

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

" Efecto del procesamiento de polietileno de alta densidad reciclado en la
demanda de energía en el proceso de extrusión"

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Rommel Humberto Salas Arévalo

Luis Alfredo Quiroz Rosero

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mi mamá, Narciza, que siempre ha sido el pilar fundamental para que pueda cumplir mis objetivos brindándome su apoyo incondicional; a mi tía Carmen cuya labor incesante de criarnos y cuidarnos a mí, a mi hermana y mis primos es uno de los motivos por los cuales he podido llegar a esta meta.

A mi hermana Diana, a mis primos, Luis y Joselyn, que siempre han estado conmigo en todo momento, dándome apoyo para salir adelante.

A mi sobrina, Dania, pequeña luz en mi vida que me motiva a crecer cada día más para poder ser un ejemplo para ella.

A mi familia, amigos y docentes que siempre estuvieron al pendiente de que este proyecto culmine con éxito.

Rommel Salas Arévalo

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mis padres (Carmen, Gustavo) que estuvieron siempre ahí para apoyarme en todas las decisiones que he tomado hasta el momento, a mi familia, amigos, compañeros de trabajo y profesores que con su ayuda y apoyo incondicional permitieron la culminación exitosa de esta etapa de mi vida.

Luis Alfredo Quiroz Rosero.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros más sinceros agradecimientos al PhD. Andrés Rigail, tutor de nuestro proyecto integrador, el cual siempre estuvo dispuesto a escuchar sugerencias, guiarnos en los procesos que se realizaron en el proyecto y explicarnos ciertas cosas relacionadas con el mismo.

Además, queremos dar las gracias al MSc. José Pilataxi, encargado del laboratorio de plásticos por toda la paciencia que tuvo con nosotros y toda la colaboración que dio para que sea posible realizar el Proyecto. Al MSc. Julio Cáceres, a la Ing. Johanna Alava, y al personal del LEMAT que tuvieron toda la predisposición de ayudarnos siempre.

Finalmente, un agradecimiento muy especial al MSc. Raul Intriago, a nuestros compañeros José Quijije y Estefanía Sevillano, cuya valiosa aportación y su mera disposición a colaborar con nosotros permitieron desarrollar de manera exitosa este proyecto.


Rommel y Alfredo

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Rommel Humberto Salas Arévalo* y *Luis Alfredo Quiroz Rosero* 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”



Rommel Humberto
Salas Arévalo



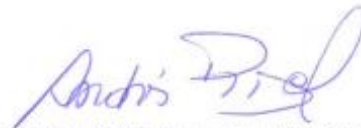
Luis Alfredo Quiroz
Rosero

EVALUADORES



Msc. Rodolfo Ezequiel Paz Mora

PROFESOR DE LA MATERIA



PhD. Andrés Francisco Rigail Cedeño

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

En la actualidad, en el Ecuador el proceso de extrusión de plásticos tiene el mayor porcentaje en cuanto a fabricación de productos a nivel industrial se refiere. El polietileno de alta densidad abarca cerca del 70% de las importaciones de plásticos en el país. Por tal motivo, estudiar el consumo de energía eléctrica del procesamiento de polietilenos reciclados mezclado con otros elementos mejoradores de procesos o propiedades como nanoarcillas y aditivos es de gran importancia, ya que encontrando un punto óptimo de funcionamiento en las condiciones de proceso de este material se puede incentivar a la industria a usar en un mayor porcentaje el reciclado de polietileno de alta densidad (rHDPE), debido a que pueden obtener una relación costo beneficio favorable.

Con el fin de obtener las relaciones de energía y características de procesamiento, se trabajó en una extrusora industrial y con un medidor de calidad de energía Fluke 435. Para tales efectos, se realizaba mediciones de consumo de energía a distintas velocidades de rotación del tornillo, mientras se procesaban las distintas mezclas de material previamente preparadas, las cuales eran: 100%rHDPE, 97%rHDPE con 3% de nanoarcilla C20A, 95%rHDPE con 5% de aditivo OBC, 92%rHDPE con 3% de nanoarcilla C20A y 5% de aditivo OBC.

Una vez procesadas las distintas mezclas, se realizaron probetas de cada una, a las cuales se le realizaron análisis de difracción de rayos X y microscopía electrónica de barrido en el Laboratorio de Ensayos Metrológicos y Materiales de ESPOL (LEMAT), que permitieron caracterizar las muestras.

Finalmente, los resultados mostraron que el consumo de energía por kilogramo de proceso es menor en las mezclas que poseen la nanoarcilla C20A y además se mezcló de mejor manera cuando fue procesada a una velocidad de 30 revoluciones por minuto (RPM). Lo que permitió concluir que a} 30RPM es el punto óptimo de procesamiento de rHDPE cuando se mezcla con la nanoarcilla C20A ya que se obtiene un menor consumo de energía y mejores propiedades mecánicas.

Palabras Clave: Reciclado de polietileno de alta densidad, consumo de energía, nanoarcilla C20A, aditivo OBC, velocidades de rotación.

ABSTRACT

The process of extrusion of plastics has the highest percentage in terms of manufacturing products at the industrial level. Being the high density polyethylene, the polymer with the highest use in the country; reason why study the consumption of electrical energy while processing this recycled plastic mixed with other elements such as nanoclays and additives is of great importance, since finding an optimal point of operation in the process conditions of this material can encourage to the industry to use in a higher percentage the recycling of high density polyethylene (rHDPE), because they can obtain a favorable cost-benefit ratio.

In order to obtain the aforementioned relationships, we worked in an industrial extruder and with a Fluke 435 energy quality meter, which made measurements of energy consumption at different speeds of rotation of the screw, while processing the different mixtures of previously prepared material, which were: 100% rHDPE, 97% rHDPE with 3% of nanoclay C20A, 95% rHDPE with 5% of additive OBC, 92% rHDPE with 3% of nanoclay C20A and 5% of additive OBC.

Once the different mixtures were processed, samples of each were made, to which X-ray diffraction analysis and scanning electron microscopy were performed in the ESPOL Metrological and Material Testing Laboratory (LEMAT), which allowed to characterize the samples.

Finally, the results showed that energy consumption per kilogram of process is lower in the mixtures that have the nanoclay C20A and also mixed better when it was processed at a speed of 30 revolutions per minute (RPM). This allowed us to conclude that at 30RPM it is the optimum point of processing of HDPE when mixed with the C20A nanoclay since it results in lower energy consumption and better mechanical properties.

Keywords: *Recycled high density polyethylene, energy consumption, nanoclay C20A, OBC additive, rotation speeds.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Justificación del proyecto	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Marco teórico	5
1.4.1 Plásticos	5
1.4.2 Calorimetría Diferencial de Barrido (CDB)	6
1.4.3 Microscopia Electrónica de Barrido (MEB).....	7
1.4.4 Difractometría de Rayos X (DRX)	7
CAPÍTULO 2.....	8
2. Metodología.....	8
2.1 Descripción de la materia prima	10
2.1.1 Reciclado de HDPE	10
2.1.2 Organoarcilla Cloisite 20A	10

2.1.3	Copolímero de bloque de olefina (OBC)	10
2.2	Identificación del reciclado (polímero)	11
2.2.1	Determinación de los compuestos presentes en la mezcla	12
2.3	Preparación de la materia prima.....	13
2.4	Proceso de preparación de mezclas	14
2.5	Preparación y caracterización de las probetas	19
2.5.1	Microscopía electrónica de Barrido (SEM)	21
2.5.2	Propiedades reológicas	22
2.5.3	Difracción de rayos X (XRD)	23
CAPÍTULO 3.....		26
3.	Resultados Y ANÁLISIS	26
3.1	Resultados de Caracterización del Material	26
3.2	Resultados de Consumo de Energía	28
3.3	Resultados de Temperatura de Salida del Material	39
3.4	Resultados de Presión Manométrica a la Salida del Material	40
3.5	Resultados de Caracterización del Material Procesado.....	41
3.5.1	Polietileno de Alta Densidad Reciclado Puro (100% rHDPE)	41
3.5.2	Polietileno de Alta Densidad Reciclado con Aditivo OBC (95% rHDPE + 5%OBC)	42
3.5.3	Polietileno de Alta Densidad Reciclado con Nanoarcilla C20A (97% rHDPE + 3%C20A)	44
3.5.4	Polietileno de Alta Densidad Reciclado mezclado con Nanoarcilla C20A y Aditivo OBC (92%rHDPE + 3%C20A+5%OBC).....	45
3.6	Resultados de Reología del Material Procesado	46
CAPÍTULO 4.....		48
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
	Conclusiones	48

Recomendaciones 49

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICES

ABREVIATURAS

ASTM	American Society for Testing and Materials
C20A	Cloisite 20A
CDB	Calorimetría Diferencial de Barrido
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIEC	Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
FIMCP	Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
LEMAT	Laboratorio de Ensayos Metrológicos y de Materiales
rHDPE	Recycled High Density Polyethylene
rPET	Recycled Polyethylene terephthalate
MEB	Microscopía Electrónica de Barrido
OBC	Olefin Block Copolymer
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
TA	Thermal Analyzers
TGA	Thermogravimetric Analysis
DRX	Difractometría de Rayos X

SIMBOLOGÍA

Å	Ángstrom
g	Gramo
Kg	Kilogramo
Kwh	Kilovatio Hora
J	Joule
RPM	Revoluciones Por Minuto
m	Metro
O	Oxígeno
Cu	Cobre
Ni	Níquel
C	Carbono
Mn	Manganeso
P	Fósforo
psi	Libras por pulgadas al cuadrado
cm ³	Centímetros cúbicos
mEq	Miliequivalentes

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1	Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	2
Figura 2. 1	Esquema de la metodología del diseño experimental.....	9
Figura 2. 2	Brabender Plastograh EC Plus.....	11
Figura 2. 3	Calorímetro Diferencial de Barrido, marca TA Instruments, modelo Q200..	12
Figura 2. 4	Proceso de decantado para obtener 100% HDPE.....	13
Figura 2. 5	Horno de secado de la marca SECAGEM cuyo modelo es el Q317M.....	14
Figura 2. 6.	Proceso de secado en recipientes de aluminio.....	14
Figura 2. 7.	Representación esquemática de una extrusora de husillo sencillo.....	15
Figura 2. 8.	Representación esquemática del dado de la extrusora utilizada.....	16
Figura 2. 9.	Tornillo de una extrusora.....	16
Figura 2. 10.	Equipo medidor de calidad de energía Fluke 435.....	17
Figura 2. 12.	Aerosol para Placa Metálica.....	20
Figura 2. 13.	Microscopio electrónico de barrido (MEB).....	21
Figura 2. 14.	Reómetro rotacional de marca Malver, modelo Kinexus Pro.....	22
Figura 2. 15.	Difractómetro de rayos X, marca PAN Analytical modelo Xpert-PRO.....	23
Figura 3. 1.	Calorimetría diferencial de barrido del material provisto por el cliente.....	26
Figura 3. 2.	Calorimetría diferencial de barrido al material limpiado.....	27
Figura 3. 3.	Resultado cuantitativo de los componentes de la muestra.....	27
Figura 3. 4.	Porcentaje de los elementos componentes de la muestra.....	28
Figura 3. 5.	Consumo de Energía vs Velocidad de rotación del tornillo.....	29
Figura 3. 6.	Caudal de salida de material vs Velocidad de rotación del tornillo.....	30
Figura 3. 7.	Consumo de Energía Específica vs Velocidad de rotación del tornillo.....	32
Figura 3. 8.	Consumo de energía por Volumen de producción (kg) x 1000.....	33
Figura 3. 9.	Consumo de energía por Volumen de producción (kg) x 1000.....	35
Figura 3. 10.	Consumo de energía por Volumen de producción (kg) x 1000.....	36
Figura 3. 11.	Consumo de energía por Volumen de producción (kg) x 1000.....	38
Figura 3. 12.	Temperatura de salida vs Velocidad de rotación del tornillo.....	39
Figura 3. 13.	Presión Manométrica de salida vs Velocidad de rotación del tornillo.....	40
Figura 3. 14.	Difractometría de Rayos X de la muestra de 100%rHDPE.....	41
Figura 3. 15.	Imágenes superficiales del rHDPE puro procesado a 30RPM.....	42
Figura 3. 16.	Difractometría de Rayos X de la mezcla de 95%rHDPE y 5%OBC.....	43

Figura 3. 17. Imagen superficial de la mezcla de 95%rHDPE+5%OBC.....	43
Figura 3. 18. Difractometría de Rayos X de la mezcla de 97%rHDPE.....	44
Figura 3. 19. Difractometría de Rayos X de la mezcla de 92%rHDPE, 3%C20A.....	45
Figura 3. 20. Viscosidad vs Velocidad de Corte.....	46
Figura A. 1. Ficha Técnica Cloisite 20A parte 1.....	54
Figura A. 2. Ficha Técnica Cloisite 20A parte 2.....	55
Figura B. 1. Ficha Técnica Copolímero de Bloque de Olefina (OBC) - parte 1.....	56
Figura B. 2. Ficha Técnica Copolímero de Bloque de Olefina (OBC) - parte 2.....	57
Figura C. 1. Masa antes de humedecer y secar – 1.....	58
Figura C. 2. Masa después de secar - 1.....	58
Figura C. 3. Masa antes de humedecer y secar – 2.....	58
Figura C. 4. Masa después de secar – 2.....	59
Figura C. 5. Masa antes de humedecer y secar – 3.....	59
Figura C. 6. Masa después de secar – 3.....	59
Figura. E. 1. DRX de la mezcla 97% rHDPE + 3%C20A a 10RPM.....	70
Figura. E. 2. Características de la mezcla 97% rHDPE + 3%C20A a 10RPM.....	70
Figura. E. 3. MEB de la mezcla 97% rHDPE + 3%C20A a 10RPM.....	71
Figura. E. 4. DRX de la mezcla 97% rHDPE + 3%C20A a 20RPM.....	71
Figura. E. 5. Características de la mezcla 97% rHDPE + 3%C20A a 20RPM.....	71
Figura. E. 6. MEB de la mezcla 97% rHDPE + 3%C20A a 20RPM.....	72
Figura. E. 7. DRX de la mezcla 97% rHDPE + 3%C20A a 30RPM.....	72
Figura. E. 8. Características de la mezcla 97% rHDPE + 3%C20A a 30RPM.....	72
Figura. E. 9. MEB de la mezcla 97% rHDPE + 3%C20A a 30RPM.....	73
Figura. E. 10. DRX de la mezcla 97% rHDPE + 3%C20A a 40RPM.....	73
Figura. E. 11. Características de la mezcla 97% rHDPE + 3%C20A a 40RPM.....	73
Figura. E. 12. MEB de la mezcla 97% rHDPE + 3%C20A a 30RPM.....	74
Figura. E. 13. DRX de la mezcla 97% rHDPE + 3%C20A a 50RPM.....	74
Figura. E. 14. Características de la mezcla 97% rHDPE + 3%C20A a 50RPM.....	74
Figura. E. 15. MEB de la mezcla 97% rHDPE + 3%C20A a 50RPM.....	75
Figura. E. 16. DRX de la mezcla 92% rHDPE+3%C20A+5%OBC a 10RPM.....	75
Figura. E. 17. Características de la mezcla 92% rHDPE+3%C20A+5%OBC.....	76
Figura. E. 18. MEB de la mezcla 92% rHDPE+3%C20A+5%OBC a 10RPM.....	76

Figura. E. 19. DRX de la mezcla 92% rHDPE+3%C20A+5%OBC a 20RPM.....	76
Figura. E. 20. Características de la mezcla 92% rHDPE+3%C20A+5%OBC	77
Figura. E. 21. MEB de la mezcla 92% rHDPE+3%C20A+5%OBC a 20RPM.....	77
Figura. E. 22. DRX de la mezcla 92% rHDPE+3%C20A+5%OBC a 30RPM.....	77
Figura. E. 23. Características de la mezcla 92% rHDPE+3%C20A+5%OBC	78
Figura. E. 24. MEB de la mezcla 92% rHDPE+3%C20A+5%OBC a 30RPM.....	78
Figura. E. 25. DRX de la mezcla 92% rHDPE+3%C20A+5%OBC a 40RPM.....	78
Figura. E. 26. Características de la mezcla 92% rHDPE+3%C20A+5%OBC	79
Figura. E. 27. MEB de la mezcla 92% rHDPE+3%C20A+5%OBC a 40RPM.....	79
Figura. E. 28. MEB de la mezcla 92% rHDPE+3%C20A+5%OBC a 50RPM.....	79
Figura. E. 29. MEB de la mezcla 92% rHDPE+3%C20A+5%OBC	80
Figura. E. 30. MEB de la mezcla 92% rHDPE+3%C20A+5%OBC a 50RPM.....	80
Figura. E. 31. DRX de la mezcla 100% rHDPE a 10RPM.....	80
Figura. E. 32. Característica de la mezcla 100% rHDPE a 10RPM	81
Figura. E. 33. DRX de la mezcla 100% rHDPE a 20RPM.....	81
Figura. E. 34. Características de la mezcla 100% rHDPE a 10RPM.....	81
Figura. E. 35. DRX de la mezcla 100% rHDPE a 30RPM.....	82
Figura. E. 36. Características de la mezcla 100% rHDPE a 30RPM.....	82
Figura. E. 37. DRX de la mezcla 100% rHDPE a 40RPM.....	82
Figura. E. 38. Características de la mezcla 100% rHDPE a 40RPM.....	83
Figura. E. 39.. DRX de la mezcla 100% rHDPE a 50RPM.....	83
Figura. E. 40. Características de la mezcla 100% rHDPE a 40RPM.....	83
Figura. E. 41. DRX de la mezcla 95% rHDPE+5%OBC a 10RPM.....	84
Figura. E. 42. Características de la mezcla 95% rHDPE+5%OBC a 10RPM.....	84
Figura. E. 43. DRX de la mezcla 95% rHDPE+5%OBC a 20RPM.....	85
Figura. E. 44. Características de la mezcla 95% rHDPE+5%OBC a 20RPM.....	85
Figura. E. 45. DRX de la mezcla 95% rHDPE+5%OBC a 30RPM.....	85
Figura. E. 46. Características de la mezcla 95% rHDPE+5%OBC a 30RPM.....	86
Figura. E. 47. DRX de la mezcla 95% rHDPE+5%OBC a 40RPM.....	86
Figura. E. 48. Características de la mezcla 95% rHDPE+5%OBC a 40RPM.....	86
Figura. E. 49. DRX de la mezcla 95% rHDPE+5%OBC a 50RPM.....	87
Figura. E. 50. Características de la mezcla 95% rHDPE+5%OBC a 50RPM.....	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1. Parámetros de operación del reómetro Brabender	11
Tabla 2. 2. Parámetros de operación del reómetro Brabender	11
Tabla 2. 3. Parámetros de operación del CDB	12
Tabla 2. 4. Proporciones de las mezclas realizadas.....	15
Tabla 2. 5. Perfil de temperatura para el proceso de extrusión.....	16
Tabla 2. 6. Formato para la toma de datos en el proceso de extrusión	18
Tabla 2. 7. Datos tomados durante la prueba de rHDPE+ Arcilla + Aditivo.....	18
Tabla 2. 8. Tipo de ensayo no destructivo y probeta a realizar.....	21
Tabla 2. 9. Condiciones de trabajo del reómetro rotacional de platos.....	22
Tabla 2. 10. Parámetros de operación del difractor de rayos X.	23
Tabla 2. 11. Resumen para graficar consumo de energía específica, caudal,.....	24
Tabla 2. 12. Resumen para graficar Temperatura VS Velocidad de tornillo.....	25
Tabla 3. 1. Simbología utilizada para describir a las variables.....	28
Tabla 3. 2. Consumo de energía de las distintas mezclas a distintas velocidades	29
Tabla 3. 3. Caudal obtenido de las distintas mezclas a distintas velocidades.....	30
Tabla 3. 4. Consumo de energía específica a distintas velocidades.....	31
Tabla 3. 5. Consumo de energía por Volumen de producción (kg) x 1000	33
Tabla 3. 6. Consumo de energía por Volumen de producción (kg) x 1000	34
Tabla 3. 7. Consumo de energía por Volumen de producción (kg) x 1000	36
Tabla 3. 8. Consumo de energía por Volumen de producción (kg) x 1000	37
Tabla 3. 9. Temperatura de salida vs Velocidad de rotación del tornillo	39
Tabla 3. 10. Presión Manométrica de salida vs Velocidad de rotación del tornillo	40
Tabla D. 1. Mediciones realizadas al rHDPE puro a 10 RPM	60
Tabla D. 2. Mediciones realizadas al rHDPE puro a 20 RPM	60
Tabla D. 3. Mediciones realizadas al rHDPE puro a 30 RPM	61
Tabla D. 4. Mediciones realizadas al rHDPE puro a 40 RPM	61
Tabla D. 5. Mediciones realizadas al rHDPE puro a 50 RPM	62
Tabla D. 6. Mediciones realizadas a la mezcla 95%rHDPE + 5%OBC a 10 RPM	62
Tabla D. 7. Mediciones realizadas a la mezcla 95% rHDPE + 5%OBC a 20 RPM	63
Tabla D. 8. Mediciones realizadas a la mezcla 95%rHDPE + 5%OBC a 30 RPM	63
Tabla D. 9. Mediciones realizadas a la mezcla 95% rHDPE + 5%OBC a 40 RPM	64

Tabla D. 10. Mediciones realizadas a la mezcla 95% rHDPE + 5%OBC a 50 RPM	64
Tabla D. 11. Mediciones realizadas a la mezcla 95%Rhdpe + 3%C20A a 10 RPM.....	65
Tabla D. 12. Mediciones realizadas a la mezcla 95%Rhdpe + 3%C20A a 20 RPM.....	65
Tabla D. 13. Mediciones realizadas a la mezcla 95%Rhdpe + 3%C20A a 30 RPM.....	66
Tabla D. 14. Mediciones realizadas a la mezcla 95%Rhdpe + 3%C20A a 40 RPM.....	66
Tabla D. 15. Mediciones realizadas a la mezcla 95%Rhdpe + 5%OBC a 50 RPM.....	67
Tabla D. 16. Mediciones realizadas a la mezcla 92%Rhdpe+ 3% C20A+ 5%OBC.....	67
Tabla D. 17. Mediciones realizadas a la mezcla 92% rHDPE+ 3%C20A + 5%OBC	68
Tabla D. 18. Mediciones realizadas a la mezcla 92% rHDPE+ 3% C20A+ 5%OBC	68
Tabla D. 19. Mediciones realizadas a la mezcla 92%rHDPE+ 3% C20A+ 5%OBC	69
Tabla D. 20. Mediciones realizadas a la mezcla 92% rHDPE+ 3% C20A+ 5%OBC	69
Tabla F. 1. Resultados de Reología de todas las mezclas a 30RPM.....	88

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Según datos registrados en el INEC hasta mayo de 2018, la cantidad promedio de desechos sólidos que se produce en las zonas urbanas del Ecuador es de 0.58 kilogramos por habitante, siendo Guayaquil la ciudad más poblada del Ecuador con una población estimada de cuatro millones de habitantes; se considera que es la ciudad que mayor cantidad de desechos produce, sin embargo, del total de la población solo el 47.24% clasifica los mismos.

Se estima que para el año 2021 la cifra de botellas plásticas vendidas en el mundo llegue a los 583 billones de acuerdo con los informes de Euromonitor International; pese a esto, en la actualidad solo el 7% de las botellas recicladas es convertida en nuevos productos. Esto se da debido a que las grandes productoras a nivel mundial se reusan a usar el plástico reciclado ya que quieren que su producto esté expuesto en un plástico brillante y transparente, cualidades que no se obtienen en un plástico reciclado. (Morgan, 2017).

Sin embargo, en la búsqueda de reprocesar el plástico y otros elementos con el fin de darle otras aplicaciones, el Ministerio del Ambiente del Ecuador desarrolló en el 2010 el Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos, cuyo objetivo es mejorar la disposición final de los residuos sólidos, de tal forma que, siempre que sea posible, se puedan reintegrar a la cadena de uso generando así una economía circular.

Teniendo en cuenta que en el proceso de extrusión de plásticos aproximadamente el 50% de energía se utiliza para impulsar el tornillo, mientras que el porcentaje restante es utilizado para elevar la temperatura de las resistencias, el funcionamiento del equipo de refrigeración, entre otros (Novoa et al., 2009). Es preciso acotar que dependiendo del material que vaya a impulsar el tornillo se puede dar un mayor o

menor consumo de energía, el cual puede ser modificado debido a las diferentes condiciones de proceso.

En la actualidad, en el Ecuador las industrias buscan generar un modelo de negocio que implemente la economía circular y permita reducir costos de producción, en lo que influye en un gran porcentaje el consumo de energía; todo esto con el fin de dejar de lado el modelo lineal en el que los productos que pueden ser reutilizables solo tienen una vida útil y posterior a ello son desechados.

De esta manera, se contribuirá con algunos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) mostrados en la Figura 1.1, según detalle:

- Agua Limpia y Saneamiento
- Producción y consumos responsable
- Acción por el clima
- Vida submarina
- Vida de ecosistemas diferentes



Figura 1. 1 Objetivos de Desarrollo Sostenible

Fuente: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2016

1.1 Descripción del problema

En la actualidad el uso de productos hechos a base de plástico está siendo reglamentado debido al gran impacto medio ambiental que este genera, manifestándose en la contaminación de mares, ríos, entre otros. Una de las

alternativas para tratar de combatir la excesiva contaminación causada por este polímero, es la reintegración de este material a la industria para ser procesado nuevamente, es decir, reciclar el plástico ya utilizado para la fabricación de nuevos productos que puedan ser útiles en la sociedad. Sin embargo, la alternativa en cuestión no siempre es rentable para los fabricantes debido a que el polímero reciclado no suele tener las mismas propiedades que tenía en su primer procesamiento, lo que evita que se genere un producto de similar o igual calidad que el producto que se hubiese obtenido si se hubiese usado plástico virgen.

Debido a las razones antes expuestas, para reprocesar el plástico se suelen usar aditivos o arcillas que mejoren sus características, sin embargo, debido a que se tiene poco conocimiento de la relación del plástico, con o sin aditivos, y el consumo de energía eléctrica que se pueda generar en el proceso de extrusión; es incierto para los fabricantes de productos de plástico establecer si la relación costo beneficio será favorable para ellos, es decir, probablemente se podría obtener un producto con buenas cualidades, pero el costo de fabricación del mismo (costo de aditivos, consumo de energía, capacitación de personal, entre otros) puede llegar a ser elevado en comparación con el costo de haber utilizado un polímero virgen.

1.2 Justificación del proyecto

Normalmente, los costos del proceso de extrusión de plástico se deben en un 50% al costo de materia prima y en un 25% a los costos de consumo de energía eléctrica.

Al ser el consumo de energía eléctrica, el segundo rubro de mayor importancia en cuanto a costos se refiere en el procesamiento de plásticos, es imprescindible realizar un estudio que permita conocer el efecto de las distintas combinaciones de polímero fundido en la eficiencia térmica de una extrusora de mono-tornillo. Esto permitiría conocer la demanda de energía de la máquina en la manufactura de un producto extruido.

Además, debido a que en la actualidad las empresas fabricantes de productos de plásticos están empezando a ser reglamentadas, lo que las obligará a usar

cierta cantidad de plástico reciclado en el proceso de manufactura. Por tal razón, ciertos sectores de la industria que se dedican al procesamiento elementos a base de plástico han solicitado un estudio de la factibilidad que conlleva a realizar productos con material reciclado y con la inclusión de organoarcillas o aditivos que se encuentran disponibles en el mercado. Con la finalidad de que se pueda generar a base del reciclado de tapas que están hechas a base de polietileno de alta densidad (rHDPE), nuevos productos que puedan tener una participación potencialmente activa en el mercado, de tal manera que con este material reciclado se pueda obtener características similares, iguales o mejoradas en comparación con un plástico virgen procurando un consumo de energía óptimo en el proceso de extrusión.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Determinar el punto óptimo de operación de una extrusora de monotonillo, con distintas combinaciones de material reciclado de polietileno de alta densidad (rHDPE), arcillas y aditivos, generando un material con buenas características y un bajo consumo de energía eléctrica.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Medir la temperatura del material en el momento que sale del dado de la extrusora mediante el uso de una cámara infrarroja.
2. Medir la presión que se genera en el proceso de extrusión de las distintas combinaciones del rHDPE con/sin aditivos y arcillas.
3. Cuantificar en tiempo real el consumo de energía de la extrusora usando el equipo de medición FLUKE 435.
4. Verificar los efectos de cinco velocidades de rotación del tornillo y un perfil de temperatura, eligiendo la velocidad óptima de rotación del tornillo.
5. Hacer los ensayos de caracterización del material, utilizando las probetas obtenidas.

6. Determinar el efecto de la reología del rHDPE con/sin aditivos y arcillas en el consumo de energía del proceso.
7. Comparar el consumo de energía de las distintas combinaciones del rHDPE con/sin aditivos y arcillas, bajo las condiciones indicadas del proceso.
8. Analizar la relación entre el consumo de energía y el flujo másico y volumétrico de salida del material.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Plásticos

Se denomina plástico a un tipo de polímero que es constituido por una gran cantidad de compuestos orgánicos, sintéticos o semisintéticos, principalmente el carbono, que poseen la propiedad de ser maleables cuando se someten a ciertas condiciones de presión y temperatura.

1.4.1.1 Clasificación de los Plásticos

Los plásticos se clasifican en dos grandes grupos: los termoplásticos y los termofijos.

Los Termoplásticos son un tipo de plásticos que posee la característica de poder ser ablandecido por calentamiento y endurecido por enfriamiento en repetidas ocasiones dentro de un rango de temperaturas, con el fin de poder ser moldeados en el proceso de calentamiento, ya sea por extrusión o por inyección. Este tipo de plásticos puede ser reciclado para generar otros productos. Entre los termoplásticos tenemos: Polipropileno (PP), Polietileno (PE), Policarbonato (PC), Cloruro de Polivinilo (PVC), etc.

Los Termofijos son un tipo de plásticos que posee la característica de no poder ser reprocesado nuevamente después de haber sido curado por cualquier método, entre ellos el calor, es decir, no pueden ni reciclarse,

soldarse o disolverse. Entre los termofijos tenemos: Poliuretanos, Silicones, Epóxicos, etc.

1.4.1.2 Procesamiento de Plásticos

Existen varios métodos para realizar el procesamiento de plásticos, los que se utilizan dependiendo del producto que se quiera fabricar; entre los principales tenemos al moldeo por inyección y por extrusión.

Moldeo por Inyección es un proceso que consiste en insertar el polímero fundido en un molde frío que se encuentra cerrado y a una presión establecida mediante una compuerta que es un orificio pequeño. En este molde el plástico se enfría y solidifica, obteniendo el producto final.

Moldeo por Extrusión es un proceso que consiste en fundir el polímero depositado en una tolva que es procesado por medio de un tornillo helicoidal que ejerce una presión y arrastre del material a través de una camisa calefactora, lo que termina en la obtención de un flujo continuo de material, cuya forma es determinada por el cabezal o dado ubicado a la salida de la camisa.

1.4.2 Calorimetría Diferencial de Barrido (CDB)

Es una técnica termo analítica que permite someter a una muestra a un aumento de temperatura lineal en un intervalo de temperaturas previamente establecido por el usuario, con el fin de identificar los posibles elementos de los que está compuesto la muestra mediante la cuantificación de la cantidad de calor que se necesita para fundir la muestra por completo, considerando que los elementos que conforman a la misma tienen diferentes puntos de fusión.

1.4.3 Microscopia Electrónica de Barrido (MEB)

Es una técnica que somete a una superficie previamente preparada a un haz de electrones con el fin de obtener imágenes de alta resolución de la superficie, lo que permite identificar cualitativamente la presencia de partículas de algún otro elemento sobre una matriz de material base.

1.4.4 Difractometría de Rayos X (DRX)

Es una técnica que consiste en exponer una muestra a un haz de rayos x, con el fin de obtener las características cuantitativas y cualitativas de la muestra que permiten identificar el estado de las fases cristalinas en ella. Normalmente, es usado para determinar cuantitativamente la dispersión de un elemento en una matriz de material base, así como también la cantidad porcentual de los elementos que conforman una muestra.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

El desarrollo de esta investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Procesamiento de Plásticos de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP). La caracterización de los productos obtenidos se realizó en el Laboratorio de Ensayos Metrológicos y de Materiales (LEMAT). Ambos laboratorios se encuentran establecidos en la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL).

De manera general, el diseño experimental de la investigación es:

- I. Planteamiento del problema
- II. Elección de fuente bibliográfica y técnicas de investigación
- III. Elección de equipos de instrumentación
- IV. Determinación de las condiciones de operación para los equipos a utilizar
- V. Diseño experimental (desarrollo)
- VI. Recopilación y procesamiento de los datos
- VII. Análisis de la información recopilada

La metodología empleada para el desarrollo de esta investigación, la podemos observar en la Figura 2.1.

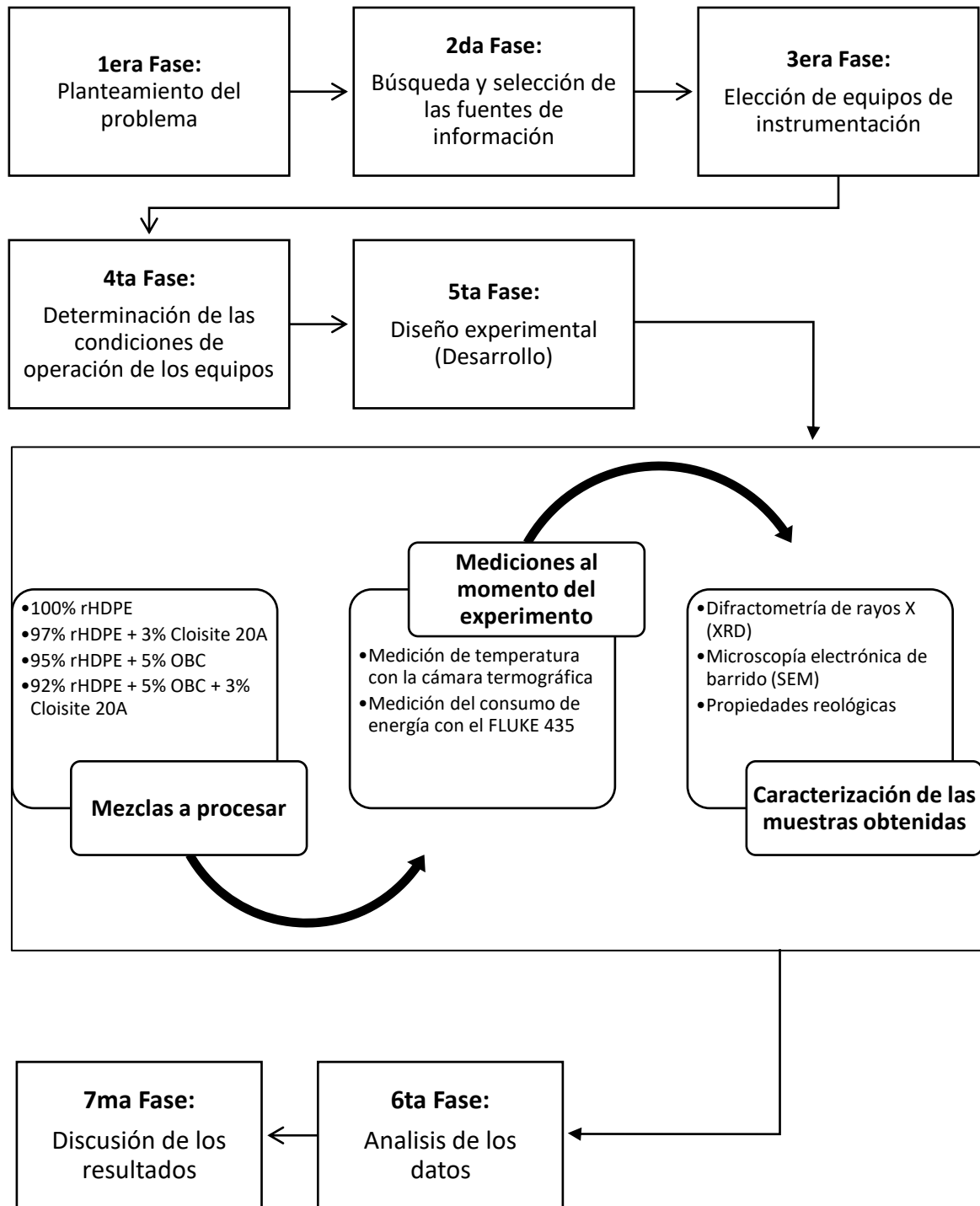


Figura 2. 1 Esquema de la metodología del diseño experimental

Fuente: Elaboración Propia

2.1 Descripción de la materia prima

2.1.1 Reciclado de HDPE

Los materiales reciclados empleados en esta investigación fueron donados por una empresa recicladora ubicada en la ciudad de Guayaquil, se receptaron 3 sacos de 25 kg cada uno, los cuales contenían en su interior en un porcentaje mayoritario reciclado de tapas de botella. Por su procedencia e indicaciones del proveedor, se asumió por empirismo que el este, estaba compuesto de polietileno de alta densidad (HDPE), sin embargo, para verificar el material receptado, se procedió a caracterizarlo mediante el proceso descrito en el literal 2.2.

2.1.2 Organoarcilla Cloisite 20A

Se compone de montmorillonita mineral con una concentración de 95 mEq de 2M2HT/100 g de arcilla, la cual posee un porcentaje de humedad del 2%, densidad de 1,77 g/cm³, grado de dispersión por DRX d₀₀₁: 24.2 Å. (ver Anexo A).

La organoarcilla Cloisite 20A fue importada desde Estados Unidos de Norteamérica y adquirida en una empresa llamada Southern Clay Products Inc, la misma fue proporcionada por la FIMCP.

2.1.3 Copolímero de bloque de olefina (OBC)

Es un copolímero de bloque de olefina D5541, cuya característica principal es ser excelente compatibilizante entre el polietileno y polipropileno (ver Anexo B). Tiene una densidad de 0.863 g/cm³ (ASTM D792), temperatura de fusión de 120 °C (CDB), índice de fluidez 6.5 g/10min (ASTM D1238).

El copolímero de bloque olefina cuya procedencia es Dow Chemical Company fue proporcionado por la FIMCP.

2.2 Identificación del reciclado (polímero)

Antes de proceder con la preparación de la materia prima, se procedió a comprobar el contenido del material reciclado de plástico recibido evaluando el respectivo calor de fusión de la mezcla. Para ello se preparó una pequeña muestra de las mezclas mostradas en la Tabla 2.1, según detalle:

Tabla 2. 1. Parámetros de operación del reómetro Brabender

Material recibido	Masa (gr)
Mezcla 1	40
Mezcla 2	40

Fuente: Elaboración Propia

Posteriormente, estas mezclas, fueron fundidas en un reómetro de torque marca Brabender Plastograph EC Plus (Figura 2.2) bajo los parámetros de operación mostrados en la Tabla 2.2.

Tabla 2. 2. Parámetros de operación del reómetro Brabender

Masa del reciclado	40 gramos	
Velocidad del tornillo	60 rpm	
Tiempo de mezcla	10 minutos	
Temperatura	Zona 1	185 °C
	Zona 2	190 °C
	Zona 3	185 °C

Fuente: Elaboración Propia



Figura 2. 2 Brabender Plastograph EC Plus

Fuente: Laboratorio de Plásticos de la FIMCP

2.2.1 Determinación de los compuestos presentes en la mezcla

Para determinar si la mezcla se componía únicamente de reciclado de polietileno de alta densidad se empleó, el analizador térmico “Calorímetro Diferencial de Barrido (CDB)” de la marca TA Instrument, modelo Q200 (Figura 2.3). Dicho equipo se utilizó siguiendo la norma ASTM D3418-15 “Standard Test Method for Transition Temperatures and Enthalpies of Fusion and Crystallization of Polymers by Differential Scanning Calorimetry” la cual establece que, para determinar el calor de fusión de un material, el mismo se calienta o enfría, con un flujo constante de un gas de purga determinado para la entrada de calor, entre un material que sirve de referencia y el respectivo material a analizar.



Figura 2. 3 Calorímetro Diferencial de Barrido, marca TA Instruments, modelo Q200

Fuente: Laboratorio de Plásticos de la FIMCP

Para la evaluación de la mezcla se realizó un doble barrido de calentamiento y enfriamiento cuyos parámetros de operación se muestran en la Tabla 2.3.

Tabla 2. 3. Parámetros de operación del CDB

Masa de las muestras	10mg
Gas de purga	Nitrógeno (g) a 20 psi
Barrido de calentamiento	0 °C a 300 °C
Barrido de enfriamiento	300 °C a 0 °C
Velocidad de calentamiento/enfriamiento	10 °C/min

Fuente: Elaboración Propia

2.3 Preparación de la materia prima

De acuerdo a los resultados presentados en el literal 3.1. *Resultados de Caracterización del Material*, el material que se recibió estaba compuesto por polietileno de alta densidad (HDPE) y otros materiales los cuales se separaron mediante dos procesos los cuales consistían en lo siguiente:

Primero se procedió a separar de forma visual las etiquetas de productos que se sospechaban no estaban hechos de HDPE, posterior a ello se procedió a realizar un proceso físico llamado decantado que permite separar una mezcla utilizando la diferencia de densidades de los compuestos que conforman la misma, logrando así, que el material que no es HDPE se hunda debido a que su densidad es mayor que la densidad del agua, mientras que el HDPE flota debido a que la densidad es menor que la densidad del agua, ver Figura 2.4.

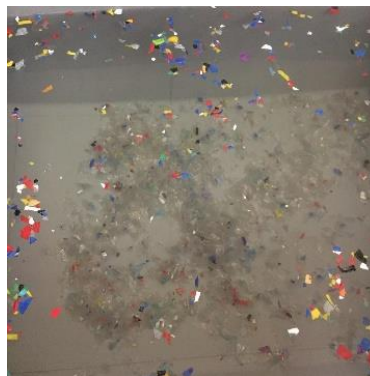


Figura 2. 4 Proceso de decantado para obtener 100% HDPE

Posteriormente, el reciclado de polietileno de alta densidad (rHDPE) húmedo fue secado en un horno marca: SECAGEM, modelo: Q317M (Figura 2.5), el cual fue colocado en recipientes de aluminio a 70°C durante 24 horas para eliminar por completo la humedad (ver Figura 2.6). Con el fin de verificar que el proceso de secado bajo esas condiciones no afecta la humedad intrínseca del material se realizaron tres pruebas de peso antes y después de secar (ver ANEXO C), en las que se demostró que la variación de peso es insignificante. Por otra parte, el aditivo OBC y la organoarcilla C20A también deben secarse en el horno a 60°C durante 24 horas.



Figura 2. 5 Horno de secado de la marca SECAGEM cuyo modelo es el Q317M
Fuente: Laboratorio de Plásticos de la FIMCP



Figura 2. 6. Proceso de secado en recipientes de aluminio
Fuente: Laboratorio de Plásticos de la FIMCP

2.4 Proceso de preparación de mezclas

Una vez secada la materia prima (rHDPE), el aditivo (OBC) y la organoarcilla (CLOISITE 20A), inmediatamente se procede a pesarlas en los porcentajes indicados en la Tabla 2.4. Estas mezclas pasarán posteriormente al proceso de extrusión.

Tabla 2. 4. Proporciones de las mezclas realizadas.

Mezcla	rHDPE (%)	Aditivo OBC (%)	Arcilla CLOISITE 20A (%)	Total (%)
rHDPE Puro	100	0	0	100
rHDPE + Aditivo	95	5	0	100
rHDPE + Arcilla	97	0	3	100
rHDPE + Arcilla + Aditivo	92	5	3	100

Fuente: Elaboración propia

Proceso de extrusión

En el proceso de extrusión se establecieron los parámetros de operación de la extrusora (Figura 2.7), donde principalmente se detalló el tipo de tornillo (Figura 2.9), así como también el tipo de cabezal (Figura 2.8) y, por último, el perfil de temperatura para procesar los diferentes tipos de mezclas sujetas en esta investigación.

Para el proceso de mezclado se empleó una extrusora de tornillo simple L/D=26, fabricado en acero V-820 y con dureza de 70/72 RC, ver Figura 2.9.

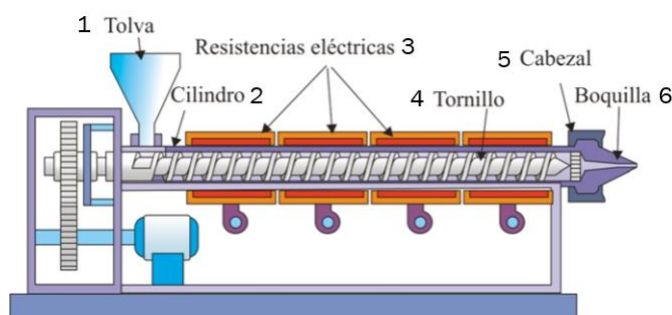


Figura 2. 7. Representación esquemática de una extrusora de husillo sencillo

Fuente: Beltrán, Marcilla, 2012

El cabezal utilizado para este proceso de extrusión es de 8 perfiles circulares de 3 mm de diámetro tal como se muestra en la Figura 2.8.

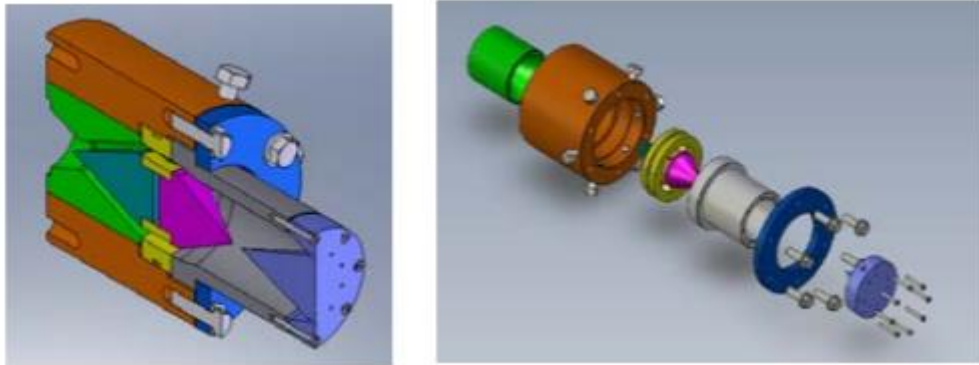


Figura 2. 8. Representación esquemática del dado de la extrusora utilizada

Fuente: Perugachi et al., 2016

El perfil de temperaturas definido para el proceso de extrusión puede observarse en la Tabla 2.5. Este perfil fue aplicado a todas las mezclas indicadas en la Tabla 2.4. con diferentes revoluciones de tornillo 10, 20, 30, 40 y 50 rpm, y por cada revolución de tornillo se realizó la toma de 5 muestras con un intervalo de tiempo constante de 60 segundos.

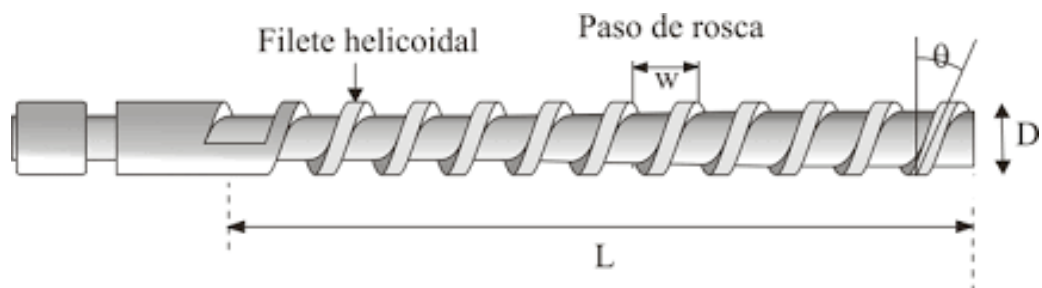


Figura 2. 9. Tornillo de una extrusora

Fuente: Beltrán, Marcilla, 2012

Tabla 2. 5. Perfil de temperatura para el proceso de extrusión.

Descripción	Alimentación	Comprensión		Dosificación	
Zona de extrusión	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	150	170	185	200	230

Fuente: Elaboración propia.

Durante el proceso de extrusión se realizaron las mediciones de las siguientes variables:

- Temperatura del material a la salida del dado de la extrusora mediante el uso de una cámara termográfica; esta cámara es un dispositivo que permite medir la temperatura sin necesidad de contacto.
- Presión que genera el proceso de extrusión (Lectura mediante el tablero de control de la extrusora).
- Consumo de energía de la extrusora usando el equipo de medición FLUKE 435 (Figura 2.10).



Figura 2. 10. Equipo medidor de calidad de energía Fluke 435.

Fuente: Laboratorio de Potencia de la FIEC

Finalmente, las muestras obtenidas fueron enfriadas en una tina con agua, para posteriormente, mediante una balanza medir la masa de cada una de las muestras y junto con las variables antes mencionadas poder completar la Tabla 2.6.

Tabla 2. 6. Formato para la toma de datos en el proceso de extrusión

Muestra	1	2	3	4	5	Promedio
Velocidad de tornillo (rpm)						
Tiempo de prueba (s)						
Masa (gr)						
Temperatura (°C)						
Consumo energético (kWh)						
Consumo energético (J)						
Consumo específico (J/gr)						
Volumen (cm ³)						
Caudal (cm ³ /s)						
Presión (bar)						

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 2.7. presenta los datos obtenidos durante el proceso de extrusión de la prueba realizada a la mezcla rHDPE + Arcilla + Aditivo (Tabla 2.4) a una velocidad de tornillo de 30 rpm y el perfil de temperatura descrito en la Tabla 2.5. Los demás datos obtenidos en el proceso de extrusión de las 100 pruebas realizadas se podrán observar en el ANEXO D.

Tabla 2. 7. Datos tomados durante la prueba de rHDPE+ Arcilla + Aditivo durante en el proceso de extrusión.

Muestra	1	2	3	4	5	Promedio
Velocidad de tornillo (rpm)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
Tiempo de prueba (s)	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
Masa (gr)	252.00	261.00	261.00	232.00	228.00	246.80
Temperatura (°C)	233.00	230.00	233.00	235.00	237.00	233.60
Consumo energético (kWh)	0.09	0.10	0.11	0.10	0.10	0.10
Consumo energético (J)	313200	370800	385200	370800	345600	357120
Consumo específico (J/gr)	1242.86	1420.69	1475.86	1598.28	1515.79	1450.69
Volumen (cm ³)	280.67	290.70	290.70	258.40	253.94	274.88
Caudal (cm ³ /s)	4.68	4.84	4.84	4.31	4.23	4.58
Presión (bar)	250.00	251.00	251.00	251.00	251.00	250.80

Fuente: Elaboración propia.

2.5 Preparación y caracterización de las probetas

Una vez obtenidas las 25 muestras de las mezclas realizadas, se procedió al desarrollo de probetas para realizar los ensayos no destructivos (ver Tabla 2.8) mediante el siguiente procedimiento:

Prender la prensa (Figura 2.11) y esperar a que llegue a la temperatura de 190 °C, mientras este se calienta, proceder a rociar con el aerosol de la Figura 2.12 la placa metálica, luego colocar un pedazo de papel antiadherente dentro de la prensa; sobre el mismo colocar la placa metálica previamente rociada y en sus cavidades poner el plástico a prensar. Finalmente, se coloca sobre la placa metálica con el plástico otro pedazo de papel antiadherente, de tal manera que la placa quede entre dos laminas del papel.

Accionar la prensa hasta una presión de 2000 psi aproximadamente y esperar 10 minutos para que el material ocupe las cavidades del molde correctamente mientras se funde por completo.

Una vez realizado el paso anterior, se le quita la presión a la prensa y se retira la placa, la cual debe tener un enfriamiento lento, para lo cual se usa el horno de la Figura 2.5 previamente calentado a 100°C, lugar donde se coloca la placa metálica y se espera alrededor de 5 minutos para poder retirarla. Finalmente, una vez retirada la placa del horno se deja enfriar al ambiente por aproximadamente 5 minutos, de tal forma que su temperatura vaya disminuyendo poco a poco hasta igualarse con la del ambiente.

Por último, cuando la placa metálica ya este lo suficientemente fría; se retira el papel antiadherente de ambos lados y se extraen las probetas de plástico cuidadosamente, teniendo la precaución de que no se vayan a romper.







Figura 2. 11. Prensa Térmica Hidráulica
Fuente: Laboratorio de Plásticos de la FIMCP



Figura 2. 11. Aerosol para Placa Metálica
Fuente: Laboratorio de Plásticos de la FIMCP

El proceso mencionado anteriormente, se lo realizó 40 veces para obtener las probetas de cada una de las mezclas mencionadas en la Tabla 2.4, para luego realizar la caracterización mediante los ensayos no destructivos mencionados en la Tabla 2.8.

Tabla 2. 8. Tipo de ensayo no destructivo y probeta a realizar.

Ensayo no destructivo	Probeta	
Difractometría de rayos X (DRX)		
Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)		
Reología		

Fuente: Elaboración propia

2.5.1 Microscopía electrónica de Barrido (SEM)

Este ensayo se realizó utilizando el microscopio electrónico de barrido (SEM) de marca Thermo Fisher Scientific y modelo Inspect S (Figura 2.13), en conjunto con su software xT Microscope Server y xT Microscope Control. Las muestras utilizadas en este ensayo se fracturaron con nitrógeno líquido. El equipo fue operado en modo de bajo vacío con un voltaje de 10 kV, spot de 4 y detector BSED.



Figura 2. 12. Microscopio electrónico de barrido (MEB) marca Thermo Fisher Scientific, modelo Inspect S

Fuente: Laboratorio de Ensayos Metrológicos y Materiales (LEMAT)

2.5.2 Propiedades reológicas

Para conocer las propiedades reológicas de las mezclas realizadas, se utilizó el reómetro rotacional de marca Malver y modelo Kinexus Pro (Figura 2.14), perteneciente al LEMAT. Las muestras empleadas en este ensayo fueron probetas de tipo discos, obtenidas en el proceso de prensado.

Tabla 2. 9. Condiciones de trabajo del reómetro rotacional de platos.

Temperatura de operación	180°C
Muestra	Discos de 25 mm
Frecuencia	0.01 a 30 s ⁻¹

Fuente: (Lazo, Molina, 2018)

Al realizar las mezclas entre rHDPE, la viscosidad del material incrementa, debido a que las fases se adhieren mejor con la intervención de un compatibilizante. Este método de caracterización permite determinar la tensión interfacial en las composiciones de la mezcla. El resultado muestra las curvas de viscosidad η (Pa s) vs esfuerzo cortante ($\gamma \cdot s^{-1}$).



Figura 2. 13. Reómetro rotacional de marca Malver, modelo Kinexus Pro

Fuente: Laboratorio de Ensayos Metrológicos y Materiales (LEMAT)

2.5.3 Difracción de rayos X (XRD)

En este ensayo, se utilizó el equipo difractómetro de rayos X, marca PAN Analytical modelo Xpert-PRO (Figura 2.15), se utilizó como muestras, las probetas de la Tabla 2.8, con el análisis de rayos X se puede conocer el grado de espaciamiento que se forma entre las capas de los aditivos compatibilizantes con respecto a las mezclas de rHDPE.

Los parámetros que se usaron en el difractómetro para procesar las probetas se muestran en la Tabla 2.10.

Tabla 2. 10. Parámetros de operación del difractómetro de rayos X.

Theta	1000°
Tensión	40KV
Corriente	30mA
Divergent Slit	1/8
Anti-scatter slit	1/16
Rango	1-40
Paso	0.05
Tiempo entre paso	20s

Fuente: (Lazo, Molina, 2018)



Figura 2. 14. Difractómetro de rayos X, marca PAN Analytical modelo Xpert-PRO

Fuente: Laboratorio de Ensayos Metrológicos y Materiales (LEMAT)

En el presente proyecto el objetivo principal es determinar el punto óptimo de operación de la extrusora con diferentes revoluciones de tornillo y mezclas mostradas en la Tabla 2.4, considerando los datos obtenidos en la Tabla 2.6. para poder realizar las siguientes gráficas:

- Consumo de Energía VS Velocidad del Tornillo
- Consumo de energía específica VS Velocidad de tornillo
- Consumo de Energía VS Volumen de Producción (Kg)*1000
- Caudal VS Velocidad de tornillo
- Presión de Salida Material VS Velocidad de tornillo
- Temperatura de Salida del Material VS Velocidad de tornillo

Donde, los valores obtenidos por cada tipo de muestra y velocidad de tornillo fueron completados en el formato de la Tabla 2.11. con los valores promedios de consumo de energía específico, caudal, presión y temperatura de la Tabla 2.6. Posteriormente, estos resultados serán presentados en el capítulo 3.

Tabla 2. 11. Resumen para graficar consumo de energía específica, caudal, presión y temperatura VS velocidad de tornillo

Velocidad de tornillo (rpm)	Consumo de energía específica, caudal, presión y temperatura				
	rHDPE + Arcilla	rHDPE + Arcilla + Aditivo	rHDPE	rHDPE + Aditivo	Desviación estándar
10					
20					
30					
40					
50					

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 2.12. presenta los datos promedios de las temperaturas a la salida del material del cabezal de la extrusora para poder realizar la curva: Temperatura VS Velocidad de tornillo. Los otros datos promedios de las diferentes variables analizadas serán presentados en el capítulo 3 (resultados).

Tabla 2. 12. Resumen para graficar Temperatura VS Velocidad de tornillo

Velocidad de tornillo (rpm)	Temperatura (°C)				
	rHDPE + Arcilla	rHDPE + Arcilla + Aditivo	rHDPE	rHDPE + Aditivo	Desviación estándar
10	196	219	231	235	17.78
20	211	231	232	236	11.01
30	226	234	231	235	4.21
40	228	240	238	238	5.54
50	231	245	242	241	6.05

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Resultados de Caracterización del Material

Según lo manifestado por el cliente, el material provisto fue reciclado de polietileno de alta densidad, sin embargo, al ver que el material contenía etiquetas de botellas y ciertos materiales que parecían no coincidir con lo que afirmaba el cliente, se procedió a realizar un análisis de calorimetría diferencial de barrido cuyos límites de temperatura van desde 0°C a 300°C, para lo cual se obtuvo el siguiente resultado:

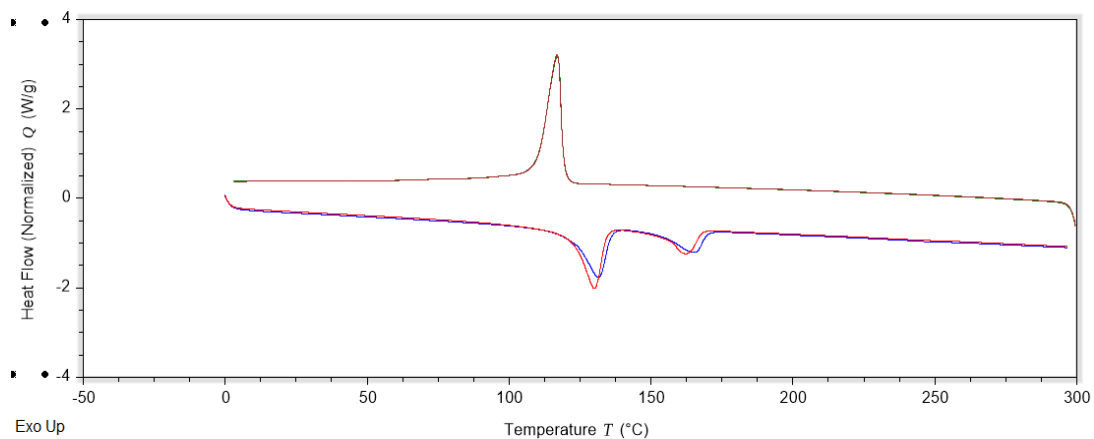


Figura 3. 1. Calorimetría diferencial de barrido del material provisto por el cliente

En la figura 3.1 se verificó que el material entregado, no solo se compone de polietileno cuyo punto de fusión se encuentra en el rango entre 120°C y 136°C. La primera curva que es cóncava hacia abajo corresponde a la fundición del polietileno de alta densidad, sin embargo, al tener otra curva pronunciada entre los 160 y 170°C, temperatura característica de fundición del polipropileno, se pudo comprobar que el material que proveyó el cliente contiene polietileno de alta densidad y polipropileno.

Se realizó una limpieza al material, la cual consistió en retirar las etiquetas e impurezas que estaban presentes en el material, y posterior a ello se realizó otro análisis de calorimetría esta vez en un rango entre 0°C y 200°C, que proyectó el siguiente resultado:

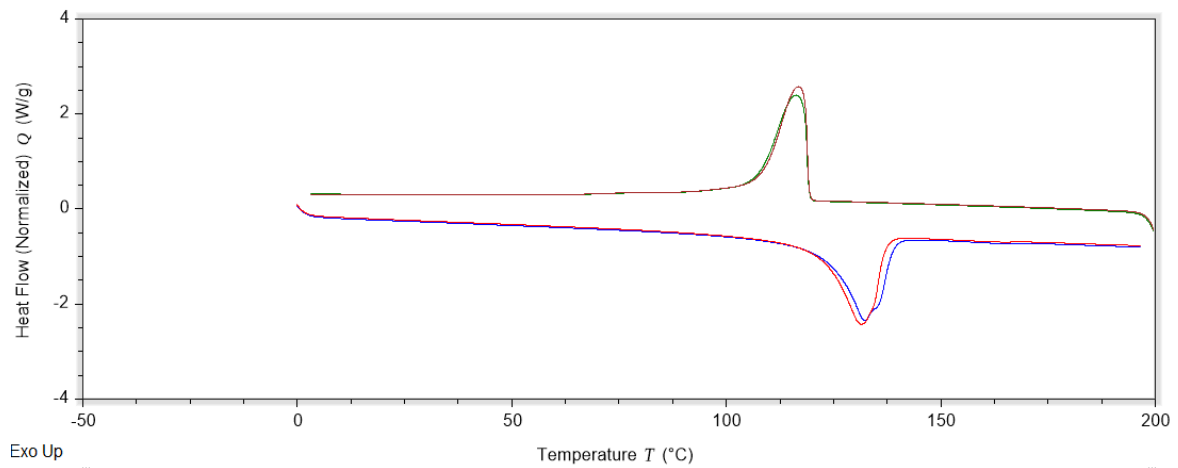


Figura 3. 2. Calorimetría diferencial de barrido al material limpiado

En la figura 3.2 se puede observar que una vez realizada la limpieza del material provisto por el cliente no se aprecia ningún porcentaje del componente que funde entre los 160°C y 170°C, por lo que se dedujo que las etiquetas estaban compuestas de polipropileno. Por lo tanto, para comprobar que el material con el cual se iba a trabajar era 100% polietileno de alta densidad, se realizó una microscopia electrónica de barrido de carácter cuantitativo, de lo que se obtuvo el siguiente resultado:

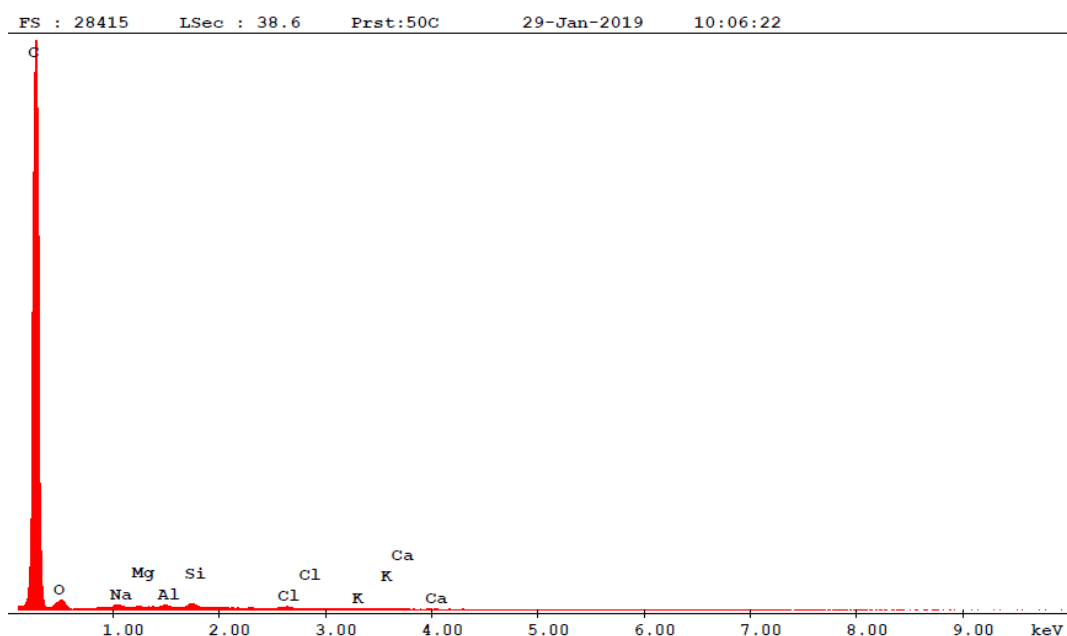


Figura 3. 3. Resultado cuantitativo de los componentes de la muestra

EDS Quantitative Results		
Element	Wt%	At%
CK	93.19	95.89
OK	3.69	2.85
NaK	0.45	0.24
MgK	0.10	0.05
AlK	0.29	0.13
SiK	0.76	0.33
ClK	0.64	0.22
KK	0.44	0.14
CaK	0.44	0.14

Figura 3. 4. Porcentaje de los elementos componentes de la muestra

En la Figura 3.3 se determinó que el carbono corresponde al 95.89% de la muestra analizada, siendo el elemento principal del polietileno de alta densidad, sin embargo, la prueba mostró que existe un porcentaje de otros elementos, los cuales se consideraron efecto de la pigmentación, aditivos e impurezas que contenía el material reciclado. Al ser un porcentaje mínimo se consideraron despreciables, es decir, el material con el cual se trabajó es 100% reciclado de polietileno de alta densidad.

3.2 Resultados de Consumo de Energía

Para cuantificar el consumo de energía se realizaron las respectivas mediciones de cada una de las mezclas, las cuales se muestran en el Anexo D, de ellas se tomaron los valores promedio para hacer un análisis comparativo entre las mismas, para lo cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3. 1. Simbología utilizada para describir a las variables

DENOMINACION	SIMBOLO
VELOCIDAD DE TORNILLO	VT
97%rHDPE+3%C20A	A
92%rHDPE+3%C20A+5%OBC	B
100%rHPDE	C
95%rHDPE+5%OBC	D

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 3.1. muestra la simbología usada para describir a cada una de las muestras y variables consideradas en la toma de mediciones.

Tabla 3. 2. Consumo de energía de las distintas mezclas a distintas velocidades de rotación del tornillo

VT	CONSUMO DE ENERGIA (JOULS)			
	A	B	C	D
10	320400	271440	216720	290160
20	293760	310320	253440	247680
30	337680	357120	290880	299520
40	558720	509760	332640	367920
50	473040	552960	363600	391680

Fuente: Elaboración propia

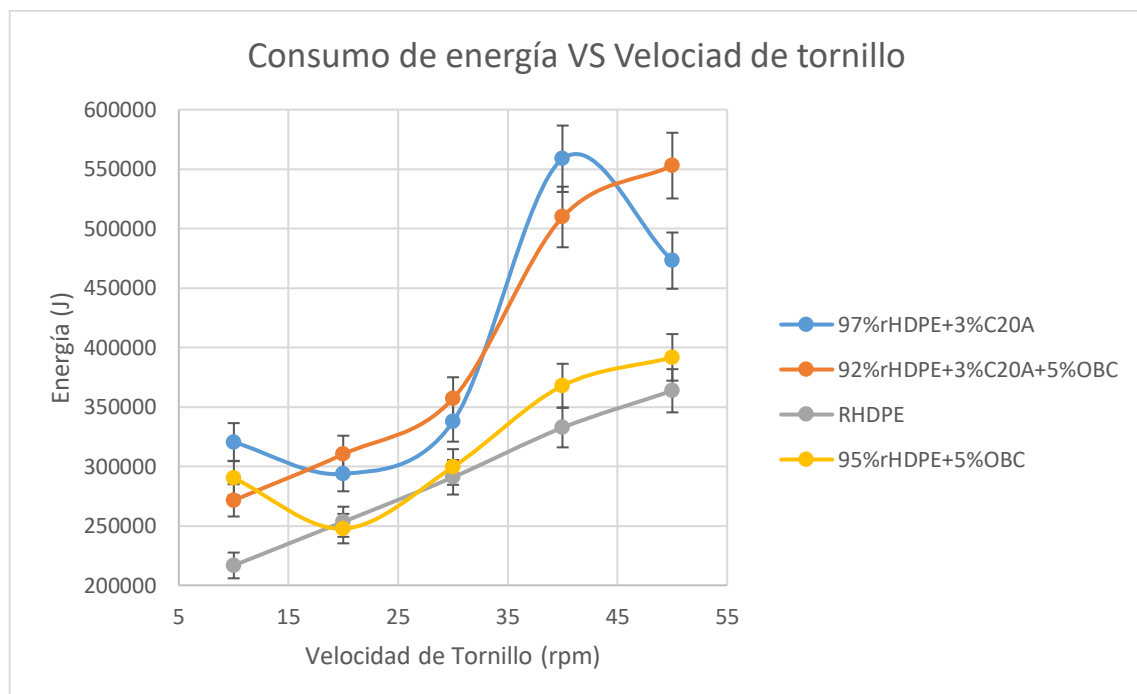


Figura 3. 5. Consumo de Energía vs Velocidad de rotación del tornillo

De acuerdo a los resultados que se muestran en la Tabla 3.2 y en la Figura 3.5, existió un menor consumo de energía cuando se procesó el polietileno de alta densidad puro, es decir, sin aditivos ni arcillas, seguido de la mezcla que contiene un 5% del aditivo OBC; por el contrario, cuando se procesa la muestra que contiene 3%C20A y 5%OBC,

se obtuvo un mayor consumo de energía al igual que cuando se procesó la mezcla que solo contenía 3% de C20A.

Además, cuando se dio el procesamiento de las distintas mezclas se observó que el flujo de material variaba considerablemente en cada una de ellas, y se procedió a medir el flujo volumétrico del material, para lo cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3. 3. Caudal obtenido de las distintas mezclas a distintas velocidades de rotación del tornillo

VT	CAUDAL (CM3/S)			
	A	B	C	D
10	0.83	1.16	0.45	0.67
20	1.55	3.03	1.19	1.32
30	3.06	4.08	1.64	2.99
40	4.83	6.36	2.75	3.27
50	7.27	9.70	4.05	4.06

Fuente: Elaboración propia

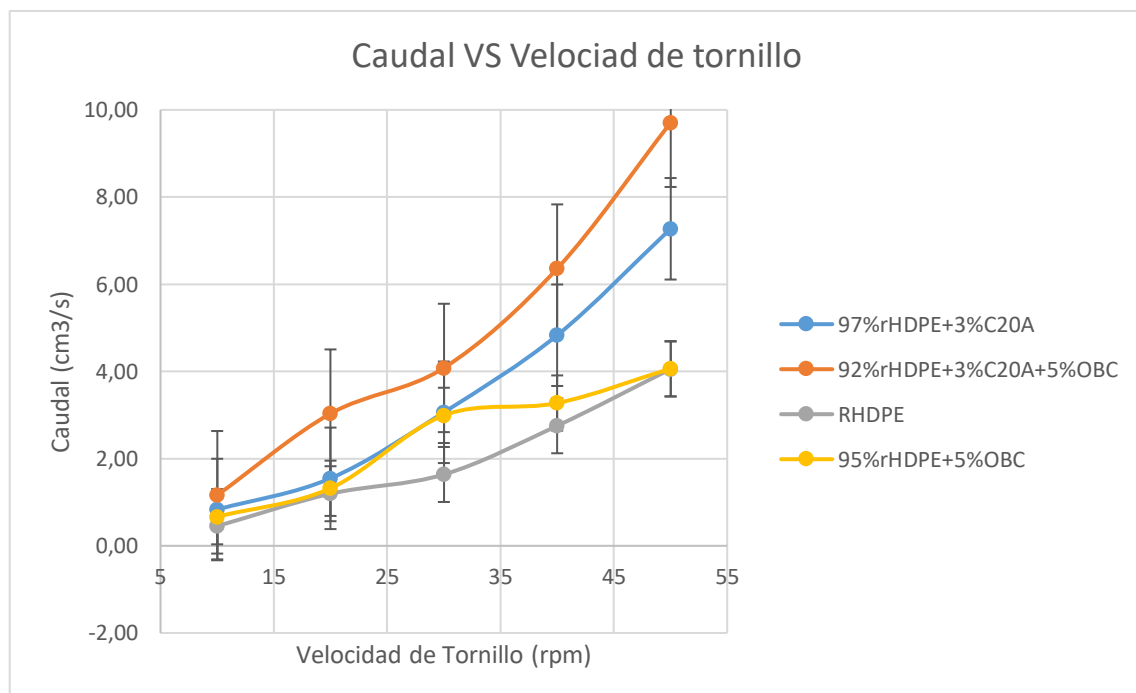


Figura 3. 6. Caudal de salida de material vs Velocidad de rotación del tornillo

De acuerdo con los datos obtenidos que constan en la Tabla 3.3 y en la Figura 3.6, el flujo de material fue mayor cuando se dio el procesamiento del polietileno de alta densidad que contenía 5%OBC y 3% C20A, también, fue ligeramente mayor cuando solo tiene 3% de C20A, esto es probable debido a que el tipo de tornillo con el cual se trabajó (Véase literal 2.5) tiene dispersores y accesorios que favorecen al mezclado y por ello tienen una mayor facilidad de obtener un flujo continuo. Por ende, cuando solo se procesa el polietileno de alta densidad puro y con 5%OBC el flujo de material es menor en comparación con los antes mencionados.

Debido a las diferencias que existieron entre los consumos de energía y flujo de material, es decir, la mezcla que más consumo de energía tuvo fue la que más material produjo por unidad de tiempo y la que menos consumo de energía presentó, fue la que menos produjo por unidad de tiempo. Se realizó una comparación entre el consumo de energía por gramo y la velocidad de rotación del tornillo de las distintas mezclas y se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 3. 4. Consumo de energía específica a distintas velocidades de rotación del tornillo

VT	CONSUMO DE ENERGIA ESPECIFICA (JOULS/GR)			
	A	B	C	D
10	6623	4215	8445	7339
20	3287	1766	3907	3229
30	1940	1767	3026	1730
40	2038	1461	2627	1958
50	1142	1100	1629	1751

Fuente: Elaboración propia

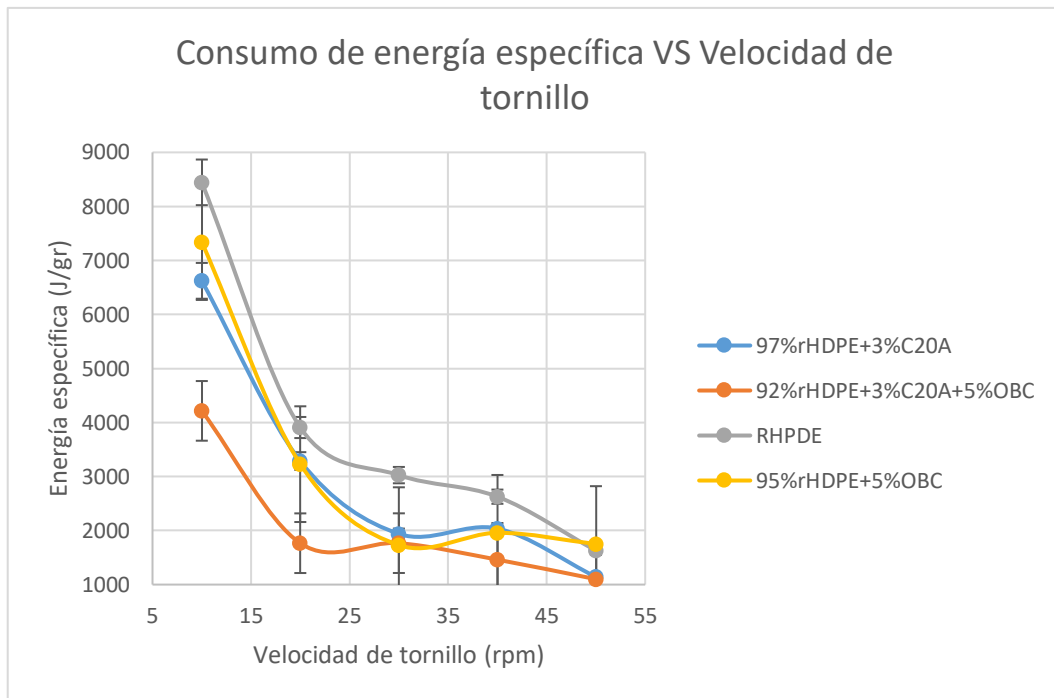


Figura 3. 7. Consumo de Energía Específica vs Velocidad de rotación del tornillo

De acuerdo con lo observado en la Tabla 3.4 y en la Figura 3.7, se necesitó un mayor consumo de energía para procesar un gramo de polietileno de alta densidad puro, en comparación de los que tenían aditivos o arcillas, esto se debe a que si bien el consumo de energía por unidad de tiempo es menor tienen un flujo de material bajo en comparación con las otras muestras, por lo tanto, a pesar de que consume menos energía en función del tiempo, para procesar la misma cantidad de material que se obtendría con las otras mezclas se necesitará una mayor cantidad de tiempo de funcionamiento de la extrusora.

Además, se pudo constatar que las mezclas que tenían la nanoarcilla C20A y el aditivo OBC, cuando fueron procesadas a la velocidad de rotación de 30RPM, produjeron un consumo de energía específico muy similar, sin embargo, la que se compone de 3%C20A y 5%OBC tuvo un menor consumo de energía específica a velocidades de rotación más bajas y más altas. Finalmente, las mezclas que poseían solo 3%C20A y 5%OBC tienen curvas de consumo de energía específica muy similares.

Con el fin de obtener un análisis más profundo en el consumo de energía, se realizó una cuantificación característica a nivel industrial, la cual consistió en calcular el consumo de energía por volumen de producción (Kg)*1000 a distintas velocidades de rotación del tornillo, de la cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3. 5. Consumo de energía por Volumen de producción (kg) x 1000 a distintas velocidades de rotación del tornillo de la mezcla 97% rHDPE+3%C20A

Volumen de producción (kg) x 1000	Consumo de energía (kWh)				
	10	20	30	40	50
1	0.0023	0.0011	0.00084	0.00073	0.00045
50	117.29	54.27	42.03	36.49	22.63
100	234.59	108.54	84.07	72.98	45.26
150	351.88	162.80	126.10	109.47	67.89
200	469.17	217.07	168.13	145.96	90.52
250	586.47	271.34	210.16	182.45	113.15
300	703.76	325.61	252.20	218.93	135.77
350	821.05	379.88	294.23	255.42	158.40
400	938.34	434.15	336.26	291.91	181.03

Fuente: Elaboración propia

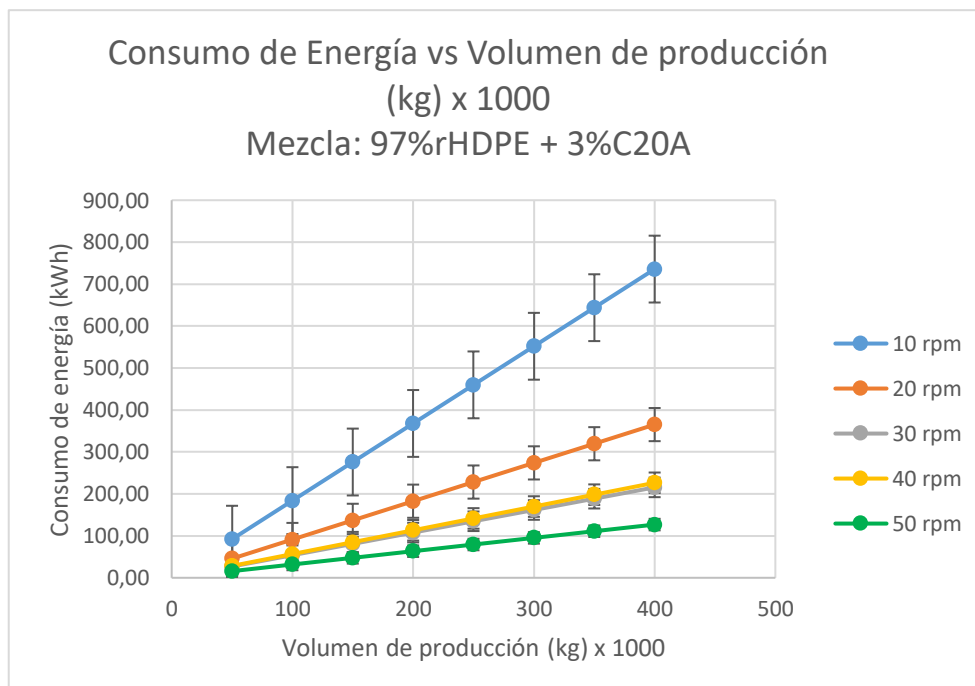


Figura 3. 8. Consumo de energía por Volumen de producción (kg) x 1000 a distintas velocidades de rotación del tornillo de la mezcla 97%rHDPE +3%C20A

De acuerdo a lo mostrado en la Tabla 3.5 y la Figura 3.8, la mezcla que contiene 97%rHDPE y 3%C20A tuvo un mayor consumo de energía a una velocidad de rotación del tornillo de 10RPM, este consumo disminuyó cuando la velocidad fue de 20RPM, y entre 30 y 40 RPM el consumo fue aún más bajo pero similar. Sin embargo, a 50RPM se dio el menor consumo de energía por kilogramo de producción, por ende, en cuanto a costo energético se refiere dicha alternativa sería la opción más viable para la producción del material.

Por otra parte, se pudo observar que la variación de consumo de energía fue baja a pequeñas cantidades de material procesado.

Tabla 3. 6. Consumo de energía por Volumen de producción (kg) x 1000 a distintas velocidades de rotación del tornillo de la mezcla 92% rHDPE+3%C20A+5%OBC

Volumen de producción (kg) x 1000	Consumo de energía (kWh)				
	10	20	30	40	50
1	0.00117	0.00049	0.00040	0.00041	0.00031
50	58.54	24.53	20.15	20.30	15.28
100	117.09	49.05	40.30	40.59	30.55
150	175.63	73.58	60.45	60.89	45.83
200	234.18	98.10	80.59	81.19	61.11
250	292.72	122.63	100.74	101.49	76.38
300	351.27	147.16	120.89	121.78	91.66
350	409.81	171.68	141.04	142.08	106.93
400	468.35	196.21	161.19	162.38	122.21

Fuente: Elaboración propia

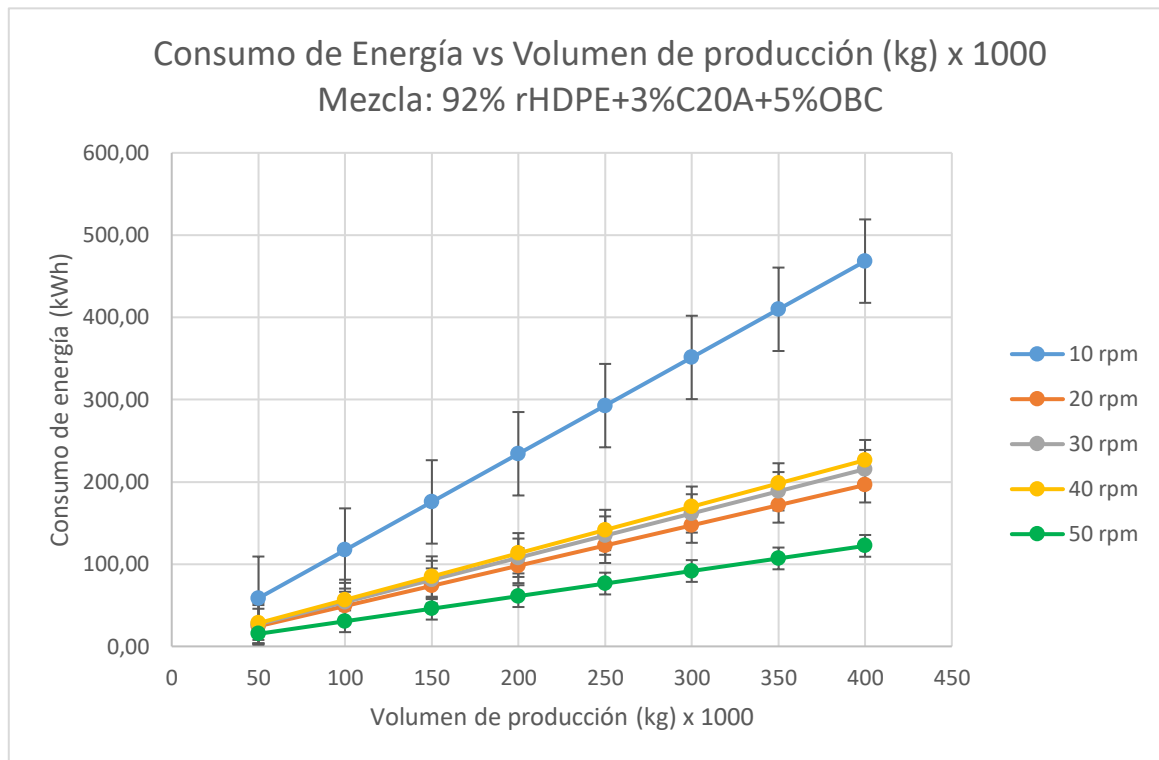


Figura 3. 9. Consumo de energía por Volumen de producción (kg) x 1000 a distintas velocidades de rotación del tornillo de la mezcla 92% rHDPE+3%C20A+5%OBC

De acuerdo con los datos obtenidos en la Tabla 3.6 y la Figura 3.9 se observó que en la mezcla que contiene 92%rHDPE con 3%C20A y 5%OBC, se dio un mayor consumo de energía a una velocidad de rotación del tornillo de 10RPM, este consumo disminuyó cuando la velocidad es de 40RPM, por otro lado, a 30RPM fue ligeramente menor el consumo que a 40RPM y cuando el tornillo gira a 20RPM se dio un consumo más bajo que en los tres casos antes mencionados. Finalmente, a 50RPM se dio el menor consumo de energía por kilogramo de producción, por ende, en cuanto a costo energético se refiere dicha alternativa sería la opción más viable para la producción del material.

Por otra parte, se pudo observar que la variación de consumo de energía fue baja a pequeñas cantidades de material procesado.

Tabla 3. 7. Consumo de energía por Volumen de producción (kg) x 1000 a distintas velocidades de rotación del tornillo de 100% rHDPE

Volumen de producción (kg) x 1000	Consumo de energía (kWh)				
	10	20	30	40	50
1	0.0023	0.0011	0.00084	0.00073	0.00045
50	117.29	54.27	42.03	36.49	22.63
100	234.59	108.54	84.07	72.98	45.26
150	351.88	162.80	126.10	109.47	67.89
200	469.17	217.07	168.13	145.96	90.52
250	586.47	271.34	210.16	182.45	113.15
300	703.76	325.61	252.20	218.93	135.77
350	821.05	379.88	294.23	255.42	158.40
400	938.34	434.15	336.26	291.91	181.03

Fuente: Elaboración propia

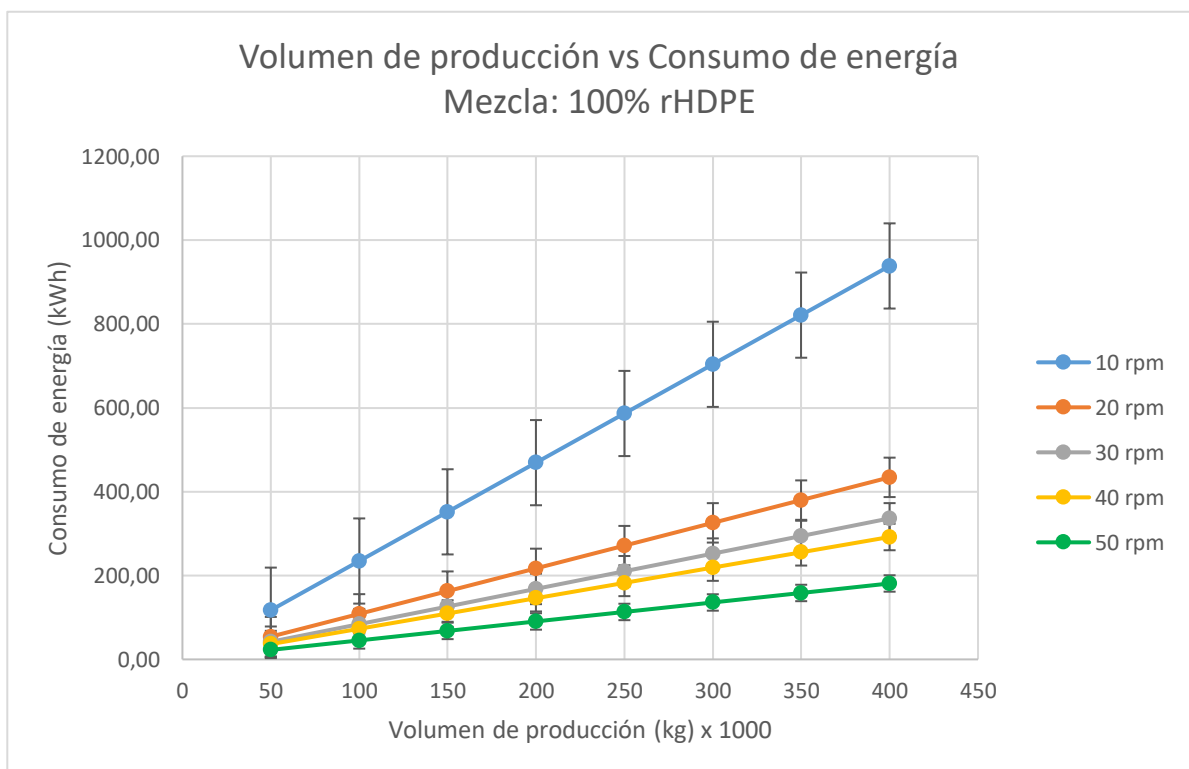


Figura 3. 10. Consumo de energía por Volumen de producción (kg) x 1000 a distintas velocidades de rotación del tornillo de 100% rHDPE

De acuerdo a los resultados de la Tabla 3.7 y la Figura 3.10 se determinó que la muestra que contiene 100%rHDPE tuvo un mayor consumo de energía a una velocidad de rotación del tornillo de 10RPM, este consumo disminuyó cuando la velocidad fue de 20RPM y bajó aún más cuando la velocidad de procesamiento fue de 30RPM y 40RPM respectivamente. Sin embargo, a 50RPM se dio el menor consumo de energía por kilogramo de producción, por ende, en cuanto a costo energético se refiere dicha alternativa sería la opción más viable para la producción del material.

Por otra parte, se pudo observar que la variación de consumo de energía fue baja a pequeñas cantidades de material procesado.

Tabla 3. 8. Consumo de energía por Volumen de producción (kg) x 1000 a distintas velocidades de rotación del tornillo de la mezcla 95% rHDPE +5%OBC

Volumen de producción (kg) x 1000	Consumo de energía (kWh)				
	10	20	30	40	50
1	0.0020	0.0009	0.0005	0.0005	0.0005
50	101.94	44.85	24.03	27.20	24.32
100	203.87	89.70	48.06	54.40	48.64
150	305.81	134.55	72.09	81.59	72.96
200	407.74	179.40	96.12	108.79	97.27
250	509.68	224.25	120.15	135.99	121.59
300	611.61	269.10	144.18	163.19	145.91
350	713.55	313.95	168.21	190.39	170.23
400	815.48	358.80	192.24	217.58	194.55

Fuente: Elaboración propia

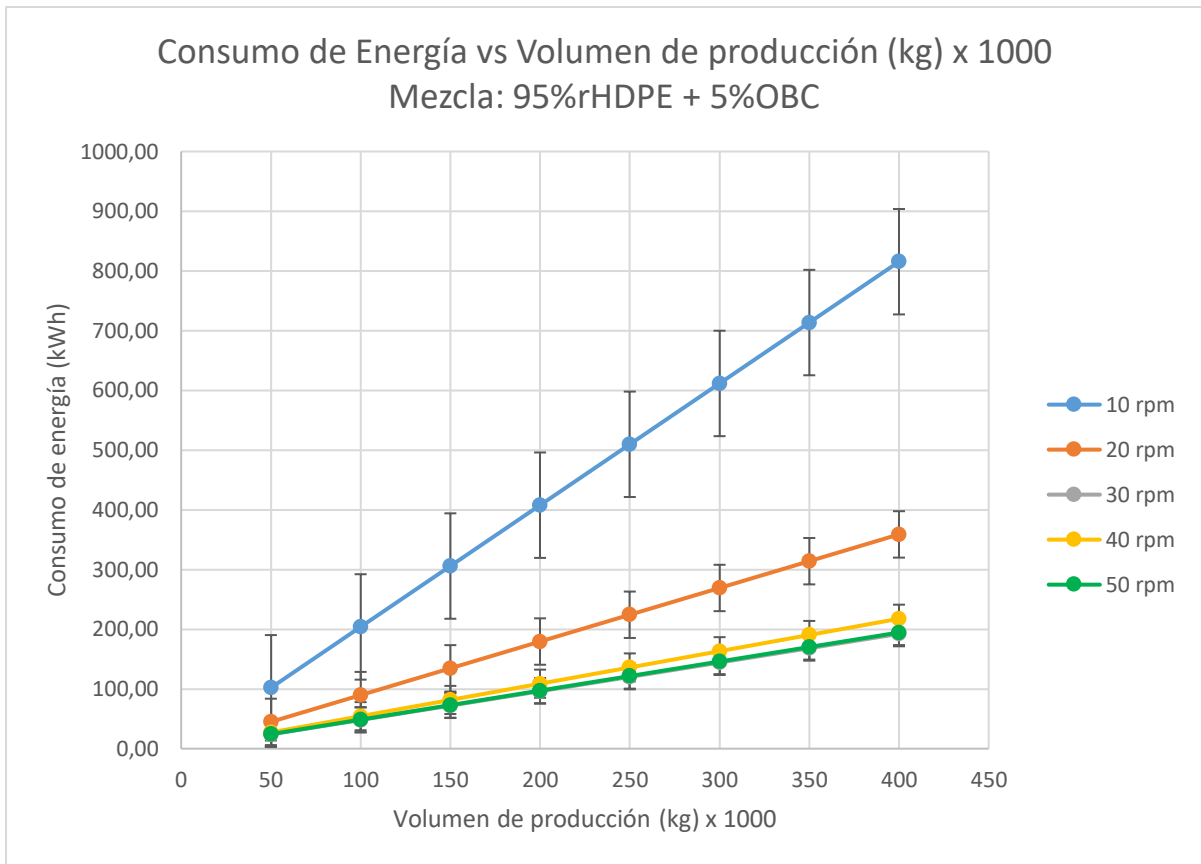


Figura 3. 11. Consumo de energía por Volumen de producción (kg) x 1000 a distintas velocidades de rotación del tornillo de la mezcla 95% rHDPE +5%OBC

De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 3.8 y la Figura 3.11 se observó que la mezcla que contiene 95%rHDPE y 5%OBC, tuvo un mayor consumo de energía a una velocidad de rotación del tornillo de 10RPM, este consumo disminuyó cuando la velocidad fue de 20RPM y bajó aún más cuando la velocidad fue de 40RPM. Sin embargo, a 30RPM y 50RPM las curvas estaban prácticamente superpuestas, por lo tanto, en estas condiciones de proceso se dio el menor consumo de energía por kilogramo de producción, por ende, en cuanto a costo energético se refiere dichas alternativas serían las opciones más viables para la producción del material.

Por otra parte, se observó que la variación de consumo de energía fue baja a pequeñas cantidades de material procesado.

3.3 Resultados de Temperatura de Salida del Material

De acuerdo con las mediciones de temperatura que fueron realizadas con la cámara termográfica a la salida del material del dado de la extrusora, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3. 9. Temperatura de salida vs Velocidad de rotación del tornillo

VT	TEMPERATURA (°C)			
	A	B	C	D
10	196	219	231	235
20	211	231	232	236
30	226	234	231	235
40	228	240	238	238
50	231	245	242	241

Fuente: Elaboración propia

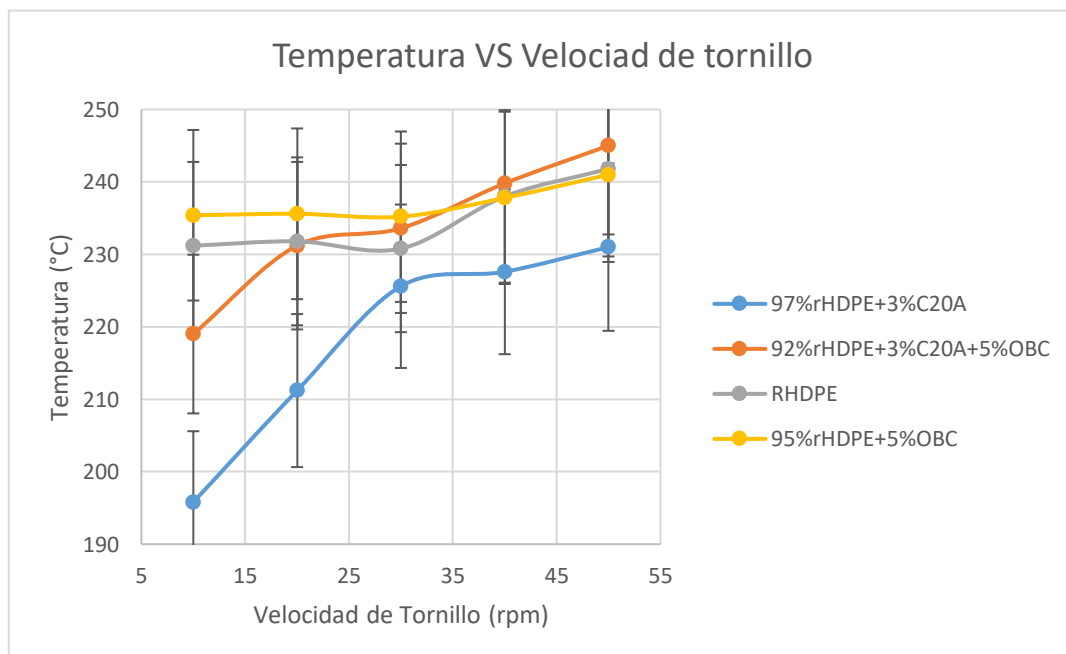


Figura 3. 12. Temperatura de salida vs Velocidad de rotación del tornillo

Según los datos obtenidos y manifestados en la Tabla 3.9 y la Figura 3.11, se constató que la temperatura de salida de material en cada mezcla tuvo una tendencia creciente a medida que se aumenta la velocidad de rotación del tornillo, con excepción del procesado

a 30RPM de 100%rHDPE y 95%rHDPE + 5%OBC. Por otra parte, se pudo observar que la mezcla que contiene 97%rHDPE + 3%C20A tuvo temperaturas de salida considerablemente menores que las otras combinaciones, entre tanto, las otras mezclas tuvieron temperaturas de salidas muy similares a las velocidades de rotación respectivas, exceptuando la velocidad de 10RPM donde la diferencia de temperatura es considerable.

3.4 Resultados de Presión Manométrica a la Salida del Material

De acuerdo a las mediciones realizadas con el transductor de presión instalado en la extrusora, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3. 10. Presión Manométrica de salida vs Velocidad de rotación del tornillo

VT	PRESION (BAR)			
	A	B	C	D
10	240	247	244	250
20	241	250	244	251
30	239	251	245	244
40	241	250	246	253
50	251	250	247	248

Fuente: Elaboración propia

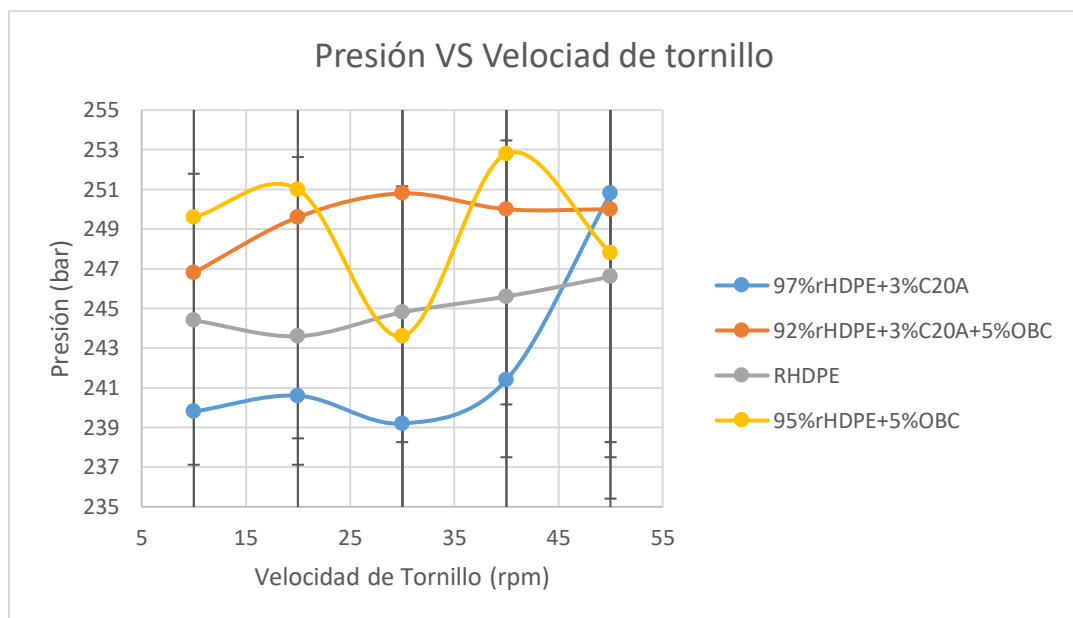


Figura 3. 13. Presión Manométrica de salida vs Velocidad de rotación del tornillo

Según los datos mostrados en la Tabla 3.10 y la Figura 3.13, se constató que la presión tiene una tendencia irregular. Cuando se procesó el 100%rHDPE la tendencia sufre una pequeña caída de tensión a 20RPM; mientras tanto, en la mezcla que contiene 97%rHDPE y 3%C20A sufre una caída de presión cuando se dio su procesamiento a 30RPM. En la mezcla que contiene 95%rHDPE y 5%OBC también hubo una caída de presión a 30 y 50RPM. Finalmente, en la mezcla que contiene 92%rHDPE, 3%C20A y 5%OBC, se dio el mayor aumento de presión a 30RPM.

3.5 Resultados de Caracterización del Material Procesado

3.5.1 Polietileno de Alta Densidad Reciclado Puro (100% rHDPE)

Se procedió a realizar el análisis de DRX a cada una de las muestras a distintas velocidades de rotación de Polietileno de Alta Densidad Puro, cuyos resultados individuales se muestran en el ANEXO E, sin embargo, para realizar un análisis comparativo se realizó una gráfica superpuesta la cual nos entregó el siguiente resultado:

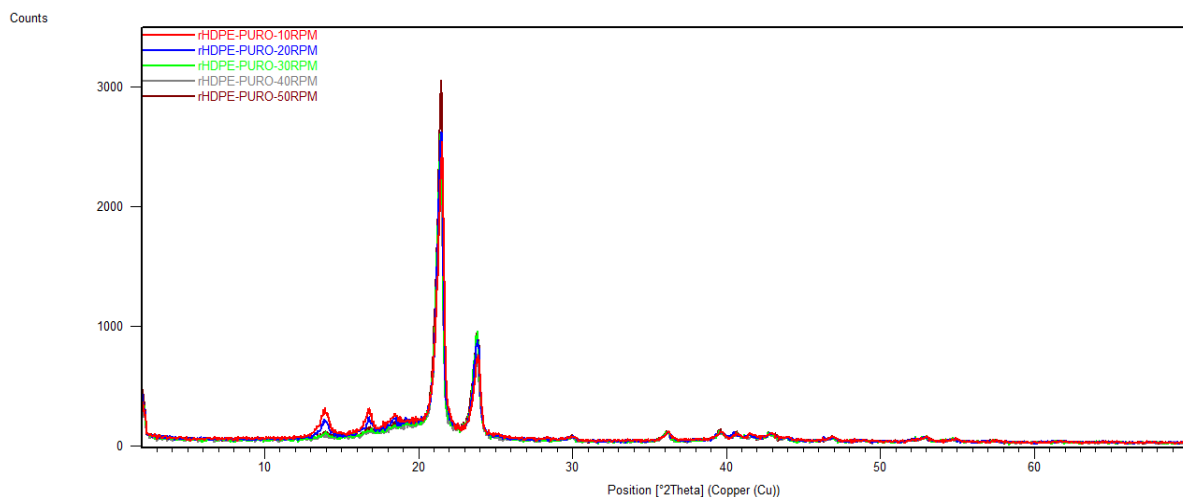


Figura 3. 14. Difractometría de Rayos X de la muestra de 100%rHDPE a distintas velocidades de rotación.

En la Figura 3.14 se verificó que no existió un cambio significativo en la cristalinidad del material debido a que las curvas de caracterización estaban prácticamente superpuestas, con ello podemos afirmar que las propiedades mecánicas del material no se ven afectadas por el procesamiento del material a distintas velocidades de rotación.

Debido a que se trató de una composición de polietileno de alta densidad puro, el análisis de MEB, solo se realizó para la velocidad de rotación de 30RPM, debido a que no hay cambios aparentes ya que no se mezcló con una nanoarcilla o algo similar a ello. La imagen que se obtuvo con la MEB fue la siguiente:

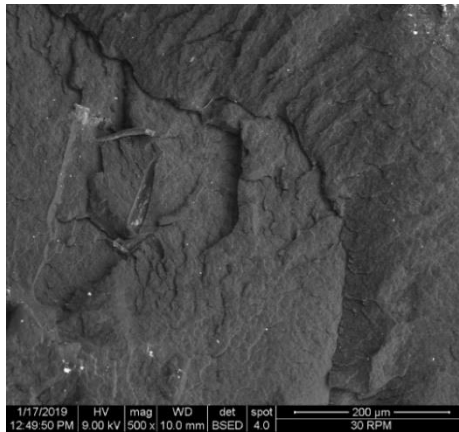


Figura 3. 15. Imágenes superficiales del rHDPE puro procesado a 30RPM

En la Figura 3.15 se apreció que el reciclado de polietileno de alta densidad puro contiene ciertas impurezas, pero como se manifestó en el análisis de la Figura 3.4, estas impurezas corresponden a la pigmentación y aditivos que posee el material reciclado.

3.5.2 Polietileno de Alta Densidad Reciclado con Aditivo OBC (95% rHDPE + 5%OBC)

Se procedió a realizar el análisis de DRX a cada una de las muestras a distintas velocidades de rotación de Polietileno de Alta Densidad combinado con el aditivo OBC al 5% de masa en la mezcla, cuyos resultados individuales se muestran en el ANEXO E, sin embargo, para realizar un análisis comparativo se realizó una gráfica superpuesta la cual nos entregó el siguiente resultado:

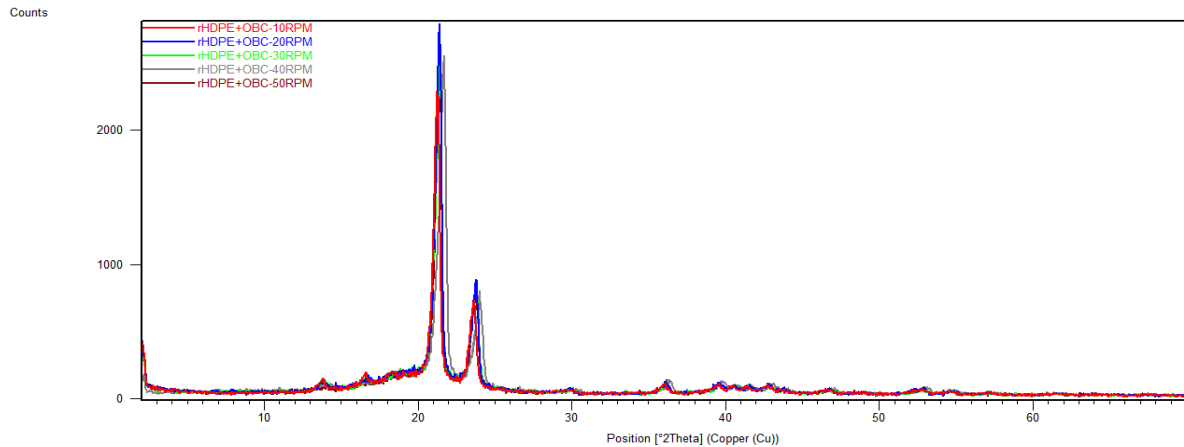


Figura 3. 16. Difractometría de Rayos X de la mezcla de 95%rHDPE y 5%OBC a distintas velocidades de rotación.

En la figura 3.16 se verificó que existió un ligero cambio en la cristalinidad del material, lo cual tendrá una influencia en las propiedades mecánicas del material, ya que en los polímeros el porcentaje de cristalinidad tiene gran influencia en las propiedades mecánicas.

Debido a que se trató de una composición de polietileno de alta densidad simplemente con un aditivo, el análisis de MEB, solo se realizó para la velocidad de rotación de 30RPM, debido a que no hay cambios aparentes ya que no se mezcló con una nanoarcilla o algo similar a ello. La imagen que se obtuvo en el MEB es la siguiente:

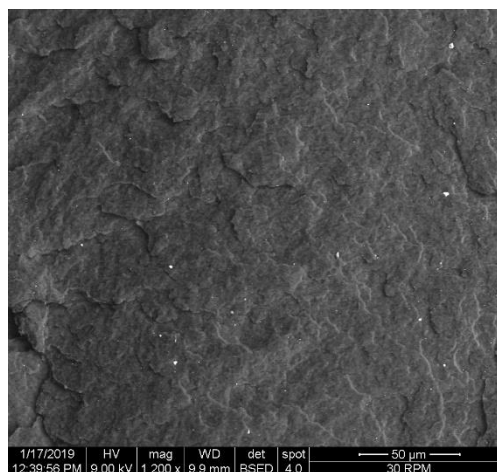


Figura 3. 17. Imagen superficial de la mezcla de 95%rHDPE+5%OBC procesado a 30RPM

En la Figura 3.17 se apreció que el reciclado de polietileno de alta densidad mezclado con el aditivo OBC contiene ciertas impurezas que se deben a la presencia de pigmentos y otros aditivos que ya contenía el material reciclado, además de darse la presencia del aditivo añadido.

3.5.3 Polietileno de Alta Densidad Reciclado con Nanoarcilla C20A (97%rHDPE + 3%C20A)

Se procedió a realizar el análisis de DRX a cada una de las muestras a distintas velocidades de rotación de Polietileno de Alta Densidad combinado con la nanoarcilla C20A al 3% de masa en la mezcla, cuyos resultados individuales se muestran en el ANEXO E, sin embargo, para realizar un análisis comparativo se realizó una gráfica superpuesta la cual entregó el siguiente resultado:

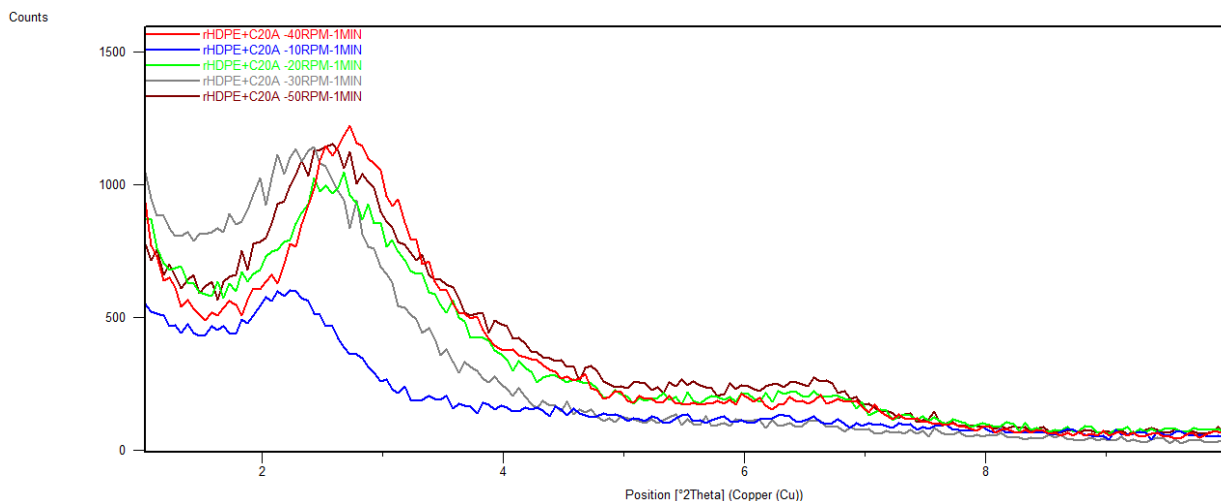


Figura 3. 18. Difractometría de Rayos X de la mezcla de 97%rHDPE y 3%C20A a distintas velocidades de rotación.

De acuerdo con los datos de la nanoarcilla C20A, expuestos en el ANEXO F, el espaciamento basal de dicha nanoarcilla debe ser de al menos 24.2 Å y según los datos de las Figuras E.2, E.5, E.8, E.11, E.14, los espaciamentos de cada una de las muestras a 10, 20, 30 y 40 RPM, corresponden a 40.35 Å, 34.78 Å, 37.46 Å, 32.80 Å y 34.53 Å respectivamente. Este espaciamento se manifestó en la Figura 3.18 mediante el pronunciamiento de la curva cóncava hacia abajo más a la izquierda, es decir, mientras más hacia la izquierda esta la curva existe un mayor espaciamento, por lo tanto, la curva de 10RPM y 30RPM mostraran mejores propiedades mecánicas (Perugachi et al., 2016).

Esto significa que, si se realiza un balance entre el consumo de energía y mejores propiedades mecánicas, el punto óptimo de procesamiento de material sería 30RPM.

3.5.4 Polietileno de Alta Densidad Reciclado mezclado con Nanoarcilla C20A y Aditivo OBC (92%rHDPE + 3%C20A+5%OBC)

Se procedió a realizar el análisis de DRX a cada una de las muestras a distintas velocidades de rotación de Polietileno de Alta Densidad combinado con la nanoarcilla C20A al 3% y aditivo OBC al 5% de masa en la mezcla, cuyos resultados individuales se muestran en el ANEXO E, sin embargo, para realizar un análisis comparativo se realizó una gráfica superpuesta la cual entregó el siguiente resultado:

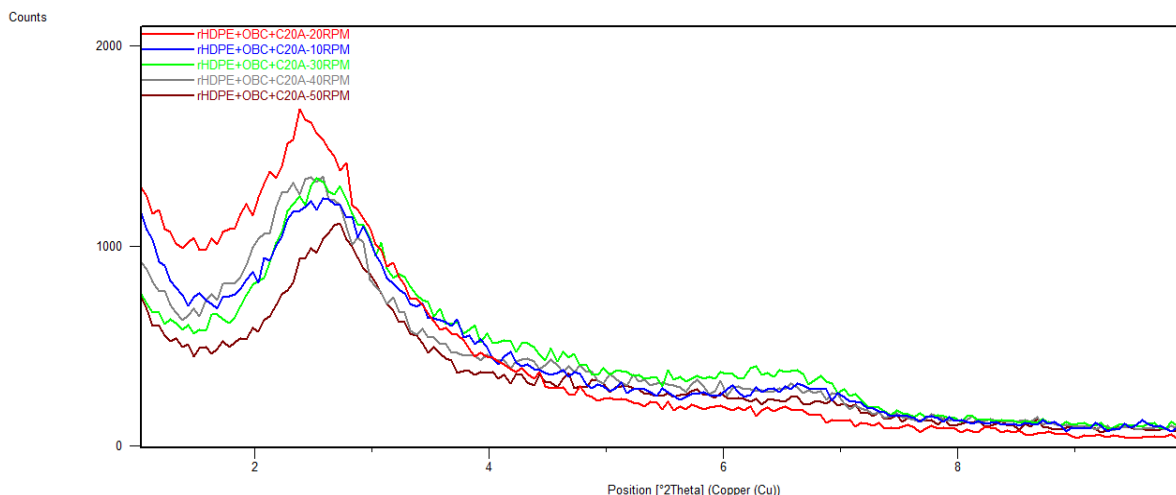


Figura 3. 19. Difractometría de Rayos X de la mezcla de 92%rHDPE, 3%C20A y 5%OBC a distintas velocidades de rotación.

De acuerdo con los datos de la nanoarcilla C20A, expuestos en el ANEXO F, el espaciamiento basal de dicha nanoarcilla debe ser de al menos 24.2 Å y según los datos de las Figuras E.17, E.20, E.23, E.26, E.29, los espaciamientos de cada una de las muestras a 10, 20, 30 y 40 RPM, corresponden a 34.00 Å, 35.82 Å, 34.68 Å, 35.78 Å y 33.04 Å respectivamente. Este espaciamiento se manifestó en la Figura 3.19 mediante el pronunciamiento de la curva cóncava hacia abajo más a la izquierda, es decir, mientras más hacia la izquierda esta la curva existe un mayor espaciamiento, por lo tanto, las curvas de 20RPM y 40RPM mostraran mejores propiedades mecánicas, sin embargo, la curva de 30RPM también tiene un resultado cercano a las anteriores por lo que sus propiedades mecánicas no variarían demasiado. (Perugachi et al., 2016).

Esto significa que, si se realiza un balance entre el consumo de energía y mejores propiedades mecánicas, el punto óptimo de procesamiento de material sería 30RPM.

3.6 Resultados de Reología del Material Procesado

De acuerdo con los datos obtenidos por medio del análisis de reología, se caracterizaron las muestras únicamente procesadas a una velocidad de rotación de 30RPM ya que la tendencia mostró que en las mezclas con nanoarcilla C20A tiene mejores efectos de espaciamiento basal en dicha velocidad, es decir, mejor dispersión de la nanoarcilla en la base de rHDPE y se tiene un bajo consumo de energía, además en la combinación únicamente con aditivo es la que más bajo consumo da y mejor porcentaje de cristalinidad tiene. Finalmente, en la muestra que únicamente se componía de rHDPE también se escogió la muestra de 30RPM debido a que el porcentaje de cristalinidad es similar en todas las velocidades de rotación, por lo tanto, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

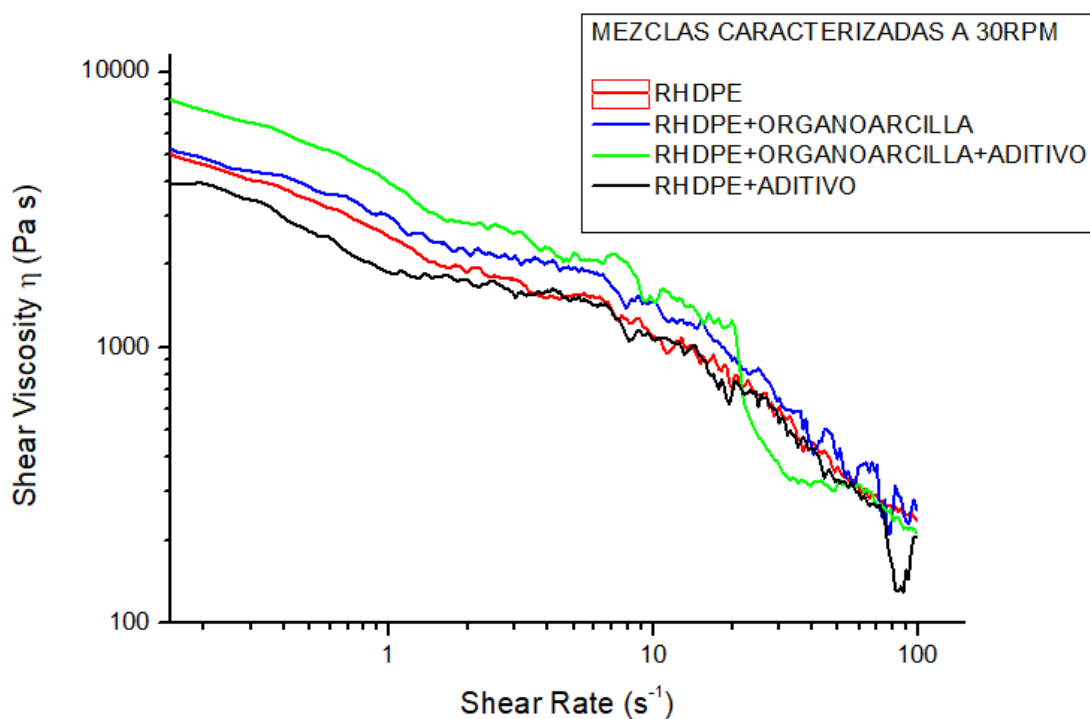


Figura 3. 20. Viscosidad vs Velocidad de Corte

Según la gráfica obtenida mostrada en la Figura 3.20 se apreció que si al rHDPE se le agrega el aditivo OBC su viscosidad disminuye, contrario a lo que ocurrió cuando se le agregó la nanoarcilla C20A, cuya viscosidad aumentó. Además, cuando se le agregó la nanoarcilla C20A con el aditivo OBC su viscosidad aumentó notablemente. Los datos detallados del análisis de reología se muestran en el ANEXO F.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

En base a los resultados obtenidos en el proyecto se pueden realizar las siguientes conclusiones:

- El rHDPE puro, es decir, procesado sin la nanoarcilla C20A ni el aditivo OBC, tiene la misma cristalinidad independientemente de la velocidad de rotación que se le dé al tornillo de la extrusora. Por lo tanto, tendrá iguales propiedades mecánicas sin importar a qué velocidad de rotación se procese; sin embargo, cuando el material se procesa a velocidades mayores a 30RPM se suelen presenciar fallas superficiales; por lo tanto, para procesar el rHDPE puro la velocidad idónea es 30RPM.
- El consumo de energía eléctrica al procesar el rHDPE puro es bajo en comparación con las otras mezclas procesadas, sin embargo, el flujo volumétrico del material también es bajo, lo que aumenta el tiempo necesario de funcionamiento de la extrusora para producir la misma cantidad de material que se obtendría con las otras combinaciones; entonces, si se lo analiza en forma específica, es decir, energía por kilogramo de producción, generará un mayor costo de procesamiento.
- Cuando se procesa el rHDPE con 3% de C20A el punto óptimo de procesamiento es de 30RPM, ya que en ese punto es donde se va a obtener un menor consumo de energía y una mejor dispersión de la nanoarcilla, lo que, por ende, mejorará las propiedades mecánicas del material.
- Cuando se procesa el rHDPE con 3% de C20A y el 5% de OBC el punto óptimo de procesamiento es de 30RPM, ya que en ese punto es donde se va a obtener un menor consumo de energía y una mejor dispersión de la nanoarcilla, lo que, por ende, mejorará las propiedades mecánicas del material.
- Cuando se procesa el rHDPE con 5% de OBC el punto óptimo de procesamiento es de 20RPM ya que en ese punto es donde se va a obtener

un menor consumo de energía y el material presenta una mejor cristalinidad, lo que por ende le dará mejores propiedades mecánicas.

- Teniendo en cuenta el costo de consumo de energía y priorizando la calidad del material, la mezcla que tendrá menor consumo de energía por kilogramo de producción será la que posee 92%rHDPE+5%OBC+3%C20A, posterior a ella la que solo tiene 3% de C20A.
- La organoarcilla C20A aumenta la viscosidad del rHDPE, mientras que el aditivo OBC disminuye la viscosidad de este; sin embargo, cuando ambos componentes se suman al rHDPE, el aumento de viscosidad es aún más grande.
- Una de las razones por las que el flujo volumétrico es mayor en las mezclas que contienen organoarcilla C20A, es debido al tipo de tornillo que posee la extrusora, ya que dicho tornillo posee un mezclador que facilita la combinación de ambos elementos.

Recomendaciones

Basado en los resultados obtenidos se pueden hacer las siguientes recomendaciones:

- Debido a que existe una gran variedad de plásticos, la metodología de este experimento se puede aplicar al proceso de cualquiera de ellos, por ende, se recomienda que se realicen futuras investigaciones con distintas variedades de plástico con el fin de cuidar el medio ambiente pudiendo generar una economía circular.
- Si se requiere realizar una investigación con una extrusora que posee un tornillo $L/D=26$, se recomienda tener disponibles entre 12 y 15kg de material para poder procesar el mismo a distintas revoluciones por minuto.
- Antes de hacer pellets de plástico reciclado, procurar que este no posea elementos como etiquetas aluminizadas o sea una mezcla de elementos de puntos de fusión distantes ya que pueden ocurrir dos escenarios: el primero es que si la temperatura de proceso corresponde al material de menor punto de fusión se puede tapar la extrusora lo que daría un menor flujo de material

y en el peor de los casos fundiría el motor por una sobrecarga. El segundo de los casos es que, si se trabaja con la temperatura de fusión mayor, el material que tiene menor punto de fusión se degradará y parte del material saldrá quemado.

- Para procesar material reciclado es recomendable utilizar una extrusora que posea filtros ya que eso evitará que en caso de haber impurezas o material que no se funda la extrusora no se tape.
- Verificar que las conexiones de las resistencias eléctricas estén en buen estado ya que se puede generar un cortocircuito que podría tener consecuencias graves.
- No dejar secando el material en el horno más de un día ya que el material puede degradarse y así perderá sus propiedades.

BIBLIOGRAFÍA

Norma ASTM D3418-15 “*Standard Test Method for Transition Temperatures and Enthalpies of Fusion and Crystallization of Polymers by Differential Scanning Calorimetry*”

Vargas, C., Posada, J., Jaramillo, L., y García, L. (2015). Consumo de energía en la industria del plástico: revisión de estudios realizados. *Revista CEA*, 1(1), 93-107.

Macosko, C. W., *Rheology Principles, Measurements, and Applications*, (Wiley-VCH. 1ª edición, Estados Unidos de América, 1994)

Perugachi R., Paredes C., Cornejo M., Baquerizo L., Rigail A., Eng. D. (2016). Nanocomposites of High Density Polyethylene and Organo-Clays Produced Industrially. Artículo presentado en 14th International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology, San José, Costa Rica.

M. Beltrán Rico and A. Marcilla Gomis, *Tecnología de polímeros*. San Vicente Raspeig: Publicaciones de la Universidad de Alicante, 2012.

El mundo compra un millón de botellas de plástico por minuto que acaban en vertederos o en el mar. (2019). Retrieved from https://www.eldiario.es/theguardian/compra-botellas-plastico-mayoria-vertederos_0_659684375.html

Cantor, K. M. (2010). Analyzing extruder energy consumption. *ANTEC 2010*, 603–609.

Kent, R. (2008). *Energy Management in Plastics Processing*, (1ra Ed.). Londres, Inglaterra: Plastics Information Direct.

L. Mellerá, "Tecnología de Polímeros," Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 4º de Ingeniería Química 2009.

Norma ASTM D792 -13 PLASTICOS – Métodos de prueba estándar para determinar la densidad y densidad específica (densidad relativa) de plásticos por desplazamiento.

Norma ASTM D1238 PLASTICOS – Determinación del Índice de Fluidez en Termoplásticos

C. Rauwendal, "Understanding Extrusion", Hanser Publishers, Munich, 1998.

D. H. Morton – Jones, "Polymer Processing", Chapman & Hall, Londres, 1991.

Difractometría de Rayos X | CENCINAT. (2019). Retrieved from <http://www.espe-innovativa.edu.ec/cencinat/difractometria-de-rayos-x/>

Arthur N. Wilkinson and Anthony J. Ryan, "Polymer Processing and Structure Development", Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1998.

Ramon Anguita, "Extrusión de Plásticos" H. Blume Ediciones, Madrid, 1977.

APÉNDICES

APÉNDICE A

FICHA TÉCNICA CLOISITE 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:

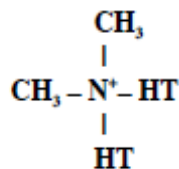
Cloisite® 20A is a natural montmorillonite modified with a quaternary ammonium salt.

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

Figura A. 1. Ficha Técnica Cloisite 20A parte 1

Typical Dry Particle Sizes: (microns, by volume)

10% less than:	50% less than:	90% less than:
2 μ	6 μ	13 μ

Color: Off White

Density:

Loose Bulk, lbs/ft ³	Packed Bulk, lbs/ft ³	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.

Figura A. 2. Ficha Técnica Cloisite 20A parte 2

APÉNDICE B

FICHA TÉCNICA COPOLIMERO DE BLOQUE DE OLEFINA (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 ³	0.863 g/cm ³	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.

Figura B. 1. Ficha Técnica Copolímero de Bloque de Olefina (OBC) - parte 1

Product Stewardship

The Dow Chemical Company and its subsidiaries ("Dow") has a fundamental concern for all who make, distribute, and use its products, and for the environment in which we live. This concern is the basis for our Product Stewardship philosophy by which we assess the safety, health, and environmental information on our products and then take appropriate steps to protect employee and public health and our environment. The success of our Product Stewardship program rests with each and every individual involved with Dow products — from the initial concept and research, to manufacture, use, sale, disposal, and recycle of each product.

Customer Notice

Dow strongly encourages its customers to review both their manufacturing processes and their applications of Dow products from the standpoint of human health and environmental quality to ensure that Dow products are not used in ways for which they are not intended or tested. Dow personnel are available to answer your questions and to provide reasonable technical support. Dow product literature, including safety data sheets, should be consulted prior to use of Dow products. Current safety data sheets are available from Dow.

Medical Applications Policy

NOTICE REGARDING MEDICAL APPLICATION RESTRICTIONS: Dow will not knowingly sell or sample any product or service ("Product") into any commercial or developmental application that is intended for:

- long-term or permanent contact with internal bodily fluids or tissues. "Long-term" is contact which exceeds 72 continuous hours;
- use in cardiac prosthetic devices regardless of the length of time involved ("cardiac prosthetic devices" include, but are not limited to, pacemaker leads and devices, artificial hearts, heart valves, intra-aortic balloons and control systems, and ventricular bypass-assisted devices);
- use as a critical component in medical devices that support or sustain human life; or
- use specifically by pregnant women or in applications designed specifically to promote or interfere with human reproduction.

Dow requests that customers considering use of Dow products in medical applications notify Dow so that appropriate assessments may be conducted. Dow does not endorse or claim suitability of its products for specific medical applications. It is the responsibility of the medical device or pharmaceutical manufacturer to determine that the Dow product is safe, lawful, and technically suitable for the intended use. **DOW MAKES NO WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, CONCERNING THE SUITABILITY OF ANY DOW PRODUCT FOR USE IN MEDICAL APPLICATIONS.**

Disclaimer

NOTICE: No freedom from infringement of any patent owned by Dow or others is to be inferred. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, the Customer is responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for the Customer's use and for ensuring that the Customer's workplace and disposal practices are in compliance with applicable laws and other governmental enactments. Dow assumes no obligation or liability for the information in this document. **NO WARRANTIES ARE GIVEN; ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY EXCLUDED.**

NOTICE: If products are described as "experimental" or "developmental": (1) product specifications may not be fully determined; (2) analysis of hazards and caution in handling and use are required; (3) there is greater potential for Dow to change specifications and/or discontinue production; and (4) although Dow may from time to time provide samples of such products, Dow is not obligated to supply or otherwise commercialize such products for any use or application whatsoever.

Additional Information

North America		Europe/Middle East	+800-3694-6367
U.S. & Canada:	1-800-441-4369		+31-11567-2626
	1-989-832-1426	Italy:	+800-783-825
Mexico:	+1-800-441-4369		
Latin America		South Africa	+800-99-5078
Argentina:	+54-11-4319-0100		
Brazil:	+55-11-5188-9000		
Colombia:	+57-1-219-6000	Asia Pacific	+800-7776-7776
Mexico:	+52-55-5201-4700		+603-7965-5392

www.dowplastics.com

This document is intended for use within Africa & Middle East, Asia Pacific, Europe, Latin America, North America

Published: 2015-09-22

© 2016 The Dow Chemical Company



Figura B. 2. Ficha Técnica Copolímero de Bloque de Olefina (OBC) - parte 2

APÉNDICE C

VERIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO DE LA HUMEDAD INTRÍNSECA DEL MATERIAL

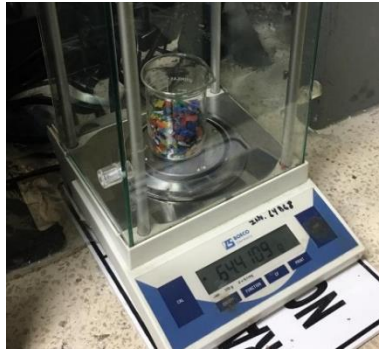


Figura C. 1. Masa antes de humedecer y secar – 1

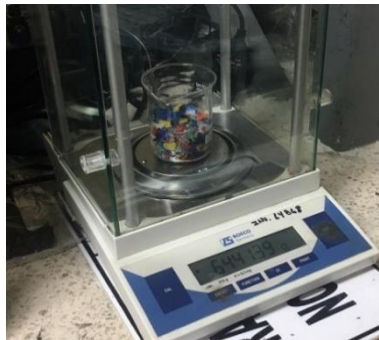


Figura C. 2. Masa después de secar - 1

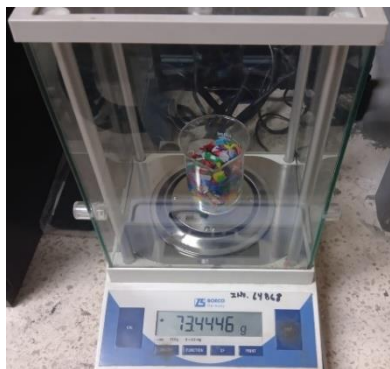


Figura C. 3. Masa antes de humedecer y secar – 2



Figura C. 4. Masa después de secar – 2



Figura C. 5. Masa antes de humedecer y secar – 3

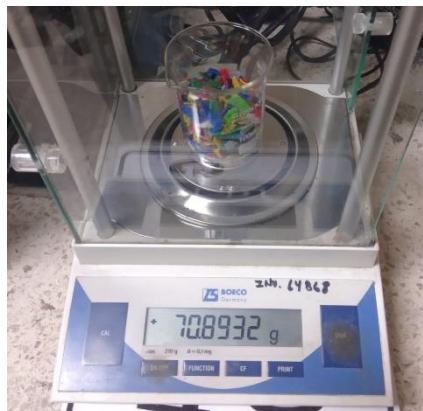


Figura C. 6. Masa después de secar – 3

APÉNDICE D

MEDICIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA RECICLADO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD PURO (100% rHDPE)

Tabla D. 1. Mediciones realizadas al rHDPE puro a 10 RPM

MUESTRA	1	2	3	4	5	PROMEDIO
VELOCIDAD DE TORNILLO (RPM)	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
TIEMPO (S)	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
PESO (GR)	23.00	27.00	29.00	27.00	23.00	25.80
TEMPERATURA (°C)	233.00	235.00	230.00	229.00	229.00	231.20
CONSUMO (KWH)	0.06	0.06	0.07	0.06	0.06	0.06
CONSUMO (J)	208800.00	230400.00	234000.00	201600.00	208800.00	216720.00
CONSUMO ESPECIFICO (J/GR)	9078.26	8533.33	8068.97	7466.67	9078.26	8445.10
VOLUMEN (CM3)	24.19	28.39	30.50	28.39	24.19	27.13
CAUDAL (CM3/S)	0.40	0.47	0.51	0.47	0.40	0.45
PRESION (BAR)	244.00	246.00	246.00	245.00	241.00	244.40

Fuente: Elaboración Propia

Tabla D. 2. Mediciones realizadas al rHDPE puro a 20 RPM

MUESTRA	1	2	3	4	5	PROMEDIO
VELOCIDAD DE TORNILLO (RPM)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
TIEMPO (S)	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
PESO (GR)	90.00	64.00	65.00	47.00	74.00	68.00
TEMPERATURA (°C)	233.00	233.00	234.00	229.00	230.00	231.80
CONSUMO (KWH)	0.07	0.06	0.06	0.08	0.09	0.07
CONSUMO (J)	241200.00	223200.00	226800.00	270000.00	306000.00	253440.00
CONSUMO ESPECIFICO (J/GR)	2680.00	3487.50	3489.23	5744.68	4135.14	3907.31
VOLUMEN (CM3)	94.86	67.46	68.51	49.54	78.00	71.67
CAUDAL (CM3/S)	1.58	1.12	1.14	0.83	1.30	1.19
PRESION (BAR)	243.00	245.00	244.00	243.00	243.00	243.60

Fuente: Elaboración Propia

Tabla D. 3. Mediciones realizadas al rHDPE puro a 30 RPM

MUESTRA	1	2	3	4	5	PROMEDIO
VELOCIDAD DE TORNILLO (RPM)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
TIEMPO (S)	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
PESO (GR)	132.00	154.00	67.00	69.00	100.00	104.40
TEMPERATURA (°C)	229.00	232.00	229.00	232.00	232.00	230.80
CONSUMO (KWH)	0.09	0.09	0.08	0.07	0.07	0.08
CONSUMO (J)	316800.00	334800.00	277200.00	259200.00	266400.00	290880.00
CONSUMO ESPECIFICO (J/GR)	2400.00	2174.03	4137.31	3756.52	2664.00	3026.37
VOLUMEN (CM3)	124.15	144.84	63.01	64.90	94.05	98.19
CAUDAL (CM3/S)	2.07	2.41	1.05	1.08	1.57	1.64
PRESION (BAR)	244.00	246.00	245.00	245.00	244.00	244.80

Fuente: Elaboración Propia

Tabla D. 4. Mediciones realizadas al rHDPE puro a 40 RPM

MUESTRA	1	2	3	4	5	PROMEDIO
VELOCIDAD DE TORNILLO (RPM)	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
TIEMPO (S)	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
PESO (GR)	207.00	100.00	124.00	94.00	167.00	138.40
TEMPERATURA (°C)	237.00	235.00	240.00	235.00	243.00	238.00
CONSUMO (KWH)	0.10	0.10	0.08	0.09	0.09	0.09
CONSUMO (J)	360000.00	363600.00	302400.00	324000.00	313200.00	332640.00
CONSUMO ESPECIFICO (J/GR)	1739.13	3636.00	2438.71	3446.81	1875.45	2627.22
VOLUMEN (CM3)	247.11	119.38	148.03	112.21	199.36	165.22
CAUDAL (CM3/S)	4.12	1.99	2.47	1.87	3.32	2.75
PRESION (BAR)	245.00	246.00	245.00	247.00	245.00	245.60

Fuente: Elaboración Propia

Tabla D. 5. Mediciones realizadas al rHDPE puro a 50 RPM

MUESTRA	1	2	3	4	5	PROMEDIO
VELOCIDAD DE TORNILLO (RPM)	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
TIEMPO (S)	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
PESO (GR)	214.00	212.00	224.00	221.00	244.00	223.00
TEMPERATURA (°C)	244.00	237.00	240.00	240.00	248.00	241.80
CONSUMO (KWH)	0.10	0.09	0.11	0.09	0.12	0.10
CONSUMO (J)	374400.00	334800.00	378000.00	316800.00	414000.00	363600.00
CONSUMO ESPECIFICO (J/GR)	1749.53	1579.25	1687.50	1433.48	1696.72	1629.30
VOLUMEN (CM3)	233.40	231.22	244.31	241.03	266.12	243.21
CAUDAL (CM3/S)	3.89	3.85	4.07	4.02	4.44	4.05
PRESION (BAR)	248.00	246.00	246.00	247.00	246.00	246.60

Fuente: Elaboración Propia

RECICLADO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD CON ADITIVO OBC (95% rHDPE + 5%OBC)

Tabla D. 6. Mediciones realizadas a la mezcla 95%rHDPE + 5%OBC a 10 RPM

MUESTRA	1	2	3	4	5	PROMEDIO
VELOCIDAD DE TORNILLO (RPM)	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
TIEMPO (S)	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
PESO (GR)	42.00	36.00	40.00	38.00	42.00	39.60
TEMPERATURA (°C)	239.00	233.00	235.00	234.00	236.00	235.40
CONSUMO (KWH)	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
CONSUMO (J)	313200.00	288000.00	280800.00	270000.00	298800.00	290160.00
CONSUMO ESPECIFICO (J/GR)	7457.14	8000.00	7020.00	7105.26	7114.29	7339.34
VOLUMEN (CM3)	42.50	36.43	40.47	38.45	42.50	40.07
CAUDAL (CM3/S)	0.71	0.61	0.67	0.64	0.71	0.67
PRESION (BAR)	251.00	248.00	249.00	250.00	250.00	249.60

Fuente: Elaboración Propia

Tabla D. 7. Mediciones realizadas a la mezcla 95% rHDPE + 5%OBC a 20 RPM

MUESTRA	1	2	3	4	5	PROMEDIO
VELOCIDAD DE TORNILLO (RPM)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
TIEMPO (S)	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
PESO (GR)	81.00	74.00	76.00	75.00	78.00	76.80
TEMPERATURA (°C)	235.00	241.00	235.00	237.00	230.00	235.60
CONSUMO (KWH)	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
CONSUMO (J)	252000.00	255600.00	244800.00	252000.00	234000.00	247680.00
CONSUMO ESPECIFICO (J/GR)	3111.11	3454.05	3221.05	3360.00	3000.00	3229.24
VOLUMEN (CM3)	83.49	76.27	78.33	77.30	80.39	79.16
CAUDAL (CM3/S)	1.39	1.27	1.31	1.29	1.34	1.32
PRESION (BAR)	254.00	254.00	252.00	249.00	245.00	251.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla D. 8. Mediciones realizadas a la mezcla 95%rHDPE + 5%OBC a 30 RPM

MUESTRA	1	2	3	4	5	PROMEDIO
VELOCIDAD DE TORNILLO (RPM)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
TIEMPO (S)	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
PESO (GR)	177.00	168.00	171.00	176.00	175.00	173.40
TEMPERATURA (°C)	238.00	229.00	237.00	236.00	236.00	235.20
CONSUMO (KWH)	0.06	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08
CONSUMO (JOULES)	208800.00	313200.00	320400.00	331200.00	324000.00	299520.00
CONSUMO ESPECIFICO (J/GR)	1179.66	1864.29	1873.68	1881.82	1851.43	1730.18
VOLUMEN (CM3)	183.26	173.94	177.05	182.23	181.19	179.53
CAUDAL (CM3/S)	3.05	2.90	2.95	3.04	3.02	2.99
PRESION (BAR)	244.00	243.00	242.00	244.00	245.00	243.60

Fuente: Elaboración Propia

Tabla D. 9. Mediciones realizadas a la mezcla 95% rHDPE + 5%OBC a 40 RPM

MUESTRA	1	2	3	4	5	PROMEDIO
VELOCIDAD DE TORNILLO (RPM)	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
TIEMPO (S)	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
PESO (GR)	195.00	186.00	180.00	189.00	190.00	188.00
TEMPERATURA (°C)	237.00	239.00	238.00	238.00	237.00	237.80
CONSUMO (KWH)	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10
CONSUMO (J)	392400.00	378000.00	374400.00	352800.00	342000.00	367920.00
CONSUMO ESPECIFICO (J/GR)	2012.31	2032.26	2080.00	1866.67	1800.00	1958.25
VOLUMEN (CM3)	203.81	194.41	188.13	197.54	198.59	196.50
CAUDAL (CM3/S)	3.40	3.24	3.14	3.29	3.31	3.27
PRESION (BAR)	252.00	253.00	253.00	253.00	253.00	252.80

Fuente: Elaboración Propia

Tabla D. 10. Mediciones realizadas a la mezcla 95% rHDPE + 5%OBC a 50 RPM

MUESTRA	1	2	3	4	5	PROMEDIO
VELOCIDAD DE TORNILLO (RPM)	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
TIEMPO (S)	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
PESO (GR)	226.00	228.00	224.00	220.00	221.00	223.80
TEMPERATURA (°C)	232.00	244.00	244.00	245.00	240.00	241.00
CONSUMO (KWH)	0.12	0.10	0.10	0.12	0.11	0.11
CONSUMO (J)	421200.00	370800.00	360000.00	417600.00	388800.00	391680.00
CONSUMO ESPECIFICO (J/GR)	1863.72	1626.32	1607.14	1898.18	1759.28	1750.93
VOLUMEN (CM3)	246.21	248.39	244.03	239.67	240.76	243.81
CAUDAL (CM3/S)	4.10	4.14	4.07	3.99	4.01	4.06
PRESION (BAR)	253.00	248.00	248.00	245.00	245.00	247.80

Fuente: Elaboración Propia

**RECICLADO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD CON ORGANOARCILLA
C20A (97% rHDPE + 3%C20A)**

Tabla D. 11. Mediciones realizadas a la mezcla 95%Rhdpe + 3%C20A a 10 RPM

MUESTRA	1	2	3	4	5	PROMEDIO
VELOCIDAD DE TORNILLO (RPM)	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
TIEMPO (S)	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
PESO (GR)	48.00	50.00	46.00	48.00	50.00	48.40
TEMPERATURA (°C)	195.00	196.00	195.00	197.00	196.00	195.80
CONSUMO (KWH)	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
CONSUMO (J)	298800.00	338400.00	316800.00	327600.00	320400.00	320400.00
CONSUMO ESPECIFICO (J/GR)	6225.00	6768.00	6886.96	6825.00	6408.00	6622.59
VOLUMEN (CM3)	49.54	51.60	47.47	49.54	51.60	49.95
CAUDAL (CM3/S)	0.83	0.86	0.79	0.83	0.86	0.83
PRESION (BAR)	239.00	240.00	238.00	242.00	240.00	239.80

Fuente: Elaboración Propia

Tabla D. 12. Mediciones realizadas a la mezcla 95%Rhdpe + 3%C20A a 20 RPM

MUESTRA	1	2	3	4	5	PROMEDIO
VELOCIDAD DE TORNILLO (RPM)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
TIEMPO (S)	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
PESO (GR)	89.00	90.00	87.00	91.00	90.00	89.40
TEMPERATURA (°C)	209.00	209.00	213.00	212.00	213.00	211.20
CONSUMO (KWH)	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08
CONSUMO (J)	288000.00	306000.00	295200.00	291600.00	288000.00	293760.00
CONSUMO ESPECIFICO (J/GR)	3235.96	3400.00	3393.10	3204.40	3200.00	3286.69
VOLUMEN (CM3)	92.44	93.48	90.36	94.52	93.48	92.85
CAUDAL (CM3/S)	1.54	1.56	1.51	1.58	1.56	1.55
PRESION (BAR)	240.00	242.00	240.00	240.00	241.00	240.60

Fuente: Elaboración Propia

Tabla D. 13. Mediciones realizadas a la mezcla 95%Rhdp + 3%C20A a 30 RPM

MUESTRA	1	2	3	4	5	PROMEDIO
VELOCIDAD DE TORNILLO (RPM)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
TIEMPO (S)	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
PESO (GR)	177.00	165.00	176.00	178.00	175.00	174.20
TEMPERATURA (°C)	219.00	227.00	227.00	225.00	230.00	225.60
CONSUMO (KWH)	0.09	0.09	0.10	0.09	0.10	0.09
CONSUMO (J)	331200.00	331200.00	360000.00	324000.00	342000.00	337680.00
CONSUMO ESPECIFICO (J/GR)	1871.19	2007.27	2045.45	1820.22	1954.29	1939.68
VOLUMEN (CM3)	186.71	174.05	185.65	187.76	184.60	183.76
CAUDAL (CM3/S)	3.11	2.90	3.09	3.13	3.08	3.06
PRESION (BAR)	239.00	238.00	240.00	240.00	239.00	239.20

Fuente: Elaboración Propia

Tabla D. 14. Mediciones realizadas a la mezcla 95%Rhdp + 3%C20A a 40 RPM

MUESTRA	1	2	3	4	5	PROMEDIO
VELOCIDAD DE TORNILLO (RPM)	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
TIEMPO (S)	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
PESO (GR)	261.00	283.00	270.00	275.00	279.00	273.60
TEMPERATURA (°C)	228.00	228.00	227.00	229.00	226.00	227.60
CONSUMO (KWH)	0.12	0.16	0.16	0.17	0.17	0.16
CONSUMO (JOULS)	428400.00	590400.00	576000.00	604800.00	594000.00	558720.00
CONSUMO ESPECIFICO (J/GR)	1641.38	2086.22	2133.33	2199.27	2129.03	2037.85
VOLUMEN (CM3)	276.47	299.77	286.00	291.30	295.54	289.82
CAUDAL (CM3/S)	4.61	5.00	4.77	4.85	4.93	4.83
PRESION (BAR)	242.00	242.00	241.00	240.00	242.00	241.40

Fuente: Elaboración Propia

Tabla D. 15. Mediciones realizadas a la mezcla 95%Rhdp + 5%OBC a 50 RPM

MUESTRA	1	2	3	4	5	PROMEDIO
VELOCIDAD DE TORNILLO (RPM)	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
TIEMPO (S)	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
PESO (GR)	399.00	427.00	411.00	421.00	415.00	414.60
TEMPERATURA (°C)	232.00	230.00	231.00	232.00	230.00	231.00
CONSUMO (KWH)	0.13	0.14	0.14	0.12	0.12	0.13
CONSUMO (JOULS)	468000.00	496800.00	514800.00	446400.00	439200.00	473040.00
CONSUMO ESPECIFICO (J/GR)	1172.93	1163.47	1252.55	1060.33	1058.31	1141.52
VOLUMEN (CM3)	419.89	449.36	432.52	443.04	436.73	436.31
CAUDAL (CM3/S)	7.00	7.49	7.21	7.38	7.28	7.27
PRESION (BAR)	253.00	248.00	248.00	245.00	245.00	247.80

Fuente: Elaboración Propia

RECICLADO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD CON ORGANOARCILLA C20A Y ADITIVO OBC (92% rHDPE + 3%C20A+5%OBC)**Tabla D. 16. Mediciones realizadas a la mezcla 92%Rhdp+ 3% C20A+ 5%OBC a 10 RPM**

MUESTRA	1	2	3	4	5	PROMEDIO
VELOCIDAD DE TORNILLO (RPM)	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
TIEMPO (S)	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
PESO (GR)	59.00	75.00	70.00	61.00	60.00	65.00
TEMPERATURA (°C)	220.00	218.00	221.00	217.00	219.00	219.00
CONSUMO (KWH)	0.07	0.07	0.08	0.09	0.07	0.08
CONSUMO (JOULES)	248400.00	252000.00	288000.00	324000.00	244800.00	271440.00
CONSUMO ESPECIFICO (J/GR)	4210.17	3360.00	4114.29	5311.48	4080.00	4215.19
VOLUMEN (CM3)	63.21	80.36	75.00	65.36	64.28	69.64
CAUDAL (CM3/S)	1.05	1.34	1.25	1.09	1.07	1.16
PRESION (BAR)	248.00	245.00	246.00	247.00	248.00	246.80

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla D. 17. Mediciones realizadas a la mezcla 92% rHDPE+ 3%C20A + 5%OBC
a 20 RPM**

MUESTRA	1	2	3	4	5	PROMEDIO
VELOCIDAD DE TORNILLO (RPM)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
TIEMPO (S)	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
PESO (GR)	178.00	147.00	177.00	199.00	180.00	176.20
TEMPERATURA (°C)	228.00	239.00	230.00	229.00	230.00	231.20
CONSUMO (KWH)	0.08	0.08	0.10	0.10	0.08	0.09
CONSUMO (JOULES)	288000.00	280800.00	342000.00	360000.00	280800.00	310320.00
CONSUMO ESPECIFICO (J/GR)	1617.98	1910.20	1932.20	1809.05	1560.00	1765.89
VOLUMEN (CM3)	183.82	151.80	182.79	205.50	185.88	181.96
CAUDAL (CM3/S)	3.06	2.53	3.05	3.43	3.10	3.03
PRESION (BAR)	249.00	249.00	250.00	250.00	250.00	249.60

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla D. 18. Mediciones realizadas a la mezcla 92% rHDPE+ 3% C20A+ 5%OBC
a 30 RPM**

MUESTRA	1	2	3	4	5	PROMEDIO
VELOCIDAD DE TORNILLO (RPM)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
TIEMPO (S)	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
PESO (GR)	252.00	261.00	126.00	232.00	228.00	219.80
TEMPERATURA (°C)	233.00	230.00	233.00	235.00	237.00	233.60
CONSUMO (KWH)	0.09	0.10	0.11	0.10	0.10	0.10
CONSUMO (JOULES)	313200.00	370800.00	385200.00	370800.00	345600.00	357120.00
CONSUMO ESPECIFICO (J/GR)	1242.86	1420.69	3057.14	1598.28	1515.79	1766.95
VOLUMEN (CM3)	280.67	290.70	140.34	258.40	253.94	244.81
CAUDAL (CM3/S)	4.68	4.84	2.34	4.31	4.23	4.08
PRESION (BAR)	250.00	251.00	251.00	251.00	251.00	250.80

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla D. 19. Mediciones realizadas a la mezcla 92%rHDPE+ 3% C20A+ 5%OBC
a 40 RPM**

MUESTRA	1	2	3	4	5	PROMEDIO
VELOCIDAD DE TORNILLO (RPM)	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
TIEMPO (S)	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
PESO (GR)	333.00	337.00	347.00	360.00	358.00	347.00
TEMPERATURA (°C)	237.00	241.00	240.00	241.00	240.00	239.80
CONSUMO (KWH)	0.10	0.12	0.16	0.18	0.16	0.14
CONSUMO (JOULES)	349200.00	424800.00	565200.00	633600.00	576000.00	509760.00
CONSUMO ESPECIFICO (J/GR)	1048.65	1260.53	1628.82	1760.00	1608.94	1461.39
VOLUMEN (CM3)	366.18	370.57	381.57	395.87	393.67	381.57
CAUDAL (CM3/S)	6.10	6.18	6.36	6.60	6.56	6.36
PRESION (BAR)	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla D. 20. Mediciones realizadas a la mezcla 92% rHDPE+ 3% C20A+ 5%OBC
a 50 RPM**

MUESTRA	1	2	3	4	5	PROMEDIO
VELOCIDAD DE TORNILLO (RPM)	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
TIEMPO (S)	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
PESO (GR)	499.00	485.00	491.00	530.00	510.00	503.00
TEMPERATURA (°C)	245.00	240.00	245.00	248.00	247.00	245.00
CONSUMO (KWH)	0.12	0.13	0.20	0.15	0.17	0.15
CONSUMO (JOULES)	432000.00	460800.00	709200.00	550800.00	612000.00	552960.00
CONSUMO ESPECIFICO (J/GR)	865.73	950.10	1444.40	1039.25	1200.00	1099.90
VOLUMEN (CM3)	577.60	561.39	568.34	613.48	590.33	582.23
CAUDAL (CM3/S)	9.63	9.36	9.47	10.22	9.84	9.70
PRESION (BAR)	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00

Fuente: Elaboración Propia

APÉNDICE E

RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL

RECICLADO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD CON ORGANOARCILLA C20A (97% rHDPE + 3%C20A)

➤ 10 RPM

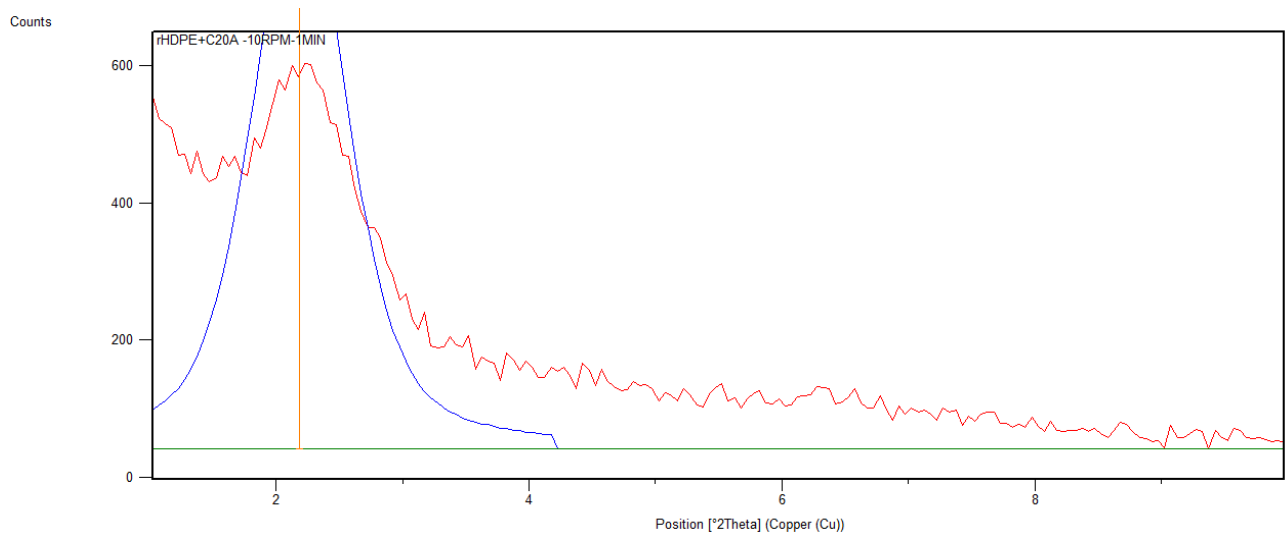


Figura. E. 1. DRX de la mezcla 97% rHDPE + 3%C20A a 10RPM

Selected object: Peak(s)

Basic Properties	
Position [°2Theta]	2,18770
d-spacing	40,35061
Sine ² Theta	0,00036
Height [cts]	741,90
FWHM [°2Th.]	0,87995
Tip Width	1,05594
Area [cts**2Th.]	652,83580
Background [cts]	42,00000
Shape	0,00000
Significance	0,00000
Relative Intensity [%]	100,00000

Figura. E. 2. Características de la mezcla 97% rHDPE + 3%C20A a 10RPM

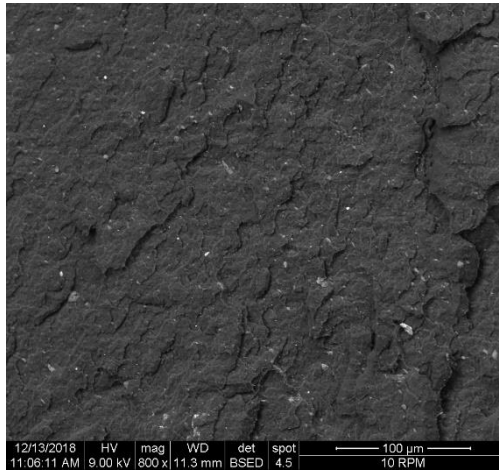


Figura. E. 3. MEB de la mezcla 97% rHDPE + 3%C20A a 10RPM

➤ 20 RPM

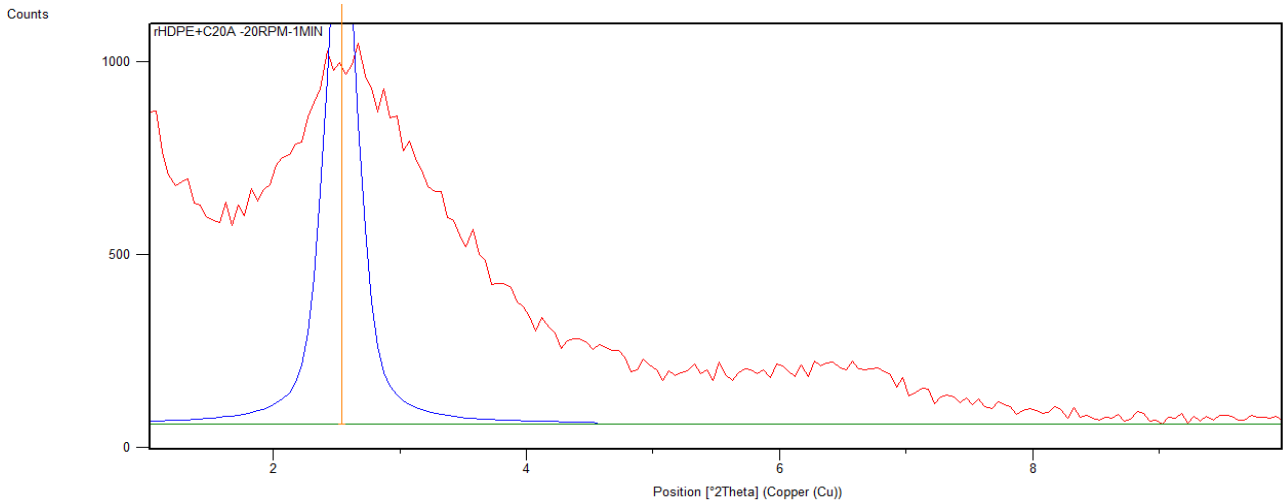


Figura. E. 4. DRX de la mezcla 97% rHDPE + 3%C20A a 20RPM

Object Inspector		
Selected object: Peak(s)		
Basic Properties		
Position [°2Theta]		2,53843
d-spacing		34,77620
Sine ² Theta		0,00049
Height [cts]		1251,80
FWHM [°2Th.]		0,29096
Tip Width		0,34915
Area [cts**2Th.]		364,22660
Background [cts]		62,00000
Shape		0,00000
Significance		0,00000
Relative Intensity [%]		100,00000

Figura. E. 5. Características de la mezcla 97% rHDPE + 3%C20A a 20RPM

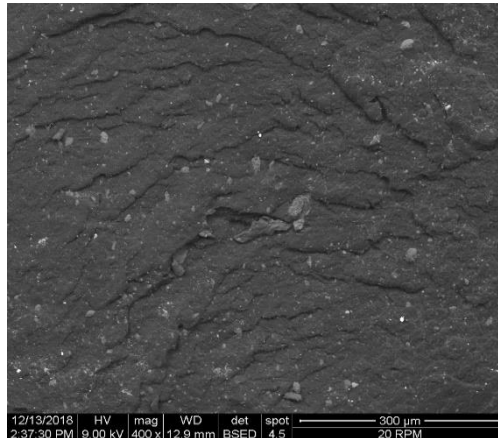


Figura. E. 6. MEB de la mezcla 97% rHDPE + 3%C20A a 20RPM

➤ 30 RPM

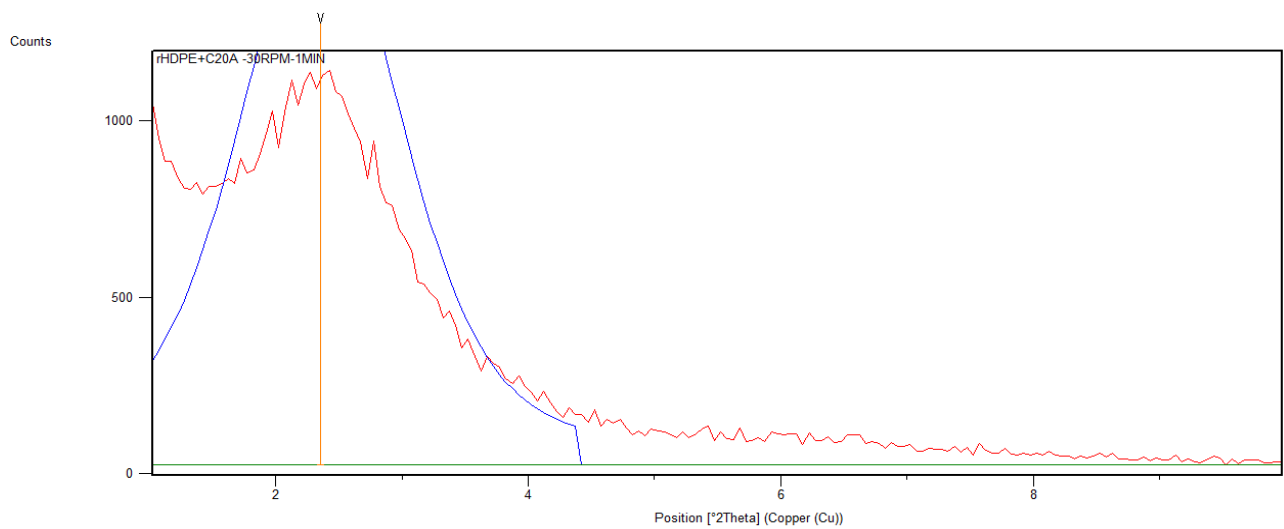


Figura. E. 7. DRX de la mezcla 97% rHDPE + 3%C20A a 30RPM

Selected object: Peak(s)	
<input checked="" type="checkbox"/> Basic Properties	
Position [°2Theta]	2,35660
d-spacing	37,45910
Sine ² Theta	0,00042
Height [cts]	1443,02
FWHM [°2Th.]	1,51184
Tip Width	1,81421
Area [cts**2Th.]	2181,60600
Background [cts]	26,00000
Shape	0,00000
Significance	0,00000
Relative Intensity [%]	100,00000

Figura. E. 8. Características de la mezcla 97% rHDPE + 3%C20A a 30RPM

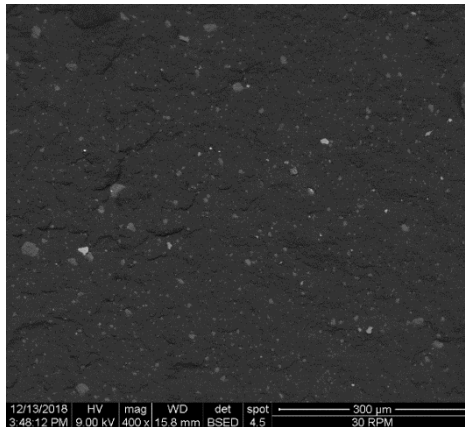


Figura. E. 9. MEB de la mezcla 97% rHDPE + 3%C20A a 30RPM

➤ 40 RPM

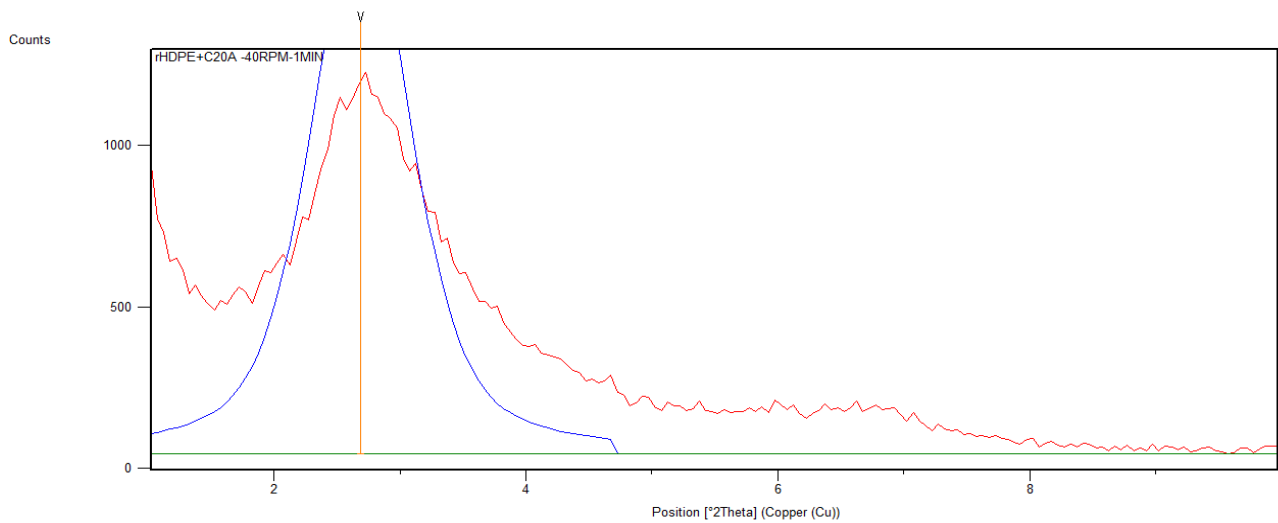


Figura. E. 10. DRX de la mezcla 97% rHDPE + 3%C20A a 40RPM

Selected object: Peak(s)

Basic Properties	
Position [°2Theta]	2,69108
d-spacing	32,80388
Sine ² Theta	0,00055
Height [cts]	1495,80
FWHM [°2Th.]	0,93489
Tip Width	1,12187
Area [cts*°2Th.]	1398,40800
Background [cts]	46,00000
Shape	0,00000
Significance	0,00000
Relative Intensity [%]	100,00000

Figura. E. 11. Características de la mezcla 97% rHDPE + 3%C20A a 40RPM

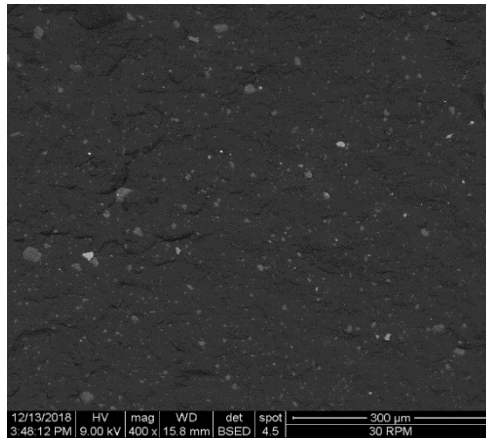


Figura. E. 12. MEB de la mezcla 97% rHDPE + 3%C20A a 30RPM

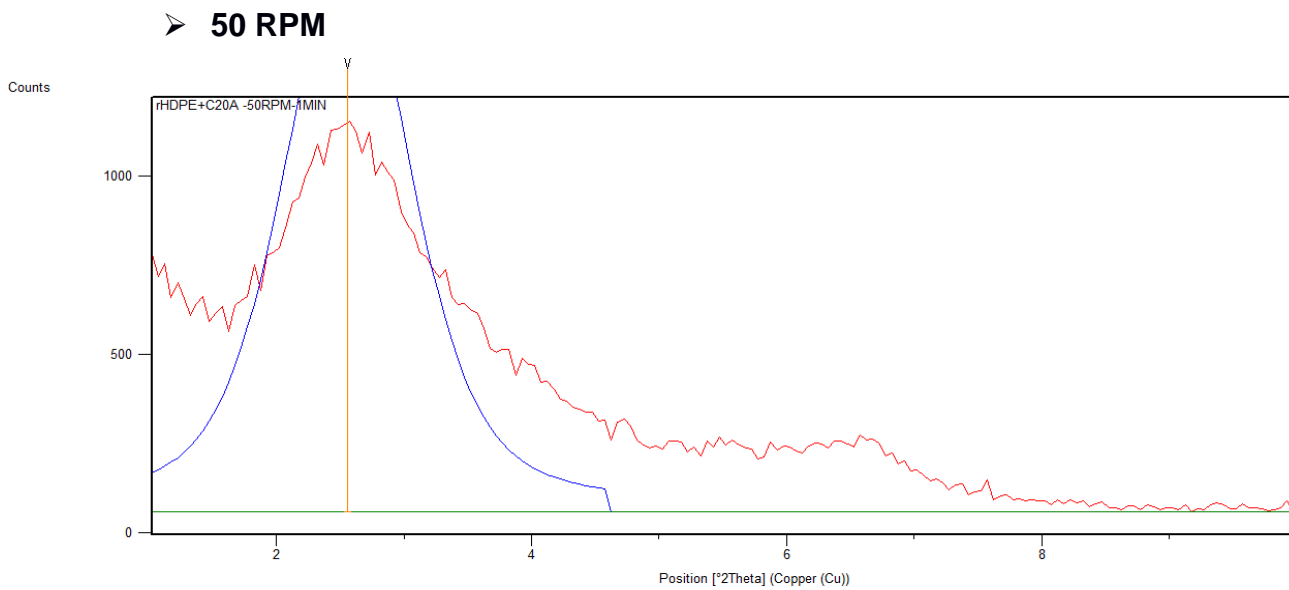


Figura. E. 13. DRX de la mezcla 97% rHDPE + 3%C20A a 50RPM

Selected object: Peak(s)

Basic Properties	
Position [°2Theta]	2,55664
d-spacing	34,52854
Sine ² Theta	0,00050
Height [cts]	1427,20
FWHM [°2Th.]	1,16218
Tip Width	1,39462
Area [cts**2Th.]	1658,66700
Background [cts]	60,00000
Shape	0,00000
Significance	0,00000
Relative Intensity [%]	100,00000

Figura. E. 14. Características de la mezcla 97% rHDPE + 3%C20A a 50RPM

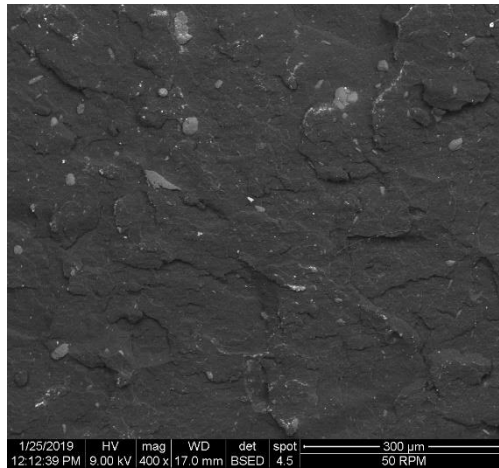


Figura. E. 15. MEB de la mezcla 97% rHDPE + 3%C20A a 50RPM

RECICLADO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD CON ORGANOARCILLA C20A Y ADITIVO OBC (92% rHDPE + 3%C20A+5%OBC)

➤ **10 RPM**

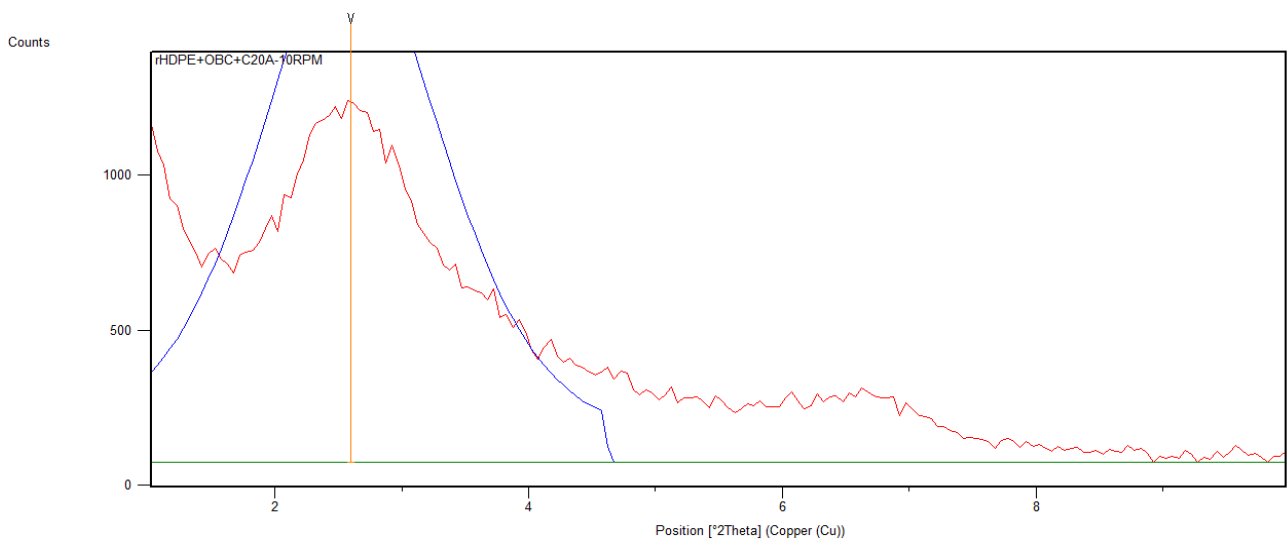


Figura. E. 16. DRX de la mezcla 92% rHDPE+3%C20A+5%OBC a 10RPM

Selected object: Peak(s)

Basic Properties		
Position [$^{\circ}2\theta$]		2,59611
d-spacing		34,00372
Sine $^2\theta$		0,00051
Height [cts]		1509,57
FWHM [$^{\circ}2\theta$]		1,73650
Tip Width		2,08380
Area [cts $^{\circ}2\theta$]		2621,36300
Background [cts]		75,00000
Shape		0,00000
Significance		0,00000
Relative Intensity [%]		100,00000

Figura. E. 17. Características de la mezcla 92% rHDPE+3%C20A+5%OBC procesado a 10RPM

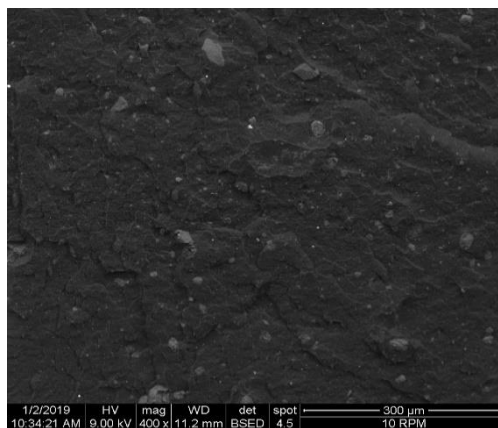


Figura. E. 18. MEB de la mezcla 92% rHDPE+3%C20A+5%OBC a 10RPM

➤ **20 RPM**

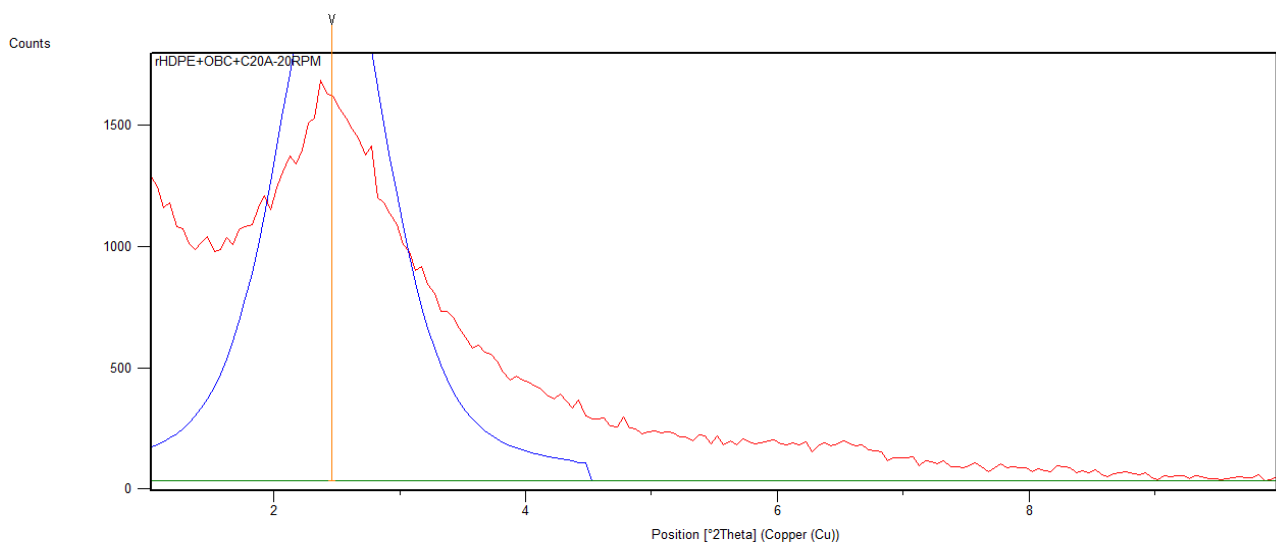


Figura. E. 19. DRX de la mezcla 92% rHDPE+3%C20A+5%OBC a 20RPM

Selected object: Peak(s)		
Basic Properties		
Position [$^{\circ}2\theta$]		2,46426
d-spacing		35,82276
Sine 2 Theta		0,00046
Height [cts]		2061,93
FWHM [$^{\circ}2\theta$]		1,02589
Tip Width		1,23107
Area [cts $^{\circ}2\theta$]		2115,31300
Background [cts]		35,00000
Shape		0,00000
Significance		0,00000
Relative Intensity [%]		100,00000

Figura. E. 20. Características de la mezcla 92% rHDPE+3%C20A+5%OBC procesado a 20RPM

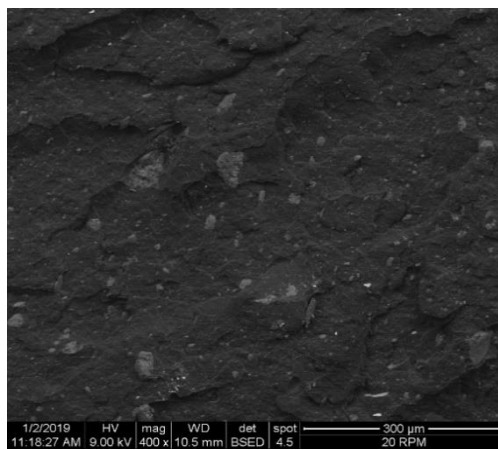


Figura. E. 21. MEB de la mezcla 92% rHDPE+3%C20A+5%OBC a 20RPM

➤ **30 RPM**

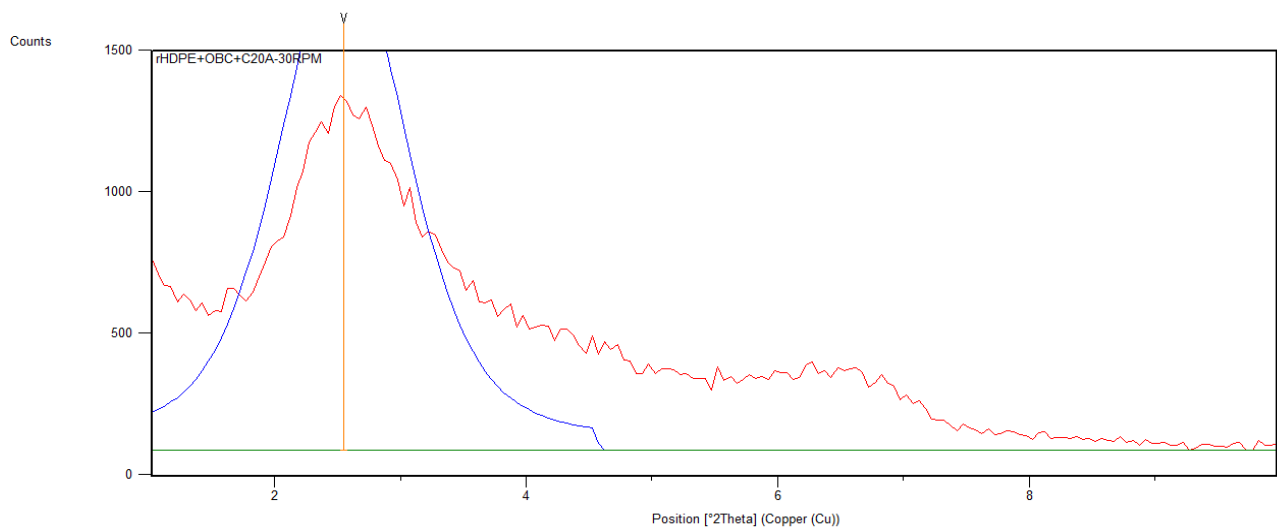


Figura. E. 22. DRX de la mezcla 92% rHDPE+3%C20A+5%OBC a 30RPM

Selected object: Peak(s)

Basic Properties	
Position [$^{\circ}2\theta$]	2,54574
d-spacing	34,67633
Sine 2 Theta	0,00049
Height [cts]	1605,30
FWHM [$^{\circ}2\theta$]	1,19617
Tip Width	1,43541
Area [cts $^{\circ}2\theta$]	1920,21600
Background [cts]	86,00000
Shape	0,00000
Significance	0,00000
Relative Intensity [%]	100,00000

Figura. E. 23. Características de la mezcla 92% rHDPE+3%C20A+5%OBC procesado a 30RPM

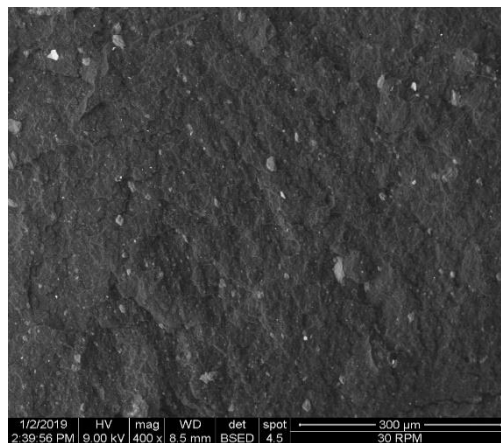


Figura. E. 24. MEB de la mezcla 92% rHDPE+3%C20A+5%OBC a 30RPM

➤ **40 RPM**

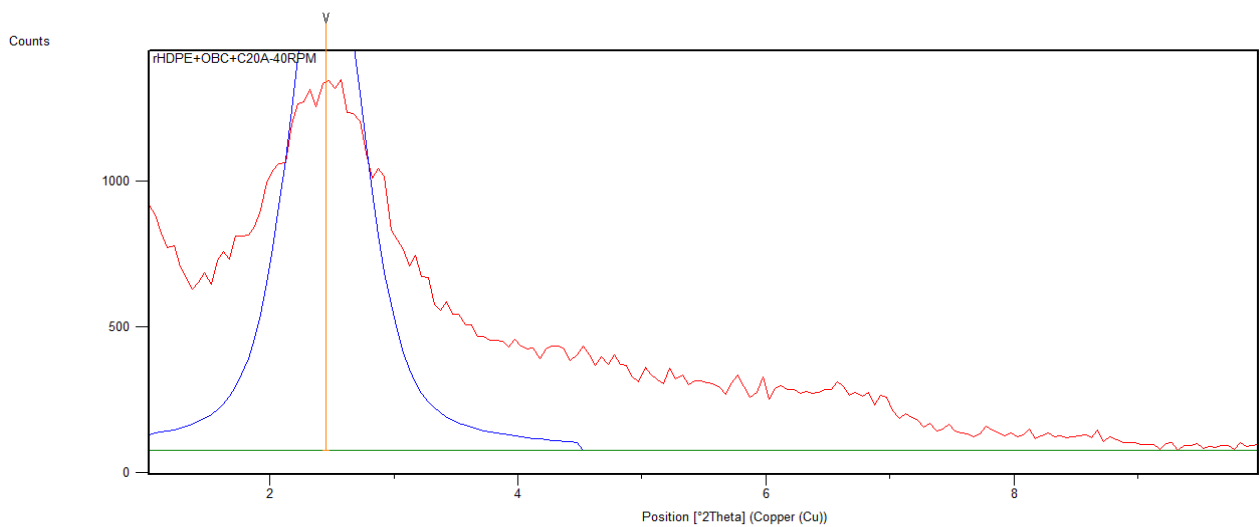


Figura. E. 25. DRX de la mezcla 92% rHDPE+3%C20A+5%OBC a 40RPM

Selected object: Peak(s)

Basic Properties	
Position [$^{\circ}$ 2Theta]	2,46727
d-spacing	35,77906
Sine ² Theta	0,00046
Height [cts]	1648,21
FWHM [$^{\circ}$ 2Th.]	1,17711
Tip Width	1,41253
Area [cts $^{\circ}$ 2Th.]	1940,12700
Background [cts]	78,00000
Shape	0,00000
Significance	0,00000
Relative Intensity [%]	100,00000

Figura. E. 26. Características de la mezcla 92% rHDPE+3%C20A+5%OBC procesado a 40RPM

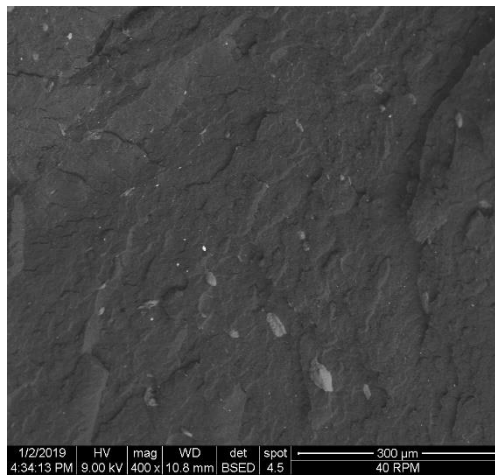


Figura. E. 27. MEB de la mezcla 92% rHDPE+3%C20A+5%OBC a 40RPM

➤ 50 RPM

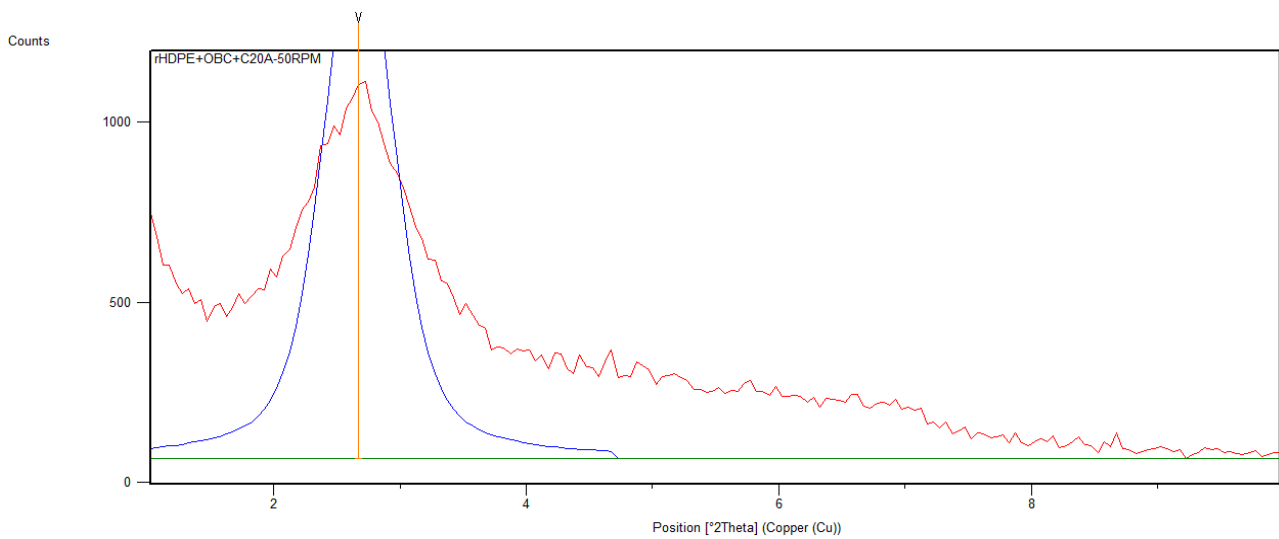


Figura. E. 28. MEB de la mezcla 92% rHDPE+3%C20A+5%OBC a 50RPM

Selected object: Peak(s)

Basic Properties		
Position [$^{\circ}2\theta$]		2,67168
d-spacing		33,04199
Sine 2 Theta		0,00054
Height [cts]		1369,50
FWHM [$^{\circ}2\theta$]		0,63615
Tip Width		0,76338
Area [cts $^{\circ}2\theta$]		871,20510
Background [cts]		67,00000
Shape		0,00000
Significance		0,00000
Relative Intensity [%]		100,00000

Figura. E. 29. MEB de la mezcla 92% rHDPE+3%C20A+5%OBC procesado a 50RPM

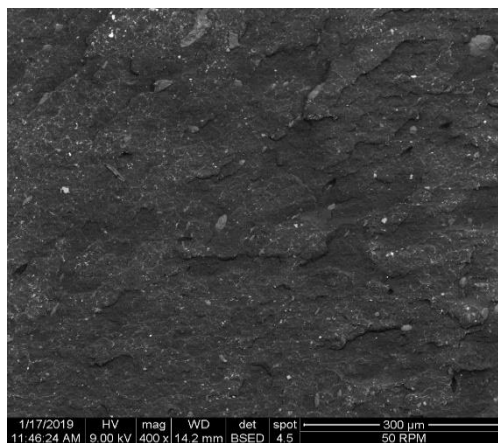


Figura. E. 30. MEB de la mezcla 92% rHDPE+3%C20A+5%OBC a 50RPM

RECICLADO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD PURO (100% rHDPE)

➤ 10 RPM

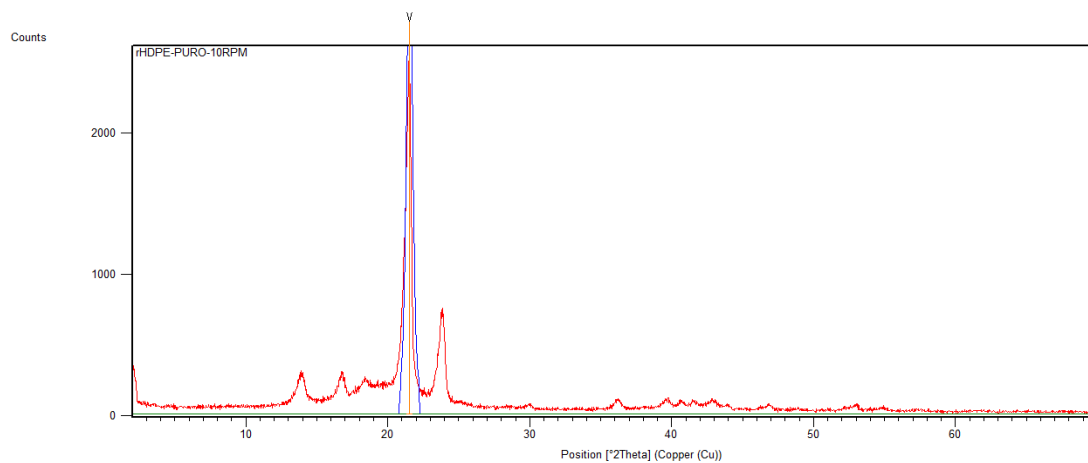


Figura. E. 31. DRX de la mezcla 100% rHDPE a 10RPM

Selected object: Peak(s)

Basic Properties	
Position [$^{\circ}2\theta$]	21,51630
d-spacing	4,12666
Sine 2 Theta	0,03484
Height [cts]	3205,98
FWHM [$^{\circ}2\theta$]	0,48564
Tip Width	0,58277
Area [cts $^{\circ}2\theta$]	1556,94800
Background [cts]	16,00022
Shape	0,00000
Significance	0,00000
Relative Intensity [%]	100,00000

Figura. E. 32. Característica de la mezcla 100% rHDPE a 10RPM

➤ 20 RPM.

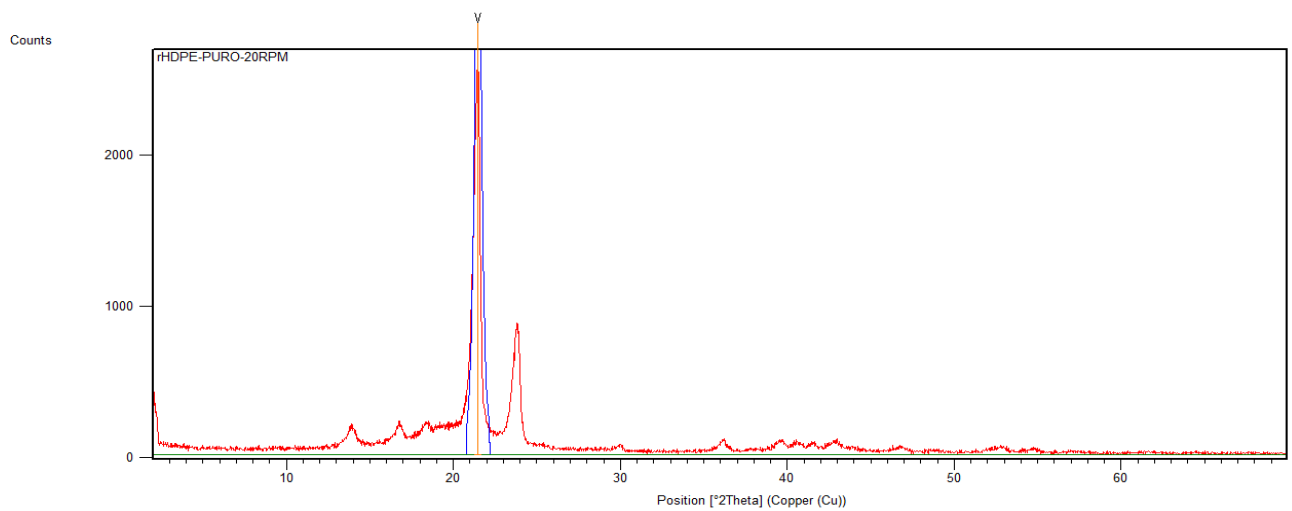


Figura. E. 33. DRX de la mezcla 100% rHDPE a 20RPM

Selected object: Peak(s)

Basic Properties	
Position [$^{\circ}2\theta$]	21,45840
d-spacing	4,13767
Sine 2 Theta	0,03466
Height [cts]	3407,36
FWHM [$^{\circ}2\theta$]	0,48199
Tip Width	0,57839
Area [cts $^{\circ}2\theta$]	1642,30600
Background [cts]	17,36045
Shape	0,00000
Significance	0,00000
Relative Intensity [%]	100,00000

Figura. E. 34. Características de la mezcla 100% rHDPE a 10RPM

➤ 30 RPM

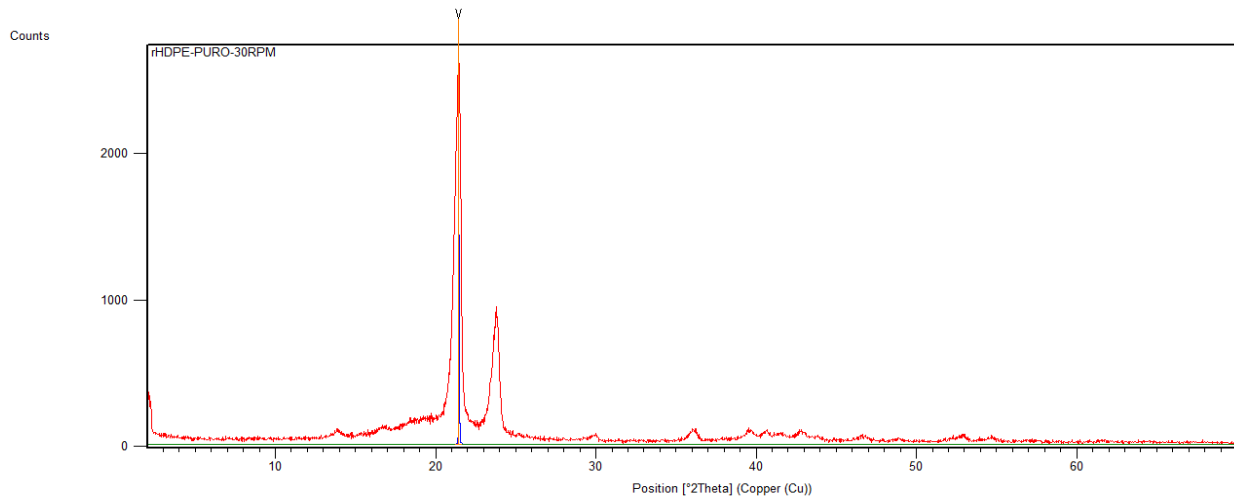


Figura. E. 35. DRX de la mezcla 100% rHDPE a 30RPM

Selected object: Peak(s)

Basic Properties	
Position [°2Theta]	21.44219
d-spacing	4.14076
Sine ² Theta	0.03461
Height [cts]	3399.23
FWHM [°2Th.]	0.01513
Tip Width	0.01815
Area [cts*°2Th.]	51.42415
Background [cts]	14.12909
Shape	0.00000
Significance	0.00000
Relative Intensity [%]	100.00000

Figura. E. 36. Características de la mezcla 100% rHDPE a 30RPM

➤ 40 RPM

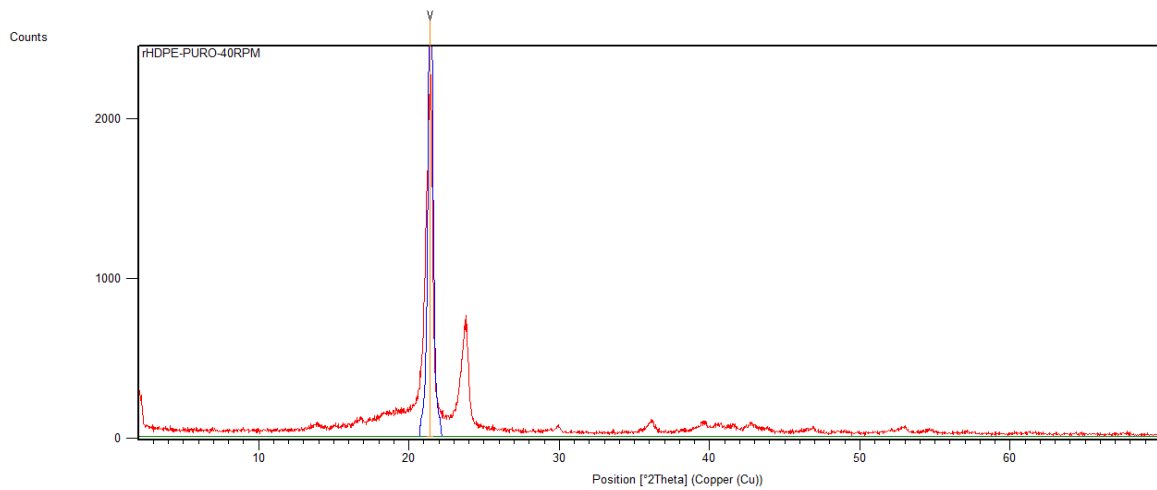


Figura. E. 37. DRX de la mezcla 100% rHDPE a 40RPM

Selected object: Peak(s)	
Basic Properties	
Position [$^{\circ}$ 2Theta]	21,41786
d-spacing	4,14541
Sine ² Theta	0,03453
Height [cts]	3055,42
FWHM [$^{\circ}$ 2Th.]	0,32263
Tip Width	0,38716
Area [cts $^{\circ}$ 2Th.]	985,77800
Background [cts]	14,97378
Shape	0,00000
Significance	0,00000
Relative Intensity [%]	100,00000

Figura. E. 38. Características de la mezcla 100% rHDPE a 40RPM

➤ 50 RPM

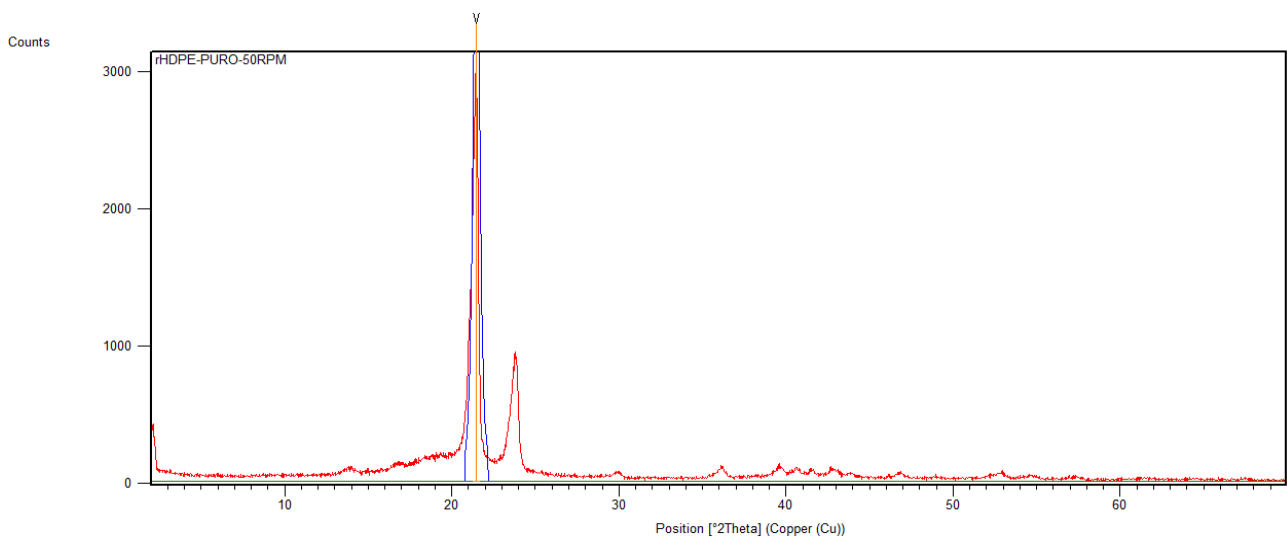


Figura. E. 39.. DRX de la mezcla 100% rHDPE a 50RPM

Selected object: Peak(s)	
Basic Properties	
Position [$^{\circ}$ 2Theta]	21,45193
d-spacing	4,13890
Sine ² Theta	0,03464
Height [cts]	3878,22
FWHM [$^{\circ}$ 2Th.]	0,46011
Tip Width	0,55213
Area [cts $^{\circ}$ 2Th.]	1784,41400
Background [cts]	15,58901
Shape	0,00000
Significance	0,00000
Relative Intensity [%]	100,00000

Figura. E. 40. Características de la mezcla 100% rHDPE a 40RPM

RECICLADO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD CON ADITIVO OBC (95% rHDPE+5%OBC)

➤ 10 RPM

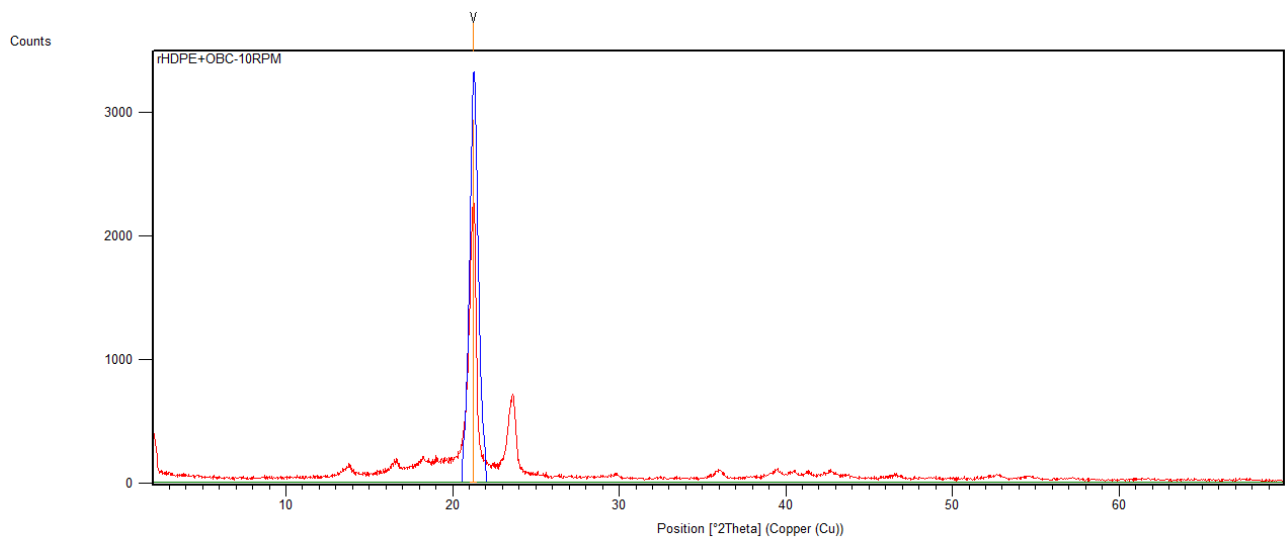


Figura. E. 41. DRX de la mezcla 95% rHDPE+5%OBC a 10RPM

Selected object: Peak(s)

Basic Properties	
Position [°2Theta]	21,26722
d-spacing	4,17443
Sine ² Theta	0,03405
Height [cts]	2931,01
FWHM [°2Th.]	0,55211
Tip Width	0,66253
Area [cts**2Th.]	1618,23700
Background [cts]	11,95912
Shape	0,00000
Significance	0,00000
Relative Intensity [%]	100,00000

Figura. E. 42. Características de la mezcla 95% rHDPE+5%OBC a 10RPM

➤ **20 RPM**

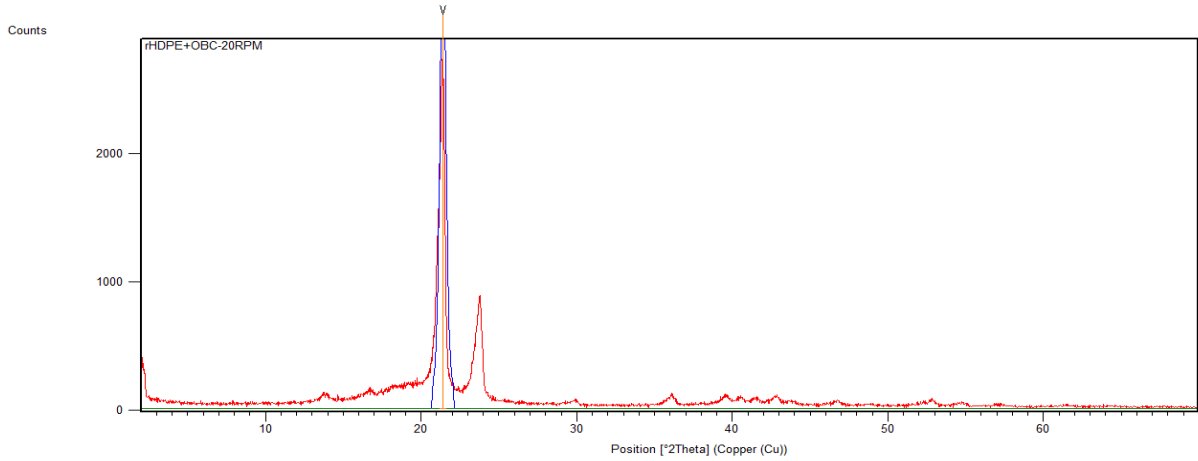


Figura. E. 43. DRX de la mezcla 95% rHDPE+5%OBC a 20RPM

Selected object: Peak(s)

Basic Properties	
Position [°2Theta]	21,38455
d-spacing	4,15179
Sine ² Theta	0,03442
Height [cts]	3568,19
FWHM [°2Th.]	0,42442
Tip Width	0,50930
Area [cts*°2Th.]	1514,39700
Background [cts]	15,04000
Shape	0,00000
Significance	0,00000
Relative Intensity [%]	100,00000

Figura. E. 44. Características de la mezcla 95% rHDPE+5%OBC a 20RPM

➤ **30 RPM**

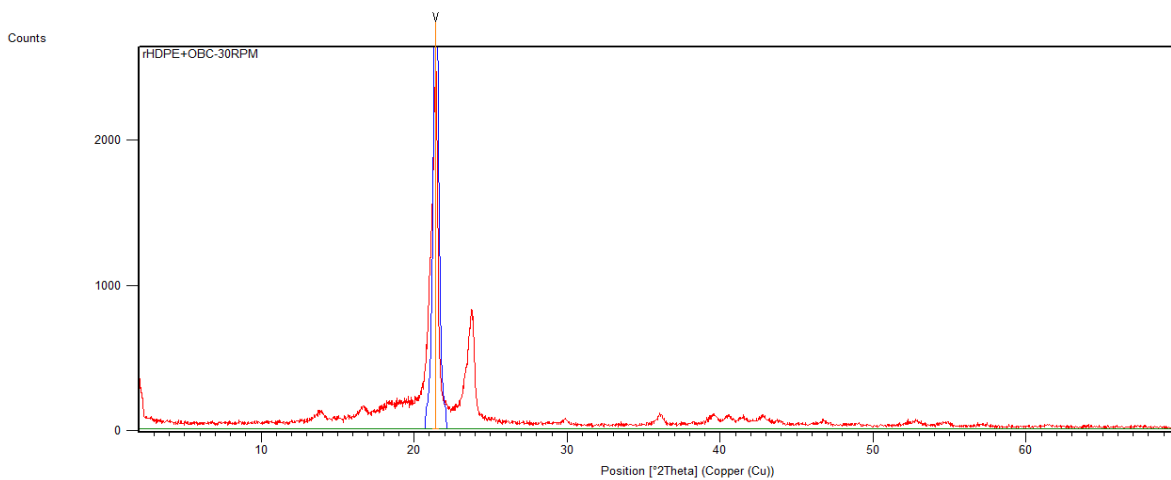


Figura. E. 45. DRX de la mezcla 95% rHDPE+5%OBC a 30RPM

Selected object: Peak(s)

Basic Properties	
Position [$^{\circ}2\theta$]	21,40760
d-spacing	4,14737
Sine 2 Theta	0,03450
Height [cts]	3215,57
FWHM [$^{\circ}2\theta$]	0,36368
Tip Width	0,43642
Area [cts $^{\circ}2\theta$]	1169,45400
Background [cts]	13,45833
Shape	0,00000
Significance	0,00000
Relative Intensity [%]	100,00000

Figura. E. 46. Características de la mezcla 95% rHDPE+5%OBC a 30RPM

➤ 40 RPM

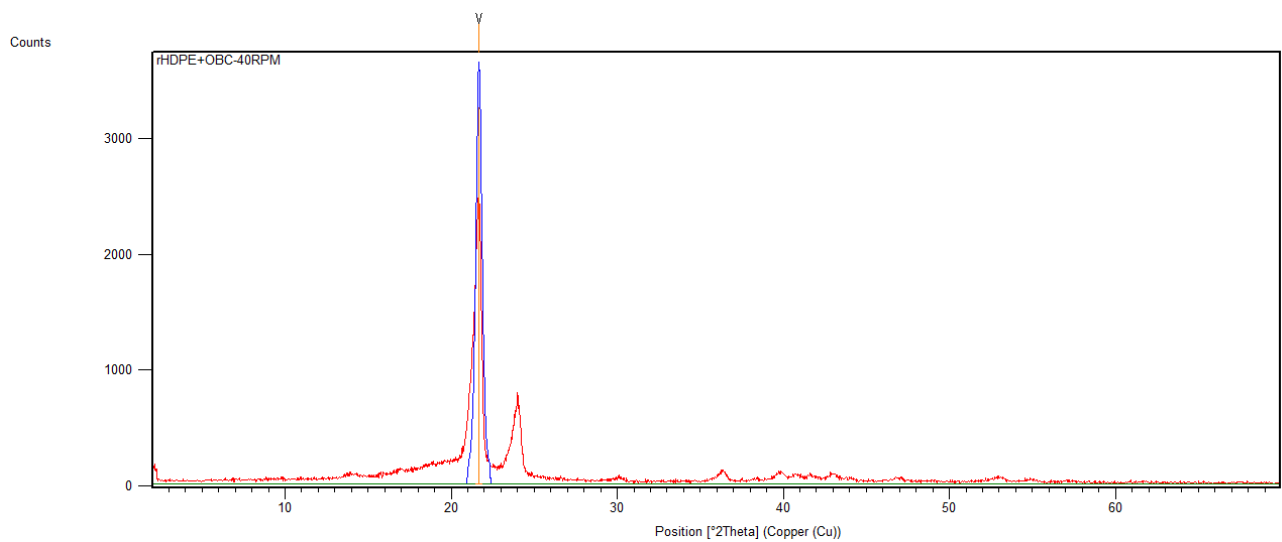


Figura. E. 47. DRX de la mezcla 95% rHDPE+5%OBC a 40RPM

Selected object: Peak(s)

Basic Properties	
Position [$^{\circ}2\theta$]	21,67034
d-spacing	4,09768
Sine 2 Theta	0,03534
Height [cts]	3264,18
FWHM [$^{\circ}2\theta$]	0,20231
Tip Width	0,24277
Area [cts $^{\circ}2\theta$]	660,38280
Background [cts]	16,06448
Shape	0,00000
Significance	0,00000
Relative Intensity [%]	100,00000

Figura. E. 48. Características de la mezcla 95% rHDPE+5%OBC a 40RPM

➤ 50RPM

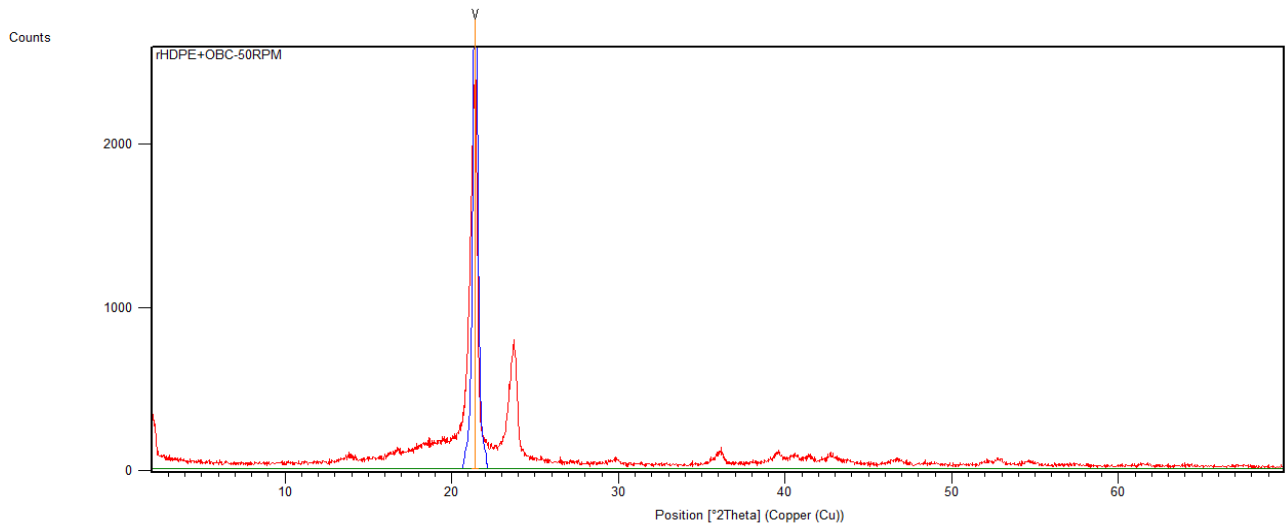


Figura. E. 49. DRX de la mezcla 95% rHDPE+5%OBC a 50RPM

Selected object: Peak(s)		
Basic Properties		
Position [°2Theta]		21,39802
d-spacing		4,14921
Sine ² Theta		0,03447
Height [cts]		3203,02
FWHM [°2Th.]		0,30085
Tip Width		0,36102
Area [cts*°2Th.]		963,64080
Background [cts]		11,53074
Shape		0,00000
Significance		0,00000
Relative Intensity [%]		100,00000

Figura. E. 50. Características de la mezcla 95% rHDPE+5%OBC a 50RPM

APÉNDICE F

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE REOLOGÍA

Tabla F. 1. Resultados de Reología de todas las mezclas a 30RPM

RHDPE		RHDPE+ORGANOARCI LLA		RHDPE+ORGANOARCI LLA+ADITIVO		RHDPE+ADITIVO	
Shear viscosity (Pa s)	Shear Rate (s- 1)	Shear viscosity (Pa s)	Shear Rate (s-1)	Shear viscosity (Pa s)	Shear Rate (s-1)	Shear viscosity (Pa s)	Shear Rate (s-1)
3,67E+03	8,24E-03	3,77E+03	0,01002	6,68E+03	9,65E-03	2,22E+03	7,97E-03
4,38E+03	0,01028	4,47E+03	0,01019	7,91E+03	0,01039	2,63E+03	8,19E-03
4,86E+03	0,01214	4,71E+03	0,01129	8,30E+03	0,01199	2,69E+03	0,01055
5,44E+03	0,01192	4,99E+03	0,01144	9,01E+03	0,01213	2,82E+03	0,01231
5,95E+03	0,011	5,24E+03	0,0111	9,82E+03	0,0107	2,99E+03	0,01285
6,18E+03	0,01078	5,36E+03	0,01106	9,79E+03	0,01076	3,21E+03	0,01223
6,22E+03	0,01133	5,39E+03	0,01144	9,61E+03	0,01167	3,45E+03	0,01129
6,30E+03	0,012	5,42E+03	0,01196	9,82E+03	0,01208	3,53E+03	0,01109
6,32E+03	0,01263	5,50E+03	0,01226	1,00E+04	0,01222	3,52E+03	0,01156
6,38E+03	0,01283	5,57E+03	0,01246	1,02E+04	0,01236	3,43E+03	0,0126
6,32E+03	0,01281	5,61E+03	0,01267	1,02E+04	0,01273	3,49E+03	0,01319
6,48E+03	0,01235	5,65E+03	0,01296	1,02E+04	0,01309	3,56E+03	0,01322
6,39E+03	0,0129	5,68E+03	0,01327	1,02E+04	0,01335	3,61E+03	0,01315
6,31E+03	0,01372	5,71E+03	0,01363	1,03E+04	0,01358	3,59E+03	0,01348
6,21E+03	0,01448	5,73E+03	0,01399	1,03E+04	0,01393	3,65E+03	0,0137
6,38E+03	0,01428	5,77E+03	0,01425	1,03E+04	0,01424	3,68E+03	0,01423
6,43E+03	0,01433	5,80E+03	0,01454	1,04E+04	0,01462	3,74E+03	0,01465
6,41E+03	0,01476	5,82E+03	0,0149	1,05E+04	0,01485	3,81E+03	0,01495
6,34E+03	0,01554	5,85E+03	0,01527	1,04E+04	0,01553	3,88E+03	0,01524
6,45E+03	0,01571	5,88E+03	0,01563	1,06E+04	0,01559	3,88E+03	0,01577
6,50E+03	0,01589	5,92E+03	0,01597	1,05E+04	0,01602	3,88E+03	0,01612
6,48E+03	0,01639	5,91E+03	0,01654	1,05E+04	0,01638	3,94E+03	0,01625
6,49E+03	0,0168	5,98E+03	0,01683	1,05E+04	0,01679	3,92E+03	0,01675
6,52E+03	0,01711	6,02E+03	0,01707	1,05E+04	0,01711	3,96E+03	0,01706
6,52E+03	0,01755	6,02E+03	0,01754	1,04E+04	0,0176	3,96E+03	0,01753
6,52E+03	0,01795	6,04E+03	0,01796	1,05E+04	0,01795	4,00E+03	0,01789
6,53E+03	0,01833	6,05E+03	0,01838	1,05E+04	0,01838	4,03E+03	0,0183

6,54E+03	0,01878	6,06E+03	0,01877	1,05E+04	0,01879	4,05E+03	0,01878
6,54E+03	0,01925	6,07E+03	0,01923	1,05E+04	0,01926	4,09E+03	0,0192
6,55E+03	0,01968	6,07E+03	0,01971	1,05E+04	0,01966	4,11E+03	0,01967
6,56E+03	0,0201	6,08E+03	0,02012	1,05E+04	0,02014	4,14E+03	0,02034
6,56E+03	0,02061	6,08E+03	0,02058	1,05E+04	0,0206	4,20E+03	0,02067
6,57E+03	0,02107	6,08E+03	0,0211	1,04E+04	0,0212	4,20E+03	0,02116
6,58E+03	0,02156	6,10E+03	0,02155	1,04E+04	0,02159	4,25E+03	0,02141
6,58E+03	0,02206	6,09E+03	0,0221	1,04E+04	0,0221	4,26E+03	0,02212
6,58E+03	0,02262	6,09E+03	0,02256	1,04E+04	0,02261	4,29E+03	0,0226
6,59E+03	0,02311	6,09E+03	0,02311	1,05E+04	0,02314	4,34E+03	0,023
6,62E+03	0,02357	6,09E+03	0,02366	1,05E+04	0,02369	4,35E+03	0,02369
6,62E+03	0,02434	6,10E+03	0,02419	1,04E+04	0,02421	4,39E+03	0,02416
6,68E+03	0,02475	6,10E+03	0,02475	1,04E+04	0,02476	4,43E+03	0,02469
6,68E+03	0,02537	6,09E+03	0,02535	1,04E+04	0,02534	4,44E+03	0,02543
6,66E+03	0,02596	6,08E+03	0,02601	1,04E+04	0,02594	4,45E+03	0,02607
6,66E+03	0,02653	6,11E+03	0,02651	1,04E+04	0,02657	4,50E+03	0,02637
6,67E+03	0,02711	6,09E+03	0,02718	1,03E+04	0,02721	4,53E+03	0,0271
6,69E+03	0,0278	6,09E+03	0,02779	1,03E+04	0,02781	4,60E+03	0,02776
6,69E+03	0,02842	6,08E+03	0,02843	1,03E+04	0,02845	4,66E+03	0,02846
6,68E+03	0,02907	6,08E+03	0,02911	1,03E+04	0,02913	4,68E+03	0,02938
6,68E+03	0,02983	6,09E+03	0,02976	1,03E+04	0,02979	4,69E+03	0,02962
6,69E+03	0,03045	6,08E+03	0,03047	1,03E+04	0,03048	4,68E+03	0,03048
6,67E+03	0,03119	6,07E+03	0,03118	1,03E+04	0,0312	4,74E+03	0,03093
6,66E+03	0,0319	6,07E+03	0,03189	1,03E+04	0,03193	4,76E+03	0,03214
6,65E+03	0,03269	6,07E+03	0,03262	1,02E+04	0,03267	4,77E+03	0,03268
6,66E+03	0,0334	6,07E+03	0,03339	1,02E+04	0,03343	4,81E+03	0,03341
6,67E+03	0,03418	6,08E+03	0,0342	1,02E+04	0,0342	4,86E+03	0,03436
6,67E+03	0,03492	6,08E+03	0,03493	1,02E+04	0,035	4,86E+03	0,03492
6,67E+03	0,03575	6,06E+03	0,0358	1,01E+04	0,0358	4,88E+03	0,03574
6,66E+03	0,03659	6,05E+03	0,03663	1,01E+04	0,03664	4,92E+03	0,03669
6,65E+03	0,03747	6,05E+03	0,03749	1,01E+04	0,03749	4,97E+03	0,03737
6,65E+03	0,03838	6,04E+03	0,03834	1,01E+04	0,03837	4,97E+03	0,03848
6,63E+03	0,03922	6,04E+03	0,03923	1,00E+04	0,03926	5,03E+03	0,0389
6,65E+03	0,04023	6,03E+03	0,04017	1,00E+04	0,04017	5,01E+03	0,04019
6,63E+03	0,04109	6,02E+03	0,04107	1,00E+04	0,0411	5,01E+03	0,0412
6,63E+03	0,0421	6,02E+03	0,04203	9,98E+03	0,04206	4,92E+03	0,04183
6,60E+03	0,043	6,01E+03	0,04301	9,94E+03	0,04303	4,96E+03	0,04296
6,64E+03	0,04403	6,00E+03	0,04401	9,91E+03	0,04403	4,98E+03	0,04407

6,60E+03	0,04504	6,00E+03	0,04505	9,89E+03	0,04505	4,96E+03	0,04501
6,59E+03	0,04608	5,99E+03	0,04609	9,87E+03	0,0461	5,04E+03	0,046
6,60E+03	0,04715	5,97E+03	0,0472	9,84E+03	0,04718	5,17E+03	0,04734
6,57E+03	0,04827	5,97E+03	0,04826	9,84E+03	0,04827	5,23E+03	0,04823
6,57E+03	0,04941	5,96E+03	0,04938	9,84E+03	0,04939	5,25E+03	0,04943
6,57E+03	0,05053	5,95E+03	0,05053	9,83E+03	0,05054	5,27E+03	0,05053
6,57E+03	0,05172	5,94E+03	0,0517	9,81E+03	0,05171	5,27E+03	0,05171
6,55E+03	0,05292	5,94E+03	0,05291	9,78E+03	0,05291	5,22E+03	0,05289
6,54E+03	0,05415	5,93E+03	0,05414	9,77E+03	0,05414	5,21E+03	0,05414
6,52E+03	0,0554	5,91E+03	0,05539	9,75E+03	0,05541	5,19E+03	0,05542
6,49E+03	0,0567	5,89E+03	0,05669	9,72E+03	0,05669	5,14E+03	0,05664
6,43E+03	0,05801	5,88E+03	0,05801	9,70E+03	0,058	5,13E+03	0,05795
6,42E+03	0,05936	5,87E+03	0,05935	9,68E+03	0,05936	5,10E+03	0,05933
6,38E+03	0,06072	5,86E+03	0,06073	9,66E+03	0,06075	5,07E+03	0,06073
6,37E+03	0,06215	5,86E+03	0,06214	9,62E+03	0,06216	5,04E+03	0,06212
6,33E+03	0,06357	5,86E+03	0,06359	9,59E+03	0,06359	5,00E+03	0,06354
6,33E+03	0,06507	5,84E+03	0,06507	9,55E+03	0,06508	4,95E+03	0,06505
6,28E+03	0,06658	5,84E+03	0,06658	9,51E+03	0,06658	4,90E+03	0,06658
6,24E+03	0,06813	5,84E+03	0,06813	9,49E+03	0,06812	4,85E+03	0,06813
6,22E+03	0,06971	5,82E+03	0,06971	9,47E+03	0,06971	4,82E+03	0,06971
6,19E+03	0,07132	5,81E+03	0,07132	9,45E+03	0,07132	4,85E+03	0,07136
6,15E+03	0,07299	5,81E+03	0,07299	9,45E+03	0,07298	4,71E+03	0,07296
6,12E+03	0,0747	5,81E+03	0,07467	9,49E+03	0,07469	4,70E+03	0,0747
6,09E+03	0,07642	5,83E+03	0,07642	9,54E+03	0,07642	4,68E+03	0,07642
6,05E+03	0,07819	5,82E+03	0,07819	9,48E+03	0,07818	4,67E+03	0,07821
6,02E+03	0,08001	5,81E+03	0,08001	9,47E+03	0,08001	4,63E+03	0,08001
6,04E+03	0,08187	5,79E+03	0,08187	9,44E+03	0,08183	4,57E+03	0,08187
6,02E+03	0,08378	5,78E+03	0,08378	9,32E+03	0,08373	4,54E+03	0,08379
5,99E+03	0,08573	5,77E+03	0,08571	9,22E+03	0,08568	4,52E+03	0,08573
5,93E+03	0,08771	5,76E+03	0,08772	9,15E+03	0,0877	4,50E+03	0,08774
5,87E+03	0,08975	5,70E+03	0,08971	9,11E+03	0,08975	4,47E+03	0,08976
5,84E+03	0,09184	5,72E+03	0,09182	9,09E+03	0,09185	4,45E+03	0,09183
5,82E+03	0,09399	5,73E+03	0,09397	9,05E+03	0,09395	4,45E+03	0,09398
5,78E+03	0,09617	5,75E+03	0,09615	9,05E+03	0,09615	4,40E+03	0,09614
5,77E+03	0,0984	5,73E+03	0,09839	8,98E+03	0,09838	4,38E+03	0,09839
5,78E+03	0,1007	5,71E+03	0,1007	8,90E+03	0,1007	4,36E+03	0,1007
5,71E+03	0,103	5,69E+03	0,103	8,85E+03	0,103	4,32E+03	0,103
5,67E+03	0,1054	5,69E+03	0,1054	8,81E+03	0,1054	4,28E+03	0,1054

5,63E+03	0,1078	5,63E+03	0,1079	8,73E+03	0,1078	4,23E+03	0,1078
5,58E+03	0,1104	5,60E+03	0,1104	8,66E+03	0,1104	4,17E+03	0,1103
5,55E+03	0,1129	5,59E+03	0,1129	8,60E+03	0,1129	4,13E+03	0,1129
5,53E+03	0,1155	5,59E+03	0,1155	8,57E+03	0,1155	4,13E+03	0,1155
5,48E+03	0,1182	5,53E+03	0,1182	8,52E+03	0,1182	4,15E+03	0,1182
5,43E+03	0,121	5,49E+03	0,121	8,47E+03	0,121	4,12E+03	0,121
5,37E+03	0,1238	5,47E+03	0,1238	8,43E+03	0,1238	4,10E+03	0,1238
5,33E+03	0,1267	5,43E+03	0,1267	8,34E+03	0,1267	4,08E+03	0,1267
5,29E+03	0,1296	5,39E+03	0,1296	8,27E+03	0,1296	4,06E+03	0,1296
5,24E+03	0,1326	5,35E+03	0,1326	8,21E+03	0,1326	4,05E+03	0,1326
5,20E+03	0,1357	5,33E+03	0,1357	8,14E+03	0,1357	4,02E+03	0,1357
5,16E+03	0,1389	5,30E+03	0,1389	8,09E+03	0,1389	4,00E+03	0,1389
5,12E+03	0,1421	5,25E+03	0,1421	8,03E+03	0,1421	3,97E+03	0,1421
5,08E+03	0,1454	5,23E+03	0,1454	7,98E+03	0,1454	3,95E+03	0,1454
5,03E+03	0,1488	5,22E+03	0,1488	7,93E+03	0,1488	3,93E+03	0,1488
4,99E+03	0,1522	5,19E+03	0,1522	7,87E+03	0,1522	3,91E+03	0,1522
4,95E+03	0,1558	5,14E+03	0,1557	7,81E+03	0,1557	3,91E+03	0,1558
4,91E+03	0,1594	5,12E+03	0,1594	7,75E+03	0,1594	3,89E+03	0,1594
4,87E+03	0,1631	5,09E+03	0,1631	7,69E+03	0,1631	3,89E+03	0,1631
4,83E+03	0,1669	5,08E+03	0,1669	7,64E+03	0,1669	3,90E+03	0,1669
4,80E+03	0,1707	5,06E+03	0,1708	7,58E+03	0,1707	3,91E+03	0,1708
4,77E+03	0,1747	5,02E+03	0,1747	7,52E+03	0,1747	3,92E+03	0,1747
4,74E+03	0,1788	5,00E+03	0,1788	7,47E+03	0,1788	3,93E+03	0,1788
4,71E+03	0,1829	4,99E+03	0,183	7,42E+03	0,1829	3,93E+03	0,1829
4,69E+03	0,1872	4,97E+03	0,1872	7,38E+03	0,1871	3,96E+03	0,1872
4,66E+03	0,1915	4,92E+03	0,1915	7,33E+03	0,1915	3,97E+03	0,1915
4,63E+03	0,196	4,89E+03	0,196	7,29E+03	0,196	3,95E+03	0,196
4,60E+03	0,2005	4,85E+03	0,2005	7,24E+03	0,2005	3,93E+03	0,2005
4,57E+03	0,2052	4,82E+03	0,2052	7,20E+03	0,2052	3,91E+03	0,2052
4,54E+03	0,21	4,79E+03	0,21	7,16E+03	0,21	3,89E+03	0,21
4,51E+03	0,2148	4,75E+03	0,2148	7,11E+03	0,2148	3,86E+03	0,2148
4,48E+03	0,2198	4,71E+03	0,2198	7,07E+03	0,2198	3,84E+03	0,2198
4,45E+03	0,2249	4,67E+03	0,2249	7,03E+03	0,2249	3,81E+03	0,2249
4,42E+03	0,2302	4,63E+03	0,2302	6,99E+03	0,2302	3,78E+03	0,2302
4,38E+03	0,2355	4,59E+03	0,2355	6,94E+03	0,2355	3,74E+03	0,2355
4,35E+03	0,241	4,55E+03	0,241	6,90E+03	0,241	3,71E+03	0,241
4,32E+03	0,2466	4,50E+03	0,2466	6,86E+03	0,2466	3,67E+03	0,2466
4,29E+03	0,2523	4,47E+03	0,2523	6,81E+03	0,2523	3,63E+03	0,2523

4,26E+03	0,2582	4,46E+03	0,2582	6,77E+03	0,2582	3,60E+03	0,2582
4,22E+03	0,2642	4,44E+03	0,2642	6,73E+03	0,2642	3,56E+03	0,2642
4,19E+03	0,2703	4,42E+03	0,2703	6,68E+03	0,2703	3,53E+03	0,2703
4,16E+03	0,2766	4,42E+03	0,2766	6,65E+03	0,2766	3,49E+03	0,2766
4,13E+03	0,283	4,40E+03	0,283	6,61E+03	0,283	3,48E+03	0,283
4,09E+03	0,2896	4,38E+03	0,2896	6,57E+03	0,2896	3,46E+03	0,2896
4,06E+03	0,2963	4,37E+03	0,2963	6,55E+03	0,2963	3,44E+03	0,2963
4,04E+03	0,3032	4,36E+03	0,3032	6,53E+03	0,3032	3,42E+03	0,3032
4,02E+03	0,3103	4,34E+03	0,3102	6,50E+03	0,3102	3,42E+03	0,3102
4,01E+03	0,3175	4,33E+03	0,3175	6,47E+03	0,3175	3,40E+03	0,3175
4,00E+03	0,3248	4,31E+03	0,3248	6,43E+03	0,3248	3,37E+03	0,3248
3,99E+03	0,3324	4,30E+03	0,3324	6,39E+03	0,3324	3,34E+03	0,3323
3,97E+03	0,3401	4,28E+03	0,3401	6,36E+03	0,3401	3,31E+03	0,3401
3,95E+03	0,348	4,27E+03	0,348	6,34E+03	0,348	3,27E+03	0,348
3,93E+03	0,3561	4,26E+03	0,3561	6,30E+03	0,3561	3,24E+03	0,3561
3,92E+03	0,3644	4,25E+03	0,3643	6,24E+03	0,3643	3,19E+03	0,3644
3,89E+03	0,3728	4,23E+03	0,3728	6,18E+03	0,3728	3,13E+03	0,3728
3,86E+03	0,3815	4,22E+03	0,3815	6,13E+03	0,3815	3,08E+03	0,3815
3,82E+03	0,3903	4,21E+03	0,3904	6,08E+03	0,3903	3,02E+03	0,3903
3,78E+03	0,3994	4,19E+03	0,3994	6,01E+03	0,3994	2,97E+03	0,3994
3,74E+03	0,4087	4,17E+03	0,4087	5,95E+03	0,4087	2,92E+03	0,4087
3,70E+03	0,4182	4,13E+03	0,4182	5,89E+03	0,4182	2,87E+03	0,4182
3,65E+03	0,4279	4,09E+03	0,4279	5,82E+03	0,4279	2,83E+03	0,4279
3,61E+03	0,4379	4,05E+03	0,4379	5,76E+03	0,4379	2,80E+03	0,4379
3,57E+03	0,448	4,02E+03	0,448	5,70E+03	0,448	2,78E+03	0,4481
3,54E+03	0,4585	3,98E+03	0,4585	5,65E+03	0,4585	2,75E+03	0,4585
3,52E+03	0,4691	3,95E+03	0,4691	5,60E+03	0,4691	2,73E+03	0,4691
3,49E+03	0,48	3,91E+03	0,48	5,55E+03	0,48	2,70E+03	0,48
3,46E+03	0,4911	3,87E+03	0,4912	5,51E+03	0,4911	2,67E+03	0,4912
3,44E+03	0,5026	3,82E+03	0,5026	5,46E+03	0,5026	2,64E+03	0,5026
3,41E+03	0,5142	3,77E+03	0,5142	5,41E+03	0,5142	2,61E+03	0,5142
3,37E+03	0,5262	3,72E+03	0,5262	5,37E+03	0,5262	2,58E+03	0,5262
3,34E+03	0,5384	3,68E+03	0,5384	5,32E+03	0,5384	2,55E+03	0,5384
3,31E+03	0,5509	3,65E+03	0,5509	5,28E+03	0,5509	2,54E+03	0,5509
3,27E+03	0,5637	3,63E+03	0,5637	5,25E+03	0,5637	2,54E+03	0,5637
3,24E+03	0,5768	3,61E+03	0,5768	5,22E+03	0,5768	2,54E+03	0,5768
3,22E+03	0,5902	3,60E+03	0,5902	5,19E+03	0,5902	2,52E+03	0,5902
3,20E+03	0,6039	3,59E+03	0,6039	5,15E+03	0,6039	2,49E+03	0,6039

3,18E+03	0,618	3,59E+03	0,618	5,12E+03	0,618	2,46E+03	0,618
3,16E+03	0,6323	3,58E+03	0,6323	5,08E+03	0,6323	2,42E+03	0,6323
3,14E+03	0,647	3,57E+03	0,647	5,02E+03	0,647	2,36E+03	0,647
3,11E+03	0,662	3,56E+03	0,662	4,97E+03	0,6621	2,31E+03	0,6621
3,08E+03	0,6775	3,54E+03	0,6775	4,90E+03	0,6775	2,26E+03	0,6775
3,04E+03	0,6932	3,52E+03	0,6932	4,84E+03	0,6932	2,23E+03	0,6931
2,99E+03	0,7093	3,48E+03	0,7093	4,77E+03	0,7093	2,21E+03	0,7093
2,94E+03	0,7257	3,44E+03	0,7257	4,71E+03	0,7258	2,17E+03	0,7258
2,91E+03	0,7426	3,40E+03	0,7426	4,66E+03	0,7426	2,13E+03	0,7426
2,89E+03	0,7599	3,36E+03	0,7599	4,61E+03	0,7599	2,12E+03	0,7599
2,86E+03	0,7776	3,31E+03	0,7775	4,56E+03	0,7776	2,10E+03	0,7776
2,83E+03	0,7956	3,25E+03	0,7956	4,51E+03	0,7956	2,07E+03	0,7956
2,80E+03	0,8141	3,19E+03	0,8141	4,46E+03	0,8141	2,05E+03	0,8141
2,77E+03	0,833	3,14E+03	0,833	4,43E+03	0,833	2,05E+03	0,833
2,73E+03	0,8524	3,09E+03	0,8523	4,39E+03	0,8524	2,03E+03	0,8524
2,71E+03	0,8722	3,05E+03	0,8722	4,35E+03	0,8722	2,01E+03	0,8722
2,68E+03	0,8925	3,03E+03	0,8924	4,31E+03	0,8925	1,98E+03	0,8925
2,66E+03	0,9132	3,05E+03	0,9132	4,24E+03	0,9132	1,95E+03	0,9132
2,63E+03	0,9344	3,07E+03	0,9345	4,18E+03	0,9344	1,92E+03	0,9344
2,60E+03	0,9561	3,07E+03	0,9562	4,10E+03	0,9561	1,90E+03	0,9562
2,57E+03	0,9784	3,04E+03	0,9784	4,02E+03	0,9783	1,89E+03	0,9784
2,52E+03	1,001	2,99E+03	1,001	3,96E+03	1,001	1,88E+03	1,001
2,49E+03	1,024	2,95E+03	1,024	3,90E+03	1,024	1,86E+03	1,024
2,47E+03	1,048	2,90E+03	1,048	3,85E+03	1,048	1,86E+03	1,048
2,46E+03	1,073	2,84E+03	1,073	3,79E+03	1,072	1,86E+03	1,072
2,43E+03	1,097	2,77E+03	1,097	3,74E+03	1,097	1,89E+03	1,097
2,39E+03	1,123	2,70E+03	1,123	3,71E+03	1,123	1,89E+03	1,123
2,36E+03	1,149	2,63E+03	1,149	3,67E+03	1,149	1,88E+03	1,149
2,33E+03	1,176	2,58E+03	1,176	3,60E+03	1,176	1,85E+03	1,176
2,31E+03	1,203	2,57E+03	1,203	3,53E+03	1,203	1,82E+03	1,203
2,28E+03	1,231	2,60E+03	1,231	3,45E+03	1,231	1,80E+03	1,231
2,24E+03	1,26	2,61E+03	1,26	3,37E+03	1,259	1,80E+03	1,26
2,19E+03	1,289	2,59E+03	1,289	3,32E+03	1,289	1,79E+03	1,289
2,15E+03	1,319	2,61E+03	1,319	3,26E+03	1,319	1,80E+03	1,319
2,11E+03	1,349	2,59E+03	1,349	3,20E+03	1,349	1,84E+03	1,349
2,09E+03	1,381	2,52E+03	1,381	3,15E+03	1,381	1,85E+03	1,381
2,06E+03	1,413	2,47E+03	1,413	3,12E+03	1,413	1,82E+03	1,413
2,06E+03	1,446	2,43E+03	1,446	3,09E+03	1,446	1,79E+03	1,446

2,05E+03	1,479	2,41E+03	1,479	3,08E+03	1,479	1,80E+03	1,479
2,02E+03	1,514	2,42E+03	1,514	3,03E+03	1,514	1,82E+03	1,514
1,98E+03	1,549	2,42E+03	1,549	2,98E+03	1,549	1,80E+03	1,549
1,97E+03	1,585	2,39E+03	1,585	2,97E+03	1,585	1,81E+03	1,585
1,97E+03	1,622	2,40E+03	1,622	2,90E+03	1,622	1,84E+03	1,622
1,96E+03	1,659	2,35E+03	1,659	2,87E+03	1,659	1,84E+03	1,659
1,95E+03	1,698	2,29E+03	1,698	2,90E+03	1,698	1,81E+03	1,698
1,97E+03	1,737	2,24E+03	1,737	2,90E+03	1,737	1,78E+03	1,737
1,99E+03	1,778	2,23E+03	1,777	2,88E+03	1,778	1,76E+03	1,778
1,98E+03	1,819	2,28E+03	1,819	2,86E+03	1,819	1,74E+03	1,819
1,96E+03	1,861	2,29E+03	1,861	2,85E+03	1,861	1,75E+03	1,861
1,93E+03	1,905	2,30E+03	1,905	2,83E+03	1,904	1,77E+03	1,905
1,89E+03	1,949	2,24E+03	1,949	2,84E+03	1,949	1,76E+03	1,949
1,88E+03	1,994	2,18E+03	1,994	2,84E+03	1,994	1,75E+03	1,994
1,94E+03	2,041	2,16E+03	2,04	2,79E+03	2,04	1,72E+03	2,04
1,95E+03	2,088	2,22E+03	2,088	2,78E+03	2,088	1,69E+03	2,088
1,95E+03	2,136	2,27E+03	2,136	2,80E+03	2,136	1,68E+03	2,136
1,95E+03	2,186	2,29E+03	2,186	2,84E+03	2,186	1,66E+03	2,186
1,90E+03	2,237	2,22E+03	2,236	2,82E+03	2,237	1,69E+03	2,237
1,86E+03	2,289	2,20E+03	2,289	2,76E+03	2,289	1,70E+03	2,289
1,82E+03	2,342	2,19E+03	2,342	2,71E+03	2,342	1,70E+03	2,342
1,80E+03	2,396	2,20E+03	2,396	2,71E+03	2,396	1,73E+03	2,396
1,82E+03	2,452	2,19E+03	2,452	2,76E+03	2,452	1,75E+03	2,452
1,82E+03	2,509	2,16E+03	2,509	2,80E+03	2,509	1,73E+03	2,509
1,81E+03	2,567	2,14E+03	2,567	2,78E+03	2,567	1,70E+03	2,567
1,80E+03	2,627	2,13E+03	2,627	2,74E+03	2,627	1,69E+03	2,627
1,78E+03	2,688	2,17E+03	2,688	2,73E+03	2,688	1,67E+03	2,688
1,78E+03	2,75	2,17E+03	2,751	2,70E+03	2,75	1,64E+03	2,75
1,79E+03	2,814	2,13E+03	2,814	2,67E+03	2,814	1,63E+03	2,814
1,77E+03	2,879	2,10E+03	2,88	2,62E+03	2,88	1,61E+03	2,88
1,78E+03	2,946	2,12E+03	2,947	2,60E+03	2,947	1,58E+03	2,947
1,77E+03	3,015	2,14E+03	3,015	2,60E+03	3,015	1,52E+03	3,014
1,75E+03	3,085	2,08E+03	3,085	2,63E+03	3,085	1,57E+03	3,085
1,73E+03	3,157	1,99E+03	3,156	2,63E+03	3,157	1,60E+03	3,157
1,69E+03	3,23	2,04E+03	3,23	2,57E+03	3,23	1,56E+03	3,23
1,66E+03	3,306	2,08E+03	3,305	2,53E+03	3,305	1,55E+03	3,305
1,59E+03	3,382	2,07E+03	3,382	2,47E+03	3,382	1,55E+03	3,382
1,58E+03	3,461	2,05E+03	3,46	2,41E+03	3,461	1,56E+03	3,461

1,56E+03	3,541	2,12E+03	3,542	2,37E+03	3,542	1,55E+03	3,541
1,55E+03	3,624	2,11E+03	3,623	2,31E+03	3,623	1,58E+03	3,623
1,54E+03	3,708	2,07E+03	3,707	2,26E+03	3,707	1,60E+03	3,708
1,54E+03	3,794	2,05E+03	3,793	2,25E+03	3,792	1,57E+03	3,793
1,52E+03	3,881	2,01E+03	3,881	2,31E+03	3,883	1,58E+03	3,881
1,52E+03	3,972	2,04E+03	3,973	2,28E+03	3,971	1,61E+03	3,972
1,53E+03	4,064	2,04E+03	4,064	2,29E+03	4,064	1,60E+03	4,064
1,53E+03	4,159	2,07E+03	4,159	2,25E+03	4,159	1,64E+03	4,159
1,52E+03	4,256	2,04E+03	4,256	2,17E+03	4,256	1,62E+03	4,255
1,51E+03	4,354	1,94E+03	4,353	2,14E+03	4,353	1,58E+03	4,354
1,51E+03	4,455	1,89E+03	4,453	2,12E+03	4,455	1,60E+03	4,456
1,52E+03	4,559	1,95E+03	4,559	2,06E+03	4,559	1,51E+03	4,559
1,54E+03	4,665	1,95E+03	4,664	2,10E+03	4,666	1,52E+03	4,666
1,55E+03	4,773	1,96E+03	4,774	2,05E+03	4,771	1,49E+03	4,773
1,53E+03	4,883	1,92E+03	4,884	2,11E+03	4,883	1,48E+03	4,884
1,55E+03	4,997	1,96E+03	4,998	2,21E+03	4,999	1,51E+03	4,999
1,55E+03	5,112	1,93E+03	5,114	2,18E+03	5,113	1,49E+03	5,113
1,56E+03	5,233	1,88E+03	5,229	2,12E+03	5,233	1,54E+03	5,234
1,56E+03	5,355	1,94E+03	5,355	2,07E+03	5,355	1,47E+03	5,354
1,58E+03	5,479	1,89E+03	5,477	2,09E+03	5,479	1,49E+03	5,479
1,55E+03	5,606	1,91E+03	5,607	2,08E+03	5,605	1,47E+03	5,606
1,52E+03	5,737	1,89E+03	5,737	2,09E+03	5,736	1,47E+03	5,737
1,53E+03	5,869	1,88E+03	5,869	2,08E+03	5,868	1,43E+03	5,869
1,52E+03	6,004	1,86E+03	6,005	2,08E+03	6,006	1,43E+03	6,006
1,51E+03	6,144	1,87E+03	6,147	2,07E+03	6,144	1,41E+03	6,144
1,53E+03	6,29	1,82E+03	6,287	2,05E+03	6,29	1,44E+03	6,291
1,48E+03	6,436	1,84E+03	6,437	2,01E+03	6,434	1,43E+03	6,435
1,45E+03	6,584	1,78E+03	6,582	2,08E+03	6,583	1,45E+03	6,586
1,46E+03	6,737	1,75E+03	6,737	2,16E+03	6,738	1,40E+03	6,736
1,39E+03	6,891	1,70E+03	6,893	2,17E+03	6,892	1,39E+03	6,895
1,34E+03	7,053	1,65E+03	7,053	2,18E+03	7,053	1,31E+03	7,053
1,27E+03	7,215	1,62E+03	7,22	2,17E+03	7,216	1,27E+03	7,216
1,26E+03	7,385	1,57E+03	7,385	2,13E+03	7,384	1,27E+03	7,387
1,30E+03	7,558	1,51E+03	7,556	2,10E+03	7,556	1,22E+03	7,555
1,28E+03	7,731	1,44E+03	7,733	2,05E+03	7,729	1,16E+03	7,734
1,28E+03	7,914	1,39E+03	7,908	2,05E+03	7,913	1,10E+03	7,909
1,23E+03	8,094	1,44E+03	8,098	1,97E+03	8,094	1,06E+03	8,091
1,23E+03	8,282	1,50E+03	8,286	1,91E+03	8,283	1,06E+03	8,287

1,26E+03	8,478	1,47E+03	8,475	1,84E+03	8,475	1,09E+03	8,478
1,28E+03	8,675	1,54E+03	8,679	1,79E+03	8,675	1,15E+03	8,672
1,27E+03	8,878	1,51E+03	8,875	1,64E+03	8,871	1,15E+03	8,874
1,20E+03	9,079	1,45E+03	9,078	1,51E+03	9,078	1,11E+03	9,078
1,18E+03	9,293	1,46E+03	9,291	1,47E+03	9,292	1,11E+03	9,287
1,17E+03	9,509	1,45E+03	9,507	1,48E+03	9,505	1,14E+03	9,506
1,11E+03	9,73	1,45E+03	9,729	1,54E+03	9,732	1,10E+03	9,728
1,10E+03	9,957	1,47E+03	9,953	1,49E+03	9,954	1,07E+03	9,955
1,09E+03	10,18	1,47E+03	10,19	1,46E+03	10,18	1,06E+03	10,19
1,07E+03	10,42	1,42E+03	10,42	1,51E+03	10,42	1,09E+03	10,42
1,07E+03	10,67	1,35E+03	10,66	1,62E+03	10,66	1,08E+03	10,66
994,7	10,91	1,28E+03	10,91	1,63E+03	10,91	1,09E+03	10,91
955,8	11,16	1,26E+03	11,17	1,60E+03	11,17	1,09E+03	11,16
962,9	11,43	1,23E+03	11,42	1,59E+03	11,43	1,07E+03	11,43
983,9	11,69	1,27E+03	11,69	1,53E+03	11,69	1,05E+03	11,7
1,01E+03	11,96	1,26E+03	11,97	1,52E+03	11,96	1,04E+03	11,97
1,06E+03	12,25	1,23E+03	12,24	1,48E+03	12,24	1,03E+03	12,25
1,05E+03	12,53	1,25E+03	12,53	1,51E+03	12,53	1,04E+03	12,53
1,09E+03	12,82	1,27E+03	12,81	1,49E+03	12,82	989,4	12,82
1,01E+03	13,11	1,23E+03	13,11	1,43E+03	13,12	944	13,11
996,6	13,42	1,21E+03	13,42	1,41E+03	13,42	967,6	13,42
1,01E+03	13,73	1,23E+03	13,73	1,42E+03	13,73	981,1	13,73
1,01E+03	14,05	1,22E+03	14,05	1,41E+03	14,05	1,02E+03	14,05
965,2	14,37	1,19E+03	14,38	1,38E+03	14,38	1,02E+03	14,38
924	14,71	1,17E+03	14,71	1,33E+03	14,71	969,5	14,71
871,5	15,05	1,23E+03	15,06	1,28E+03	15,05	933,8	15,05
935,4	15,41	1,22E+03	15,4	1,21E+03	15,4	904,2	15,4
886,9	15,76	1,18E+03	15,76	1,25E+03	15,77	896,8	15,76
889,4	16,13	1,12E+03	16,12	1,33E+03	16,13	811,3	16,13
906,6	16,5	1,10E+03	16,5	1,27E+03	16,5	791,1	16,5
938,7	16,89	1,05E+03	16,88	1,23E+03	16,88	798,4	16,89
890,8	17,27	1,06E+03	17,28	1,25E+03	17,28	746,2	17,28
833,9	17,68	1,05E+03	17,68	1,27E+03	17,68	710	17,67
822,9	18,09	1,00E+03	18,08	1,19E+03	18,08	766,1	18,09
869,6	18,51	1,01E+03	18,51	1,18E+03	18,5	720,7	18,51
843,3	18,95	954,8	18,94	1,19E+03	18,94	647,1	18,94
740,6	19,38	948,3	19,38	1,20E+03	19,37	626,5	19,37
708	19,82	901,6	19,82	1,25E+03	19,83	670,9	19,82

790,8	20,29	917	20,29	1,19E+03	20,3	752,8	20,29
796,4	20,76	882	20,76	1,00E+03	20,76	744,9	20,76
724,2	21,24	865,1	21,24	831,5	21,24	727,4	21,25
716,8	21,74	831,8	21,73	685,1	21,73	686	21,73
727,1	22,24	835,6	22,25	612,9	22,24	674,7	22,24
759,2	22,76	806,8	22,76	574,7	22,76	689,3	22,76
733,8	23,29	799,2	23,29	548,1	23,29	702	23,29
696,5	23,83	819,3	23,84	519,1	23,83	682,4	23,83
679,3	24,38	817,5	24,39	497,4	24,38	691,7	24,39
674,1	24,95	841,8	24,95	473,3	24,94	606,8	24,94
662,6	25,53	814,5	25,53	465,5	25,53	676,8	25,54
681,4	26,13	788,6	26,12	450,2	26,12	660,3	26,12
678,9	26,73	760,3	26,72	431,4	26,73	658	26,74
604,5	27,34	753,3	27,34	423,5	27,35	623,7	27,36
629,9	27,99	724	27,98	407	27,98	601,9	27,99
565	28,63	681,9	28,64	393,6	28,63	605	28,63
581,9	29,3	637,9	29,29	387,6	29,3	583,2	29,3
612,8	29,99	652,9	29,98	375,6	29,98	529,6	29,98
566,1	30,67	611,8	30,68	356,6	30,68	556,5	30,68
554,3	31,39	598,1	31,39	345,6	31,39	535,6	31,4
552	32,12	591,9	32,13	338,4	32,12	481	32,11
564,8	32,87	596,8	32,87	330,1	32,87	500,4	32,87
531,5	33,63	582,8	33,63	337,3	33,63	481,1	33,63
509,5	34,41	585,3	34,42	332	34,41	476,9	34,42
463,4	35,2	583,5	35,21	323,2	35,21	431,9	35,2
457,5	36,03	586,7	36,04	330,4	36,03	456,3	36,02
417,7	36,86	506,3	36,85	328,8	36,86	475,2	36,86
441,2	37,73	553,4	37,74	325	37,72	451,4	37,71
424,4	38,59	454,9	38,59	319,3	38,6	430,4	38,6
434,9	39,49	454,8	39,5	315,3	39,5	429,9	39,5
449,3	40,41	410,1	40,39	326,9	40,42	430,5	40,42
440,3	41,35	434,6	41,36	323,9	41,35	409,7	41,36
419,5	42,31	455	42,32	325,3	42,32	402,5	42,31
414,9	43,3	455	43,29	329,4	43,3	365,7	43,29
423,3	44,31	508,6	44,31	320,6	44,3	336,1	44,3
407,9	45,33	507,7	45,33	316,9	45,34	351,1	45,33
397,7	46,39	490	46,38	311,5	46,38	362,1	46,38
368	47,46	478,3	47,47	303,1	47,46	344,4	47,46

353,5	48,57	419,3	48,57	302,7	48,57	326,2	48,57
368,3	49,7	394,9	49,7	318	49,69	331,2	49,7
352,7	50,85	430,8	50,86	328,4	50,85	323,4	50,85
340,7	52,03	368,7	52,04	318,6	52,03	327,7	52,03
345,9	53,24	337,8	53,22	320,1	53,24	322,1	53,24
330,3	54,47	355,4	54,48	310,4	54,47	312,1	54,48
326,1	55,75	337,2	55,75	315	55,74	323	55,74
332,1	57,04	323,2	57,03	312,3	57,04	313,9	57,04
329,6	58,37	323,4	58,35	312,2	58,36	299,6	58,36
309,3	59,71	369,4	59,74	319,2	59,73	297,5	59,72
291,7	61,08	373,1	61,13	311,4	61,1	280,8	61,11
306,7	62,52	379,2	62,55	296,7	62,52	290	62,54
296,8	63,98	381,6	64,01	308,1	63,99	277,2	63,99
283,6	65,47	352,6	65,46	299,8	65,47	268,1	65,46
293,3	66,99	385,5	66,98	296,9	66,99	271,9	66,99
291,5	68,55	357,6	68,49	277,8	68,54	271,6	68,54
290,7	70,15	376,1	70,14	266,8	70,13	264,1	70,12
273,4	71,77	272,4	71,7	269,2	71,76	267,4	71,78
277,6	73,44	241,4	73,36	266,7	73,43	254,2	73,45
264,8	75,14	279,5	75,13	258,9	75,14	233,5	75,13
265,3	76,88	211,5	76,84	253	76,89	192,2	76,91
268,7	78,67	210,9	78,62	257,5	78,68	171,3	78,71
255,9	80,49	262,6	80,44	234,2	80,49	156,7	80,51
263,8	82,38	314,9	82,35	242,9	82,38	131,2	82,37
255,5	84,29	292,4	84,29	241,1	84,28	130,8	84,3
259	86,25	286,3	86,22	230,3	86,24	135,6	86,25
246,3	88,24	253,3	88,23	219,7	88,27	129,6	88,21
246,5	90,3	233	90,36	221,5	90,31	155,9	90,31
247,5	92,41	229,5	92,43	220,2	92,38	145,4	92,39
249,8	94,55	261,5	94,6	222,1	94,54	187,7	94,53
243,7	96,75	280,9	96,74	218,4	96,74	206,5	96,74
236,7	98,99	258,3	98,96	213,4	98,98	205,2	99,01



FIMCP
Facultad de Ingeniería en Mecánica
y Ciencias de la Producción

Materia Integradora de Ingeniería Mecánica MECG1026, 2018 - Terminó I
Registro de Reuniones y Actividades del Proyecto

Paralelo: 4

Profesor Coordinador: Ing. Rodolfo Paz

Proyecto: "Efecto del procesamiento del Polietileno de Alta densidad Reciclado en la demanda de energía en el proceso de extrusión"

Reunión No.	Fecha	Estudiante	Profesor Tutor	Actividad / Avance / Comentarios
1	16/10/18	Rommel Salas Alfredo Quiroz	AP	Planificación de trabajo del Proyecto
2	23/10/18	Rommel Salas Alfredo Quiroz	AP	Discusión del Procedimiento a realizar
3	1/11/18	Rommel Salas Alfredo Quiroz	AP	Parámetros de trabajo de la extrusora
4	13/11/18	Rommel Salas Alfredo Quiroz	AP	Discusión de Pruebas y aditivos a utilizar
5	20/11/18	Rommel Salas Alfredo Quiroz	AP	Revisión de Avance de las pruebas
6	30/11/18	Rommel Salas Alfredo Quiroz	AP	Verificación de Avances de las pruebas
7	6/12/18	Rommel Salas Alfredo Quiroz	AP	Consulta acerca de las pruebas realizadas
8	11/12/18	Rommel Salas Alfredo Quiroz	AP	Verificación de las pruebas realizadas
9	20/12/18	Rommel Salas Alfredo Quiroz	AP	Aumento de Pruebas a realizar
10	3/01/19	Rommel Salas Alfredo Quiroz	AP	Realimentación de los ensayos a realizar
11	8/01/19	Rommel Salas Alfredo Quiroz	AP	Revisión de resultados obtenidos a la fecha
11	8/01/19	Rommel Salas Alfredo Quiroz	AP	Revisión de resultados obtenidos a la fecha
12	15/01/19	Rommel Salas Alfredo Quiroz	AP	Revisión de resultados obtenidos
13	18/01/19	Rommel Salas Alfredo Quiroz	AP	Revisión de la escritura de los resultados
14	20/01/19	Rommel Salas Alfredo Quiroz	AP	Capacitación para interpretación de ciertos resultados
15	25/01/19	Rommel Salas Alfredo Quiroz	AP	Revisión de Metodología y Capítulos de la tesis
16	28/01/19	Rommel Salas Alfredo Quiroz	AP	Revisión de las dispositivas
17	3/02/19	Rommel Salas Alfredo Quiroz	AP	Revisión de Conclusiones y Recomendaciones



FIMCP
Facultad de Ingeniería en Mecánica
y Ciencias de la Producción

Materia Integradora de Ingeniería Mecánica MECG1026, 2018 - Termino I
Registro de Entrevistas con Contactos Externos

Paralelo: 4

Profesor Coordinador: Ing. Rodolfo Paz

Proyecto: "Efecto del procesamiento del polietileno de alta densidad reciclado en la demanda de energía en el proceso de extrusión"

Reunión No.	Fecha	Estudiante	Nombre del Contacto	Email / teléfono de Contacto
1	24/10/18	Alfredo Quiroz	Bolivar Alban	balkan@bactechnology.com
Descripción del Contacto: Gerente General de Bac Technology				
Comentarios: Contacto personal para obtención del material de trabajo y descripción del mismo.				
Reunión No.	Fecha	Estudiante	Nombre del Contacto	Email / teléfono de Contacto
2	26/10/18	Rommel Salas	Xavier Yanga	x4yanga@interica.com
Descripción del Contacto: Gerente General de Interica				
Comentarios: Reunión para recibir material de trabajo e indicaciones				