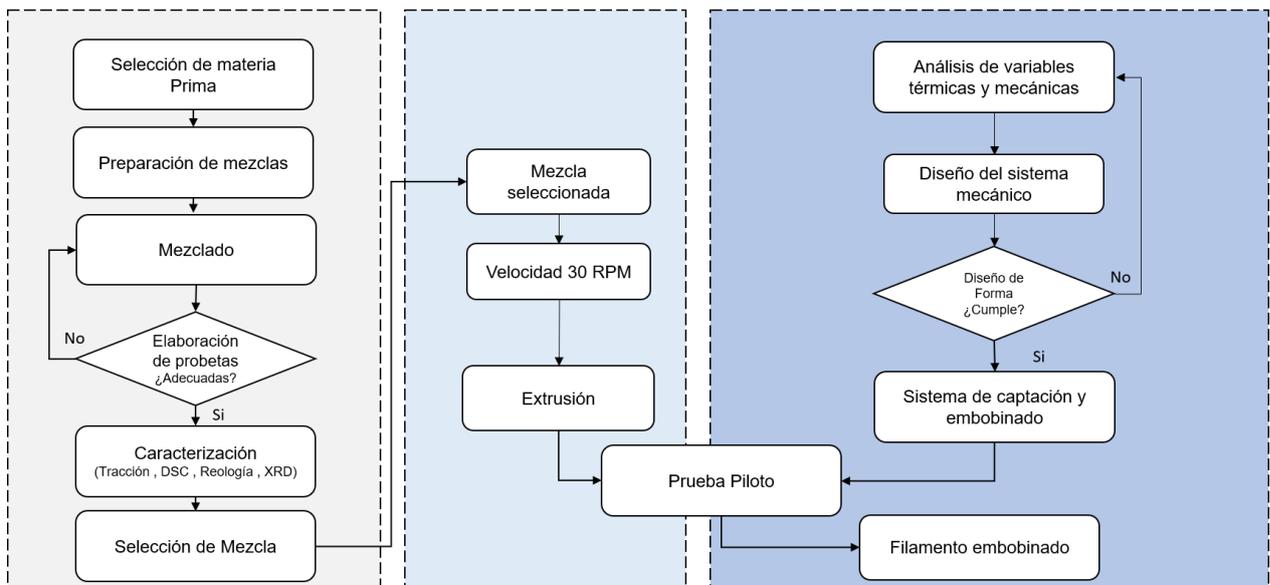
Los filamentos para las impresoras 3D generalmente son hilos de polímeros con diámetros aproximados de 1.75 mm hasta 3mm en carretes con un peso aproximado de 1 Kg hasta 2.5 Kg. Una de las características básicas para que el material sea manipulable en una impresión 3D es que sea un termoplástico (Ohms, 2017) . El carrete es acoplado a un soporte en la impresora y el filamento es introducido a una garganta de extrusión el cual funde el material depositándolo en una plataforma hasta obtener el diseño computarizado.

Comercialmente el filamento viene embobinado en carretes con las medidas especificadas más adelante.

# CAPITULO 2

## 2. METODOLOGÍA

Para poder llegar al diseño del sistema de adquisición y embobinado previamente se determinará el material apropiado para dicho proceso, constituidos una serie de etapas descritas a continuación en la figura 2.1, permiten arribar a los objetivos previamente establecidos, tomando como base investigaciones de carácter científico estudiadas previamente. El proyecto se desarrollará en las instalaciones del Laboratorio de Plásticos perteneciente a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción.



**Figura 2.1 Diagrama del diseño del proceso**

Fuente: Elaboración Propia.

## 2.1 Selección de materia prima

Entre los tipos de plásticos que encontramos comúnmente en el día a día se consideró el rPEAD, rPP, rPP y rPVC para ser mezclados con otro tipo de aditivos. Para determinar la mezcla a utilizar se consideraron los siguientes parámetros con sus respectivos pesos .

- **Temperatura de fundición (Ponderación=0.30):** Este parámetro es incluido debido a que el consumo de energía que se requiere para fundir un material está ligado a la temperatura a la cual se funde.
- **Facilidad para hallar en reciclado (Ponderación=0.30):** Entre más fácil sea encontrar el material, los costos serán menores y se podrá realizar una mayor producción.
- **Facilidad del reprocesado (Ponderación=0.2):** Dado la variedad de plásticos que pueden ser encontrados en botes de reciclaje, se deben seleccionar cuales pueden ser reprocesados con mayor facilidad.
- **Propiedades mecánicas (Ponderación=0.20):** Tales propiedades hacen referencia a la resistencia a la fluencia y resistencia a la fatiga.

La calificación de cada parámetro por material se da en intervalos entre [1,10] en donde el valor de 1 corresponde a la peor calificación y 10 la mejor. Cada calificación está basada en apreciación, experiencia y conocimiento de los autores y el valor mostrado corresponde al promedio de la calificación asignada por cada autor.

**Tabla 2.1 Matriz de decisión del Material**

CRITERIOS	Peso	ALTERNATIVAS				
		HDPE	PET	PP	PS	PVC
Temperatura de Fusión	0,30	10,00	1,00	7,00	2,00	8,00
Facilidad para hallar en el reciclado	0,30	8,00	6,50	5,50	3,00	2,00
Propiedades Mecánicas	0,20	5,00	8,00	10,00	6,00	2,00
Facilidad de reprocesado	0,20	10,00	10,00	7,50	2,50	0,00
<b>Total</b>	<b>1,00</b>	<b>8,65</b>	<b>5,95</b>	<b>7,12</b>	<b>3,02</b>	<b>3,30</b>

Fuente: Elaboración Propia

La matriz determina que los tipos de plásticos como materia prima a utilizar son PEAD y PP, siendo el material con mayor puntaje el PEAD será probado con los aditivos y una mezcla en conjunto con el PP .

## 2.2 Materiales para la mezcla

### 2.2.1 HDPE Reciclado y Polipropileno

El polietileno de alta densidad generalmente es usado en recipientes de derivados de bebidas lácteas, aceites de cocina, tapas de botellas pet, el polipropileno es utilizado generalmente en bolsas, vasos de plásticos, etcétera. Para empezar el estudio la empresa Guayaquileña NUTEC facilitó la materia prima, siendo estos ; dos sacos de 25 Kg de rHDPE en granzas y un saco de PP ( capacidad de 25 KG) reciclado proporcionado por la empresa NOVARED.

### 2.2.2 Cloisite 20A

El closite 20A (órgano arcilla) es proveído por el laboratorio de platicos perteneciente a la FIMCP, teniendo una densidad de  $1,77 \text{ g/cm}^3$ . Es necesario indicar que el Cloisite 20A es un compatibilizante necesario para realizar la mezcla del rHDPE con el polipropileno. A partir de los resultados obtenidos en estudios anteriores, se usará en una proporción del 1%.

### 2.2.3 CAPS KPR

El CAPS KPR, es un aditivo que mejora las propiedades del material reciclado, regenerando el material a propiedades similares a la de un material virgen, este aditivo es proporcionado por el Phd. Andrés Rigail y será utilizado en la mezcla rHDPE junto al OBC y C20A en una proporción del 1.5%.

### 2.2.4 INTUNE™ OBCs

El INTUNE OBCs proporcionado por la empresa Guayaquileña Bac-Technology, proporciona la compatibilización del reciclado entre rHDPE/rPP este proporciona un reciclaje rentable y de mayor rendimiento, la proporción utilizada dentro de la mezcla será del 3%.

## 2.3 Preparación de las mezclas

### 2.3.1 Proporciones de Mezcla

Para poder realizar las pruebas de DSC, tracción, reología y XRD se debe realizar primero el mezclado de las muestras. En la tabla 2.2 se muestran las mezclas a analizar con sus respectivas proporciones con los diferentes aditivos.

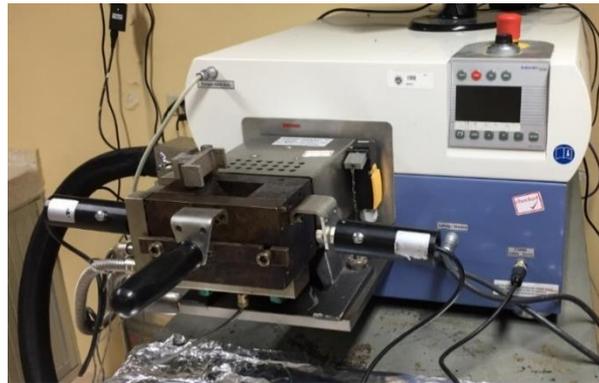
**Tabla 2.2 Proporciones de Mezcla**

Componente	Mezcla					
	1	2	3	4	5	6
<b>PEAD</b>	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<b>rPEAD</b>	0,00%	100,00%	85,00%	99,00%	94,00%	92,50%
<b>rPP</b>	0,00%	0,00%	15,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<b>Closite 20A</b>	0,00%	0,00%	0,00%	1,00%	1,00%	1,00%
<b>Intune OBC</b>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	5,00%	5,00%
<b>CAPS KPR</b>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,50%
<b>Total</b>	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Fuente: Elaboración Propia

### 2.3.2 Proceso de Mezclado

Estas mezclas fueron introducidas en la tolva del reómetro de torque Brabender Plastograph EC Plus (figura 2.2), bajo las condiciones de operación de la tabla 2.3, y una masa total de 30 g para cada muestra solamente el material rPP recibió un proceso de limpieza y secado previo.



**Figura 2.2 Reómetro Brabender.**

Fuente: Laboratorio de Plásticos

**Tabla 2.3 Condiciones de Mezclado**

Temperatura [°C]	Tiempo de mezclado	Velocidad
Zona 1: 175	10 [min]	60 rpm
Zona 2: 170		
Zona 3: 175		

Fuente: Elaboración Propia

## 2.4 Caracterización del Material

### 2.4.1 Ensayo DSC

Luego de preparar las muestras en el plastógrafo de doble tornillo se procedió a realizar el ensayo de la Calorimetría Diferencial de Barrido, en el equipo Calorímetro diferencial de barrido modelo Q200 marca TA instrumentos, el equipo se visualiza en la figura 2.3. La norma empleada en el equipo es ASTM

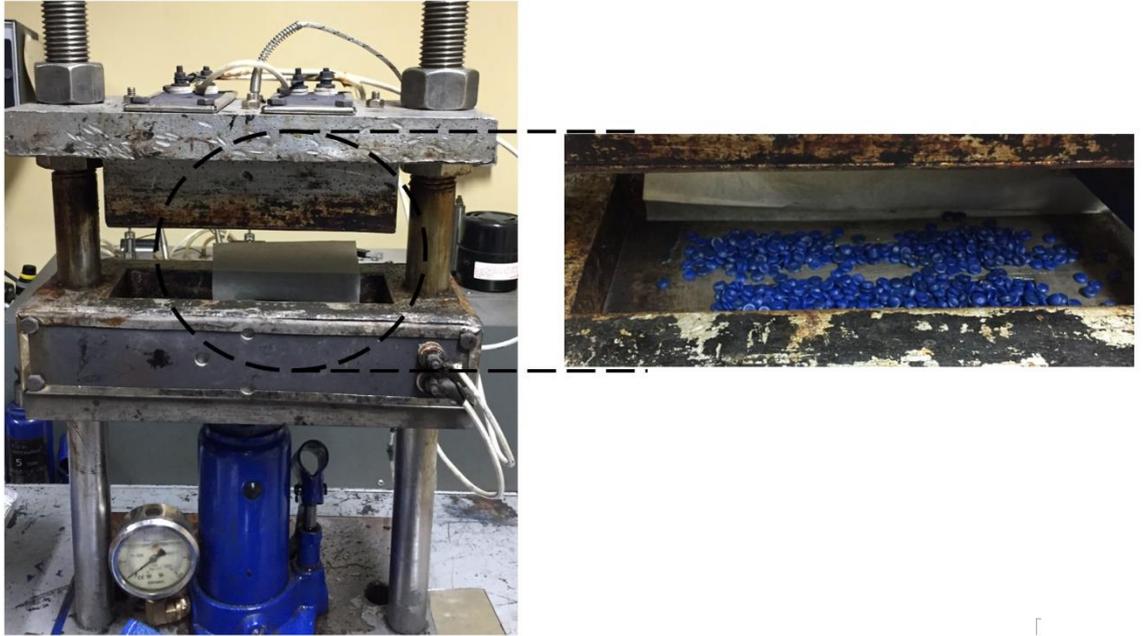
D3418-15, esta norma muestra los resultados de las entalpías de fusión y cristalización, temperaturas de fusión y cristalización. Este equipo efectúa barridos de temperatura de manera ascendente y descendente a una razón de 10°C/min, el barrido ascendente fluctúa de 0 °C a 200°C y el descendente de 200°C a 0°C en el intermedio del ensayo, dicho material es purgado por un fluido de nitrógeno a 20psi.



**Figura 2.3 Equipo DSC.**  
Fuente: Laboratorio de Plásticos

#### **2.4.2 Ensayo de tracción**

Para obtener las probetas de tracción de acuerdo a la norma ASTM-D638 a partir del proceso de mezclado (exceptuando la mezcla 1 y 2) se procedió a paletizar cada muestra para colocarlas en una prensa caliente en conjunto con un papel antiadherente durante 4 minutos inicialmente con la prensa cerrada luego durante 5 a una presión de 2000 psi aproximadamente, ambos procesos a una temperatura de 200 °C. Finalizado el tiempo de prensado las probetas se sometieron a enfriamiento súbito en agua a una temperatura de 22 °C, luego de la etapa de enfriamiento se procedió a retirar las rebabas.



**Figura 2.4 Máquina de prensado en caliente y colocación del materia**  
Fuente:Elaboración Propia

Luego de obtener las probetas para las diferentes mezclas, se procedió a realizar 3 ensayos de tracción por mezcla, utilizando la máquina de ensayos universal Autograph pertenecientes al Laboratorio de Ensayos Metrológico y de Materiales (LEMAT), la máquina utiliza una velocidad de 50 mm/s para obtener las curvas de esfuerzo vs deformación.

### **2.4.3 Ensayo reológico**

Para obtener las probetas para el ensayo reológico se realizó el mismo procedimiento para obtener las probetas del ensayo de tracción, a diferencia del molde que consistía en discos de 25 mm de diámetro.

El ensayo se lo realizó en el reómetro marca Malver modelo Kinexus Pro perteneciente al Laboratorio de Ensayos Metrológico y de Materiales (LEMAT) con una temperatura de trabajo de 180 °C y a una frecuencia de 0.01 a 30 s<sup>1</sup>. Se realizaron dos ensayos por mezcla.



**Figura 2.5 Discos para el ensayo reológico**

Fuente: Laboratorio de Plásticos y elaboración propia)



**Figura 2.6 Reómetro Malvern**

Fuente: LEMAT

#### **2.4.4 Difracción de Rayos X**

Las probetas utilizadas para este ensayo corresponden a las mismas del ensayo reológico, se utilizó el difractómetro de rayos X de marca PAN Analytical modelo Xpert-PRO, este ensayo permite determinar el grado de espaciamiento de los componentes de la mezcla.



**Figura 2.7 Difractómetro de Rayos X**  
Fuente: LEMAT

## **2.5 Acerca de la extrusora**

Identificadas las muestras es necesario especificar las condiciones de operaciones de la extrusora de tornillo simple del laboratorio de plástico, en la tabla 2.6 se especifican los parámetros, la velocidad del proceso y la relación L/D de la extrusora.

**Tabla 2.4 Parámetros de operación de la extrusora**

Sección	Zonas	Temperatura	Velocidad	Relación L/D
Alimentación	Zona 1	160	30 rpm	26
Compresión	Zona 2	180		
	Zona 3	195		
Medición	Zona 4	200		
	Zona 5	220		

Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 2.8 Extrusora de tornillo simple**

Fuente: Laboratorio de Plásticos.

## 2.6 Requerimientos del diseño

Para diseñar el sistema de embobinado hay que definir las variables que intervienen directamente en el producto final, estas variables físicas pueden ser de alguna manera controladas para no afectar al mismo. El diseño utilizado para el embobinado del filamento se apoya en los recursos disponibles dentro del Laboratorio de Plásticos pertenecientes a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción. Los siguientes factores describen las variables consideradas en el diseño. las cuales se dividieron en dos grupos.

## 2.7 Equipos disponibles para la implementación del diseño.

### Tina para enfriamiento

Posterior al proceso de extrusión el plástico de prueba utilizado rHDPE-NUTEC, tenía una temperatura de 220°C medido experimentalmente mediante el uso de una cámara termográfica, el plástico llega a una Tina que utiliza como refrigerante agua a una temperatura de 24°C, sin embargo, la tina no posee un sistema de retroalimentación por lo que la temperatura aumenta considerablemente luego de un tiempo  $t=20$  min.

El laboratorio posee una unidad de enfriamiento que abastece al resto de equipos del laboratorio, sin embargo, la tina de enfriamiento tal como se observa en la figura 2.9 no posee una unión directa a la unidad central, además se observa que no tiene un tratamiento de agua después de su utilización.



**Figura 2.9 Tina de enfriamiento**

Fuente: Elaboración Propia

### Motor Utilizado y Equipos de Control

Los siguientes equipos fueron brindados por el Laboratorio de Electrónica de Potencia, perteneciente a la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación en coordinación con el Phd. Andrés Rigail.





**Figura 2.12 Breaker**  
Fuente: Elaboración Propia

## 2.8 Consideraciones del diseño

- El diseño del sistema mecánico permite una gran facilidad para su montaje.
- Los elementos del sistema son fáciles de adquirir en el mercado local.
- Las dimensiones superficiales no deben exceder un área de 1.70mx0.75m, debido que son limitaciones en el espacio de trabajo.
- Se ajusta a los equipos disponible y se realizan modificaciones si estos lo requieren.
- Que el sistema permita al operador retirar el carrete de una manera sencilla.
- La temperatura del filamento a llegada de los rodillos debe ser igual a la temperatura ambiente.

### 2.8.1 Diseño de forma

#### 2.8.1.1 Sistema de Transmisión de movimiento

Para diseñar el sistema de transmisión de movimiento se debe de tener los siguientes requerimientos:

- Se debe diseñar en base a la capacidad de torque del motor proporcionado
- El diámetro final del filamento no debe exceder en medida  $1.75 \pm 0.01$  [mm].

- El diseño no debe exceder el área de 1.70mx0.75m.
- La velocidad de giro del elemento embobinador debe mantenerse constante.
- Debido a la predisposición de las condiciones del motor, se asumirá los elementos de unión mecánica acorde a la medida de la base.
- Se desprecian fuerzas inerciales en los elementos de reducción de velocidad.
- Se debe diseñar en base al acople de nylon proporcionado.
- Se seleccionará ejes en función de las dimensiones del eje del motor.
- Experimentalmente se determinó que la frecuencia del eje del motor debe operar en un intervalo de  $2 \text{ [Hz]} \leq f \leq 7 \text{ [Hz]}$  para no fracturar el filamento.
- Debido a las limitaciones de mercado se debe considerar una longitud de banda  $L=278 \text{ cm}$ .

#### 2.8.1.2 Determinación de la velocidad angular del motor.

Dado que el motor proporcionado cuenta con un sistema de control que cuenta a su vez con un variador de frecuencia, es necesario determinar la velocidad angular mínima del eje del motor para vencer la inercia, la frecuencia mínima para vencer esta inercia se la determino experimentalmente. La ecuación 2.1 determina la velocidad angular de la frecuencia.

$$\omega_m = 2\pi f \quad \text{Ecu 2.1}$$

Donde:

$f$ : Valor de la frecuencia mínima del motor para vencer la inercia 2[Hz]

$\omega_m$ : Velocidad angular del motor [rad/s]

### 2.8.1.3 Determinación de velocidades y diámetros

Para determinar la velocidad a la cual debe girar el carrete se determinó de manera experimental el caudal entregado por la extrusora a una velocidad del tornillo 30 RPM, se debe tener en cuenta que el caudal corresponde a un solo filamento, este caudal se determinó mediante la ecuación.

$$Q_f = \frac{V}{t} \quad \text{Ecu 2.2}$$

Donde:

V: Volumen [m<sup>3</sup>]

t: Tiempo [s]

**Tabla 2.5 Datos obtenidos para encontrar el caudal**

Medición	Longitud [m]	Diámetro [m]	Caudal [m <sup>3</sup> /s]
1	0.570	0.0040	2.38x10 <sup>-7</sup>
2	0.105	0.0031	7.14x10 <sup>-8</sup>
3	0.970	0.0022	1.23x10 <sup>-7</sup>

Fuente: Elaboración Propia

Una vez determinado el caudal de un solo filamento, se determinó la velocidad de salida del filamento de la extrusora manipulando la ecuación 2.2 con diferenciales de longitud asumiendo un área constante, para filamento de impresión 3D.

$$Q_f = A \frac{dL}{dt}$$

$$\frac{dL}{dt} = \frac{Q_f}{A}$$

$$v_s = \frac{Q_f}{A} \quad \text{Ecu 2.3}$$

Donde:

A: Área de sección transversal constante con un d=0.175 [cm]

Q<sub>f</sub>: Caudal de salida de un solo filamento [cm<sup>3</sup>/s]

Esta velocidad de salida de la extrusora del filamento es la requerida para poder enrollar el filamento, por lo tanto, con la ecuación 2.4 se determinó la velocidad angular del carrete.

$$v_s = v_c$$
$$\omega_{carrete} = \frac{v_s}{R_c} \quad \text{Ecu 2.4}$$

Donde:

R<sub>c</sub>: Radio del carrete [cm]

V<sub>s</sub>: Velocidad de salida del carrete [cm]

Debido a las limitaciones de espacio la banda debe ser plana y mediante la ecuación 2.5 se determinó el diámetro de la penúltima polea, se asume una proporción entre el diámetro final y penúltimo DF=4d<sub>PN</sub> con la finalidad de no obtener un diámetro de polea sobredimensionado.

$$L = [4C^2 - (3d_{PN})^2]^{0.5} + \frac{1}{2} \left[ 4d_{PN}(\pi - 2\text{sen}^{-1}(\frac{3d_{PN}}{2C})) + d_{PN}(\pi + 2\text{sen}^{-1}(\frac{3d_{PN}}{2C})) \right]$$

Ecu 2.5

Donde:

C: Distancia entre centros (105 [cm]).

d<sub>PN</sub>: Diámetro de la penúltima polea (9.38 [cm]).

D<sub>F</sub>: Diámetro de la polea principal (37.52 [cm])

Con la ecuación 2.6 se determinó la velocidad de la penúltima polea.

$$\omega_{PN} = \frac{D_F \omega_{carrete}}{d_{pn}} \quad \text{Ecu 2.6}$$

Donde:

ω<sub>carrete</sub>: Velocidad angular de carrete ([rad/s]).

$d_{PN}$ : Diámetro de la penúltima polea (9.38 [cm]).

$d_F$ : Diámetro de la polea principal (37.52 [cm]).

Obtenida la velocidad angular de la penúltima polea con la ecuación 2.7 se determinó el diámetro del acople que ira directo al eje del motor.

$$d_m = \frac{d_{pn}\omega_{PN}}{\omega_m} \quad \text{Ecu 2.7}$$

Donde:

$\omega_m$ : Velocidad angular del motor ([rad/s]).

$d_{PN}$  : Diámetro de la penúltima polea (9.38 [cm]).

$\omega_{PN}$ : Velocidad angular de la penúltima polea ([rad/s]).

#### 2.8.1.4 Selección de rodamientos

Debido a que las cargas aplicadas en el diseño y la velocidad angular requerida son bajas, se escogió los siguientes rodamientos en base a consideraciones económicas sin entrar a cálculos minuciosos para la selección de estos, solo se tomó en cuenta el ángulo de paso de los ejes disponibles.

- Rodamiento NTN 6000-RS
- Rodamiento rígido de bolas SFK 6201-2z

#### 2.8.1.5 Selección de rodillos de laminación

Los rodillos tienen el efecto de darle al filamento el diámetro final constante de 1.75 mm, para ello se lleva acabo los siguientes cálculos para determinar la potencia requerida.

En pruebas experimentales se determinó que la frecuencia del motor que brindaba un diámetro más cercano a 1.75 mm era cuando  $f = 4 [Hz]$ , dando un cambio a la velocidad lineal del carrete de 28.37 cm/s la cual será igual a la velocidad lineal del filamento.

## Velocidad a la salida de los rodillos de laminación

Considerando un flujo estacionario antes y después de la laminación se tiene que:

$$\begin{aligned}m_{input} &= m_{output} \\ \rho_1 V_1 A_1 &= \rho_2 V_2 A_2\end{aligned}$$

Asumiendo que la densidad se mantiene constante, la velocidad de salida  $V_2$  estará determinada por la ecuación 2.6.

$$V_2 = \frac{V_1 A_1}{A_2} \quad \text{Ecu. 2.6}$$

Donde:

$V_2$ = Velocidad del filamento a la salida del rodamiento [cm/s]

$V_1$ = Velocidad lineal del filamento [cm/s]

$A_1$ = Área aproximada del filamento (se asume un diámetro de 1.8 mm)

$A_2$ = Área final del filamento (1.75 mm)

## Fuerza aplicada por los rodillos

Esta se determinará para el diámetro de separación mínima entre los rodillos de 0.5 mm, dado esto se calcula el arco de contacto como:

$$S = \frac{120.51^\circ \pi R_{contacto}}{180^\circ} \quad \text{Ecu 2.7}$$

Donde:

$S$ = Longitud de contacto entre el filamento y los rodillos.

$R_{Contacto}$  = Radio del arco en contacto

El área de contacto se determina asumiendo que el contacto entre el filamento y los rodillos es puntual se asume un contacto de 0.15 mm.

$$A_{contacto} = S * 0.1 \quad \text{Ecu 2.8}$$

Obtenido este valor la fuerza ejercida puede ser determinada como:

$$F = \frac{\delta A_{\text{contacto}} E}{L} \quad \text{Ecu 2.9}$$

Donde:

$\delta$  = Diferencia entre el espesor de salida y entrada del diámetro del filamento (0.5 mm) [m]

E= Modulo de Young de HDPE (900MPa)

L= Diámetro del filamento a la entrada de los rodillos

$A_{\text{contacto}}$  = Área de contacto del filamento con los rodillos

### **Potencia requerida.**

Debido a que la potencia depende del torque y este a su vez de una fuerza tangencia a los rodillos, este corresponderá a la fuerza de fricción entre los rodillos y el filamento, asumiendo un coeficiente de fricción de  $\mu=1.5$

$$F_{\text{fricción}} = F \mu \quad \text{Ecu 2.10}$$

Donde:

F= Fuerza ejercida por los rodillos en dirección normal (Ecu 2.9)

$\mu$  = Coeficiente de fricción.

Para el diseño de selecciono rodillos con un diámetro de 2 cm, por lo tanto, la potencia puede ser obtenida como:

$$P = \omega F_{\text{fricción}} R_{\text{rodillo}} \quad \text{Ecu 2.11}$$

Donde:

$\omega$ = Velocidad angular de los rodillos, se determina mediante la velocidad tangencial de salida del filamento.

$F_{\text{fricción}}$ = Fuerza de fricción entre los rodillos y el filamento

$R_{\text{rodillo}}$ = Radio de rodillos seleccionados.

## **2.9 Condiciones de la prueba piloto**

Para comprobar que el prototipo funciona se realizará una prueba piloto en el cual se someterá a un proceso de extrusión con una masa de 5 [Kg] a la mezcla de 100% de rHDPE a una velocidad de tornillo de 30 RPM, y a una frecuencia del motor de 4 [Hz], esta prueba piloto se la realizará sin los rodillos laminadores, dichos rodillos laminadores serán un complemento adicional, sin embargo en anexos se adjunta los planos respectivos.

# CAPITULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1 Resultados de DSC

#### 3.1.1 Resultado 100% HDPE

Realizado el ensayo DSC se determinó que en la muestra de HDPE corresponde al material descrito por la marca BRASKEM 9450 F, los picos representan a la temperatura de cristalización y temperatura de fusión, en cambio el área bajo la curva del intervalo analizado representa la variación de entalpía. En la figura 3.1 se evidencia en la curva termográfica obtenida por el equipo, el primer pico corresponde a la  $T_c$  114.19°C con  $\Delta H_c$  de 137.3 [J/g] y  $T_m$  132.73°C con  $\Delta H_m$  de 120.1[J/g], estos valores sirven de referencia para determinar cómo varía o cambian las temperaturas de cristalización y de fusión de las mezclas.

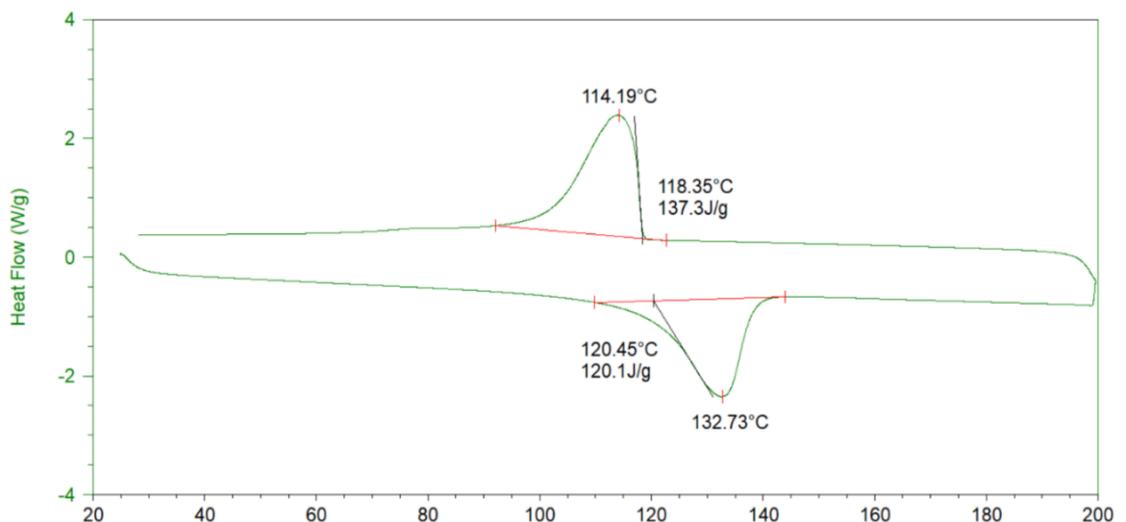


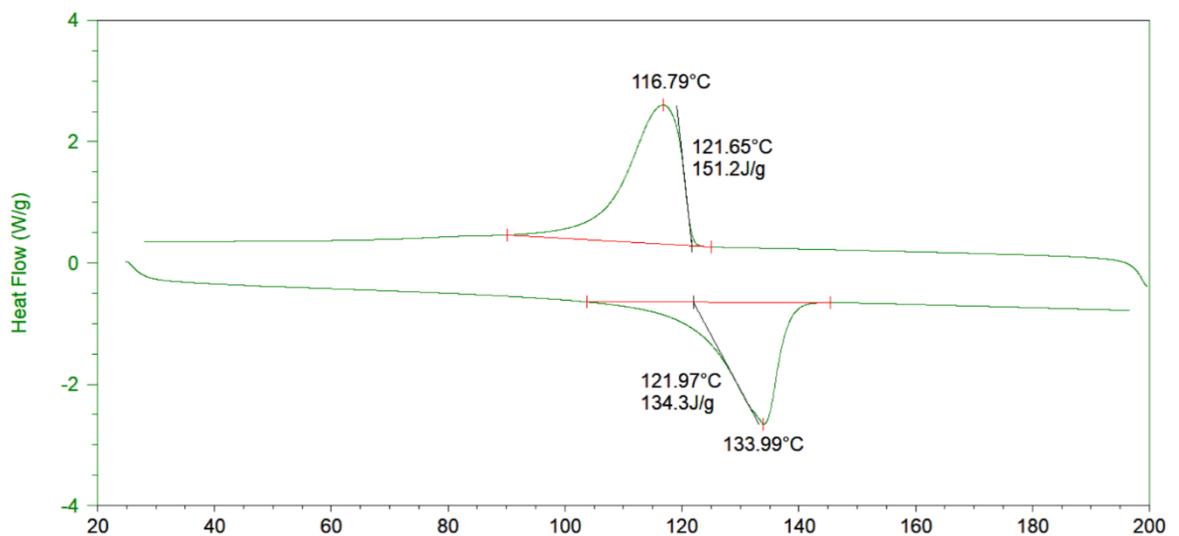
Figura 3.1 Calorimetría diferencial de barrido PEAD 100%

Fuente: Elaboración Propia

#### 3.1.2 Resultado 100% rHDPE

En la figura 3.2 se observa los picos correspondientes,  $T_c$  con un valor de 116.79 °C y  $\Delta H_c$  de 151.2 [J/g], la  $T_m$  133.99°C con  $\Delta H_m$  de 134.3[J/g], en

comparación con el material virgen HDPE BRASKEM 9450 F, este material reciclado y con el debido proceso de limpieza química y física por parte de la empresa NUTEC, incremento en un 0.95% su temperatura de fusión y su entalpía de fusión incremento en un 11.82% por su parte la temperatura de cristalización incrementó en un 2.28% y su entalpía de cristalización se incrementó en 10.12%, debido a la degradación propia del polietileno al ser procesado se evidencia que el gradiente de temperatura no es considerable para poder llegar a su temperatura de fusión sin embargo se requiere mayor energía para poder llegar a la temperatura de cristalización del material.



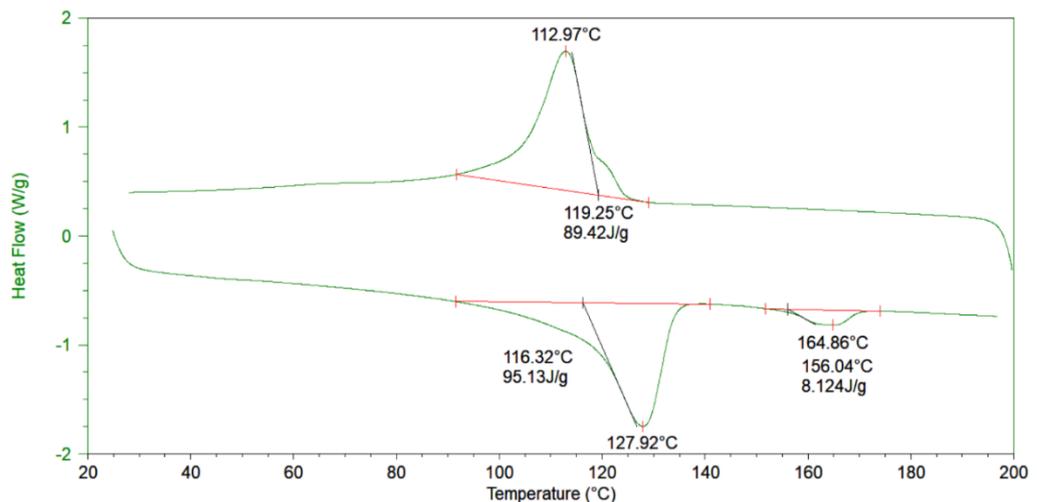
**Figura 3.2 Calorimetría diferencial de barrido rPEAD 100%**

Fuente: Elaboración Propia

### 3.1.3 Resultado 85% rPEAD 15% rPP

En la muestra de rHDPE 85% con rPP 15% se observa en la figura 3.3 tres picos, estos picos corresponden a la temperatura de cristalización de toda la mezcla dando un valor de 112.97 °C para  $T_{cm}$  con  $\Delta H_c$  de 89.42 [J/g] como la mezcla está compuesta por dos poliolefinas esta temperatura de cristalización aplica para el material de polietileno de alta densidad reciclado y el polipropileno reciclado, sin embargo cada material obtuvo su respectivo punto de fusión, para el polietileno de alta densidad reciclado se tuvo una

$T_{cHDPE}$  de 127.92 °C con  $\Delta H_{cHDPE}$  de 89.42 [J/g], por su parte el polipropileno reciclado obtuvo un valor de  $T_{cpp}$  de 164.86 °C con un valor de 8.12 [J/g] para  $\Delta H_{cPP}$ , como se puede apreciar en la gráfica el pico de la temperatura del polipropileno resulta menos pronunciada a la del polietileno de alta densidad, esto se debe a la proporción correspondiente de las mezclas, sin embargo en comparación con el polietileno de alta densidad virgen HDPE BRASKEM 9450 F la temperatura de cristalización de la mezcla disminuyó en 1.07% y su entalpía de cristalización disminuyó en un 34.87%, por motivos de análisis se seleccionó la mayor temperatura de fusión y para las entalpías se sumaron, por ende asumiendo homogeneidad la temperatura de fusión de la mezcla incremento en un 24.21% y la entalpía de fusión disminuyó en un 14.03% .

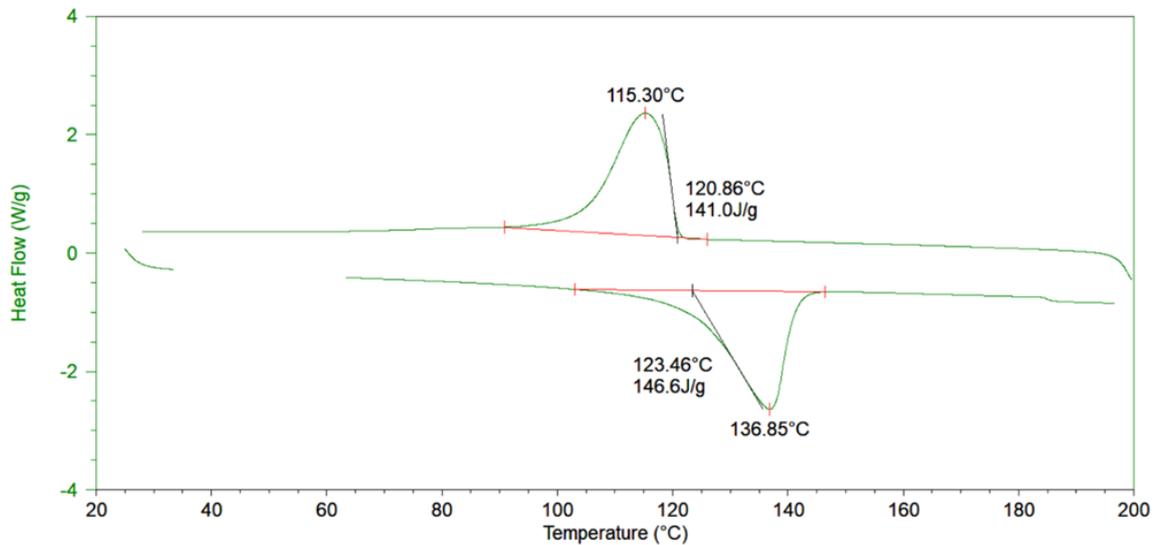


**Figura 3.3 Calorimetría diferencial de barrido rHDPE 85% con rPP 15%**  
Fuente: Elaboración Propia

### 3.1.4 Resultado 99% rPEAD -1% Closite 20A

En la figura 3.4 se observa la mezcla del polietileno de alta densidad reciclado con la organoarcilla closite 20A, se obtuvo una  $T_c$  de 115.30 °C con un valor de  $\Delta H_c$  de 141.0 [J/g] y una  $T_m$  de 136.85 °C y 146.6 [J/g] de  $\Delta H_m$  en comparación con el material expuesto en el punto 3.1.1 la temperatura de cristalización aumentó en un 0.97% y la entalpía de cristalización aumentó en un 2.69%, su temperatura de fusión aumentó en un 3.10% y su entalpía de fusión aumentó en 22.06%, en comparación con

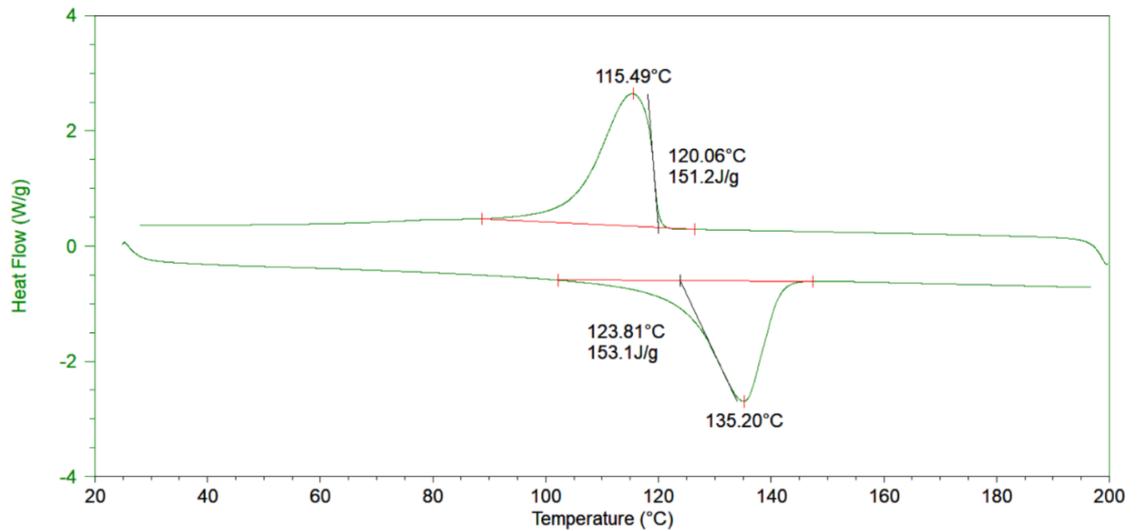
el material virgen se ve un incremento considerable en lo que concierne a la entalpía de fusión, esto debido a la presencia de la organoarcilla, la presencia de este aditivo por su naturaleza cerámica se necesita más energía por unidad de gramo para llegar al punto de fusión, sin embargo el porcentaje de incremento de la temperatura de fusión permanece relativamente bajo .



**Figura 3.4 Calorimetría diferencial de barrido rHDPE 99% con 20A 1%**  
Fuente: Elaboración Propia

### 3.1.5 Resultado 94% rPEAD 1% Cloisite 20A 5% OBC

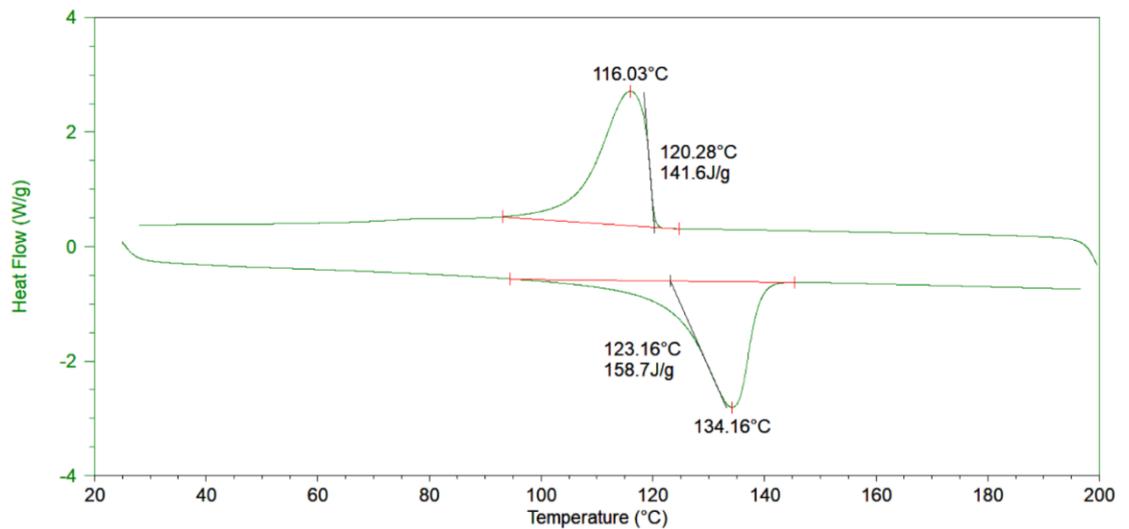
En la figura 3.5 se observa el DSC del polietileno reciclado con organoarcilla y el copolímero. Se obtuvieron dos picos pronunciados en donde se obtuvo un valor de  $T_c$  de 115.49 °C,  $\Delta H_c$  de 151.2 [J/g],  $T_m$  de 135.20 °C y  $\Delta H_m$  de 153.1 [J/g], en comparación con el material virgen  $T_c$  incrementó en un 1.14%,  $\Delta H_c$  en 10.12%,  $T_m$  en un 1.86%,  $\Delta H_m$  en 27.48%, las temperaturas de cristalización y de fusión se mantienen en un rango aceptable, en comparación de la mezcla expuesta en el punto 3.1.4 la temperatura de fusión disminuyó, esto debido a la presencia del copolímero que ayuda a compatibilizar los enlaces minimizando de alguna manera los efectos de desgaste por procesamiento.



**Figura 3.5 Calorimetría diferencial de barrido rHDPE 94% 20A 1% y 5%OBC**  
Fuente: Elaboración Propia

### 3.1.6 Resultado 92.5% rPEAD 1% Closite 20A 5% OBC 1.5 %CAPS

En la figura 3.6 se observa el termograma del polietileno reciclado con el resto de aditivos, se obtuvieron dos picos, el primer pico correspondiente a  $T_c$  de 116.03 °C con,  $\Delta H_c$  de 141.6 [J/g], y el segundo pico con un valor de  $T_m$  de 134.16 °C con,  $\Delta H_m$  de 158.7 [J/g], en comparación con el material virgen la temperatura de cristalización aumentó en un 1.16% y la entalpía de cristalización aumento en un 3.13%, mientras que la temperatura de fusión aumentó en 1.08% y la entalpía de fusión aumentó en un 32.14%, en comparación con la mezclas expuestas se evidencia que seguido del polietileno de alta densidad puro esta mezcla es la segunda con la menor temperatura de fusión, sim embargo la entalpía de fusión aumentó esto debido a la cantidad de aditivos que presenta la mezcla .



**Figura 3.6 Calorimetría diferencial de barrido rHDPE 94% 20A 1% 5%OBC y 1.5%CAPS**

Fuente: Elaboración Propia

### 3.1.7 Resultados Comparativos DSC

En la tabla 3.1 se exponen los resultados generales del análisis diferencial de barrido, y por medio de referencia de la entalpía del polietileno de alta densidad 100% cristalino ( $\Delta H_p=288$  [J/g]) se determinó el porcentaje de cristalinidad. (Torres, Robin, & Boutevin, 2000), en la tabla se observa que la mezcla con una mayor temperatura de fusión corresponde a la mezcla de 85%rPEAD-15%PP, la mezcla con aditivos que se acerca a la temperatura cercana de fusión de material HDPE virgen es la mezcla 94%rHDPE-1%C20A-5%OBC, siendo esta mezcla la mejor alternativa en cuanto a la temperatura de fusión puesto que apenas presenta una variación del 1.86%

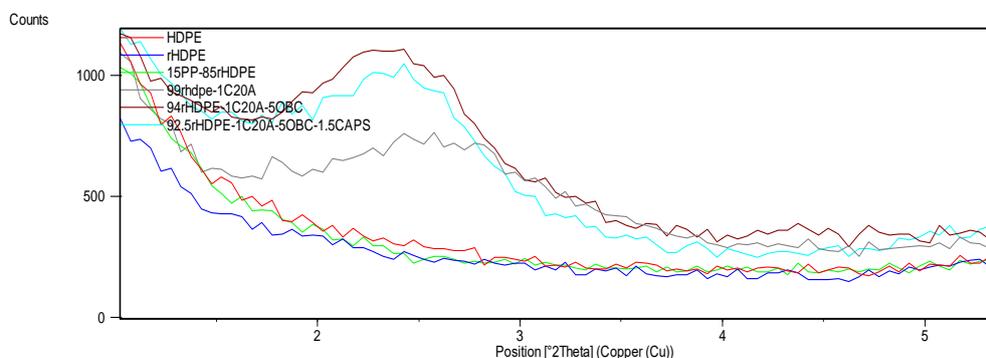
**Tabla 3.1 Tabla de resultados cuantitativos DSC**

Mezcla	$T_m$ [°C]		$T_c$ [°C]		C [%]
100%HDPE	132,73		114,19		47,67
100%rHDPE	133,99		116,79		52,50
85%rHDPE -15%rPP	rPP	rHDPE	rPP	rHDPE	31,05
	164,86	127.92	8.12	89.42	
99%rHDPE -1%C20A	136,85		115,30		48,96
94%rHDPE -1%C20A-5% OBC	135,20		115,49		52,50
92.5%rHDPE-1%C20A-5%OBC-1.5 %CAPS	134,16		116,03		49,17

Fuente: Elaboración Propia

### 3.2 Resultados de XRD

En la figura que se muestra a continuación se muestran los resultados realizados por el difractómetro de rayos x en un intervalo de  $1^\circ \leq 2\theta \leq 5.5^\circ$ , en la figura se aprecia picos pronunciados en las mezclas con aditivos. La curva con mayor pronunciamiento corresponde a la mezcla con 94%rHDPE-1%20A-5%OBC.

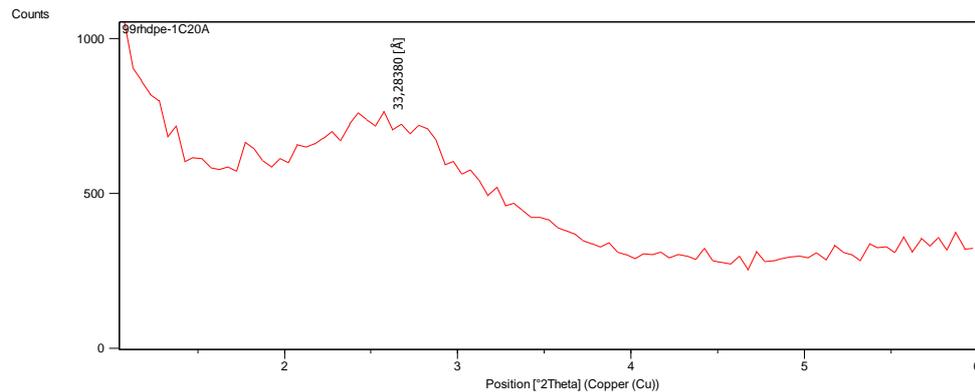


**Figura 3.7 Resultados de difractómetro de rayos X superpuestas**

Fuente: Elaboración Propia

Las curvas de 100% HDPE, 100% rHDPE y 85% rHDPE -15% rPP no presentan mayores pronunciamientos, por lo que dichos polímeros no presentan partículas como arcillas, metales, entre otras partículas contaminantes, lo que indica que las cadenas de las mezclas no tienen adhesión con algún compatibilizante.

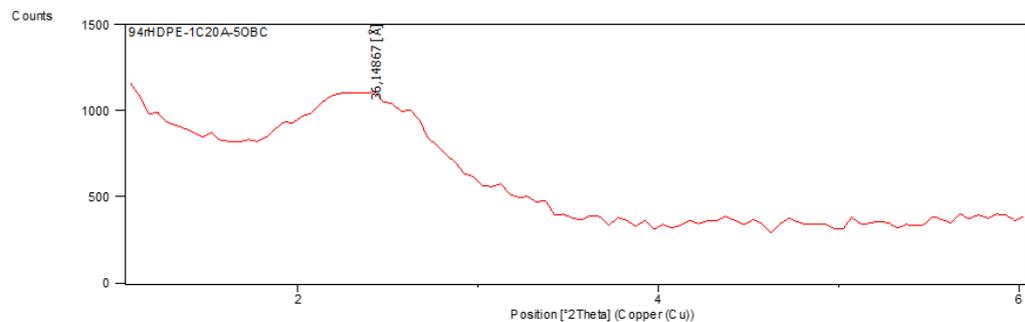
En la figura 3.8 se puede observar el resultado individual correspondiente a la mezcla 99% rHDPE 1%C20A, se observa un espacio espaciamiento basal de 32,28 Å en la posición  $2\theta$  igual a  $2.51^\circ$ , en anexos en la figura C9 se observa que espaciamiento basal del C20A en un estado puro de  $24.24^\circ$  por lo tanto se muestra que el espaciamiento basal en la muestra aumentó en  $8.04^\circ$ , lo que indica que la organoarcilla mejoró la intercalación de las cadenas polimérica.



**Figura 3.8 Difractometría de rayos X de la mezcla 99% rHDPE - 1%C20A**

Fuente: Elaboración Propia

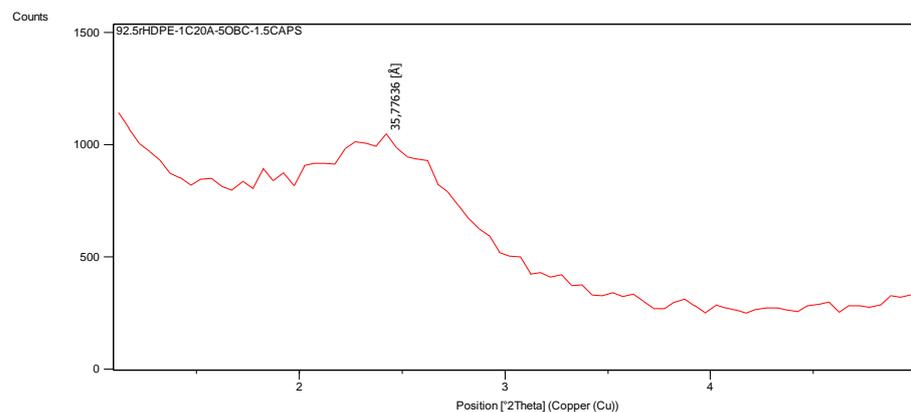
En la figura 3.9 se observa el resultado individual de la mezcla 94% rHDPE-1%C20A-5%OBC, se observa un pico aproximado en  $2\theta$  igual a  $2.49^\circ$  un espaciamiento basal de 36,15 Å, la adición de un copolímero ayudó al material reciclado a aumentar aún más la intercalación y el espacio basal, dicho espaciamiento mejoró las propiedades mecánicas del material.



**Figura 3.9 Difractometría de rayos X de la mezcla 94% rHDPE - 1%C20A -5%OBC**

Fuente: Elaboración Propia

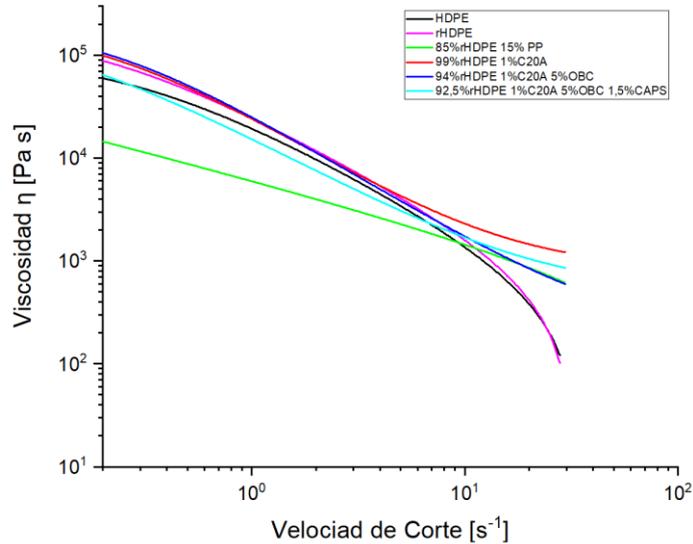
En la figura 3.10 se observa el resultado individual de la mezcla 92.5% rHDPE-1%C20A-5%OBC-1.5%CAPS, se observa un pico aproximado en la posición  $2\theta$  igual a  $2.55^\circ$  con un espaciamento basal de  $35,78 \text{ \AA}$ , el copolímero OBC al ser de naturaleza polimérica tiene un punto de fusión más bajo que el CAPS por ende tuvo un tiempo de enlazamiento intermolecular menor al CAPS adhiriéndose a las estructuras cristalinas de la matriz polimérica del rHDPE, al ocupar los posibles enlaces en lamella esto hizo que el CAPS no pueda intercalarse en base a la figura 3.8 y 3.7 se puede afirmar que la adición de una organoarcilla, y la combinación de la misma con un copolímero aumenta el espaciamento basal, sin embargo la adición del CAPS atenúa dicho espaciamento.



**Figura 3.10 Difractometría de rayos X de la mezcla 92.5% rHDPE - 1%C20A -5%OBC-1.5 CAPS**  
Fuente: Elaboración Propia

### 3.3 Resultados Reología

Se realizaron dos ensayos por muestras en el reómetro rotacional, las tablas de resultados y la gráfica sin aplicar ningún modelo matemático para suavizar las curvas se muestran en anexos, a continuación, se muestra el gráfico tratado con el modelo de regresión logística para estudiar la tendencia de las mezclas.



**Figura 3.11 Curvas de viscosidad vs velocidad de corte de las mezclas.**

Fuente: Elaboración Propia

Tal como se observa en la figura 3.10 la tendencia de todas las curvas de las mezclas obtenidas siguen el comportamiento de un fluido pseudoplástico, siendo la mezcla de 99%rHDPE-1%C20A que mantiene una viscosidad mayor en comparación con la mezcla 100% HDPE , se observa además que la mezcla 100% rHDPE sigue una tendencia marcada al 100%HDPE, a velocidades de corte menores que 100 [S-1] las mezclas 100%rHDPE, 99%rHDPE-1%C20A y 94%rHDPE-1%C20A-5%OBC presentan las mayores viscosidades con un valores aproximados de  $\eta$  igual a  $10^5$  [Pa s], la mezcla 100%HDPE presenta una viscosidad cercana a  $6 \times 10^4$  [Pa S] en conjunto con la mezcla 92.5%rHDPE-1%C20A-5%OBC-1.5%CAPS lo que asegura que las propiedades reológicas de esta última en mención se asemejen a las del polietileno virgen siendo una ventaja a la hora de realizarse un proceso de extrusión. Las tendencias mencionadas se mantienen hasta una velocidad de corte  $7$  [S<sup>-1</sup>], a partir de esta velocidad de corte el comportamiento de la viscosidad de las mezclas sin aditivos comienza a decrecer, mientras que las mezclas con aditivos se atenúa desde el intervalo de  $6 \times 10^2$  [Pa S] hasta  $2 \times 10^3$  [Pa S] .Con estas tendencias marcadas se observa que el comportamiento de la adición de aditivos en proporción de 1%C20A y 1%C20A-5%OBC aumentó la viscosidad de la mezcla, sin embargo al añadir la proporción 1.5%CAPS a

los mencionados la viscosidad disminuyó considerablemente hasta aproximarse a la viscosidad del polietileno virgen .

### 3.4 Resultados Tracción

#### 3.4.1 Resultado 100%HDPE

Para realizar los ensayos de tracción en la máquina de ensayos universal se realizaron 3 pruebas por muestra. Los resultados obtenidos de la gráfica HDPE puro, corresponden a un parámetro de referencia para las otras muestras. Para este se obtiene que para una deformación máxima media de 8.37967% le corresponde un esfuerzo máximo que soporta la probeta tiene una media de 19.0433 MPa. Otro dato de interés es el Módulo de Young o Modulo de elasticidad (E), el cual muestra la proporcionalidad entre el esfuerzo y la deformación; y es aplicable antes del valor de fluencia en donde se pierden las características elásticas del material, para esta muestra el módulo E de 366.842 [Mpa] tal como se observa en la tabla 3.3 mientras que en la tabla 3.2 se muestran las dimensiones obtenidas en las probetas.

**Tabla 3.2 Dimensiones de las probetas 100% HDPE**

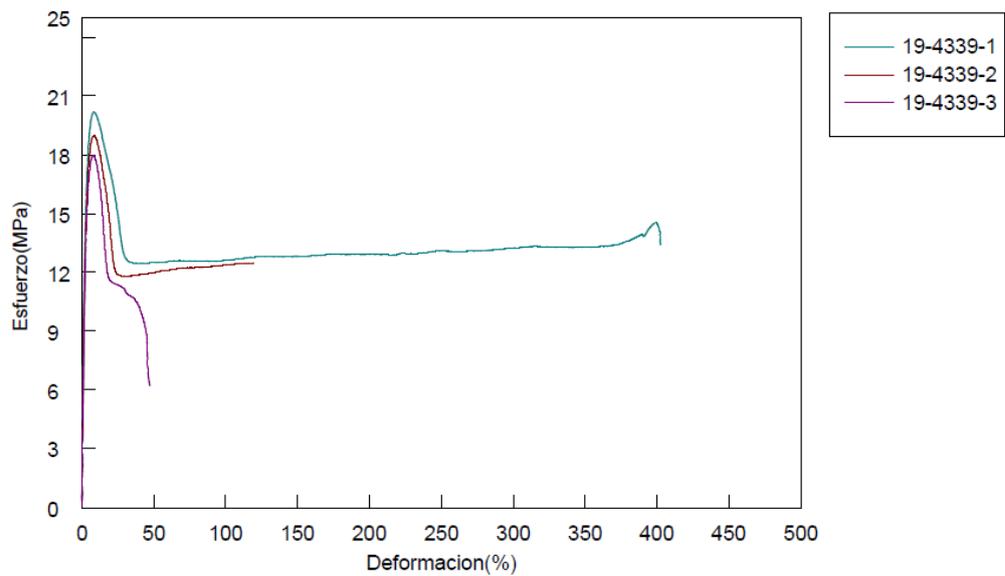
Ensayo	Espesor [mm]	Ancho [mm]	Longitud Calibrada [mm]
19-4338-1	3.4000	6.2200	50.000
19-4338-2	3.1800	6.1900	50.000
19-4338-3	3.3600	6.6900	50.000

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 3.3 Resumen de resultados de las muestras de 100%HDPE**

Ensayo	Esfuerzo Máximo [Mpa]	Deformación Máxima [%]	Modulo Elástico [Mpa]
19-4338-1	20.1726	8.56400	408.924
19-4338-2	18.9913	8.50500	337.277
19-4338-3	17.9653	8.07000	354.325
Media	19.0433	8.37967	366.842
Desviación Estándar	1.10427	0.26980	37.4277

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 3.12 Curvas de Esfuerzo [Mpa] vs Deformación [%] de 100%HDPE**

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.2 Resultados 100% rHDPE

En el gráfico 3.12 se observan las curvas obtenidas de cada ensayo, se observa que las curvas presentan una región lineal de esfuerzo en el rango aproximado de 0% hasta 45% de deformación, del rango de deformación de 70% hasta 350% presenta su zona de plástica-elástica y a partir de esa zona el material pasa a su zona por endurecimiento hasta llegar a la fractura por lo tanto el material reciclado de HDPE sin aditivos, posee mejores propiedades entre valores de esfuerzo máximo y deformación, siendo estos de 21.7236 [Mpa] y 8.747% (el dato de deformación 621.028% no es considerado al ser un valor atípico), sin embargo el módulo de elasticidad disminuye en un 1.49% con respecto al HDPE Puro esto se debe a la degradación propia del material al ser manufacturado para producir los diferentes usos del mismo .

**Tabla 3.4 Dimensiones de las probetas 100% rHDPE**

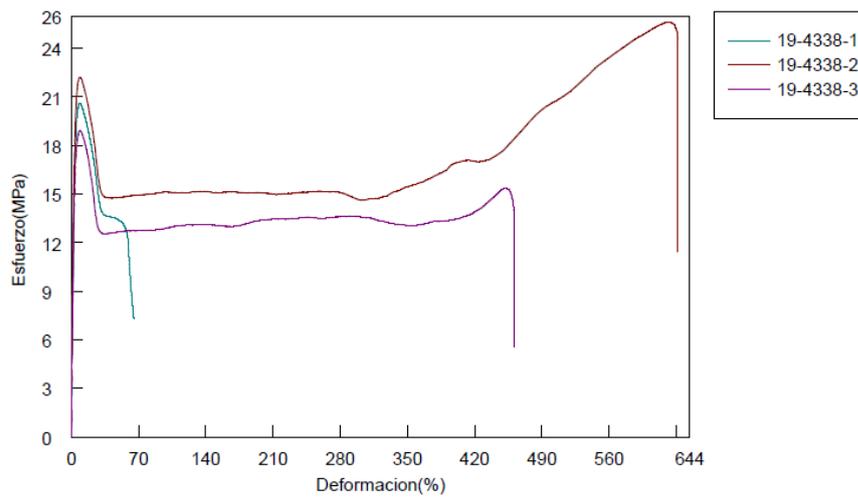
Ensayo	Espesor [mm]	Ancho [mm]	Longitud Calibrada [mm]
19-4338-1	3.2500	6.3200	50.000
19-4338-2	3.1100	6.2300	50.000
19-4338-3	3.3400	6.4800	50.000

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.5 Resumen de resultados de las muestras de 100% rHDPE**

Ensayo	Esfuerzo Máximo [Mpa]	Deformación Máxima [%]	Modulo Elástico [Mpa]
19-4338-1	20.6145	8.68000	266.957
19-4338-2	25.6206	621.028	284.823
19-4338-3	18.9357	8.81400	185.405
Media	21.7236	212.841	245.728
Desviación Estándar	3.47772	353.501	52.9998

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 3.13 Curvas de Esfuerzo [Mpa] vs Deformación [%] de 100% rHDPE**

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.3 Resultados 85% rHDPE-15% rPP

Está muestra corresponde a la mezcla de 85%rHDPE y 15%rPP, en la gráfica 3.13 se observa una zona lineal entre el rango de deformación de 0% a 4% llegando a un valor aproximado de 12 [Mpa] esta zona corresponde a la zona elástica pasada esta zona llega a la zona plástica llegando al último esfuerzo de 17.2365 [Mpa], se observa que la mezcla carece de una zona pronunciada de deformación plástica esto se debe a que los enlaces del polietileno y polipropileno reciclado no se formaron una interfaz adecuada, el propósito de esta mezcla era obtener una mejora de las propiedades elásticas por la presencia de HDPE y de mejorar la resistencia agregado el PP. Los resultados muestras que no hubo una mejoría de la resistencia, aunque si un aumento leve en la deformación máxima y un aumento en el módulo de Young en 1.2 veces 11.12 % con respecto al rHDPE y disminuyo un 25.6 % con respecto al HDPE virgen.

**Tabla 3.6 Dimensiones de las probetas 85% rHDPE-15%rPP**

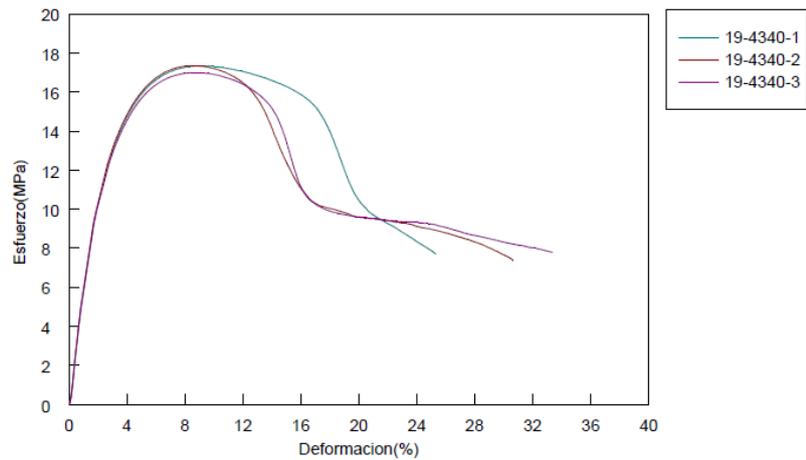
Ensayo	Espesor [mm]	Ancho [mm]	Longitud Calibrada [mm]
19-4340-1	3.0800	6.3100	50.000
19-4340-2	3.1600	6.4000	50.000
19-4340-3	3.0800	6.2400	50.000

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.7 Resumen de resultados de las muestras de 85% rHDPE-15%rPP**

Ensayo	Esfuerzo Máximo [Mpa]	Deformación Máxima [%]	Modulo Elástico [Mpa]
19-4340-1	17.3473	9.23700	300.985
19-4340-2	17.3657	8.48200	312.821
19-4340-3	16.9964	8.68900	287.420
Media	17.2365	8.80267	300.409
Desviación Estándar	0.20811	0.39012	12.7103

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 3.14 Curvas de Esfuerzo [Mpa] vs Deformación [%] de 85% rHDPE-15%rPP**

Fuente: Elaboración Propia

#### 3.4.4 Resultados 99% rHDPE-1% C20A

En la gráfica 3.14 se observan las curvas para cada ensayo, se observa una zona de proporcionalidad o región lineal desde el porcentaje de deformación de 0% a 10% donde llega aproximadamente al valor promedio de 14 [Mpa] del límite elástico después de esa zona llega a la fluencia hasta la deformación aproximada de 20% a partir de ahí las curvas se atenúan llegando a su zona de deformación plástica con un esfuerzo promedio de 12 [Mpa], luego llega a la zona de endurecimiento en el intervalo de 360% hasta 450% aproximadamente para pasar a su esfuerzo último. La organoarcilla disminuyó el esfuerzo máximo para el rHDPE, aunque sigue siendo mayor con respecto al HDPE Puro, similarmente paso con la deformación máxima (el dato de 584.91% no es considerado al ser un valor aberrante), el aumento más significativo lo podemos observar en el módulo de Young este mejoró con respecto al rHDPE en un 29.37 % y disminuyó en un 13.10 % con respecto al material virgen, con ello se ratifica que la organoarcilla mejora las propiedades mecánicas del material reciclado. .

**Tabla 3.8 Dimensiones de las probetas 99% rHDPE-1%C20A**

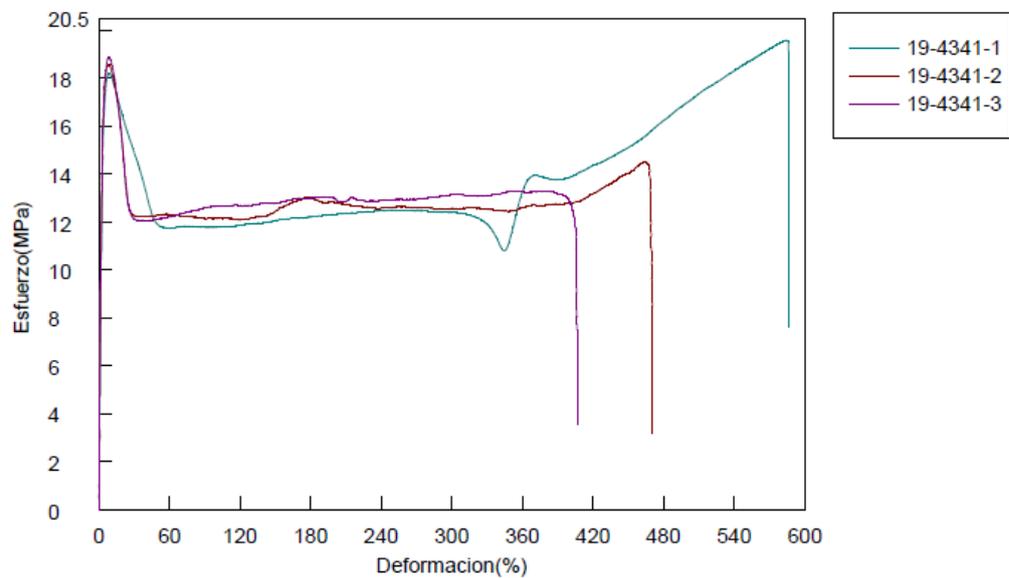
Ensayo	Espesor [mm]	Ancho [mm]	Longitud Calibrada [mm]
19-4340-1	3.2500	6.3200	50.000
19-4340-2	3.3100	6.4200	50.000
19-4340-3	3.3200	6.2800	50.000

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.9 Resultados de tracción 99% rHDPE-1%C20A**

Ensayo	Esfuerzo Máximo [Mpa]	Deformación Máxima [%]	Modulo Elástico [Mpa]
19-4340-1	19.5807	584.910	317.543
19-4340-2	19.5881	8.38000	357.814
19-4340-3	18.8650	8.74200	357.809
Media	19.0113	200.677	344.389
Desviación Estándar	0.51221	332.755	23.2490

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 3.15 Curvas de Esfuerzo [Mpa] vs Deformación [%] de 99% rHDPE- 1%C20A**

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.5 Resultados 94% rHDPE-1% C20A-5%OBC

En la gráfica 3.15 se muestran las curvas sobrepuestas, se observa un comportamiento similar a los expuestos en la figuras 3.11 y 3.12 sin embargo se observa que su zona de deformación plástica se reduce hasta llegar a un promedio de deformación de 116%, el comportamiento de este material carece de una zona pronunciada de endurecimiento por deformación, la intervención del copolímero atenuó dicha zona e incluso se observa que el esfuerzo último converge alrededor de 13 [Mpa] .Esta mezcla posee una mejora leve con respecto a la mezcla rHDPE la deformación máxima en un 1.23% aunque su esfuerzo máximo bajo, la mejora sustancialmente significativa es el módulo de elasticidad este aumento en un 39 %, por su parte con respecto al HDPE virgen disminuyó en un 6.63%.

**Tabla 3.10 Dimensiones de las probetas 94% rHDPE-1%C20A-5%OBC**

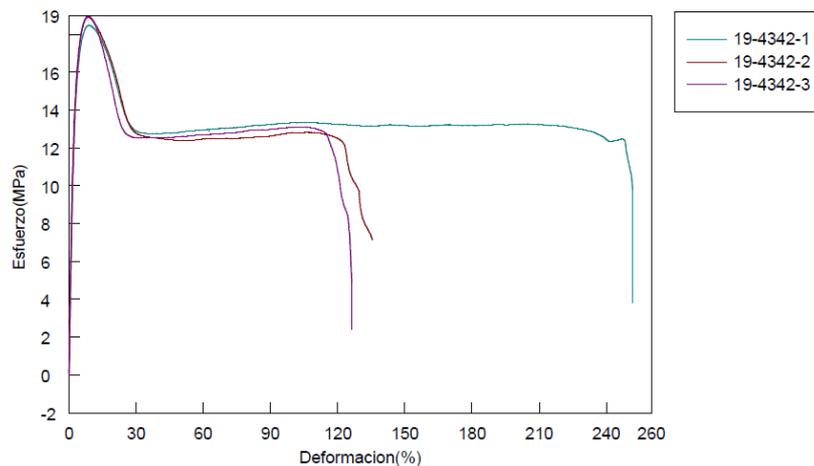
Ensayo	Espesor [mm]	Ancho [mm]	Longitud Calibrada [mm]
19-4340-1	3.2500	6.1700	50.000
19-4340-2	3.3900	6.2000	50.000
19-4340-3	3.3000	6.1900	50.000

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.11 Resultados de tracción 94% rHDPE-1%C20A-5%OBC**

Ensayo	Esfuerzo Máximo [Mpa]	Deformación Máxima [%]	Modulo Elástico [Mpa]
19-4340-1	18.4812	9.14800	359.269
19-4340-2	18.9138	8.68000	392.266
19-4340-3	18.9570	8.73200	377.083
Media	18.7840	8.85333	376.206
Desviación Estándar	0.26312	0.25333	16.5160

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 3.16 Curvas de Esfuerzo [Mpa] vs Deformación [%] de 94% rHDPE 1%C20A-5%OBC**

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.6 Resultados rHDPE 92.5%-C20A 1%-5% OBC INTUNE-1.5% CAPS

En la figura 3.15 se observa un comportamiento similar a la figura 3.13, pero con un reducido límite de proporcionalidad llegado aproximadamente hasta los 6 [Mpa] en el intervalo de 0% hasta 1.5% de deformación, luego se observa que llega a su límite elástico hasta aproximadamente 16 [Mpa], luego converge la deformación plástica hasta llegar a su ruptura a pesar de la disminución de su zona elástica la adición del aditivo CAPS mejoro en gran medida el Módulo de elasticidad en un 58.06% con respecto al material virgen y en un 135.31% con respecto al rHDPE sin embargo los valores de deformación máxima y esfuerzo máximo cayeron un -14.93% y un -14.10% (considerando los datos 8.93 MPa y 1.91% como aberrantes).

**Tabla 3.12 Dimensiones de las probetas 92.5%-C20A 1%-5% OBC INTUNE-1.5% CAPS**

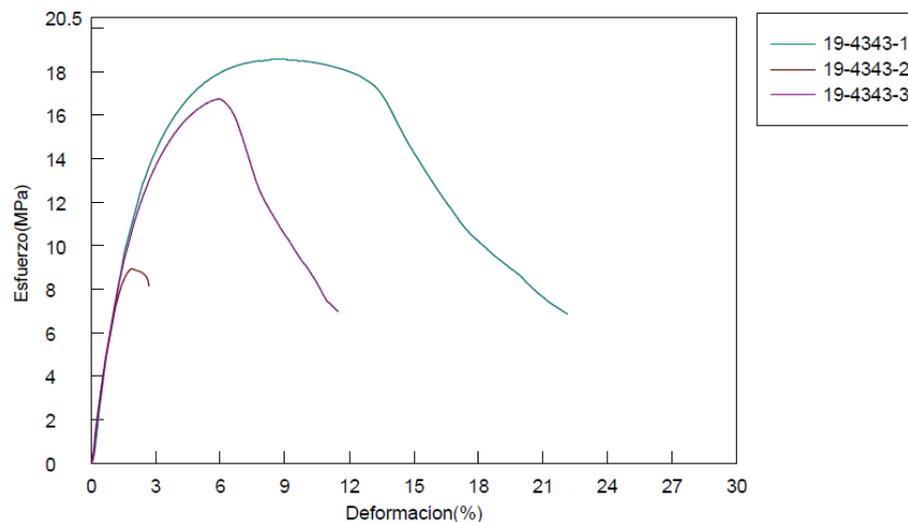
Ensayo	Espesor [mm]	Ancho [mm]	Longitud Calibrada [mm]
19-4340-1	3.2400	6.2500	50.000
19-4340-2	3.1400	6.3800	50.000
19-4340-3	3.1600	6.4500	50.000

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.13 Resultados de tracción 92.5%-C20A 1%-5% OBC INTUNE-1.5% CAPS**

Ensayo	Esfuerzo Máximo [Mpa]	Deformación Máxima [%]	Modulo Elástico [Mpa]
19-4340-1	18.5648	8.89800	597.457
19-4340-2	8.93267	1.91000	606.755
19-4340-3	18.7527	5.98400	652.255
Media	14.7501	5.59733	618.822
Desviación Estándar	5.11883	3.51001	29.3244

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 3.17 Curvas de Esfuerzo [Mpa] vs Deformación [%] de 92.5% rHDPE 1%C20A-5%OBC-1.5%CAPS**

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.7 Resumen ensayos de Tracción

Se trata de hacer una comparativa entre el material reciclado de HDPE y el HDPE puro, junto con los aditivos utilizados para la posible mejora en los materiales (se eliminan valores considerados atípicos dentro de la comparativa), en la tabla 3.14 se muestra una comparación entre el polietileno virgen y el polietileno reciclado.

**Tabla 3.14 Comparación en prueba de tracción 100%HDPE y 100% rHDPE**

<b>Mezcla</b>	<b>Esfuerzo Máximo [MPa]</b>	<b>Deformación Máxima [%]</b>	<b>Módulo de Elasticidad [MPa]</b>
100%HDPE	19.04	8.37	381.625
100%rHDPE	21.72 (+14.07%)	8.75(+4.54%)	256.343(-32.83%)

Fuente: Elaboración Propia

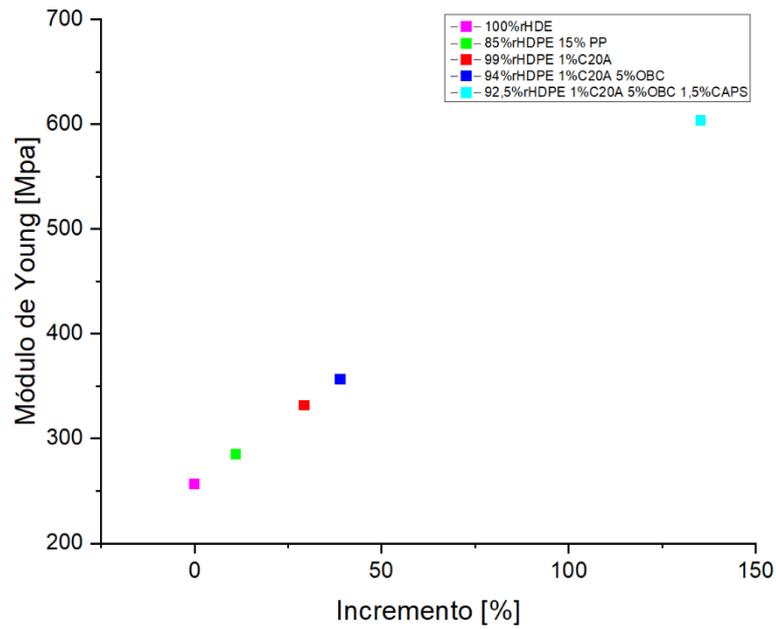
En la tabla 3.15 se muestra la comparación del 100%rHDPE con las mezclas con aditivos y se ilustra en la figura 3.16 la evolución del módulo elástico .

**Tabla 3.15 Comparación en prueba de tracción 100%rHDPE con mezclas con aditivos**

<b>Mezcla</b>	<b>Esfuerzo Máximo [MPa]</b>	<b>Deformación Máxima [%]</b>	<b>Módulo de Elasticidad [MPa]</b>
85% rHDPE-15%rPP	-20.65 %	+00.65 %	+11.12%
99% rHDPE- 1%C20A	-12.48 %	-02.10 %	+29.37%
94% rHDPE- 1%C20A-5%OBC	-13.53 %	+01.23%	+39.00%
92.5% rHDPE- 1%C20A+5%OBC- CAPS 1.5%	-14.10 %	-14.90 %	+135.31%

Fuente: Elaboración Propia

Se observa en la tabla anterior que la propiedad que mayormente mejora es el módulo de elasticidad hasta en un 135.31% en la última mezcla,



**Figura 3.18 Evolución del módulo elástico en las diferentes mezclas con respecto al 100% rHDPE**

Fuente: Elaboración Propia

### 3.5 Resultados de Diseño

#### 3.5.1 Resultados de Velocidades y Diámetros

Caudal promedio de extrusión

$$Q_{prom} = 0.144 \frac{cm^3}{s}$$

Velocidad Lineal del filamento

$$\frac{dL}{dt} = V_{salida} = 5.98 \text{ cm/s}$$

Velocidad angular del carrete

$$\omega_{carrete} = \frac{V_{salida}}{R_{carrete}}$$

$$\omega_{carrete} = \frac{5.98 \text{ cm/s}}{4.57 \text{ cm}} = 1.30 \frac{rad}{s}$$

Velocidad angular mínima del motor

$$\omega_{motor} = 2\pi f = 2\pi * 2 = 4\pi \approx 12.56 \frac{rad}{s}$$

Diámetro de polea mayor

A partir de la ecuación 2.5 se obtien

$$d_{PN} = 9.38 \text{ cm}$$

$$D_F = 4 * d_{PN} = 37.52 \text{ cm}$$

Velocidad angular de penúltima polea

$$\begin{aligned} \frac{\omega_{PN}}{\omega_{carrete}} &= \frac{D_F}{d_{PN}} \\ \omega_{PN} &= \frac{D_F \omega_{carrete}}{d_{PN}} \\ \omega_{PN} &= \frac{37.52 \text{ cm} * 1.30 \text{ rad/s}}{9.38 \text{ cm}} \\ \omega_{PN} &= 5.24 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

Diámetro de polea al motor

$$\begin{aligned} \frac{\omega_{PN}}{\omega_{motor}} &= \frac{d_{motor}}{d_{PN}'} \\ d_{motor} &= \frac{d_{PN}' \omega_{PN}}{\omega_{motor}} \\ d_{motor} &= \frac{9.38 \text{ cm} * 5.24 \text{ rad/s}}{12.56 \text{ rad/s}} = 3.91 \text{ cm} \end{aligned}$$

### 3.5.2 Resultados de potencia para los rodillos de laminación.

Velocidad del filamento a la salida de los rodillos

$$V_2 = 30.01 \text{ cm/s}$$

Velocidad Angular de los Rodillos

$$\omega = 30 \frac{rad}{s}$$

Área de contacto de los rodillos con el filamento

$$A_{contacto} = 0.24 mm^2$$

Fuerza normal aplicada por los rodillos

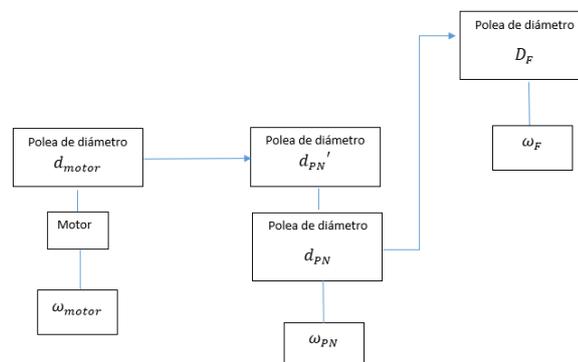
$$F = 6 N$$

Potencia requerida en los rodillos

$$P = 2.16 W$$

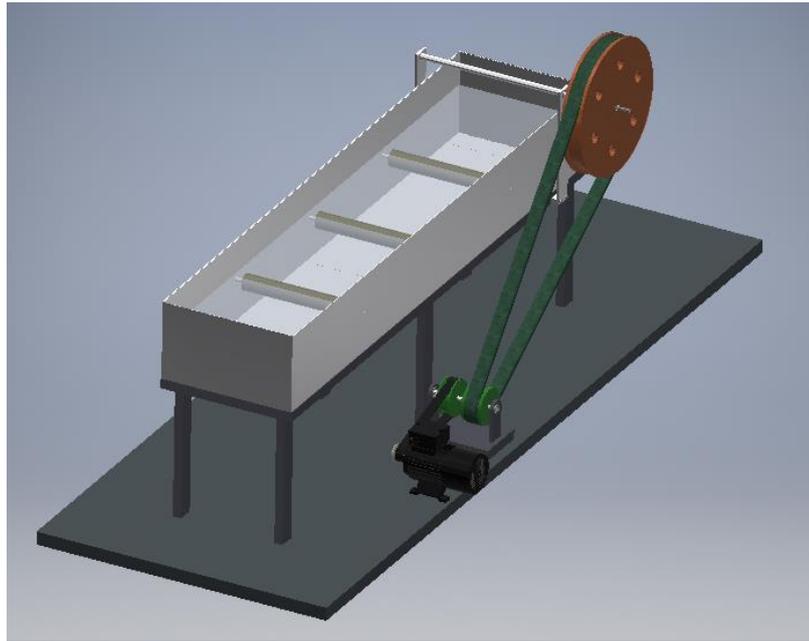
### 3.5.3 Esquema de reducción por bandas y poleas

En la figura 3.17 se muestra un cuadro representativo de la secuencia del sistema de reducción de velocidad y en la figura 3.18 se muestra el conjunto en formato CAD.



**Figura 3.19 Esquema de reducción por bandas y polea**

Fuente: Elaboración propia

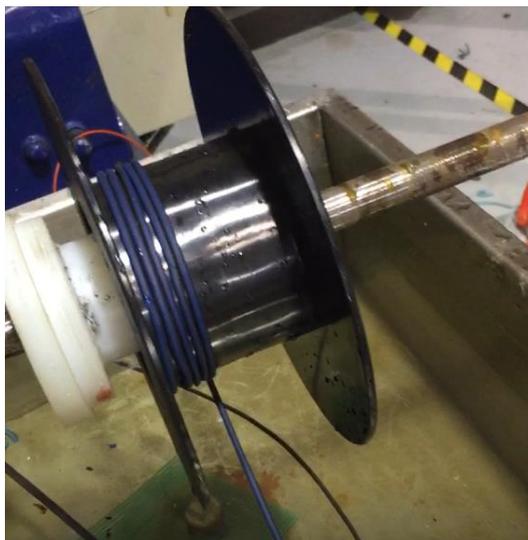


**Figura 3.20 Conjunto de bandas y poleas ensamblado a la tina de enfriamiento.**

Fuente: Elaboración propia

### **3.6 Resultados de la prueba piloto**

Realizada la prueba piloto sin los rodillos laminadores, se comprobó que el filamento se enrolla sin ninguna interrupción.



**Figura 3.21 Carrete embobinador**

Fuente: Elaboración propia

Se tomaron medidas a lo largo de una muestra de 1 [m] (medidas cada 20 [cm]) de filamento para medir el diámetro en la tabla 3.16 se muestra los valores obtenidos.

**Tabla 3.16 Medidas del filamento obtenidas**

<b>Toma</b>	<b>Diámetro [mm]</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación Estándar</b>
1	1,85	1,78	0,10
2	1,60		
3	1,74		
4	1,79		
5	1,60		

Fuente: Elaboración propia

# CAPITULO 4

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

Realizada la prueba piloto y los ensayos de caracterización del material se obtuvieron los siguientes resultados:

- Los polímeros de uso cotidiano como el polietileno de alta densidad en conjunto con aditivos como copolímeros y reactivos en distintas combinaciones mejoran las propiedades mecánicas por lo que es posible mejorar el polímero reciclado.
- Con el ensayo de calorimetría diferencial de barrido se pudo establecer que la mezcla con una temperatura de fusión cercana al polietileno de alta densidad resultó ser la mezcla 92.5%rPEAD-1%C20A-5%OBC-1.5 %CAPS coincidentemente esta mezcla es la que menor porcentaje de cristalización obtuvo , por lo que extrapolando a niveles industriales se requerirá menos energía para poder procesarla , en cuanto a la mezcla de 85%rHDPE-15%rPP es la mezcla que menos se recomienda para procesar, dependiendo de las aplicaciones que se le dé a un diseño manufacturado por impresora 3D , las demás mezclas pueden ser consideradas .
- Con el ensayo de difracción de rayos X se obtuvo que la mezcla con mayor espaciamiento basal fue 92.5%rPEAD-1%C20A-5%OBC-1.5 %CAPS, esto debido a la presencia de los aditivos que aumentaron las intercalaciones , esto hizo que se mejore de una manera considerable el módulo de elasticidad , las mezclas sin aditivos se observó carencia de picos , lo que se concluye que la adición correcta de estos aditivos afecta también al espaciamiento interplanar de los enlaces.
- Con el ensayo reológico se determinó que la mezcla con una viscosidad cercana al polietileno de alta densidad virgen es la mezcla 92.5%rPEAD-1%C20A-5%OBC-1.5 %CAPS, lo que se puede definir que fluirá mejor que las

demás mezclas que requerirán mayor fuerza para poder fluir, sin embargo, la mezcla que obtuvo la menor viscosidad es 85%rHDP-15%rPP.

- Con el ensayo de tracción se determinó que la mezcla que más mejoró su módulo de elasticidad aumentando hasta un 135.31% con respecto al rHDPE resultó ser la mezcla 92.5%rPEAD-1%C20A-5%OBC-1.5 %CAPS.
- Se concluye que la mezcla que mejores propiedades mecánicas presenta es con la composición de 92.5%rPEAD-1%C20A-5%OBC-1.5 %CAPS, por lo tanto, para diseños manufacturados por impresoras 3D en los cuales se requiera buenas propiedades mecánicas esta mezcla es la mejor alternativa
- Mediante la prueba experimental se determinó que la variación de frecuencia del motor no debe exceder los 7 [Hz], por lo tanto, para motivos de investigación con mezclas de poliolefinas.

## 4.2 Recomendaciones

Realizado la prueba piloto del proceso de extrusión y la caracterización de las mezclas correspondientes se recomienda lo siguiente:

- Antes de realizar un proceso de extrusión se recomienda realizar la limpieza física y química del material, al introducir material reciclado sin una adecuada limpieza podría presentar partículas de arcilla o metálicas lo que podría generar ralladuras en el túnel del tornillo estas ralladuras pueden generar problemas en la continuidad del material, además que podría obstruir por acumulación la malla de la extrusora.
- Identificar correctamente los materiales poliméricos antes de realizar el proceso extrusión, el no realizarlo puede implicar temperaturas no adecuadas en las zonas de extrusión.
- Setear adecuadamente en el panel de la extrusora las temperaturas, el no hacerlo podría provocar el polímero fundido no fluya continuamente o genere defectos en la calidad del acabado de la extrusión.

- Realizar un mantenimiento preventivo o inspección visual a los paneles eléctricos, elementos mecánicos de la máquina extrusora para evitar contratiempos en investigaciones a futuro.
- Realizar adecuaciones para que el flujo de agua de la tina de enfriamiento de la extrusora este conecta a la línea del chiller del laboratorio de plásticos esta conexión debe mantener la temperatura de agua en 24°C, esto con la finalidad que el proceso de transferencia de calor no disminuya.
- Purgar la máquina extrusora antes de cada proceso.
- Se recomienda añadir un sistema de control a la unidad de embobinado para que el diámetro extruido tenga mayor uniformidad.
- Seguir el protocolo de cada ensayo estrictamente para evitar datos aberrantes.
- Setear las rampas adecuadas de temperaturas adecuadas en el reómetro de doble tornillo.
- Para realizar las probetas de reología y tracción, se recomienda hacer una prueba piloto para determinar la técnica adecuada de elaboración de las probetas, no todos los materiales poliméricos tienen igual comportamiento térmico.
- Al momento de enfriar las probetas con agua a temperatura ambiente se recomienda frotar ligeramente las probetas para evitar la formación de burbujas alrededor de la probeta ya que estas podrían generar fisuras.
- Se recomienda realizar no menos de cinco pruebas por ensayo para disminuir el rango de dispersión de resultados.
- Todas las mezclas deben realizarse a las mismas condiciones de mezclado en el reómetro de doble tornillo.
- Para el diseño de recolección de filamento se recomienda diseñar en base a las limitaciones del mercado nacional.
- Se recomienda añadir un sistema de control al mecanismo para censar el diámetro que será enrollado al carrete para así tener más precisión, así como la implementación de los rodillos laminadores.
- Se recomienda que después de cada prueba el agua se enfríe hasta una temperatura ambiente para su descarga al sistema de agua servidas.

# BIBLIOGRAFÍA

- Abeykoon, C., Kelly, A., Brown, E., Sarroche, J., Coates, P., Jones, E., . . . Price, M. (2014). Investigation of the process energy demand in polymer extrusion: A brief review and an experimental study. *Applied Energy*, 12.
- Balvatín, A. (2016). *Ensayos y Propiedades de los Materiales*. Guanajuato: Universidad de Guanajuato .
- BYK. (2018). *The Data Sheet Closite 20-A*. Wesel: BYK-Chemie GmbH.
- Cáceres , J., & García , A. (2013). Caracterización de Nanocompuestos de Polietileno de Baja Densidad Usando Organoarcilla e Inhibidores de Corrosión en Fase de Vapor”. Guayaquil , Guayas, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral .
- Chemistry, I. U. (1996). *Glossary of Basic Terms in Polymer Science* . Reino Unido .
- Chen Shoong Chin. (2002). *Synthesis and Characterization of Polyurethane/clay*. The University of Queensland.
- COMMISSION, E. (2019). *Report from the commission to the European Parllament, The Council, The European Economic and Social Committee and The Committe of the Regions on the implementation of the Circular Economy Action Plan*. Brussels.
- Dow. (2010). *Reciclaje de Polímeros* . Buenos Aires: Cairplas.
- Dow. (2016). *Plastics Recycling*. Retrieved from [https://www.plasticsrecycling.org/images/pdf/Champions\\_for\\_Change/2016\\_Showcase/Dow\\_INTUNE\\_PCR\\_applications.pdf](https://www.plasticsrecycling.org/images/pdf/Champions_for_Change/2016_Showcase/Dow_INTUNE_PCR_applications.pdf)
- Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de Manufactura Moderna*. Pensilvania : McGraw Hill Companies , Inc.
- Guajardo, A., Najar, L., Prósperi , S., & Molina, M. (2017). *Propiedades de los Plásticos Reciclados*. Mendoza: Universidad Nacional de Cuyo.
- Instron. (2016, Marzo 31). Retrieved from Instron: <https://www.instron.es/es-es/testing-solutions/by-material/plastics/rheology/astm-d1238>
- Kenrich Petrochemicals, I. (2017, Julio 17). *Kenrich Petrochemicals*. Retrieved from <https://4kenrich.com/technical-information/ken-react-caps-kpr-12lv-pellets-and-ken->

- react-capow-kpr-12hv-powder-americanasia-ken-react-kpr-rezyk-1240-pellets-and-ken-react-kpr-rez/
- Ltd, M. P. (2019). *Malvern Panalytical*. Retrieved from <https://www.malvernpanalytical.com/es/products/technology/rheometry>
- Nanotecnología, L. N. (2017). *Linan*. Retrieved from [http://www.linan-ipcymt.mx/Microscopio\\_de\\_Barrido.html](http://www.linan-ipcymt.mx/Microscopio_de_Barrido.html)
- Ohms, 3. (2017, Julio 3). *Materiales para impresión 3D*. Retrieved from <https://blog.330ohms.com/2017/07/03/materiales-para-impresion-3d/#>
- PerkinElmer. (2018, Junio 16). *Guía Lab*. Retrieved from <https://www.guialab.com.ar/notas-tecnicas/calorimetria-diferencial-de-barrido-dsc/>
- Petroquim. (2018, Octubre 2). *Petroquim Tecnología y servicio en polipropileno*. Retrieved from <http://www.petroquim.cl/que-es-el-polipropileno/>
- Prospector, U. (n.d.). *Plastics.ulprospector.com*. Retrieved from <https://plastics.ulprospector.com/es/datasheet/e234721/intune-10510>
- Registro Oficial Órgano del Gobierno del Ecuador. (2014, Marzo 14). Políticas para gestión integral de plásticos en el Ecuador . Ecuador : Ministerio del Ambiente .
- Ritchie, H., & Roser, M. (2018, September). *Our World in Data*. Retrieved from <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>
- Salas, R., & Quiroz, L. (2018). *Efecto del Procesamiento de Polietileno de Alta Densidad Reciclado en la Demanda de Energía en el Proceso de Extrusión* . Guayaquil: ESPOL.
- Torres, N., Robin, J., & Boutevin, B. (2000). Study of Compatibilization of HDPE-PET Blends by adding Grafted or Statistical Copolymers.
- University of South Carolina Upstate . (2000, Julio 21). *Polymer Chemistry* . Retrieved from <http://faculty.uscupstate.edu/llever/Polymer%20Resources/Topology.htm>
- University of York. (2017, Abril ). *The Essential Chemical Industry* . Retrieved from <http://www.essentialchemicalindustry.org/polymers/polyethene.html>
- Vasco, U. d. (2006, Septiembre 28). *Difracción de Rayos X* . Retrieved from <http://www.ehu.eus/imacris/PIE06/web/DRXP.htm>
- Y. KOJIMA, A. U. (1993, Agosto 15). Spportion of water in nylon 6-clay hybrid. *Journal of Applied Polymer Science*.

Zambrano, B. (2007). *Evaluación de las Propiedades de Compuestos de Polietileno y Carbonato de Calcio* . Guayaquil : ESPOL.

# APÉNDICES

# APÉNDICE A

## Ficha Técnica del HDPE



Ficha técnica

Revisión 5 (Out/14)

### Polietileno de alta densidad GM9450F

#### Descripción:

La resina GM9450F es un polietileno de alta densidad producido con tecnología bimodal y diseñado para el sector de extrusión de películas de alta masa molar. La película producida a partir de esta resina tiene características de alta tenacidad y excelente resistencia al impacto, incluso en espesores reducidos. Esta resina tiene una amplia distribución de masa molar que le confiere mejor procesabilidad.

#### Aplicaciones:

Extrusión de películas: bolsas, rollos de bolsas precortadas, sobreembalajes, bolsas en general.

#### Proceso:

Extrusión de películas tubulares.

#### Propiedades de control:

	Método ASTM	Unidad	Valor
Índice de fluidez (190/5)	D 1238	g/10 min	0,33
Índice de fluidez (190/21,6)	D 1238	g/10 min	9,3
Densidad	D 792	g/cm <sup>3</sup>	0,952

#### Propiedades típicas:

Propiedades de referencia de la película soplada<sup>a</sup>

	Método ASTM	Unidad	Valor
Tensión en el punto de rotura (DM/DT)	D 882	MPa	85/45
Elongación en el punto de rotura (DM/DT)	D 882	%	590/740
Tensión de fluencia (DM/DT)	D 882	MPa	40/30
Elongación de fluencia (DM/DT)	D 882	%	15/5
Resistencia al impacto por caída de dardo	D 1709	g/F50	200
Resistencia al rasgado Elmendorf (DM/DT)	D 1922	gF	5/50
Módulo de flexión secante a 1% (DM/DT)	D 882	MPa	750/870
Temperatura inicial de sellado	Método Braskem	°C	125

(a) Película de 12,5 µm de espesor, obtenida en extrusora de 75 mm, con relación de soplado de 4,5:1 y abertura de matriz de 1,3 mm (DM = dirección de extrusión y DT = dirección transversal a la extrusión).

#### Recomendaciones de Procesamiento

##### Rango de temperatura:

- Tornillo: 180 a 200 °C
- Tela: 205 °C
- Adaptador: 210 °C
- Matriz: 210 °C
- Relación de soplado: 4 a 5
- Altura del cuello: 8 a 10 veces el diámetro de la matriz

# APÉNDICE B

## Ficha Técnica del CLOSITE 20A

SOUTHERN CLAY PRODUCTS / A SUBSIDIARY OF ROCKWOOD SPECIALTIES, INC.

**PRODUCT BULLETIN/Cloisite®**



Southern Clay Products, Inc.  
1212 Church Street  
Gonzales, TX 78629  
Phone: 800-324-2891  
Fax: 830-672-1903  
www.scprod.com

### Cloisite® 20A

#### Typical Physical Properties Bulletin

**Description:**

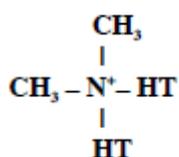
Cloisite® 20A is a natural montmorillonite modified with a quaternary ammonium salt.

**Designed Used:**

Cloisite® 20A is an additive for plastics to improve various plastic physical properties, such as reinforcement, HDT, CLTE and barrier.

**Typical Properties:**

Treatment/Properties:	Organic Modifier (1)	Modifier Concentration	% Moisture	% Weight Loss on Ignition
Cloisite® 20A	2M2HT	95 meq/100g clay	< 2%	38%



Where HT is Hydrogenated Tallow (~65% C18; ~30% C16; ~5% C14)

*Anion: Chloride*

(1) 2M2HT: dimethyl, dehydrogenated tallow, quaternary ammonium

Typical Dry Particle Sizes: (microns, by volume)

10% less than:	50% less than:	90% less than:
2 $\mu$	6 $\mu$	13 $\mu$

Color: Off White

Density:

Loose Bulk, lbs/ft <sup>3</sup>	Packed Bulk, lbs/ft <sup>3</sup>	Density, g/cc
7.35	13.55	1.77

X Ray Results:  $d_{001} = 24.2\text{\AA}$

For additional information or technical assistance contact Southern Clay Products, Inc. toll free at 800-324-2891.

## Ficha Técnica del COPOLIMERO OBC

Technical Information



**Experimental D5541.00**  
**Experimental Block Copolymer**

**Overview** D5541.00 Experimental Olefin Block Copolymer is a polyolefin modifier suitable for compatibilizing Polyethylene and Polypropylene.

Main Characteristics

- Excellent compatibility with PE and PP
- Excellent Impact properties
- Excellent stiffness toughness balance

It complies with:

- U.S. FDA FCN 909

Consult the regulations for complete details.

Physical	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Density	0.863 g/cm <sup>3</sup>	0.863 g/cm <sup>3</sup>	ASTM D792
Melt Mass-Flow Rate (230°C/2.16 kg)	6.5 g/10 min	6.5 g/10 min	ASTM D1238
Thermal	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Melting Temperature	248 °F	120 °C	DSC

**Notes**

These are typical properties only and are not to be construed as specifications. Users should confirm results by their own tests.

# APÉNDICE C

## REOLOGÍA

TABLA DE RESULTADOS PROMEDIOS (DATOS SIN AJUSTE DE CURVA)

HDPE PROMEDIO		rHDPE PROMEDIO		15PP-85RHDPE PROMEDIO	
SHEAR VISCOSITY (Pa s)	Shear rate (s-1)	SHEAR VISCOSITY (Pa s)	Shear rate (s-1)	SHEAR VISCOSITY (Pa s)	Shear rate (s-1)
43370,0000	0,1100	58550,0000	0,1129	13175,0000	0,1017
63245,0000	0,1045	98715,0000	0,1050	17695,0000	0,1041
71440,0000	0,1066	115150,0000	0,1069	19560,0000	0,1064
75410,0000	0,1089	121850,0000	0,1091	20340,0000	0,1088
77140,0000	0,1113	123650,0000	0,1114	20615,0000	0,1113
77640,0000	0,1139	123250,0000	0,1139	20640,0000	0,1139
77500,0000	0,1165	122000,0000	0,1165	20530,0000	0,1165
77030,0000	0,1192	120650,0000	0,1192	20355,0000	0,1192
76445,0000	0,1220	119400,0000	0,1220	20145,0000	0,1220
75815,0000	0,1248	118350,0000	0,1248	19930,0000	0,1248
75205,0000	0,1277	117300,0000	0,1277	19700,0000	0,1277
74605,0000	0,1307	116400,0000	0,1307	19460,0000	0,1307
74035,0000	0,1337	115450,0000	0,1337	19225,0000	0,1337
73475,0000	0,1368	114450,0000	0,1368	18995,0000	0,1368
72910,0000	0,1400	113350,0000	0,1400	18780,0000	0,1400
72335,0000	0,1432	112150,0000	0,1432	18565,0000	0,1432
71725,0000	0,1466	110900,0000	0,1466	18360,0000	0,1466
71100,0000	0,1500	109550,0000	0,1500	18125,0000	0,1500
70420,0000	0,1534	108000,0000	0,1534	17885,0000	0,1535
69705,0000	0,1570	106500,0000	0,1570	17660,0000	0,1569
68955,0000	0,1607	105000,0000	0,1606	17375,0000	0,1606
68140,0000	0,1644	103500,0000	0,1644	17120,0000	0,1644
67280,0000	0,1682	101865,0000	0,1682	16865,0000	0,1682
66380,0000	0,1721	100170,0000	0,1721	16610,0000	0,1721
65445,0000	0,1761	98420,0000	0,1761	16340,0000	0,1761
64490,0000	0,1802	96545,0000	0,1803	16070,0000	0,1802
63530,0000	0,1843	94670,0000	0,1844	15800,0000	0,1844
62560,0000	0,1886	92820,0000	0,1887	15530,0000	0,1886
61580,0000	0,1930	91090,0000	0,1930	15270,0000	0,1930
60590,0000	0,1975	89460,0000	0,1975	15020,0000	0,1975
59585,0000	0,2021	87970,0000	0,2021	14760,0000	0,2021
58605,0000	0,2068	86475,0000	0,2068	14495,0000	0,2068
57630,0000	0,2116	84960,0000	0,2116	14240,0000	0,2116
56670,0000	0,2165	83455,0000	0,2165	13980,0000	0,2165
55725,0000	0,2215	81950,0000	0,2215	13725,0000	0,2215
54795,0000	0,2266	80500,0000	0,2267	13480,0000	0,2266
53890,0000	0,2319	79085,0000	0,2319	13245,0000	0,2319

<b>53030,0000</b>	0,2373	77760,0000	0,2373	13010,0000	0,2373
<b>52210,0000</b>	0,2428	76510,0000	0,2428	12795,0000	0,2428
<b>51430,0000</b>	0,2484	75265,0000	0,2485	12575,0000	0,2484
<b>50695,0000</b>	0,2542	73990,0000	0,2543	12345,0000	0,2542
<b>49970,0000</b>	0,2601	72675,0000	0,2602	12120,0000	0,2601
<b>49285,0000</b>	0,2661	71410,0000	0,2662	11905,0000	0,2661
<b>48575,0000</b>	0,2723	70060,0000	0,2724	11710,0000	0,2723
<b>47875,0000</b>	0,2786	68760,0000	0,2787	11515,0000	0,2786
<b>47225,0000</b>	0,2851	67520,0000	0,2852	11350,0000	0,2851
<b>46610,0000</b>	0,2917	66390,0000	0,2917	11198,5000	0,2917
<b>46005,0000</b>	0,2985	65125,0000	0,2984	11040,0000	0,2985
<b>45400,0000</b>	0,3054	63900,0000	0,3054	10887,5000	0,3054
<b>44815,0000</b>	0,3125	62725,0000	0,3127	10765,5000	0,3126
<b>44245,0000</b>	0,3198	61670,0000	0,3198	10608,0000	0,3198
<b>43680,0000</b>	0,3272	60695,0000	0,3274	10447,5000	0,3272
<b>43125,0000</b>	0,3348	59605,0000	0,3349	10298,5000	0,3348
<b>42590,0000</b>	0,3426	58595,0000	0,3426	10164,5000	0,3426
<b>42070,0000</b>	0,3505	57815,0000	0,3505	10024,5000	0,3505
<b>41550,0000</b>	0,3587	57010,0000	0,3588	9888,0000	0,3586
<b>41035,0000</b>	0,3670	56165,0000	0,3670	9787,5000	0,3670
<b>40490,0000</b>	0,3755	55310,0000	0,3756	9661,0000	0,3756
<b>39945,0000</b>	0,3843	54435,0000	0,3842	9510,5000	0,3842
<b>39395,0000</b>	0,3932	53590,0000	0,3931	9379,0000	0,3932
<b>38845,0000</b>	0,4023	52585,0000	0,4022	9221,0000	0,4023
<b>38300,0000</b>	0,4116	51755,0000	0,4116	9079,5000	0,4116
<b>37740,0000</b>	0,4212	51075,0000	0,4212	8945,5000	0,4212
<b>37170,0000</b>	0,4310	50405,0000	0,4309	8831,0000	0,4310
<b>36600,0000</b>	0,4410	49775,0000	0,4411	8734,0000	0,4410
<b>36055,0000</b>	0,4512	49075,0000	0,4514	8633,0000	0,4512
<b>35530,0000</b>	0,4617	48345,0000	0,4617	8563,0000	0,4617
<b>35025,0000</b>	0,4724	47665,0000	0,4723	8502,5000	0,4724
<b>34545,0000</b>	0,4834	46920,0000	0,4833	8433,0000	0,4833
<b>34105,0000</b>	0,4945	45980,0000	0,4944	8356,0000	0,4946
<b>33690,0000</b>	0,5061	45145,0000	0,5063	8281,5000	0,5061
<b>33285,0000</b>	0,5178	44405,0000	0,5179	8209,5000	0,5178
<b>32925,0000</b>	0,5298	43715,0000	0,5298	8144,5000	0,5298
<b>32600,0000</b>	0,5421	42790,0000	0,5421	8086,0000	0,5421
<b>32270,0000</b>	0,5548	41935,0000	0,5550	8008,5000	0,5547
<b>31945,0000</b>	0,5676	41245,0000	0,5676	7938,0000	0,5676
<b>31625,0000</b>	0,5808	40675,0000	0,5809	7852,0000	0,5808
<b>31255,0000</b>	0,5943	39975,0000	0,5943	7764,5000	0,5943
<b>30895,0000</b>	0,6081	39270,0000	0,6083	7679,0000	0,6081
<b>30535,0000</b>	0,6222	38475,0000	0,6218	7587,5000	0,6222
<b>30145,0000</b>	0,6366	37945,0000	0,6368	7491,5000	0,6367
<b>29750,0000</b>	0,6514	37355,0000	0,6520	7392,5000	0,6515

<b>29320,0000</b>	0,6666	36815,0000	0,6668	7264,5000	0,6665
<b>28880,0000</b>	0,6820	36235,0000	0,6820	7142,0000	0,6820
<b>28425,0000</b>	0,6979	35640,0000	0,6981	7065,5000	0,6978
<b>27965,0000</b>	0,7141	34890,0000	0,7136	7035,0000	0,7140
<b>27515,0000</b>	0,7306	34200,0000	0,7305	7035,0000	0,7307
<b>27085,0000</b>	0,7476	33810,0000	0,7474	7004,0000	0,7476
<b>26660,0000</b>	0,7649	33580,0000	0,7653	6957,5000	0,7650
<b>26280,0000</b>	0,7827	33195,0000	0,7827	6889,5000	0,7827
<b>25935,0000</b>	0,8009	32555,0000	0,8012	6824,0000	0,8010
<b>25560,0000</b>	0,8194	31690,0000	0,8195	6744,0000	0,8194
<b>25170,0000</b>	0,8385	31035,0000	0,8385	6657,0000	0,8385
<b>24755,0000</b>	0,8580	30570,0000	0,8584	6556,5000	0,8580
<b>24250,0000</b>	0,8779	29855,0000	0,8777	6462,5000	0,8779
<b>23720,0000</b>	0,8982	29365,0000	0,8974	6351,0000	0,8982
<b>23265,0000</b>	0,9192	29160,0000	0,9189	6245,0000	0,9191
<b>22800,0000</b>	0,9404	28760,0000	0,9405	6187,0000	0,9403
<b>22280,0000</b>	0,9624	28020,0000	0,9624	6203,0000	0,9623
<b>21750,0000</b>	0,9847	27495,0000	0,9846	6184,5000	0,9846
<b>21275,0000</b>	1,0075	26910,0000	1,0080	6148,0000	1,0070
<b>20860,0000</b>	1,0310	26295,0000	1,0305	6083,0000	1,0310
<b>20405,0000</b>	1,0550	25405,0000	1,0545	5985,5000	1,0550
<b>20015,0000</b>	1,0800	24745,0000	1,0785	5902,5000	1,0790
<b>19590,0000</b>	1,1045	24485,0000	1,1050	5840,0000	1,1040
<b>19195,0000</b>	1,1300	23925,0000	1,1300	5775,5000	1,1300
<b>18790,0000</b>	1,1565	23310,0000	1,1560	5712,5000	1,1560
<b>18345,0000</b>	1,1825	22790,0000	1,1825	5689,0000	1,1830
<b>17925,0000</b>	1,2110	22135,0000	1,2105	5696,0000	1,2110
<b>17350,0000</b>	1,2385	21670,0000	1,2385	5682,0000	1,2385
<b>16830,0000</b>	1,2675	21150,0000	1,2655	5607,5000	1,2670
<b>16325,0000</b>	1,2970	20805,0000	1,2970	5519,5000	1,2970
<b>15885,0000</b>	1,3275	20155,0000	1,3270	5416,5000	1,3270
<b>15330,0000</b>	1,3580	19655,0000	1,3575	5338,0000	1,3580
<b>14695,0000</b>	1,3885	19155,0000	1,3875	5262,0000	1,3890
<b>14290,0000</b>	1,4215	18555,0000	1,4220	5211,0000	1,4220
<b>13845,0000</b>	1,4550	18165,0000	1,4560	5143,0000	1,4545
<b>13460,0000</b>	1,4885	17430,0000	1,4885	5079,0000	1,4880
<b>13045,0000</b>	1,5220	17095,0000	1,5230	5005,5000	1,5230
<b>12635,0000</b>	1,5575	16785,0000	1,5590	4950,0000	1,5580
<b>12295,0000</b>	1,5940	16340,0000	1,5960	4906,5000	1,5945
<b>12000,0000</b>	1,6300	15965,0000	1,6330	4868,5000	1,6310
<b>11670,0000</b>	1,6690	15190,0000	1,6690	4822,5000	1,6690
<b>11230,0000</b>	1,7085	14430,0000	1,7080	4744,5000	1,7080
<b>10740,0000</b>	1,7475	14260,0000	1,7490	4644,0000	1,7480
<b>10455,0000</b>	1,7880	13930,0000	1,7885	4572,0000	1,7880
<b>10287,5000</b>	1,8295	13730,0000	1,8300	4509,5000	1,8300

<b>10080,0000</b>	1,8715	13370,0000	1,8715	4482,0000	1,8720
<b>9872,5000</b>	1,9165	12880,0000	1,9155	4457,5000	1,9160
<b>9362,5000</b>	1,9595	12345,0000	1,9605	4382,5000	1,9600
<b>8983,5000</b>	2,0045	11845,0000	2,0050	4320,0000	2,0060
<b>8706,5000</b>	2,0525	11270,0000	2,0525	4288,5000	2,0525
<b>8595,0000</b>	2,1005	10860,0000	2,1015	4246,0000	2,0995
<b>8500,5000</b>	2,1490	10465,0000	2,1490	4201,0000	2,1485
<b>8234,5000</b>	2,1965	9859,5000	2,1980	4134,0000	2,1990
<b>8002,5000</b>	2,2495	9487,0000	2,2495	4065,5000	2,2500
<b>7768,0000</b>	2,3015	9438,0000	2,3035	4023,0000	2,3020
<b>7744,5000</b>	2,3560	9030,5000	2,3550	3977,5000	2,3555
<b>7617,5000</b>	2,4100	8632,0000	2,4100	3871,0000	2,4100
<b>7427,5000</b>	2,4655	8136,0000	2,4655	3798,5000	2,4660
<b>7158,0000</b>	2,5235	7764,5000	2,5230	3761,0000	2,5230
<b>6882,5000</b>	2,5805	7543,0000	2,5815	3741,5000	2,5815
<b>6535,5000</b>	2,6415	7251,5000	2,6415	3666,0000	2,6415
<b>6009,0000</b>	2,7015	6925,5000	2,7020	3634,0000	2,7035
<b>5700,5000</b>	2,7645	6601,0000	2,7660	3606,0000	2,7660
<b>5555,5000</b>	2,8270	6287,5000	2,8300	3550,5000	2,8300
<b>5501,5000</b>	2,8955	6100,5000	2,8950	3440,0000	2,8950
<b>5275,0000</b>	2,9630	6010,5000	2,9615	3376,5000	2,9630
<b>4938,5000</b>	3,0300	5757,0000	3,0330	3330,0000	3,0315
<b>4558,0000</b>	3,1015	5513,5000	3,1015	3264,0000	3,1020
<b>4363,5000</b>	3,1760	5471,0000	3,1725	3217,5000	3,1740
<b>4180,5000</b>	3,2470	5454,5000	3,2475	3176,5000	3,2475
<b>4089,5000</b>	3,3225	5128,0000	3,3190	3134,5000	3,3225
<b>4477,5000</b>	3,4005	4996,0000	3,3985	3126,0000	3,4000
<b>4815,5000</b>	3,4805	4883,5000	3,4830	3092,0000	3,4800
<b>4594,5000</b>	3,5580	4605,0000	3,5555	2953,5000	3,5600
<b>4444,5000</b>	3,6430	4443,5000	3,6420	2869,0000	3,6420
<b>4414,0000</b>	3,7255	4228,5000	3,7255	2863,5000	3,7280
<b>4010,5000</b>	3,8145	4173,0000	3,8130	2787,0000	3,8135
<b>3537,5000</b>	3,8985	4187,0000	3,9010	2763,5000	3,9030
<b>3314,5000</b>	3,9945	4063,5000	3,9920	2690,5000	3,9920
<b>3020,5000</b>	4,0865	4077,0000	4,0900	2659,0000	4,0870
<b>2990,0000</b>	4,1845	3839,0000	4,1775	2573,5000	4,1800
<b>2521,5000</b>	4,2745	3685,0000	4,2810	2475,0000	4,2765
<b>2654,0000</b>	4,3775	3524,0000	4,3770	2414,0000	4,3755
<b>2526,5000</b>	4,4750	3463,5000	4,4810	2435,5000	4,4775
<b>2642,0000</b>	4,5835	3342,0000	4,5815	2388,0000	4,5825
<b>2532,5000</b>	4,6895	3229,5000	4,6855	2293,0000	4,6870
<b>2374,5000</b>	4,8010	3003,0000	4,7965	2306,5000	4,7970
<b>2191,5000</b>	4,9040	2943,0000	4,9090	2218,5000	4,9090
<b>2543,0000</b>	5,0255	2754,0000	5,0245	2194,0000	5,0235
<b>2563,5000</b>	5,1400	2724,0000	5,1335	2213,0000	5,1405

<b>2271,5000</b>	5,2545	2803,0000	5,2610	2204,5000	5,2585
<b>2125,0000</b>	5,3825	2891,0000	5,3780	2106,0000	5,3805
<b>1757,5000</b>	5,5060	3080,5000	5,5140	2091,5000	5,5050
<b>1548,5000</b>	5,6345	3026,5000	5,6360	2104,0000	5,6355
<b>1327,0000</b>	5,7635	3018,5000	5,7670	2015,5000	5,7620
<b>1185,0000</b>	5,8970	2766,5000	5,8950	2037,5000	5,8985
<b>1069,3500</b>	6,0365	2627,0000	6,0335	1947,5000	6,0340
<b>929,3000</b>	6,1740	2396,5000	6,1755	1927,5000	6,1750
<b>822,7500</b>	6,3190	2161,0000	6,3175	1956,0000	6,3195
<b>739,0500</b>	6,4645	1978,0000	6,4600	1883,0000	6,4630
<b>703,8000</b>	6,6150	1831,0000	6,6175	1872,0000	6,6160
<b>677,0500</b>	6,7675	1696,0000	6,7660	1783,5000	6,7680
<b>658,3000</b>	6,9245	1589,0000	6,9265	1807,0000	6,9230
<b>688,1000</b>	7,0855	1554,5000	7,0845	1814,5000	7,0855
<b>642,4000</b>	7,2495	1544,0000	7,2535	1790,0000	7,2515
<b>539,4500</b>	7,4210	1524,0000	7,4230	1766,5000	7,4215
<b>501,7000</b>	7,5905	1500,5000	7,5890	1725,5000	7,5940
<b>533,5000</b>	7,7670	1474,5000	7,7645	1704,0000	7,7690
<b>596,9500</b>	7,9465	1443,5000	7,9445	1656,5000	7,9500
<b>705,4000</b>	8,1345	1443,5000	8,1385	1660,5000	8,1300
<b>771,2000</b>	8,3210	1406,0000	8,3210	1682,5000	8,3190
<b>825,9500</b>	8,5175	1385,5000	8,5125	1711,0000	8,5130
<b>854,9000</b>	8,7120	1376,5000	8,7100	1656,5000	8,7125
<b>880,2000</b>	8,9135	1354,0000	8,9165	1627,5000	8,9150
<b>895,3000</b>	9,1200	1334,5000	9,1210	1589,5000	9,1235
<b>912,9500</b>	9,3365	1304,0000	9,3340	1609,0000	9,3390
<b>919,8000</b>	9,5490	1253,5000	9,5505	1579,5000	9,5495
<b>919,8500</b>	9,7670	1241,0000	9,7720	1583,0000	9,7725
<b>909,4000</b>	9,9925	1219,0000	9,9990	1644,5000	10,0050
<b>912,4500</b>	10,2250	1224,5000	10,2300	1653,0000	10,2300
<b>897,5500</b>	10,4650	1221,0000	10,4700	1648,0000	10,4700
<b>898,1500</b>	10,7100	1221,5000	10,7150	1612,5000	10,7100
<b>888,2000</b>	10,9550	1199,7500	10,9600	1596,5000	10,9600
<b>879,4500</b>	11,2200	1186,9000	11,2100	1620,5000	11,2150
<b>860,7500</b>	11,4800	1164,3500	11,4800	1580,5000	11,4800
<b>843,6500</b>	11,7400	1144,1500	11,7450	1554,5000	11,7450
<b>839,0500</b>	12,0200	1125,5000	12,0100	1505,5000	12,0100
<b>844,2500</b>	12,2900	1118,6000	12,2900	1464,5000	12,2950
<b>848,0500</b>	12,5800	1109,8500	12,5800	1395,5000	12,5750
<b>857,0500</b>	12,8750	1068,3000	12,8700	1347,0000	12,8650
<b>846,8500</b>	13,1700	1046,9500	13,1700	1274,0000	13,1700
<b>825,9500</b>	13,4750	1032,9000	13,4800	1196,4000	13,4700
<b>809,0000</b>	13,7900	1008,5500	13,7850	1163,6000	13,7850
<b>808,7500</b>	14,1100	993,3500	14,1050	1129,2000	14,1100
<b>843,8500</b>	14,4400	970,2500	14,4350	1070,3000	14,4350

<b>760,1000</b>	14,7650	951,9500	14,7750	1049,9500	14,7650
<b>765,0000</b>	15,1100	933,0500	15,1200	998,1000	15,1100
<b>793,3000</b>	15,4600	907,4000	15,4650	946,2000	15,4650
<b>804,0500</b>	15,8250	887,8000	15,8200	934,9500	15,8250
<b>794,4500</b>	16,1900	864,0000	16,1900	903,5000	16,1900
<b>775,1000</b>	16,5700	848,6000	16,5700	872,7000	16,5700
<b>770,1500</b>	16,9500	827,1000	16,9550	840,6500	16,9500
<b>751,3500</b>	17,3500	790,2500	17,3500	826,7500	17,3400
<b>736,1000</b>	17,7500	779,8500	17,7550	811,3000	17,7500
<b>752,5500</b>	18,1600	740,4000	18,1600	786,7000	18,1600
<b>791,8000</b>	18,5800	719,8500	18,5800	772,9500	18,5800
<b>800,2500</b>	19,0100	687,1500	19,0100	760,9500	19,0100
<b>804,2000</b>	19,4550	673,8000	19,4500	740,7000	19,4500
<b>852,2000</b>	19,9100	628,6500	19,9100	726,9000	19,9050
<b>946,5500</b>	20,3750	557,0500	20,3700	706,8000	20,3700
<b>969,5500</b>	20,8400	515,7000	20,8400	694,0500	20,8400
<b>1019,4000</b>	21,3200	505,5500	21,3200	672,8000	21,3300
<b>1129,0000</b>	21,8300	510,3000	21,8200	645,0000	21,8200
<b>1083,5000</b>	22,3300	501,5500	22,3300	617,4500	22,3300
<b>923,9000</b>	22,8400	499,8000	22,8450	607,4500	22,8400
<b>883,5000</b>	23,3750	480,1000	23,3700	587,0500	23,3750
<b>884,9000</b>	23,9200	463,0000	23,9200	571,6500	23,9200
<b>965,4000</b>	24,4750	455,8500	24,4700	565,9500	24,4700
<b>984,2000</b>	25,0400	441,0000	25,0400	556,1500	25,0400
<b>1155,0000</b>	25,6350	431,6500	25,6200	546,8000	25,6200
<b>1200,0000</b>	26,2250	416,2500	26,2200	536,3000	26,2200
<b>953,3500</b>	26,8200	409,9500	26,8300	521,1000	26,8300
<b>865,0000</b>	27,4350	410,5500	27,4500	508,8500	27,4500
<b>941,2000</b>	28,0900	408,2000	28,0900	499,0000	28,0850
<b>864,6000</b>	28,7400	381,6000	28,7400	489,3500	28,7400
<b>768,6000</b>	29,4100	385,1500	29,4000	469,4000	29,4050
<b>757,1000</b>	30,0850	385,0500	30,0900	465,6500	30,0900
<b>861,6000</b>	30,7850	369,7500	30,7900	437,3000	30,7850
<b>1017,7500</b>	31,4900	360,5500	31,5000	424,1000	31,5000
<b>1112,5500</b>	32,2350	358,0000	32,2300	413,3000	32,2300
<b>928,4000</b>	32,9800	353,0000	32,9800	406,4500	32,9800
<b>873,1000</b>	33,7500	337,7000	33,7500	402,1000	33,7500
<b>851,3500</b>	34,5400	327,3000	34,5300	392,3500	34,5300
<b>643,7500</b>	35,3400	312,8500	35,3300	370,8000	35,3300
<b>412,0500</b>	36,1450	310,1000	36,1500	362,9000	36,1500
<b>305,1500</b>	36,9900	311,0500	36,9900	354,8500	36,9900
<b>297,0000</b>	37,8500	300,5000	37,8500	351,8000	37,8500
<b>307,6500</b>	38,7300	298,4000	38,7300	345,3000	38,7300
<b>321,2000</b>	39,6300	248,1500	39,6300	343,2000	39,6300
<b>337,7000</b>	40,5500	207,5500	40,5450	341,3000	40,5500

<b>340,1500</b>	41,4850	192,3000	41,4900	330,8500	41,4900
<b>345,3500</b>	42,4550	200,8000	42,4500	323,1500	42,4500
<b>343,9500</b>	43,4400	210,9500	43,4400	323,2500	43,4400
<b>336,8500</b>	44,4400	214,0500	44,4500	322,8000	44,4450
<b>344,4500</b>	45,4800	226,5000	45,4800	312,4500	45,4800
<b>325,5000</b>	46,5350	211,6000	46,5300	299,1500	46,5250
<b>317,1500</b>	47,6150	213,1500	47,6150	295,1000	47,6150
<b>310,0500</b>	48,7150	211,4000	48,7250	291,5500	48,7200
<b>313,7000</b>	49,8500	209,6500	49,8500	282,0500	49,8500
<b>301,6000</b>	51,0050	207,8500	51,0100	260,4000	51,0050
<b>294,4500</b>	52,1900	197,5600	52,1900	266,7000	52,1950
<b>275,0000</b>	53,4000	179,3350	53,4100	261,2000	53,4050
<b>273,4500</b>	54,6450	176,9050	54,6500	259,6000	54,6450
<b>270,4500</b>	55,9100	170,2100	55,9100	252,8500	55,9100
<b>274,5000</b>	57,2100	176,4100	57,2100	245,1500	57,2100
<b>272,0500</b>	58,5350	185,2050	58,5400	237,0500	58,5400
<b>275,5500</b>	59,9000	172,7150	59,9000	231,3000	59,8950
<b>275,8500</b>	61,2900	149,4200	61,2900	225,6500	61,2900
<b>276,8000</b>	62,7100	140,1750	62,7100	212,9500	62,7050
<b>270,1000</b>	64,1600	144,7100	64,1650	225,5000	64,1700
<b>274,7500</b>	65,6550	139,1800	65,6600	229,7000	65,6550
<b>288,1500</b>	67,1800	131,9150	67,1800	215,4500	67,1850
<b>312,7500</b>	68,7450	124,1850	68,7400	207,7500	68,7400
<b>267,8500</b>	70,3250	110,1550	70,3400	206,2000	70,3400
<b>260,5000</b>	71,9700	74,6050	71,9700	203,2500	71,9700
<b>255,6500</b>	73,6400	71,7400	73,6400	201,8500	73,6350
<b>260,6500</b>	75,3550	73,9800	75,3500	197,1500	75,3500
<b>251,0500</b>	77,1000	78,7700	77,0950	195,2000	77,1050
<b>255,3000</b>	78,8950	85,5000	78,8900	168,3000	78,8850
<b>266,6000</b>	80,7200	83,9500	80,7200	176,7500	80,7200
<b>323,6000</b>	82,6000	84,7850	82,5950	182,5000	82,5950
<b>407,7000</b>	84,5650	83,3500	84,5100	169,1000	84,5100
<b>256,2500</b>	86,4700	86,5800	86,4750	167,2500	86,4700
<b>235,8500</b>	88,4850	83,7500	88,4750	171,2000	88,4800
<b>293,5500</b>	90,5500	88,0300	90,5350	168,7000	90,5300
<b>264,1000</b>	92,6350	79,7050	92,6350	171,9000	92,6350
<b>206,5000</b>	94,7950	73,7750	94,7900	168,1000	94,7850
<b>195,5500</b>	96,9900	77,5100	96,9900	165,2500	96,9900
<b>195,6000</b>	99,2450	81,6400	99,2400	165,2500	99,2300

99RHDPE-1c20a- PROMEDIO		94RHDPE-1c20a-5obc PROMEDIO		92.5-rhdpe-1c20a-5obc-15caps- PROMEDIO	
SHEAR VISCOSITY (Pa s)	Shear rate (s-1)	SHEAR VISCOSITY (Pa s)	Shear rate (s-1)	SHEAR VISCOSITY (Pa s)	Shear rate (s-1)
52195,0000	0,1194	60985,0000	0,1135	48775,0000	0,1085
105050,0000	0,1051	108870,0000	0,1051	81140,0000	0,1049
126550,0000	0,1070	131250,0000	0,1070	94480,0000	0,1068
137000,0000	0,1092	142900,0000	0,1092	99250,0000	0,1090
141200,0000	0,1115	148100,0000	0,1115	99850,0000	0,1114
141950,0000	0,1140	149650,0000	0,1140	98725,0000	0,1139
141100,0000	0,1165	149300,0000	0,1166	97070,0000	0,1165
139450,0000	0,1192	148000,0000	0,1192	95395,0000	0,1192
137550,0000	0,1220	146350,0000	0,1220	93835,0000	0,1220
135700,0000	0,1248	144600,0000	0,1248	92435,0000	0,1248
133950,0000	0,1277	142950,0000	0,1277	91160,0000	0,1277
132350,0000	0,1307	141350,0000	0,1307	89940,0000	0,1307
130900,0000	0,1337	139850,0000	0,1337	88775,0000	0,1337
129550,0000	0,1368	138400,0000	0,1368	87610,0000	0,1368
128250,0000	0,1400	136900,0000	0,1400	86415,0000	0,1400
126900,0000	0,1432	135400,0000	0,1432	85215,0000	0,1432
125550,0000	0,1465	133900,0000	0,1466	83970,0000	0,1466
124050,0000	0,1500	132350,0000	0,1500	82700,0000	0,1499
122450,0000	0,1535	130650,0000	0,1534	81380,0000	0,1534
120800,0000	0,1571	128900,0000	0,1570	80035,0000	0,1570
118950,0000	0,1607	127000,0000	0,1607	78660,0000	0,1607
117150,0000	0,1644	125150,0000	0,1644	77265,0000	0,1644
115250,0000	0,1682	123050,0000	0,1682	75850,0000	0,1682
113300,0000	0,1721	121000,0000	0,1721	74410,0000	0,1721
111350,0000	0,1761	118900,0000	0,1761	72965,0000	0,1761
109500,0000	0,1802	116700,0000	0,1802	71525,0000	0,1802
107700,0000	0,1844	114500,0000	0,1844	70095,0000	0,1844
105900,0000	0,1887	112300,0000	0,1886	68655,0000	0,1886
104100,0000	0,1930	110050,0000	0,1931	67225,0000	0,1930
102255,0000	0,1975	107850,0000	0,1975	65815,0000	0,1975
100495,0000	0,2021	105720,0000	0,2021	64430,0000	0,2021
98720,0000	0,2068	103570,0000	0,2068	63075,0000	0,2068
96895,0000	0,2116	101430,0000	0,2116	61760,0000	0,2116
95000,0000	0,2166	99455,0000	0,2165	60445,0000	0,2165
92970,0000	0,2215	97570,0000	0,2215	59145,0000	0,2215
90970,0000	0,2267	95840,0000	0,2267	57860,0000	0,2267
89100,0000	0,2318	94060,0000	0,2319	56570,0000	0,2319
87365,0000	0,2372	92285,0000	0,2373	55315,0000	0,2373
85760,0000	0,2428	90570,0000	0,2428	54165,0000	0,2428
84205,0000	0,2485	89000,0000	0,2485	53050,0000	0,2485
82645,0000	0,2543	87485,0000	0,2542	51930,0000	0,2542

<b>81120,0000</b>	0,2601	85995,0000	0,2601	50820,0000	0,2601
<b>79635,0000</b>	0,2662	84455,0000	0,2662	49710,0000	0,2661
<b>78220,0000</b>	0,2723	82860,0000	0,2724	48615,0000	0,2723
<b>76715,0000</b>	0,2786	81105,0000	0,2788	47585,0000	0,2786
<b>75315,0000</b>	0,2852	79265,0000	0,2851	46585,0000	0,2851
<b>74015,0000</b>	0,2918	77555,0000	0,2917	45560,0000	0,2917
<b>72715,0000</b>	0,2986	76020,0000	0,2984	44540,0000	0,2985
<b>71305,0000</b>	0,3052	74610,0000	0,3055	43605,0000	0,3054
<b>69890,0000</b>	0,3125	73120,0000	0,3126	42705,0000	0,3126
<b>68435,0000</b>	0,3199	71630,0000	0,3200	41855,0000	0,3198
<b>66855,0000</b>	0,3274	69995,0000	0,3274	41060,0000	0,3272
<b>65060,0000</b>	0,3348	68445,0000	0,3347	40315,0000	0,3349
<b>63480,0000</b>	0,3426	67125,0000	0,3428	39555,0000	0,3426
<b>62320,0000</b>	0,3506	65685,0000	0,3505	38895,0000	0,3506
<b>61000,0000</b>	0,3589	64430,0000	0,3586	38230,0000	0,3587
<b>59650,0000</b>	0,3671	63230,0000	0,3671	37515,0000	0,3670
<b>58695,0000</b>	0,3754	62035,0000	0,3756	36870,0000	0,3755
<b>57950,0000</b>	0,3841	60900,0000	0,3842	36215,0000	0,3842
<b>56925,0000</b>	0,3931	59745,0000	0,3932	35580,0000	0,3931
<b>55875,0000</b>	0,4024	58635,0000	0,4024	35005,0000	0,4023
<b>54980,0000</b>	0,4118	57560,0000	0,4116	34390,0000	0,4116
<b>53850,0000</b>	0,4209	56670,0000	0,4214	33775,0000	0,4212
<b>52870,0000</b>	0,4310	55970,0000	0,4311	33235,0000	0,4310
<b>51835,0000</b>	0,4408	55155,0000	0,4411	32730,0000	0,4410
<b>50880,0000</b>	0,4514	54190,0000	0,4513	32305,0000	0,4512
<b>49950,0000</b>	0,4617	53035,0000	0,4617	31820,0000	0,4617
<b>48920,0000</b>	0,4723	51865,0000	0,4721	31300,0000	0,4724
<b>48050,0000</b>	0,4835	50760,0000	0,4830	30755,0000	0,4833
<b>47195,0000</b>	0,4947	49870,0000	0,4947	30280,0000	0,4946
<b>46325,0000</b>	0,5066	48895,0000	0,5061	29735,0000	0,5062
<b>45295,0000</b>	0,5180	47900,0000	0,5177	29165,0000	0,5179
<b>44445,0000</b>	0,5298	47250,0000	0,5299	28570,0000	0,5297
<b>43745,0000</b>	0,5421	46640,0000	0,5426	28020,0000	0,5421
<b>43120,0000</b>	0,5545	45530,0000	0,5542	27395,0000	0,5548
<b>42465,0000</b>	0,5677	44505,0000	0,5677	26795,0000	0,5675
<b>41760,0000</b>	0,5806	43605,0000	0,5811	26250,0000	0,5808
<b>41040,0000</b>	0,5942	42610,0000	0,5944	25700,0000	0,5942
<b>40305,0000</b>	0,6081	41700,0000	0,6081	25315,0000	0,6081
<b>39815,0000</b>	0,6223	40880,0000	0,6224	24875,0000	0,6223
<b>39170,0000</b>	0,6363	40095,0000	0,6367	24435,0000	0,6367
<b>38445,0000</b>	0,6520	39315,0000	0,6515	23935,0000	0,6512
<b>37590,0000</b>	0,6666	38575,0000	0,6666	23500,0000	0,6667
<b>36860,0000</b>	0,6819	38010,0000	0,6816	23025,0000	0,6821
<b>36205,0000</b>	0,6981	37535,0000	0,6985	22435,0000	0,6977
<b>35560,0000</b>	0,7137	36960,0000	0,7146	21860,0000	0,7141

<b>34695,0000</b>	0,7312	36415,0000	0,7310	21395,0000	0,7307
<b>34080,0000</b>	0,7473	35805,0000	0,7478	20970,0000	0,7480
<b>33630,0000</b>	0,7647	35205,0000	0,7646	20545,0000	0,7649
<b>33095,0000</b>	0,7830	34600,0000	0,7830	20120,0000	0,7828
<b>32440,0000</b>	0,8012	33820,0000	0,8009	19605,0000	0,8008
<b>31805,0000</b>	0,8192	33305,0000	0,8199	19145,0000	0,8193
<b>31140,0000</b>	0,8384	32670,0000	0,8384	18750,0000	0,8379
<b>30760,0000</b>	0,8574	31695,0000	0,8572	18410,0000	0,8581
<b>30635,0000</b>	0,8776	30865,0000	0,8784	17975,0000	0,8781
<b>30030,0000</b>	0,8974	30115,0000	0,8983	17495,0000	0,8984
<b>29275,0000</b>	0,9193	29455,0000	0,9193	16905,0000	0,9189
<b>28775,0000</b>	0,9407	28850,0000	0,9405	16415,0000	0,9403
<b>28250,0000</b>	0,9619	28340,0000	0,9630	16005,0000	0,9620
<b>27680,0000</b>	0,9849	27725,0000	0,9845	15795,0000	0,9850
<b>27400,0000</b>	1,0075	27215,0000	1,0075	15535,0000	1,0075
<b>26550,0000</b>	1,0295	26715,0000	1,0315	15280,0000	1,0310
<b>25775,0000</b>	1,0550	26175,0000	1,0540	15090,0000	1,0545
<b>24935,0000</b>	1,0785	25530,0000	1,0800	14960,0000	1,0800
<b>24280,0000</b>	1,1040	24775,0000	1,1035	14660,0000	1,1045
<b>24050,0000</b>	1,1315	24285,0000	1,1300	14270,0000	1,1300
<b>23535,0000</b>	1,1570	23560,0000	1,1545	13775,0000	1,1560
<b>22875,0000</b>	1,1830	22840,0000	1,1825	13310,0000	1,1830
<b>22150,0000</b>	1,2100	22660,0000	1,2095	12985,0000	1,2100
<b>21595,0000</b>	1,2385	22365,0000	1,2400	12685,0000	1,2390
<b>21395,0000</b>	1,2665	21975,0000	1,2680	12480,0000	1,2665
<b>20990,0000</b>	1,2985	21495,0000	1,2960	12345,0000	1,2970
<b>19925,0000</b>	1,3255	21060,0000	1,3290	12195,0000	1,3270
<b>19265,0000</b>	1,3575	20345,0000	1,3575	12080,0000	1,3580
<b>18595,0000</b>	1,3890	19750,0000	1,3895	12030,0000	1,3890
<b>17875,0000</b>	1,4205	19255,0000	1,4210	11790,0000	1,4220
<b>17715,0000</b>	1,4555	19085,0000	1,4530	11345,0000	1,4545
<b>17370,0000</b>	1,4900	18895,0000	1,4875	11020,0000	1,4880
<b>16845,0000</b>	1,5220	18570,0000	1,5220	10760,0000	1,5235
<b>16145,0000</b>	1,5570	18100,0000	1,5580	10600,0000	1,5580
<b>15545,0000</b>	1,5955	17745,0000	1,5950	10410,0000	1,5945
<b>14965,0000</b>	1,6330	17065,0000	1,6310	10165,0000	1,6315
<b>14380,0000</b>	1,6680	16360,0000	1,6685	9944,0000	1,6695
<b>14010,0000</b>	1,7085	15790,0000	1,7070	9738,5000	1,7080
<b>13705,0000</b>	1,7505	15280,0000	1,7495	9618,5000	1,7485
<b>13135,0000</b>	1,7875	14410,0000	1,7855	9419,0000	1,7880
<b>12485,0000</b>	1,8295	14075,0000	1,8310	9139,0000	1,8295
<b>12050,0000</b>	1,8725	13825,0000	1,8710	8870,0000	1,8725
<b>11530,0000</b>	1,9175	13725,0000	1,9175	8600,5000	1,9160
<b>10985,0000</b>	1,9600	13320,0000	1,9575	8378,5000	1,9595
<b>10520,0000</b>	2,0070	12950,0000	2,0050	8323,5000	2,0050

<b>10230,0000</b>	2,0525	12485,0000	2,0535	8181,0000	2,0515
<b>9890,0000</b>	2,0995	12005,0000	2,0975	7842,5000	2,0990
<b>9451,0000</b>	2,1485	12155,0000	2,1495	7629,0000	2,1500
<b>9134,0000</b>	2,1980	11960,0000	2,1990	7405,5000	2,1985
<b>8963,0000</b>	2,2490	11185,5000	2,2490	7244,0000	2,2510
<b>8575,0000</b>	2,3015	10475,5000	2,3020	6930,5000	2,3020
<b>8323,5000</b>	2,3570	10205,0000	2,3535	6743,5000	2,3550
<b>8055,5000</b>	2,4095	10096,0000	2,4120	6733,5000	2,4105
<b>7880,5000</b>	2,4675	9734,0000	2,4665	6592,5000	2,4660
<b>7445,5000</b>	2,5220	8898,5000	2,5225	6412,5000	2,5235
<b>7377,0000</b>	2,5805	8201,5000	2,5825	6228,0000	2,5815
<b>7139,0000</b>	2,6420	7768,0000	2,6400	5920,5000	2,6415
<b>6778,5000</b>	2,7040	7543,0000	2,7035	5674,0000	2,7020
<b>6582,0000</b>	2,7655	7282,5000	2,7660	5446,5000	2,7645
<b>6572,5000</b>	2,8305	6820,5000	2,8290	5246,5000	2,8300
<b>6349,5000</b>	2,8940	6485,5000	2,8980	5164,0000	2,8950
<b>6118,5000</b>	2,9635	6198,5000	2,9615	5181,0000	2,9620
<b>5926,0000</b>	3,0330	5902,0000	3,0315	5040,0000	3,0310
<b>5802,0000</b>	3,1025	5560,5000	3,1040	4906,5000	3,1015
<b>5840,0000</b>	3,1750	5208,0000	3,1725	4839,0000	3,1740
<b>5678,5000</b>	3,2485	5011,5000	3,2485	4803,0000	3,2485
<b>5394,5000</b>	3,3235	4731,5000	3,3220	4537,5000	3,3210
<b>5205,0000</b>	3,4020	4485,0000	3,4005	4530,0000	3,3995
<b>4884,0000</b>	3,4785	4334,0000	3,4805	4637,5000	3,4825
<b>4683,5000</b>	3,5610	4027,5000	3,5605	4344,5000	3,5585
<b>4447,5000</b>	3,6420	3548,5000	3,6405	4065,0000	3,6425
<b>4226,5000</b>	3,7250	3218,0000	3,7255	4153,5000	3,7315
<b>4003,0000</b>	3,8140	3033,0000	3,8125	4152,0000	3,8145
<b>3813,0000</b>	3,9010	2816,5000	3,9015	3952,5000	3,8990
<b>3813,5000</b>	3,9925	2778,5000	3,9940	4007,5000	3,9970
<b>3964,0000</b>	4,0850	2626,0000	4,0870	3797,0000	4,0835
<b>4279,5000</b>	4,1780	2357,0000	4,1790	3881,5000	4,1825
<b>4591,0000</b>	4,2770	2245,0000	4,2780	3679,0000	4,2785
<b>4785,5000</b>	4,3760	2157,5000	4,3765	3839,0000	4,3795
<b>4791,0000</b>	4,4775	2189,0000	4,4795	3914,5000	4,4790
<b>4686,5000</b>	4,5810	2120,5000	4,5810	3909,5000	4,5795
<b>4679,5000</b>	4,6865	2295,0000	4,6890	4057,0000	4,6915
<b>4599,0000</b>	4,7980	2248,0000	4,7975	4041,0000	4,7980
<b>4524,5000</b>	4,9095	2197,5000	4,9090	3999,5000	4,9050
<b>4398,0000</b>	5,0185	2183,5000	5,0235	4012,5000	5,0230
<b>4636,5000</b>	5,1460	2107,5000	5,1390	3902,0000	5,1385
<b>4356,0000</b>	5,2565	2142,5000	5,2595	3816,0000	5,2580
<b>4256,0000</b>	5,3775	2116,0000	5,3800	3611,0000	5,3790
<b>4128,0000</b>	5,5030	2113,5000	5,5065	3603,5000	5,5050
<b>4047,0000</b>	5,6310	2047,0000	5,6330	3556,5000	5,6340

<b>4206,0000</b>	5,7660	2022,0000	5,7650	3480,5000	5,7635
<b>3955,0000</b>	5,8940	2008,0000	5,8995	3368,0000	5,8965
<b>3879,5000</b>	6,0340	2022,0000	6,0335	3373,0000	6,0345
<b>3695,5000</b>	6,1765	2121,0000	6,1755	3204,5000	6,1690
<b>3543,0000</b>	6,3165	2174,5000	6,3175	3293,5000	6,3180
<b>3455,0000</b>	6,4635	2184,0000	6,4650	3274,5000	6,4660
<b>3374,5000</b>	6,6175	2133,5000	6,6170	3212,0000	6,6120
<b>3249,0000</b>	6,7695	2095,0000	6,7685	3159,0000	6,7680
<b>3128,0000</b>	6,9260	2066,0000	6,9240	3093,0000	6,9240
<b>2952,0000</b>	7,0850	2028,5000	7,0855	3183,0000	7,0905
<b>2907,0000</b>	7,2540	2034,0000	7,2510	3038,5000	7,2505
<b>2885,5000</b>	7,4235	2096,5000	7,4205	2859,5000	7,4190
<b>2788,5000</b>	7,5880	2032,0000	7,5915	2769,0000	7,5895
<b>2666,0000</b>	7,7680	2013,0000	7,7675	2735,5000	7,7650
<b>2502,8000</b>	7,9450	2007,0000	7,9510	2474,5000	7,9560
<b>2486,6000</b>	8,1320	1955,0000	8,1355	2107,5000	8,1295
<b>2529,5000</b>	8,3210	1859,5000	8,3225	1914,0000	8,3255
<b>2603,5000</b>	8,5165	1852,0000	8,5155	1917,0000	8,5165
<b>2671,5000</b>	8,7140	1771,0000	8,7105	1968,0000	8,7190
<b>2689,5000</b>	8,9145	1831,5000	8,9145	1838,5000	8,9100
<b>2677,0000</b>	9,1190	1842,0000	9,1210	1713,5000	9,1195
<b>2657,5000</b>	9,3345	1815,0000	9,3350	1919,0000	9,3360
<b>2648,0000</b>	9,5515	1825,5000	9,5490	1911,5000	9,5585
<b>2570,0000</b>	9,7675	1855,0000	9,7720	1761,0000	9,7780
<b>2565,0000</b>	9,9970	1850,5000	9,9990	1702,5000	9,9930
<b>2594,0000</b>	10,2300	1809,5000	10,2300	1830,5000	10,2300
<b>2535,5000</b>	10,4650	1758,0000	10,4700	1929,5000	10,4600
<b>2576,5000</b>	10,7150	1720,0000	10,7100	1760,5000	10,7100
<b>2460,5000</b>	10,9550	1662,5000	10,9600	1552,5000	10,9700
<b>2437,5000</b>	11,2100	1568,0000	11,2200	1521,5000	11,2200
<b>2460,0000</b>	11,4750	1471,5000	11,4750	1480,5000	11,4800
<b>2440,5000</b>	11,7450	1444,5000	11,7400	1417,0000	11,7400
<b>2411,0000</b>	12,0150	1395,0000	12,0150	1404,0000	12,0050
<b>2387,0000</b>	12,2900	1364,5000	12,2900	1352,5000	12,2950
<b>2138,5000</b>	12,5800	1368,5000	12,5800	1318,5000	12,5750
<b>2120,0000</b>	12,8750	1384,5000	12,8700	1302,5000	12,8600
<b>2243,0000</b>	13,1650	1382,5000	13,1700	1420,0000	13,1750
<b>2374,5000</b>	13,4800	1356,0000	13,4750	1388,5000	13,4800
<b>2377,0000</b>	13,7900	1330,0000	13,7850	1297,5000	13,7850
<b>2326,0000</b>	14,1150	1312,0000	14,1100	1227,0000	14,1150
<b>2130,5000</b>	14,4400	1286,0000	14,4350	1214,0000	14,4250
<b>2065,0000</b>	14,7650	1244,5000	14,7750	1225,0000	14,7850
<b>2195,0000</b>	15,1100	1205,0000	15,1100	1258,0000	15,1200
<b>2215,5000</b>	15,4700	1199,0000	15,4650	1218,0000	15,4400
<b>2246,0000</b>	15,8250	1226,5000	15,8200	1140,5000	15,8000

<b>2075,5000</b>	16,1800	1209,5000	16,1850	1141,5000	16,2050
<b>2084,5000</b>	16,5600	1193,5000	16,5650	1079,5000	16,5750
<b>2141,5000</b>	16,9500	1166,0000	16,9550	1028,0000	16,9550
<b>1943,5000</b>	17,3350	1121,9500	17,3500	947,5500	17,3550
<b>1626,5000</b>	17,7500	1072,4000	17,7450	971,2000	17,7450
<b>1377,5000</b>	18,1500	1058,8000	18,1600	970,3500	18,1700
<b>1382,0000</b>	18,5650	1038,9000	18,5850	874,3500	18,5750
<b>1698,5000</b>	19,0050	992,8000	19,0100	824,5500	19,0100
<b>1877,0000</b>	19,4500	998,1000	19,4450	875,9000	19,4600
<b>1848,0000</b>	19,9150	980,3500	19,9050	815,6000	19,9100
<b>1817,0000</b>	20,3650	952,2500	20,3650	760,3500	20,3750
<b>1696,0000</b>	20,8350	956,9500	20,8400	711,6000	20,8450
<b>1671,0000</b>	21,3200	928,1500	21,3250	669,1000	21,3300
<b>1648,5000</b>	21,8300	976,9500	21,8200	643,7000	21,8250
<b>1536,5000</b>	22,3250	960,7000	22,3300	631,8500	22,3300
<b>1573,0000</b>	22,8400	835,9500	22,8300	592,7500	22,8400
<b>1558,0000</b>	23,3650	891,6500	23,3800	578,3000	23,3750
<b>1500,5000</b>	23,9150	890,0000	23,9150	604,1500	23,9250
<b>1411,0000</b>	24,4700	856,4500	24,4650	576,5500	24,4700
<b>1502,0000</b>	25,0400	849,1000	25,0400	540,5500	25,0400
<b>1571,0000</b>	25,6250	872,7500	25,6200	522,1000	25,6200
<b>1504,0000</b>	26,2200	829,9000	26,2100	503,8000	26,2150
<b>1498,5000</b>	26,8300	866,8000	26,8250	476,8500	26,8250
<b>1390,0000</b>	27,4600	861,0000	27,4550	464,4000	27,4500
<b>1313,0000</b>	28,0850	832,2500	28,0850	433,7000	28,0850
<b>1308,0000</b>	28,7350	832,7000	28,7450	424,8000	28,7400
<b>1245,5000</b>	29,3950	770,0000	29,4000	404,2000	29,4050
<b>1355,5000</b>	30,0950	779,9500	30,0900	380,3500	30,0850
<b>1431,5000</b>	30,7950	740,0000	30,7800	367,9500	30,7900
<b>1347,0000</b>	31,5000	738,9000	31,4950	353,1500	31,5000
<b>1236,0000</b>	32,2300	796,0000	32,2300	352,7500	32,2350
<b>1170,0000</b>	32,9900	792,6000	32,9850	340,7500	32,9800
<b>1100,5000</b>	33,7400	679,2000	33,7350	330,4500	33,7450
<b>1131,5000</b>	34,5200	612,8000	34,5300	321,5500	34,5300
<b>1171,0000</b>	35,3350	633,5000	35,3350	306,8500	35,3300
<b>1185,5000</b>	36,1600	627,4000	36,1550	314,1500	36,1500
<b>1141,0000</b>	36,9900	630,1500	36,9900	307,5500	36,9900
<b>1113,5000</b>	37,8600	647,1000	37,8600	293,4000	37,8500
<b>1059,0000</b>	38,7300	644,4500	38,7250	290,7500	38,7300
<b>1092,5500</b>	39,6200	601,4500	39,6200	280,5000	39,6300
<b>1046,5500</b>	40,5450	572,0000	40,5450	278,8000	40,5500
<b>917,0000</b>	41,4850	539,5000	41,4850	276,6000	41,4900
<b>891,4500</b>	42,4500	563,2500	42,4500	286,9500	42,4500
<b>881,9500</b>	43,4400	601,1500	43,4450	322,2000	43,4300
<b>826,4500</b>	44,4500	545,1000	44,4400	249,0000	44,4400

<b>761,6500</b>	45,4800	512,7000	45,4750	205,5500	45,4750
<b>746,2500</b>	46,5300	479,9500	46,5200	196,5000	46,5300
<b>725,7500</b>	47,6150	511,5500	47,6200	194,7000	47,6150
<b>697,1500</b>	48,7200	450,8500	48,7100	194,1500	48,7200
<b>676,3000</b>	49,8450	466,6000	49,8550	192,8000	49,8500
<b>649,8000</b>	51,0050	433,0500	51,0100	189,2000	51,0100
<b>608,0000</b>	52,1850	394,0000	52,1900	195,0500	52,1950
<b>593,7500</b>	53,4200	377,9500	53,4050	186,2500	53,4050
<b>584,5500</b>	54,6400	353,9500	54,6400	185,9000	54,6450
<b>614,8000</b>	55,9050	323,5000	55,9100	178,9000	55,9100
<b>664,5500</b>	57,2100	303,6000	57,2100	178,4000	57,2100
<b>691,8000</b>	58,5450	289,4000	58,5400	171,9000	58,5350
<b>676,0000</b>	59,8950	282,9500	59,9000	163,5000	59,8950
<b>637,1500</b>	61,3000	259,6000	61,2900	159,9000	61,2900
<b>590,6000</b>	62,7100	231,8500	62,7100	161,0500	62,7100
<b>593,0000</b>	64,1800	213,0000	64,1650	157,0500	64,1650
<b>527,6500</b>	65,6550	205,7000	65,6600	153,3000	65,6600
<b>493,8500</b>	67,1850	190,1500	67,1800	152,8500	67,1800
<b>484,3000</b>	68,7400	178,8000	68,7400	151,9000	68,7400
<b>442,9000</b>	70,3300	168,3000	70,3350	145,5500	70,3350
<b>458,6500</b>	71,9600	160,5000	71,9700	151,9500	71,9750
<b>472,0000</b>	73,6400	154,9000	73,6400	146,6000	73,6400
<b>491,1500</b>	75,3500	145,4000	75,3500	144,6500	75,3500
<b>506,0500</b>	77,0950	138,1500	77,0950	148,0000	77,1000
<b>497,1000</b>	78,8900	130,8750	78,8900	143,5500	78,8900
<b>485,0000</b>	80,7200	123,4150	80,7200	133,1000	80,7200
<b>450,4500</b>	82,5950	117,8400	82,5900	130,4500	82,5900
<b>443,7500</b>	84,5200	111,0550	84,5100	135,3000	84,5150
<b>466,8000</b>	86,4750	105,6100	86,4700	131,6000	86,4750
<b>470,7000</b>	88,4750	99,8450	88,4800	127,2500	88,4800
<b>447,2500</b>	90,5250	96,0350	90,5400	122,4000	90,5350
<b>436,1500</b>	92,6400	92,5250	92,6400	124,8500	92,6400
<b>424,6000</b>	94,7800	88,4700	94,7900	125,9000	94,7850
<b>419,2500</b>	96,9850	85,0500	96,9900	122,0000	96,9900
<b>420,7000</b>	99,2500	81,7100	99,2400	118,0000	99,2400

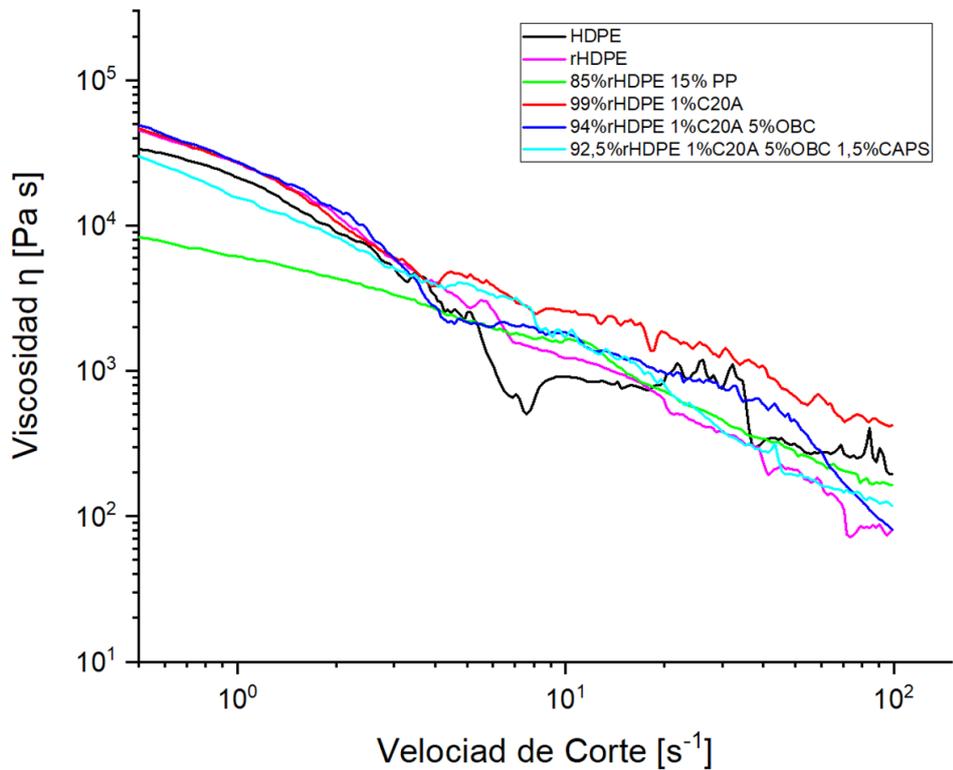


Figura C1 . Gráfica Log-Log Viscosidad [Pa s] vs Velocidad de corte [ $S^{-1}$ ]

**MODELO MATEMÁTICO UTILIZADO POR EL SOFTWARE ORIGIN 2019  
(TRIAL)**

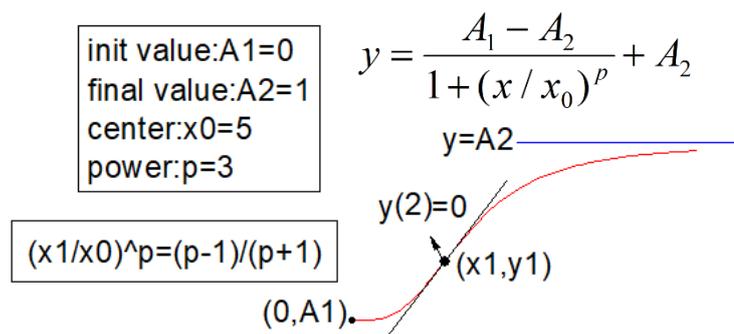


Figura C2. Ilustración del método matemático utilizado

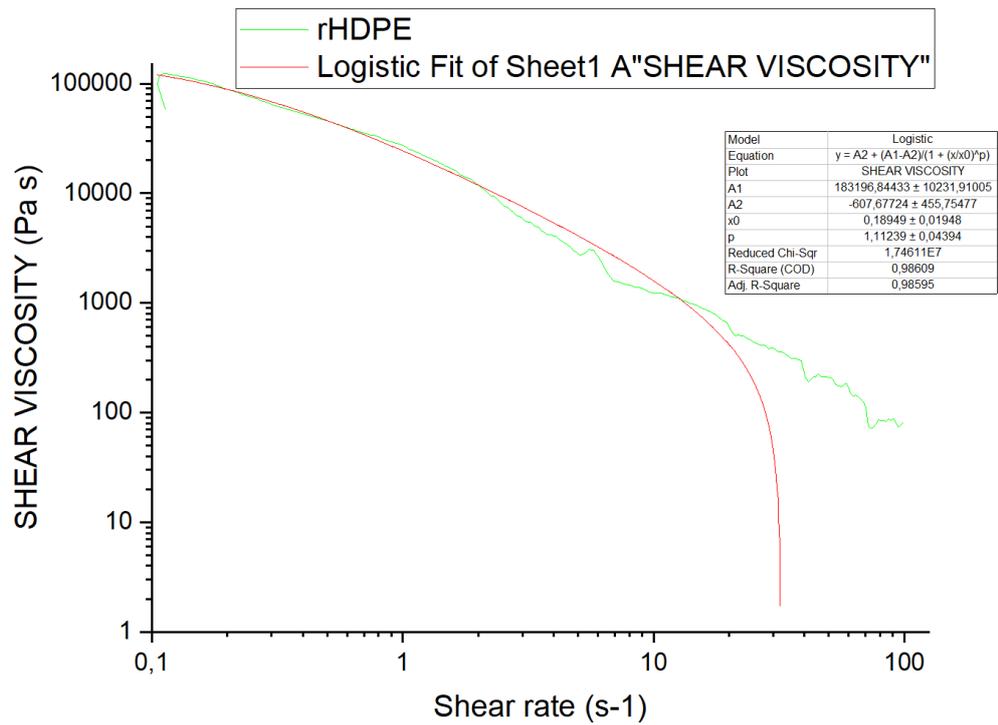


Figura C3 .Gráfica Log-Log Viscosidad [Pa s] vs Velocidad de corte [ $S^{-1}$ ] de la mezcla 100%HDPE

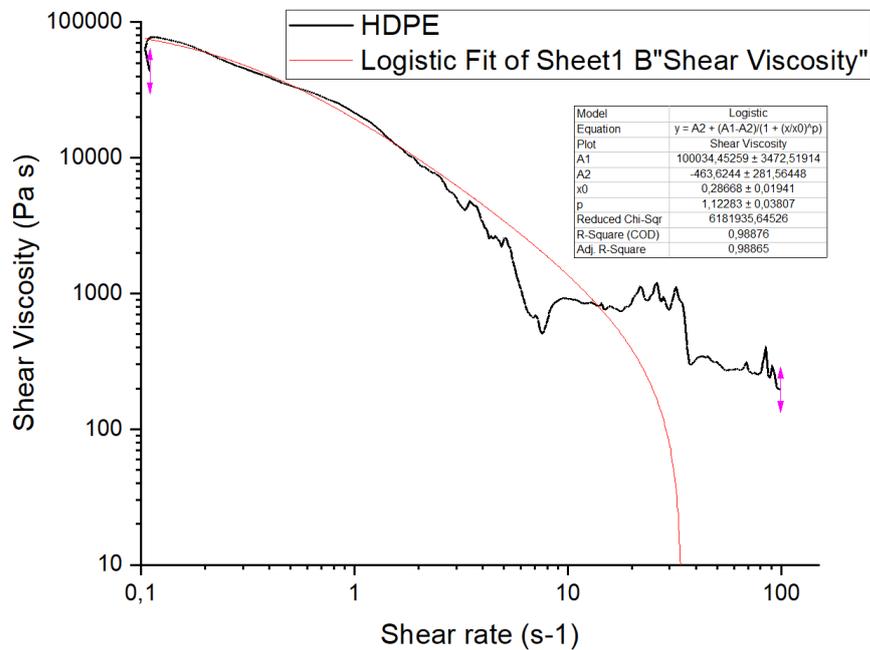


Figura C4. Gráfica Log-Log Viscosidad [Pa s] vs Velocidad de corte [ $S^{-1}$ ] de la mezcla 100%rHDPE

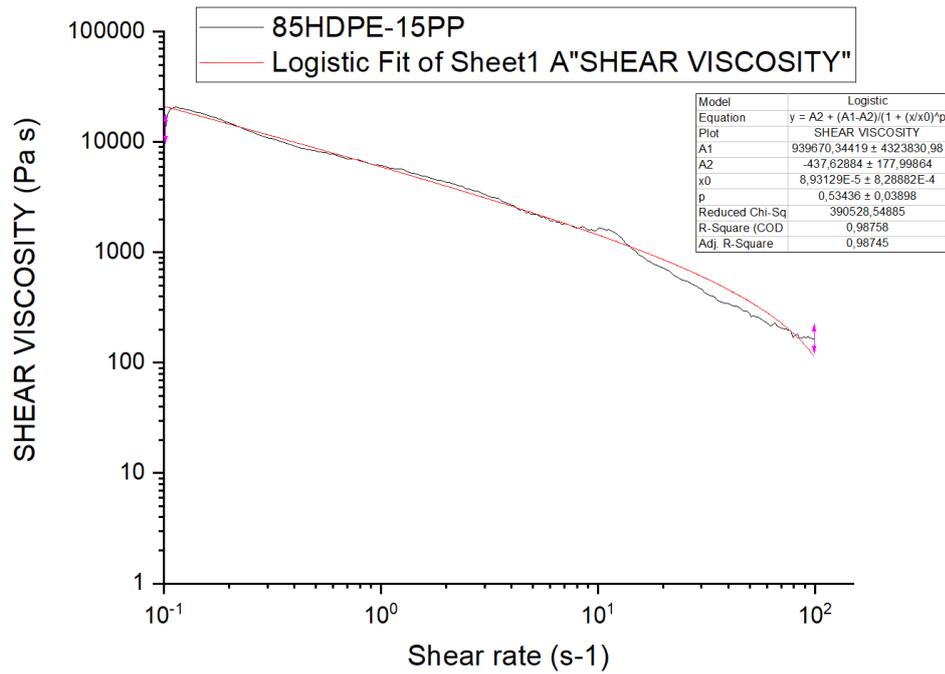


Figura C5 .Gráfica Log-Log Viscosidad [Pa s] vs Velocidad de corte [ $S^{-1}$ ] de la mezcla 85%rHDPE-15%rPP

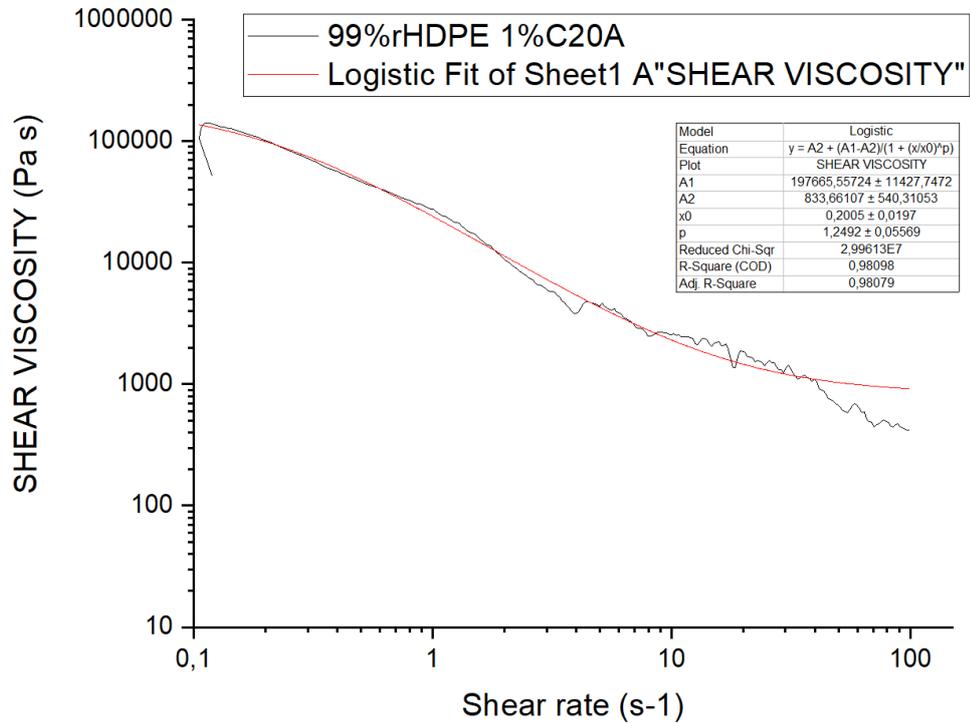


Figura C6. Gráfica Log-Log Viscosidad [Pa s] vs Velocidad de corte [ $S^{-1}$ ] de la mezcla 99%rHDPE-1%C20A

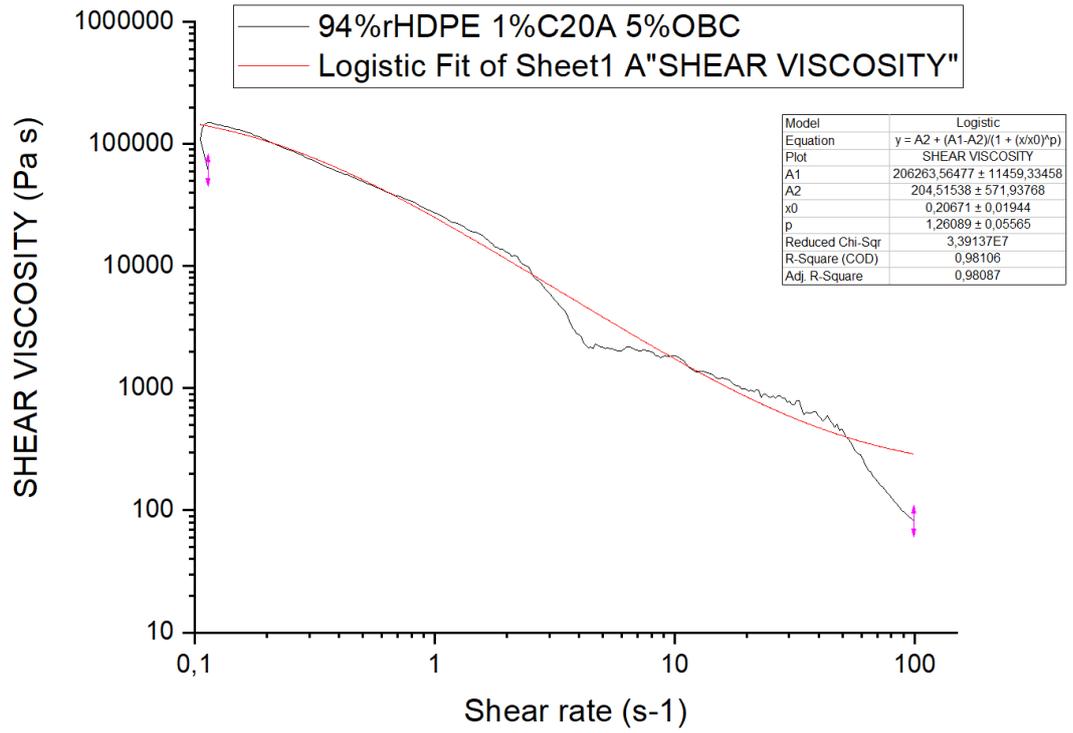


Figura C7. Gráfica Log-Log Viscosidad [Pa s] vs Velocidad de corte [ $S^{-1}$ ] de la mezcla 94%rHDPE-1%C20A-5%OBC

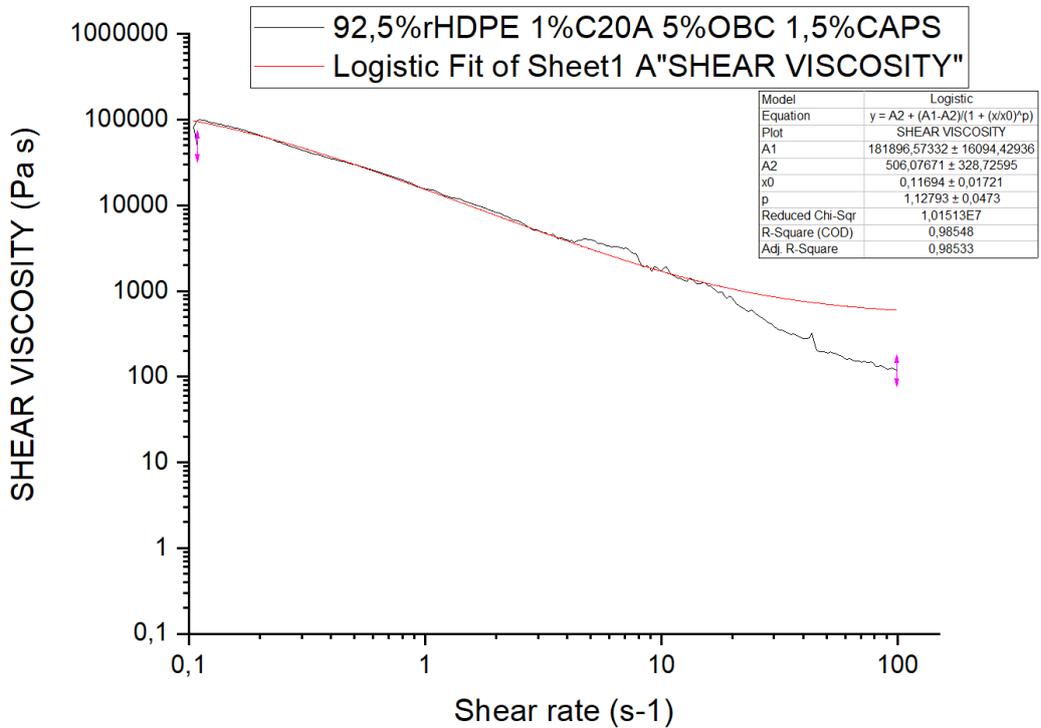
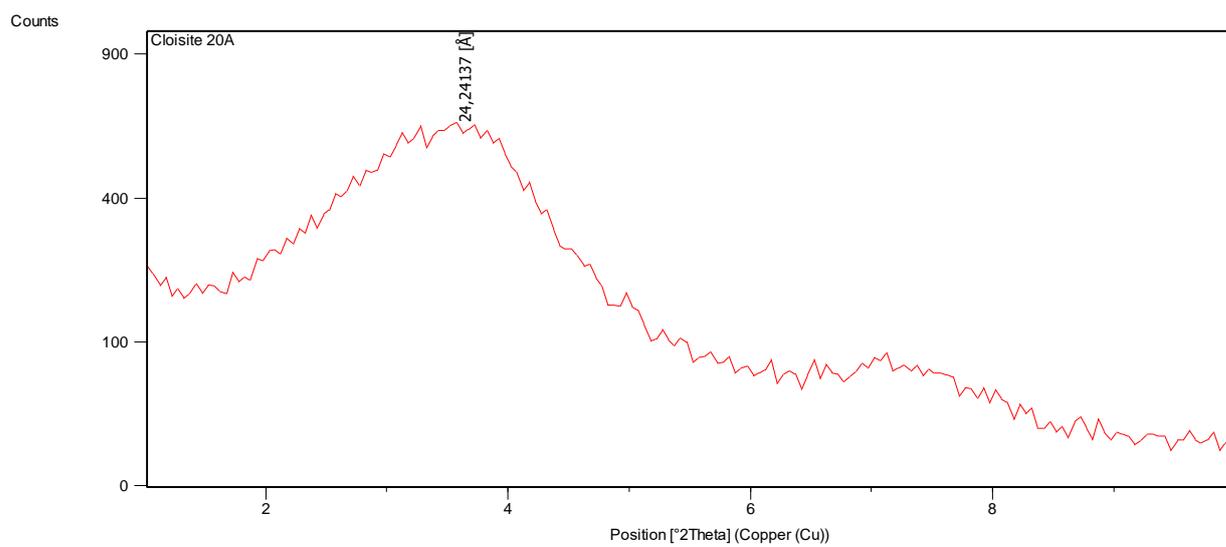


Figura C8. Gráfica Log-Log Viscosidad [Pa s] vs Velocidad de corte [ $S^{-1}$ ] de la mezcla 92.5%rHDPE-1%C20A-5%OBC-1.5%CAPS KPR



**Figura C9. Gráfica XRD de C20A**

## APÉNDICE D

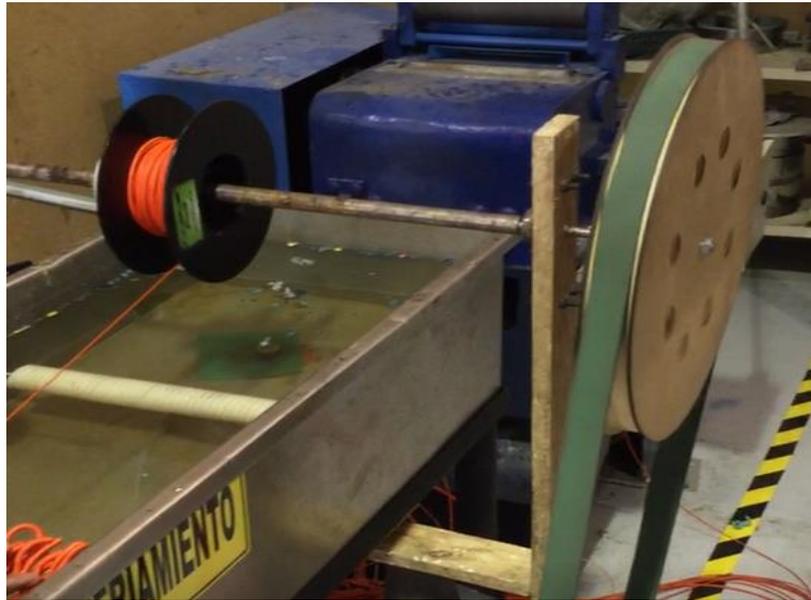
### RECOPIACIÓN FOTOGRÁFICA



**Figura D1. Tina de enfriamiento del laboratorio**



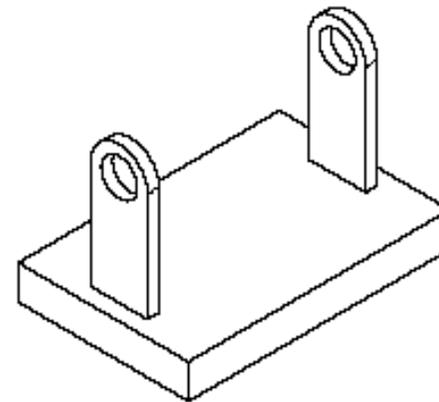
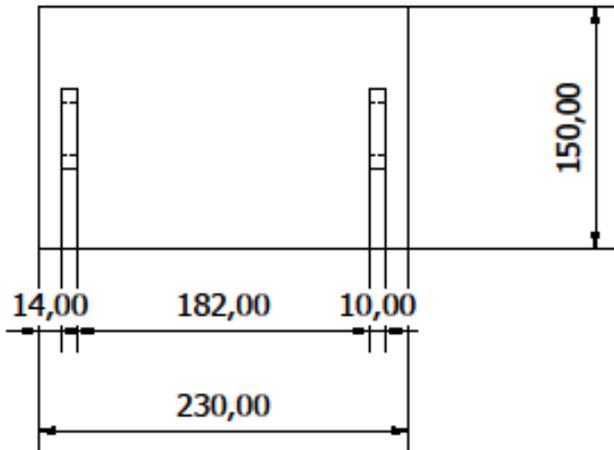
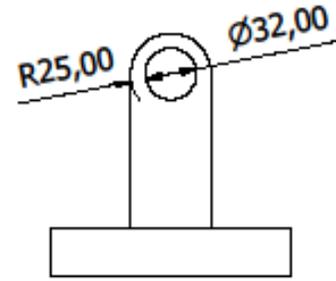
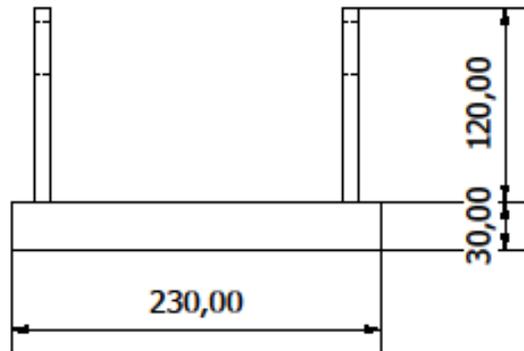
**Figura D2. Conjunto de poleas del motor**



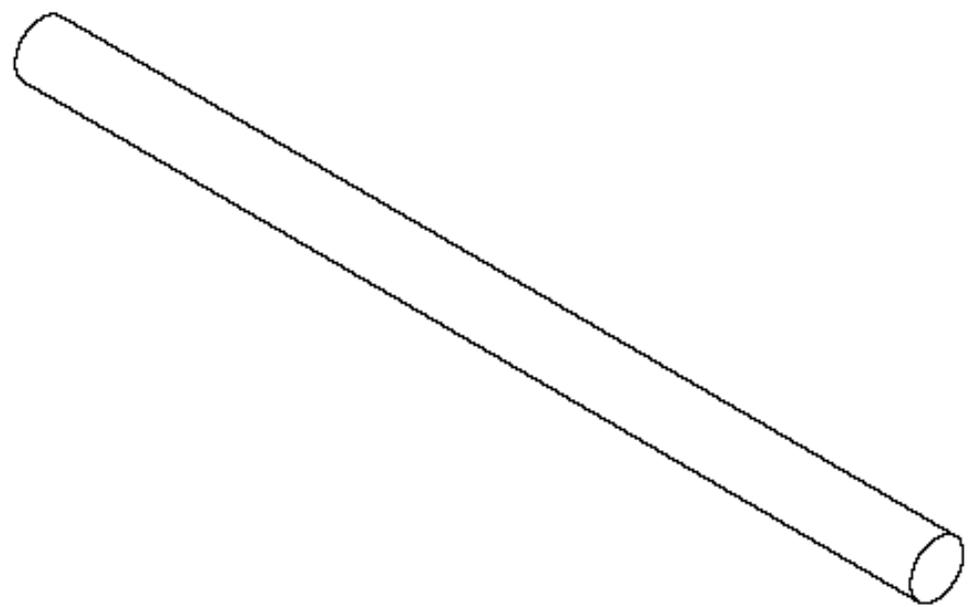
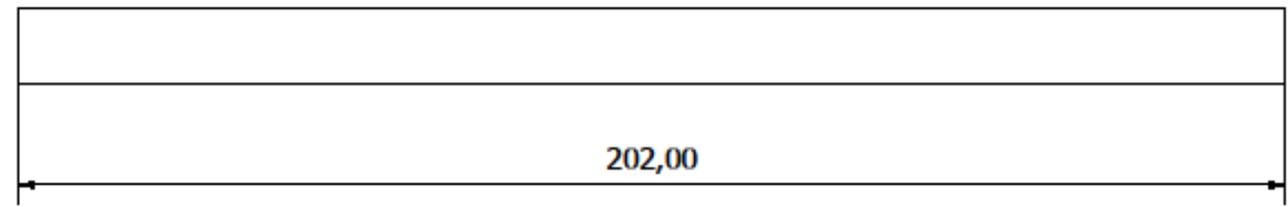
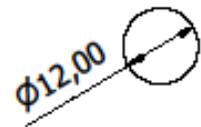
**Figura D3. Montaje de la polea principal con el eje principal**

# **APÉNDICE E**

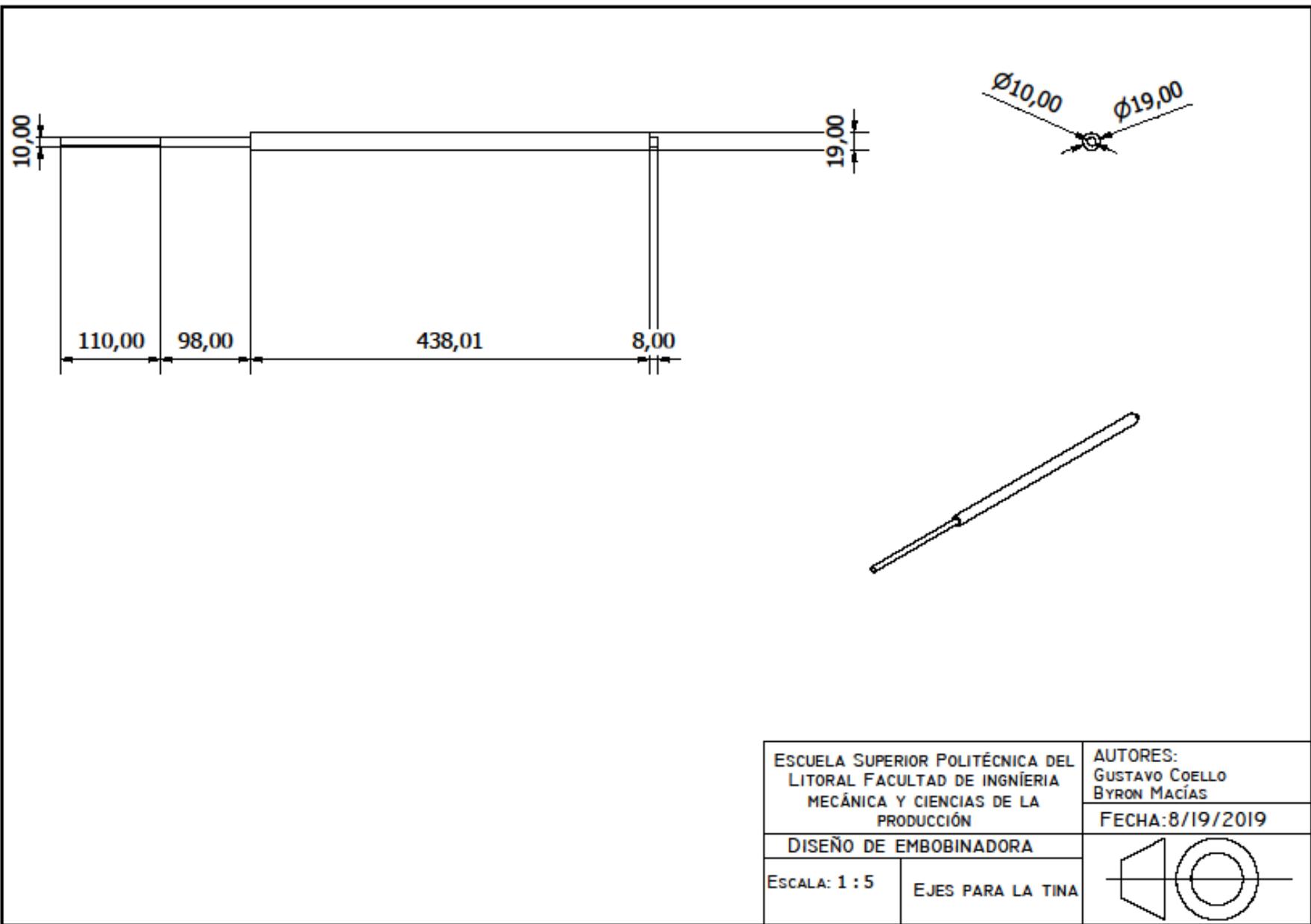
## **PLANOS DEL SISTEMA**

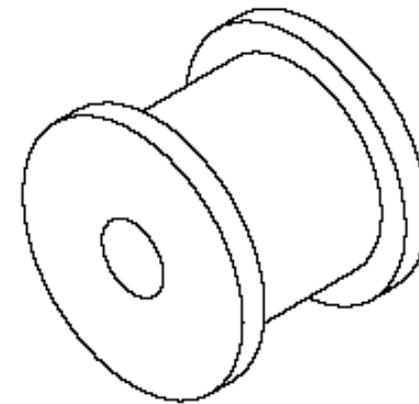
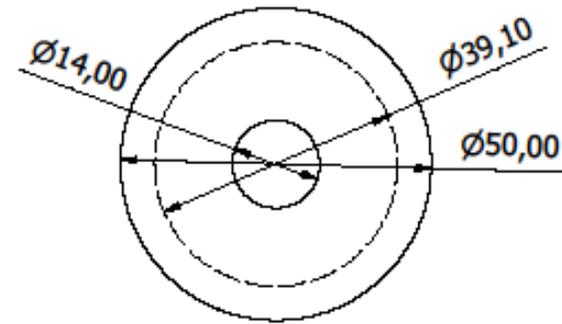
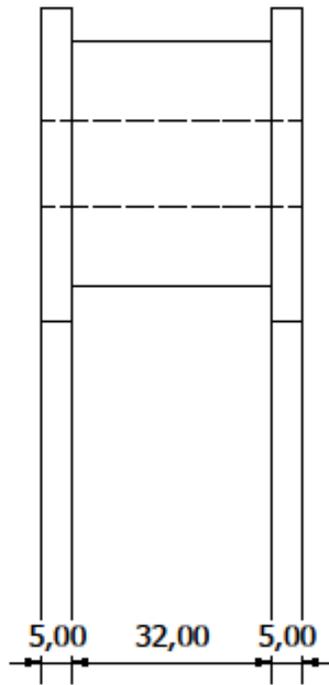


ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		AUTORES: GUSTAVO COELLO BYRON MACÍAS
DISEÑO DE EMBOBINADORA		FECHA: 8/25/2019
ESCALA: 1 : 4	BASE DEL REDUCTOR	

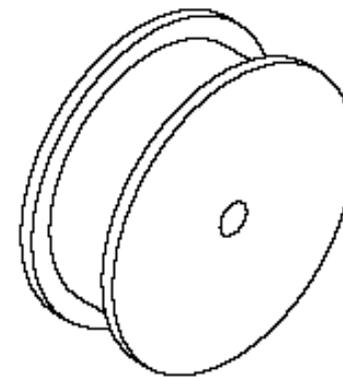
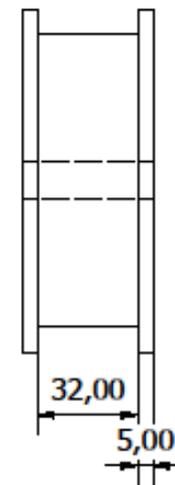
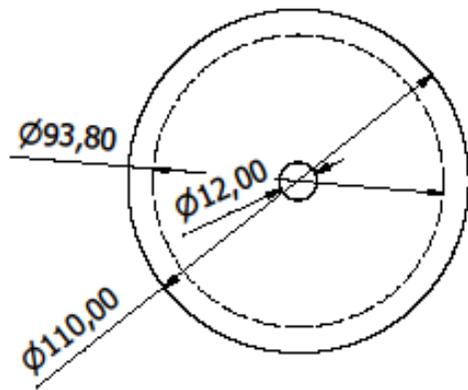


ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		AUTORES: GUSTAVO COELLO BYRON MACÍAS	
DISEÑO DE EMOBINADORA		FECHA: 7/8/2019	
ESCALA: 1: 1	EJE DEL REDUCTOR		

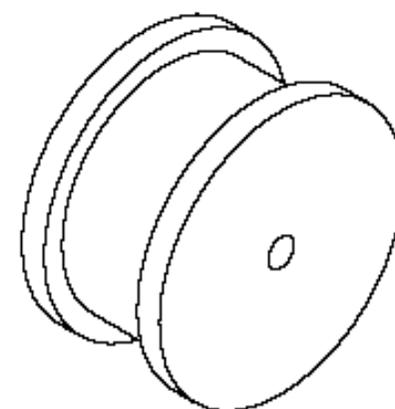
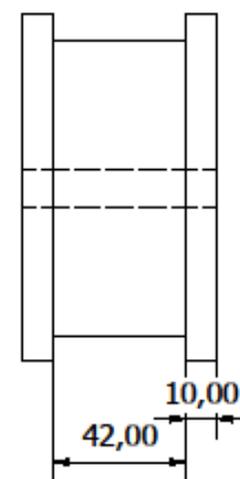
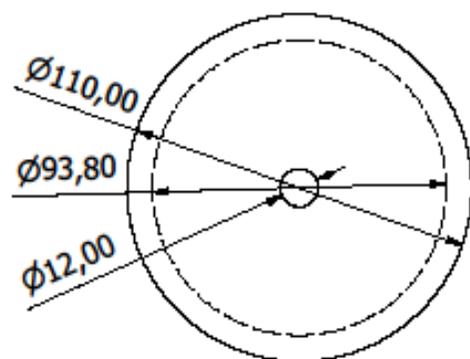




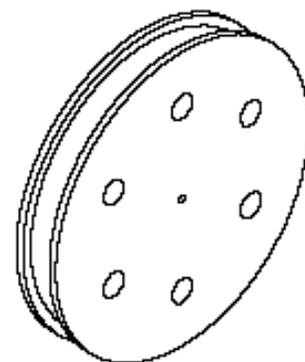
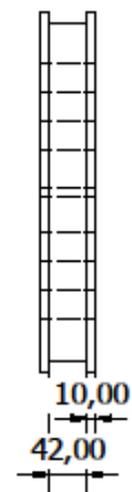
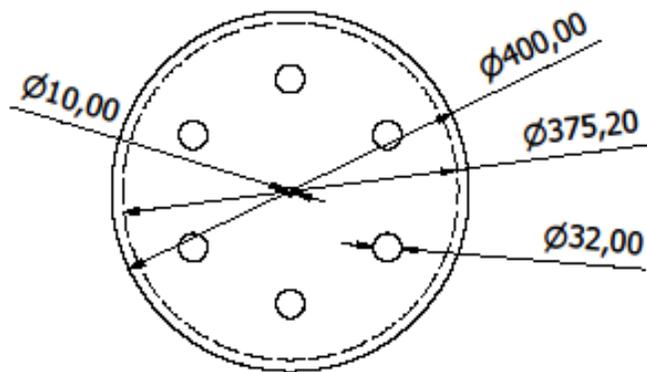
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		AUTORES: GUSTAVO COELLO BYRON MACÍAS
DISEÑO DE EMBOBINADORA		FECHA: 7/8/2019
ESCALA: 1:1	POLEA DEL MOTOR	



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		AUTORES: GUSTAVO COELLO BYRON MACÍAS
DISEÑO DE EMBOBINADORA		FECHA: 7/8/2019
ESCALA: 1 : 2	POLEA INTERMEDIA I	



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		AUTORES: GUSTAVO COELLO BYRON MACÍAS
DISEÑO DE EMBOBINADORA		FECHA: 7/9/2019
ESCALA: 1 : 2	POLEA INTERMEDIA 2	



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL  
LITORAL FACULTAD DE INGENIERIA  
MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA  
PRODUCCIÓN

AUTORES:  
GUSTAVO COELLO  
BYRON MACÍAS

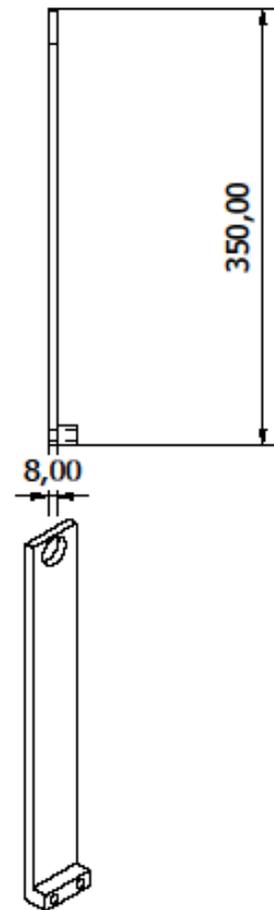
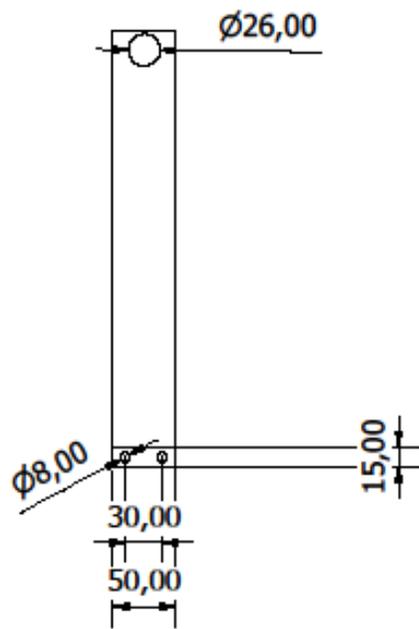
FECHA: 7/8/2019

DISEÑO DE EMBOBINADORA

ESCALA: 1 : 7

POLEA MAYOR





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		AUTORES: GUSTAVO COELLO BYRON MACÍAS
DISEÑO DE EMBOBINADORA		FECHA: 8/19/2019
ESCALA: 1 : 5	SOPORTE DEL EJE PARA CARRETE	