-Prevención de la Contaminación-

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LOS RESIDUOS DESECHABLES PLÁSTICOS CON RESTOS ORGÁNICOS QUE SE GENERAN EN LA UNIVERSIDAD LIBRE SEDE BOSQUE POPULAR, PARA LA OBTENCIÓN DE COMBUSTIBLE LÍQUIDO MEDIANTE EL PROCESO DE DESPOLIMERIZACIÓN CATALÍTICA.

Laura Pamela Bolaños Urbano cód. 064082012

Heidy Lorena Vargas Valderrama cód. 064081062

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Ambiental

Director: María Teresa Holguín Aguirre
Esp. Manejo Integrado del Medio Ambiente
Esp. Evaluación de Impacto Ambiental
Mg. Ciencias de la Educación con énfasis en Gestión
Postulante a Doctor en Desarrollo Sostenible

Asesor externo: Felipe Calderón Sáenz
Ing. De Minas y Metalurgia

Universidad Libre

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Ambiental

Bogotá, 9 de Septiembre 2014

Nota de aceptación:

_____

_____

_____

_____

_____
Firma 1° jurado

_____
Firma 2° jurado

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a Dios por levantarme en cada caída y darme la fuerza de seguir adelante mostrándome el camino correcto.

A mi hermano Cristian por ser la motivación de cada día

A mi mamá Aura, mi tía Teresa y mi primo Néstor, quienes me apoyaron para poder alcanzar esta meta que parecía tan lejana y que sin ellos no hubiera podido cumplir.

A Martha y Bernardo por brindarme su ayuda, apoyo y acompañarme este camino.

A mis amigos y sus familias quienes me tendieron su mano en momentos de dificultad.

A Ángel quien siempre estuvo conmigo en las buenas y en las malas teniendo las palabras adecuadas para cada momento.

A todos y cada una de las personas que confiaron en mi

Laura Pamela Bolaños Urbano

Este proyecto se lo dedico a mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy.

Para mis padres Luz y Oscar por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mis hermanos Edwin y Carlos por estar siempre presentes, acompañándome para poderme realizar.

A mis maestros que en este andar por la vida, influyeron con sus lecciones y experiencias en formarme como una persona de bien y preparada para los retos que pone la vida, a todos y cada uno de ellos les dedico cada una de estas páginas de mi proyecto.

Heidy Lorena Vargas Valderrama

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos en primera instancia a Dios por permitirnos llegar hasta este punto, a la Universidad Libre y a la profesora María Teresa Holguín Aguirre por creer en este proyecto y estar siempre acompañándonos en este largo camino.

A todo el personal de laboratorios Doctor Calderón Asistencia Técnica Agrícola, quienes siempre estuvieron dispuestos a ayudarnos en todo lo que necesitamos, en especial al Ing. Felipe Calderón, Ing. Mauricio Martínez, Ing. Pablo Calderón y a Teresa Martínez quienes estuvieron más cercanos a este proyecto.

A la facultad de Ingeniería y en especial al decano Jorge RenéSilva Larrota, al Ing. Andrés López, Ing. Gabriel Camargo y al Ing. Baudilio Acevedo, quienes con sus conocimientos nos guiaron en este camino investigativo

A algunos miembros del personal de servicios, ya que fueron parte importante en el desarrollo de este proyecto.

Por último pero no menos importante a nuestras familias y compañeros cercanos por su aliento y apoyo en el transcurso de este proyecto y en general a todos y cada uno de las personas que contribuyeron con mucho o poco a que esta idea fuera realizada, a todos les agradecemos de corazón.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN

1 Descripción del problema 13
2 Justificación inicial o preliminar 15
3 Objetivos 17
3.1 Objetivo general 17
3.2 Objetivos Específicos 17
4 Marco referencial 18
4.1 Marco teórico 18
4.1.1 Que son los plásticos. 18
4.1.2 División de los plásticos según su comportamiento térmico-mecánico. 19
4.1.3 División de los plásticos según su aplicación 20
4.1.3.1 Polipropileno. 20
4.1.3.2 Poliestireno. 21
4.1.4 Problemática de los residuos sólidos en la Universidad Libre. 22
4.1.5 Plasticombustibles. 23
4.1.6 La Despolimerización Catalítica. 25
4.1.6.1 Pirólisis de biomasa 26
4.1.6.2 Gasificación de biomasa 27
4.1.6.3 Catalizadores para procesos de Despolimerización. 28
4.1.6.4 Pirólisis del polietileno en presencia y ausencia de catalizadores. 29
4.2 Marco conceptual 31
4.2.1 Concepto de residuo. 31
4.2.2 Problemática de los residuos. 31
4.2.3 Definición de plástico. 32
4.3 Marco político y legal. 34
4.4 Marco Demográfico 38
4.5 Marco Geográfico 39
5 Metodología 40
5.1 Clase de investigación 40
5.1.1 Pregunta de investigación 40
5.1.1.1 Hipótesis general de la investigación 41

5.1.1.2 Hipótesis nula. 41
5.1.1.3 Hipótesis alternativa. 41
5.1.2 Variables 42
5.1.3 Diseño estadístico 42
5.2 Diseño factorial 2 k 43
5.3 Diseño metodológico 45
5.3.1 Fase 1: Evaluar la obtención de combustible. 45
5.3.1.1 Actividad 1: Caracterización de residuos. 45
5.3.1.2 Actividad 2: Alistamiento del material 46
5.3.1.3 Actividad 3: Ensayos de despolimerización catalítica 49
5.3.2 Fase 2: Caracterización del crudo obtenido 50
6 Resultados y Análisis 52
6.1 Caracterización de residuos plásticos. 52
6.2 Ensayos de despolimerización catalítica 54
6.2.1 Polipropileno. 54
6.2.1.1 Modelo estadístico para Polipropileno. 57
6.2.1.1.1 ANOVA. 57
6.2.1.1.2 Análisis de interacción. 59
6.2.2 Poliestireno expandido. 60
6.2.2.1 Modelo estadístico para poliestireno expandido. 63
6.2.2.1.1 ANOVA. 63
6.2.2.1.2 Análisis de interacción. 64
6.2.3 Poliestireno rígido 66
6.2.3.1 Modelo estadístico para poliestireno rígido. 69
6.2.3.1.1 ANOVA. 69
6.2.3.1.2 Análisis de interacción. 70
6.3 Caracterización - Destilaciones 71
6.3.1 Polipropileno. 71
6.3.2 Poliestireno Expandido. 75
6.3.3 Poliestireno Rígido. 77
7 Conclusiones 79
8 Recomendaciones 81
9 Bibliografía 82
ANEXOS

ANEXO A: BALANCE DE MASA DE CADA MATERIAL

ANEXO B: DESTILACIONES % GASOLINA Y DIESEL

ANEXO C: TOMA DE DATOS PIROLISIS

ANEXO D: TOMA DE DATOS DESTILACION

ANEXO E: REGISTRO FOTOGRAFICO

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Polipropileno por polimerización 21
Figura 2: Poliestireno por polimerización 22
Figura 3: Productos de la despolimerización catalítica 26
Figura 4: Mapa de ubicación geográfica de la Universidad Libre Sede Bosque Popular 39
Figura 5: Caracterización Universidad Libre y colegio. 46
Figura 6: Reactor de despolimerización catalítica. 48
Figura 7: Destilador Norma ASTM D-86 50
Figura 8: Plásticos generados en la Universidad Libre 53
Figura 9: Porcentaje de productos obtenidos 55
Figura 10: Peso vs Condición 55
Figura 11: Resumen de datos en Design Expert 57
Figura 12: Tabla de ANOVA 58
Figura 13: Gráfica de interacción - Polipropileno 59
Figura 14: Porcentaje de productos obtenidos 61
Figura 15: Peso vs Condición 61
Figura 16: Tabla de ANOVA 63
Figura 17: Gráfica de interacción - Poliestireno expandido 64
Figura 19: Porcentaje de productos obtenidos 67
Figura 18: Peso vs Condición 67
Figura 20: Tabla de ANOVA 69
Figura 21: Gráfica de interacción - Poliestireno rígido 70
Figura 22: Caracterización crudo de Polipropileno 72
Figura 23: Caracterización crudo de Poliestireno expandido 75
Figura 24: Caracterización crudo de Poliestireno rígido 77

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades de la gasolina extra y la gasolina de plástico 24
Tabla 2: Propiedades del diesel comercial y de plástico 24
Tabla 3: Normatividad en materia ambiental relacionada a la gestión de los residuos sólidos 35
Tabla 4: Población Universidad Libre Sede Bosque Popular 38
Tabla 5: Variables de Trabajo 42
Tabla 6: Análisis de Varianza (ANOVA) 43
Tabla 7: Combinación de Tratamientos 44
Tabla 8: Actividad 2 Alistamiento del material (recolección y picado) 46
Tabla 9: Actividad 3 Realización de ensayos 49

Tabla 10: Caracterización de residuos de la universidad libre 52
Tabla 11: Plásticos que se generan como basura en la Universidad Libre 53
Tabla 12: Resultados Promedios de Crudo, Carbonilla y Gas de la despolimerización de residuos de Polipropileno 55
Tabla 13: Resultados- Crudo, carbonilla y gas de la despolimerización de residuos de Poliestireno expandido 61
Tabla 14: Resultados- Crudo, carbonilla y gas de la despolimerización de los residuos de Poliestireno rígido 67
Tabla 15: Destilaciones de crudo de polipropileno - Gasolina y Diesel 72
Tabla 16: Puntos de ebullición de algunos combustibles 73
Tabla 17: Destilaciones de crudo –Poliestireno Expandido 75
Tabla 18: Destilaciones de crudo-Poliestireno Rígido 77

LISTA DE FOTOS

Fotografía 1: Recolección de material 46
Fotografía 2: Picado de material 47
Fotografía 3: Realización de ensayos 49
Fotografía 4: Crudo de polipropileno 54
Fotografía 5: Crudo de poliestireno expandido 60
Fotografía 6: Crudo de poliestireno rígido 66

RESUMEN

El siguiente trabajo ha sido realizado con el fin de encontrar una solución de reciclaje a los materiales polipropileno y poliestireno rígido y expandido que se generan como basura en la Universidad Libre Sede Bosque Popular y colegio, ya que han sido catalogados como no reciclables por su alto contenido de residuos de alimentos, y como consecuencia son enviados al relleno sanitario de Doña Juana. En razón a lo anterior, se trazó como objetivo principal de esta investigación, evaluar el potencial de dichos residuos, para la obtención de crudo mediante el proceso de despolimerización catalítica y así prevenir la contaminación del ambiente por estos residuos.

Para el logro de dicho objetivo, se planteó un diseño experimental 2^k con apoyo del software *Design Expert*, es decir dos variables con dos niveles denominados alto y bajo para conocer la interacción de las variables planteadas: Temperatura a 600°C y 525 ° C, 0% y 5% de catalizador, (la carga estimada de cada material fue de 600 g).

Se lograron diversos productos mediante el proceso de despolimerización en ausencia y presencia de catalizador, del 100% de los residuos plásticos generados, el 54% (Polipropileno, Poliestireno rígido y expandido) es potencialmente aprovechable para este proceso bajo las diferentes condiciones de temperatura y catalizador anteriormente mencionadas. Los residuos de vasos de Polipropileno, producen un crudo del cual se pueden destilar productos equivalentes a la Gasolina y el Diesel de acuerdo a sus puntos

de ebullición y los residuos de Poliestireno en cambio producen un crudo, del cual se puede derivar por destilación un producto que corresponde a Estireno Monómero.

El catalizador que se utilizó en este proyecto no incrementa la producción de crudo de ningún material, por lo que se descarta el uso de éste bajo las mismas condiciones y tipo de material.

Palabras Claves: Despolimerización Catalítica, Reciclaje, Contaminación, polipropileno y poliestireno.

1 Descripción del problema

En la Universidad Libre Sede Bosque Popular se ha desarrollado un Sistema de Gestión Ambiental que cuenta con un Plan de Manejo Integral de Residuos el cual viene operando desde el año 2010. En este se han implementado procesos de separación en la fuente, comercialización de residuos potencialmente reciclables, recolección selectiva de residuos peligrosos y residuos pos consumo, compostaje de orgánicos entre otros, estos procesos se han ejecutado de manera paralela.

En 2010 según el proceso de caracterización realizado con el Grupo PRIES de la Universidad Libre, se encontró que para el caso de la sede Bosque Popular se generaban en promedio 12 ton mensuales de residuos de los cuales el 80% son recuperables es decir, aproximadamente 9.6 ton/mes de los residuos generados mensualmente son potencialmente reciclables y un 20% de estos es considerado como basura. Así mismo, se identificó que de las 9.6 ton/mes de residuos con potencial de reciclaje 2.6 ton/mes son plásticos, los cuales tenemos: bolsas de polietileno de alta y de baja densidad, botellas de polietilentereftalato (PET), vasos de polipropileno y materiales desechables de poliestireno expandido y rígido.

En la actualidad tanto las bolsas como las botellas de PET se comercializan a empresas que los procesan de nuevo. Sin embargo, los materiales restantes (polipropileno, poliestireno rígido y expandido y algunos materiales de polietileno) no están siendo

reincorporados a la cadena productiva, teniendo en cuenta que no se han señalado procesos masivos para su reciclaje y menos para su comercialización a nivel industrial por el contenido de restos orgánicos que disminuyen la calidad del material y la posibilidad de reincorporarlo a la cadena productiva, lo cual indica que hay una cantidad de residuos que no están siendo aprovechados en la Universidad y por ende están siendo llevados al relleno sanitario Doña Juana.

Por esta razón es importante que la academia y en particular los ingenieros ambientales identifiquen procesos de gestión para continuar con la cadena de recuperación de los residuos sólidos, que generen mayor valor agregado a nivel social, económico y ambiental y evalúen técnicamente su eficiencia, con miras a contribuir por el desarrollo sostenible y por ende con la conservación del ambiente.

2 Justificación inicial o preliminar

El Sistema de Gestión Ambiental de La Universidad Libre Sede Bosque Popular, busca reincorporar la mayor cantidad de residuos sólidos a la cadena productiva para mitigar su impacto ambiental minimizando los residuos sólidos que llegan al relleno sanitario Doña Juana, basados en la Política de Producción Más Limpia (1997), la Política de Producción y Consumo Responsable (2012) y Política Ambiental de la Universidad Libre (2012), entre otros aspectos legales de importancia.

Algunos de los residuos que actualmente no se reciclan en la Universidad, son los residuos desechables (polipropileno (PP), poliestireno rígido (PSR) y expandido (PSE) y algunos materiales de polietileno de alta y baja densidad).

En la actualidad en el mundo se reciclan menos del 50 % aun a pesar de su alto potencial de reciclaje y el resto van a parar a rellenos sanitarios, según el artículo (CEMPRE, 2011), nuestro país registra un consumo aproximado de 84.000 ton/año de plásticos del cual se recicla el 24%, (Rivera, Harold, Forero, & Bermúdez), señalan en su proyecto que "al reciclar 1.0 kg se evita emitir 1.5 kg de CO_2 al ambiente". Según (CEMPRE, 2011) en Colombia se aprovechan aproximadamente 1.880.000 ton/año de residuos de los cuales el 12. 83% corresponden a plásticos (PET, PEAD, PEBD, PVC, PP, PS, OTROS).

Con el fin de identificar soluciones para el manejo y reincorporación de los materiales que no están siendo aprovechados (polipropileno, poliestireno rígido y expandido), se

identificó en el medio de investigación un proceso de transformación de los residuos plásticos para obtener combustible por despolimerización catalítica, llamado plasticombustibles, proyecto que se encuentra en proceso de desarrollo.

Sin embargo se desconoce el potencial de dichos materiales desechables, para ser aprovechados por el método de despolimerización catalítica, teniendo en cuenta que tienen restos de materia orgánica, difícil de retirar por métodos mecánicos, debido a su volumen, gasto de agua, disponibilidad de personal para hacer una labor tan dispendiosa. Por lo cual se espera a través de éste proyecto valorar el potencial de dichos residuos (Polipropileno, Poliestireno rígido y expandido) sometiéndolos al proceso de despolimerización catalítica con los restos de materia orgánica propios de su uso cotidiano.

La despolimerización catalítica es una alternativa para reincorporar estos residuos a la cadena productiva, este tratamiento es amigable con el medio ambiente, técnicamente viable, muy económico y a pesar de que se ha probado con residuos limpios la idea es probar la despolimerización catalítica para estos residuos sin un previo tratamiento.

Por ello a través de éste proyecto se espera evaluar la despolimerización catalítica como alternativa de aprovechamiento de los residuos, además se espera la obtención de valiosos productos tales como gasolina, queroseno, diesel y una amplia gama de hidrocarburos (Calderon, 2009).

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Evaluar el potencial de aprovechamiento de los residuos desechables plásticos (Polipropileno, Poliestireno rígido y expandido) con restos orgánicos, que se generan en la Universidad Libre Sede Bosque Popular, para la obtención de combustible mediante el proceso de despolimerización catalítica.

3.2 Objetivos Específicos

- Evaluar la obtención de combustible mediante el proceso de despolimerización catalítica, para cada tipo de material seleccionado (Polipropileno, Poliestireno rígido y expandido) de los residuos desechables plásticos que se generan en la Universidad Libre Sede Bosque Popular.

- Caracterizar el combustible obtenido en el proceso de despolimerización catalítica para cada tipo de material (Polipropileno, Poliestireno rígido y expandido) que se generan en la Universidad Libre Sede Bosque Popular, basados en la Norma ASTM D-86, método estándar para destilación de productos de petróleo a presión atmosférica.

4 Marco referencial

4.1 Marco teórico

4.1.1 Que son los plásticos.

“Los plásticos son sustancias químicas sintéticas denominadas polímeros, de estructura macromolecular que puede ser moldeada mediante calor o presión y cuyo componente principal es el carbono. Estos polímeros son grandes agrupaciones de monómeros unidos mediante un proceso químico llamado polimerización. Los plásticos proporcionan el balance necesario de propiedades que no pueden lograrse con otros materiales por ejemplo: color, poco peso, tacto agradable y resistencia a la degradación ambiental y biológica”(Fundacion Santa Cruz, 2010), la producción de plásticos data de 1869 cuando se creó el celuloide que en 1884 dio origen a la película fotográfica. Sin embargo, puede decirse que la industria de los plásticos es del siglo XX. Su crecimiento, desarrollos, aplicaciones e impactos en la sociedad y la economía han tenido lugar en los últimos cien años, lo que convierte a la industria del plástico en un invaluable aporte a la historia de la civilización y a la fabricación de productos esenciales. Desde el comienzo de la década de los 60´s se produjo un marcado crecimiento en la industria de los plásticos. Actualmente, la producción mundial de plásticos es diez veces mayor que en aquella época y alcanza aproximadamente 100 millones de toneladas anuales (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004).

El excesivo consumo de plásticos se ha convertido en uno de los problemas que tienen que afrontar y solucionar la clase política con intervención de los científicos expertos en el tema ya que en efecto, los 6.000 mil millones de habitantes del planeta generan

residuos ya sean de carácter sólido, líquido o gaseoso, estos residuos se han ido incrementando con las modernas tecnologías actuales que sólo se fijan en la rentabilidad que les puede proporcionar este negocio sin tener en cuenta el daño ambiental que el mismo genera(Garcia, 2011).

4.1.2 División de los plásticos según su comportamiento térmico-mecánico.

Atendiendo al comportamiento termo-mecánico, los plásticos se pueden clasificar en termoplásticos, elastómeros y termoestables. "Los plásticos termoplásticos son aquellos que después de un aporte calorífico suficiente, se vuelven deformables, adquieren plasticidad y abandonan el estado sólido para adoptar el estado viscoso-líquido y que, después de enfriarse, recuperan el estado sólido pudiendo absorber esfuerzos mecánicos. Estas alteraciones, debidas al calentamiento y al enfriamiento, pueden repetirse en un mismo material" (Francisco, 2006). Su comportamiento se deriva de su misma estructura molecular. Las moléculas de un material termoplástico tienen forma de cadena abierta o de hilos, a su vez, los termoplásticos se subdividen en "amorfos" y "semicristalinos".

Las moléculas filamentosas de los amorfos están en completo desorden, enmarañadas entre sí. En cambio, el orden de las moléculas es relativamente bueno en los materiales termoplásticos semicristalinos, donde se aprecia un cierto paralelismo dentro de los haces de moléculas filamentosas. El ordenamiento de los tramos de macromoléculas paralelas equivale al ordenamiento de átomos o moléculas dentro de las estructuras cristalinas (Sampere, 2005).

Los plásticos de consistencia elástica y gomosa se llaman elastómeros y son las variantes sintéticas de la goma. Su comportamiento se debe a que sus moléculas no son

filamentosas, sino que están enlazadas entre sí formando una tupida malla tridimensional.

4.1.3 División de los plásticos según su aplicación.

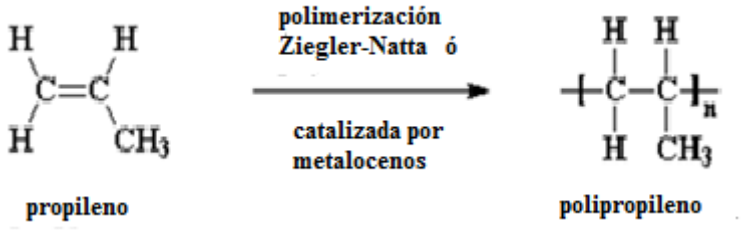
En función de la aplicación del plástico, éstos se dividen, por un lado, en plásticos estándar o de uso general, donde se encuentran los cuatro plásticos de producción "masiva": polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS) y cloruro de polivinilo (PVC). Por otro lado están los plásticos técnicos, es decir, plásticos específicos para determinadas aplicaciones que han de reunir unas características concretas, como deformación mínima cuando soportan solicitación constante, buena resistencia al impacto, poca dilatación térmica, escasa contracción, etc. En este grupo se incluyen las poliamidas (PA), policarbonato (PC), polietilenterftalato (PET), etc. Por otro lado existen plásticos especiales, los cuales poseen propiedades concretas en grado extraordinario; así, por ejemplo, tenemos el polimetilmetacrilato (PMMA), con una excelente transparencia y estabilidad a la luz, el politetrafluoroetileno (PTFE), con una gran resistencia térmica y química, etc. Por último, están los plásticos de altas prestaciones, los cuales normalmente son termoplásticos con buena resistencia mecánica más allá de los 150 °C, o con resistencias muy elevadas para los plásticos (debidas al especial ordenamiento estructural de los mismos). Ejemplos representativos de este tipo de plásticos son las polieteretercetonas (PEEK), las polietercetonas (PEK), las poliamidas (PI) o las polisulfonas (PU).

4.1.3.1 Polipropileno.

El polipropileno es un hidrocarburo que pertenece a la familia de las poliolefinas y es producido a través de la polimerización del propileno (el cual es un gas resultante como

subproducto de la industria petroquímica) figura 1. Está formado por cadenas largas de -(CH2-CH-CH3)n-. Su símbolo de reciclaje es el Numero 5. Estructuralmente es un polímero vinílico, similar al polietileno, sólo que uno de los carbonos de la unidad monomérica tiene unido un grupo metilo. El polipropileno se puede hacer a partir del monómero propileno, por polimerización Ziegler-Natta y por polimerización catalizada por metalocenos(Nicholson, 2006).

Figura 1: Polipropileno por polimerización



Fuente: Nicholson(2006)

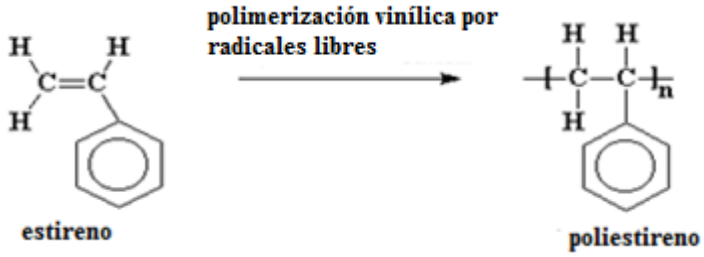
4.1.3.2 Poliestireno.

El poliestireno (PS) es un polímero termoplástico que se obtiene de la polimerización del estireno figura 2. Se encuentran dos tipos de poliestireno; Poliestireno expandido y poliestireno rígido. El poliestireno es un polímero vinílico, estructuralmente, es una larga cadena hidrocarbonada, con un grupo fenilo unido cada dos átomos de carbono. Es producido por una polimerización vinílica por radicales libres a partir del monómero estireno(Millán, 2008).

El Poliestireno (PS) es un polímero aromático sintético hecho a base de estireno monómero, un producto petroquímico líquido. El Poliestireno puede ser rígido o espumado. El poliestireno puede ser de color natural transparente, pero puede ser

coloreado con colorante. Está formado por cadenas largas de -(CH2-CH-C6H5)n-. Su símbolo de reciclaje es el Número 6(Millán, 2008).

Figura 2: Poliestireno por polimerización



Fuente: Millán, 2008

Poliestireno (PS) pertenece al grupo de los polímeros de vinilo que pueden ser térmicamente despolimerizados para dar monómeros en rendimientos sustanciales. La degradación térmica del PS es radical en la naturaleza y es el resultado de la ruptura de enlaces CC en cadenas de polímero. La reacción primaria de despolimerización PS no sólo condujo a estireno, sino también para α-metil-estireno, tolueno y benceno y fue acompañada por reacciones secundarias de transferencia de hidrógeno que resulta en la formación de etilbenceno, así como di, tri-y compuestos policíclicos. Este hecho es de particular importancia para la exploración de las posibilidades de recuperación de estireno mediante el reciclaje de los desechos PS (Kijenski, 2005).

4.1.4 Problemática de los residuos sólidos en la Universidad Libre.

La Universidad Libre en su implementación del sistema de gestión ambiental ha identificado diferentes problemas de los cuales uno de los más significativos es la deficiente selección y disposición de las basuras al interior de la Universidad. En la Universidad Libre, los residuos sólidos son considerados potencialidades ambientales y empresariales, ya que por una parte, de su manejo depende el aporte social y ambiental

que la Universidad puede hacer, desde la gestión integral de residuos a partir de la reducción en su generación, del reúso, la separación en la fuente y la transformación o el reciclaje propiamente dicho. A nivel empresarial, los residuos sólidos son una materia prima que se puede volver a integrar a la cadena productiva, por tanto un manejo adecuado de los mismos, puede permitir a la universidad obtener recursos económicos, u optimizarlos, a través de opción tarifaria multiusuario donde se puede reducir substancialmente la tarifa de recolección anual (Holguín, 2010).

Teniendo en cuenta la posible potencialidad que puede tener los residuos plásticos de la Universidad Libre Sede Bosque Popular para ser reincorporados al proceso productivo, se ha conocido la empresa Dr. Calderón Asistencia Técnica Agrícola quienes han venido estudiando el proceso de despolimerización catalítica, proceso que permite reutilizar y darle un mayor valor al algunos residuos plásticos que hasta hoy contaminan el entorno y que tradicionalmente no se podían reciclar.

4.1.5 Plasticombustibles.

Plasticombustibles es un proyecto de la empresa Dr. Calderón Laboratorios quienes desde 2011 ha dirigido sus esfuerzos hacia la transformación de las basuras de origen plástico en combustibles líquidos a través del proceso de despolimerización catalítica, mediante este proceso innovador se puede reutilizar y darle un mayor valor a los residuos plásticos que hasta hoy contaminan el entorno y que tradicionalmente no se podían reciclar, la despolimerización térmica de los residuos en ausencia de oxígeno/aire, sirve para la eliminación/transformación de los desechos de plástico a la

vez que permite la recuperación de valiosos productos tales como gasolina, queroseno, diesel y una amplia gama de hidrocarburos. Se pueden procesar las siguientes clases de plásticos: Polietileno de baja densidad, polietileno de alta densidad, polipropileno (PP), poliestireno (PS) (Calderon, 2009), logrando resultados comparables con gasolina y diesel comercial, resumidos en las siguientes tablas:

Propiedades de la gasolina extra y la gasolina de plástico.

Tabla 1: Propiedades de la gasolina extra y la gasolina de plástico

COMPOSICIOND E LA GASOLINA	***Gasolina Extra ECOPETROL***	***Gasolina de plástico (Plastolina)***
Color visual	Amarillo claro	Amarillo claro
Gravedad específica a 28 °C	0.7423	0.7254
Gravedad especifica 15 ° C	0.7528	0.7365
Gravedad API	56.46	60.65
Poder calorífico total Kcal/Kg	11210	11262
Poder calorífico neto: Kcal/Kg	10460	10498
Azufre mg/Kg	300	20
10% vol. Evaporado °C	Max 70	70
50% vol. Evaporado ° C	77-121	75-120
90% vol. evaporado °C	Max 190	192
Punto final de ebullición °C	225	220
Flash Point (Abel) °C	23	22
Estab. a la oxidación a 100 °C .min	Min 240	Min 240
Índice Octano AKI	87	96
Aromáticos totales ml/100 ml	28	22

Fuente: Dr. Calderón

Tabla 2: Propiedades del diesel comercial y de plástico

COMPOSICION DEL DIESEL	***Diesel ECOPETROL***	***Diesel de plástico***
Agua y sedimento	Max 0.5	0.003
Azufre mg/Kg	500	11.1
Contenido de aromáticos	33	26

Cenizas	0.01	0.01
Punto final de ebullición	Max 390	380
Viscosidad cinemática a 40°Cmm2/s	1.9-5.0	2.54

Fuente: Dr. Calderón

En general puede decirse que de 1 kilogramo de plástico se produce un litro de combustible. Este a su vez se subdivide en 35 % de Gasolina, 45 % de Diesel y 20 % de Fuel Oil (Bunker) (Tobón, 2014),lo cual hace que éste proyecto tenga un soporte veraz para experimentar de manera similar con los desechables plásticos polipropileno (PP) y poliestireno (PS) generados por la Universidad Libre, creando una posible solución a la problemática en la Universidad.

4.1.6 La Despolimerización Catalítica.

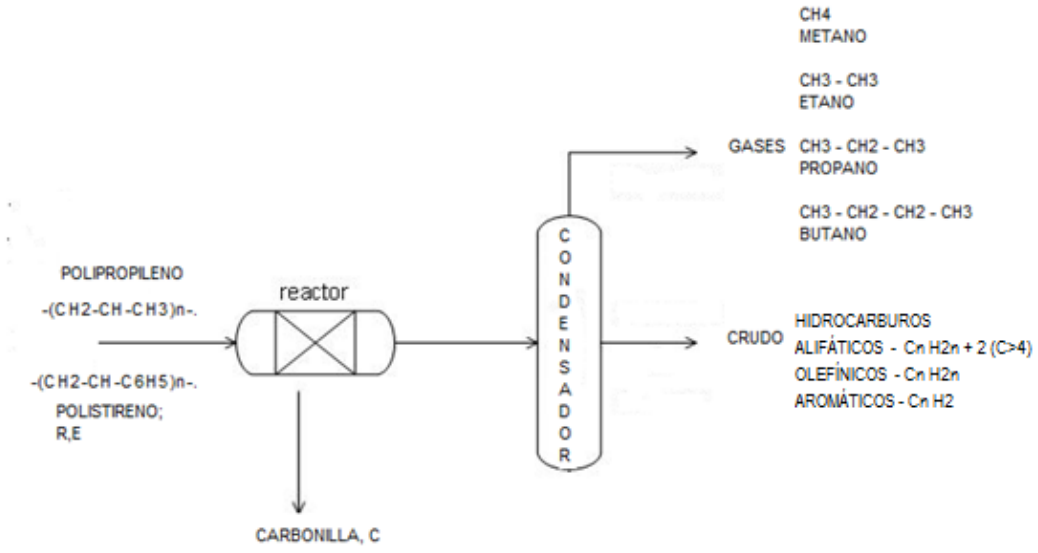
La Despolimerización Catalítica consiste en la descomposición físico-química de la materia orgánica, bajo la acción del calor, en ausencia de un medio oxidante y en presencia de un catalizador. En este caso de los residuos plásticos de la Universidad Libre, aunque no circunscrita exclusivamente a estos, como polipropileno (PP) y poliestireno (PS) con un alto contenido de hidrocarburos por un lado y otro tipo de materia orgánica tal como residuos de alimentos en mayor o menor proporción. Una vez el material es sometido a este procedimiento se obtendrá un crudo, que puede tener un alto potencial como combustible.

En ausencia de un catalizador, se habla de despolimerización térmica o termólisis.

Los productos de la despolimerización son gases, líquidos y un residuo carbonoso, cuyas cantidades relativas dependen de las propiedades de la carga a tratar y de los parámetros de operación del equipo figura 3. En los últimos años procesos similares se

viene utilizando para la obtención de combustibles líquidos y productos químicos a partir del carbón y residuos orgánicos.

Figura 3: Productos de la despolimerización catalítica



Fuente: Las autoras

4.1.6.1 Pirólisis de biomasa

El proyecto denominado" *Pirólisis para el tratamiento de diferentes tipos de Biomasa y Polímeros***"** señala que a partir de los compuestos orgánicos y poliméricos bajo el procedimiento de pirólisis se pueden extraer materiales con gran aporte energético para usar como materia prima en la síntesis de algunos compuestos, ya sea carbón vegetal o activado, al igual que algunos volátiles para usos industriales. En Colombia, como en los demás países azucareros, se viene observando con mucho interés el uso del residuo agrícola de la cosecha de la caña de azúcar (RAC) como biomasa para aprovechamiento energético debido a su poder calorífico. Una de las opciones tecnológicas disponibles para este propósito es la Pirólisis(Castillo, 2008).

De igual forma se ha venido investigando la producción de combustibles vehiculares líquidos, tales como gasolina, queroseno y diesel a partir de residuos plásticos, mediante este proceso, que es una tecnología emergente que brinda una solución para la disposición adecuada de una gran cantidad de residuos plásticos post-consumo y pos-industria, que no pueden ser recuperados económicamente por operaciones convencionales de reciclado mecánico y que usualmente van a parar a los rellenos sanitarios. Estos residuos no son apetecidos por los recicladores tradicionales ya que no encuentran quien los compre en el mercado.(Calderon, 2009)

Este proceso de reciclaje se ha venido utilizando como materia prima, polímeros y biomasa, en algunas investigaciones, Es importante mencionar que si bien se han realizado diversas investigaciones acerca de materiales sometidos a pirólisis, no existe claridad acerca de los materiales con residuos de comida.

4.1.6.2 Gasificación de biomasa

Se denomina gasificación de biomasa a un conjunto de reacciones térmicas que se produce en un ambiente pobre en oxígeno, y que da como resultado la transformación de un sólido en una serie de gases susceptibles de ser utilizados en una caldera, en una turbina o en un motor, tras ser debidamente acondicionados. En el proceso de gasificación, la celulosa se transforma en hidrocarburos más ligeros, incluso en monóxido de carbono e hidrógeno. Esta mezcla de gases llamada gas de síntesis o "syngas", tiene un poder calorífico inferior (PCI) equivalente a la sexta parte del poder calorífico inferior del gas natural, cuando se emplea aire como agente gasificante(BESEL S.A Departamento de Energia, 2007). El agente gasificante es un gas, o mezcla de ellos, que aporta calor para iniciar las reacciones, y oxígeno.

La gasificación no es una tecnología desarrollada recientemente, sino que ha sido un recurso habitual en periodos de carencia o escasez de combustibles ligeros, ya que permite convertir sólidos (carbón, biomasa) en gases que pueden ser empleados en motores de combustión interna, calderas y turbinas. Por otro lado, la gasificación como concepto de proceso puede aplicarse para sintetizar combustibles líquidos de alta calidad (proceso Fischer-Tropsch).

El rendimiento del proceso de gasificación varía dependiendo de la tecnología, el combustible y el agente gasificante que se utilice, en el rango de 70-80%. El resto de la energía introducida en el combustible se invierte en las reacciones endotérmicas, en las pérdidas de calor de los reactores, en el enfriamiento del syngas, necesario para su secado (eliminación de vapor de agua) y filtración, y en el lavado (cuando es necesario eliminar los alquitranes).

4.1.6.3 Catalizadores para procesos de Despolimerización.

"Catalizador es una sustancia que aumenta la velocidad con la que una reacción alcanza el equilibrio, sin consumirse esencialmente en esta reacción" (Hermosilla, 2008).

Dependiendo de la tecnología que se emplea, y de las condiciones de gasificación (relación biomasa/gasificante, tiempo de residencia, etc.) se pueden usar catalizadores para inducir ciertas reacciones y que se produzca prioritariamente algún componente. Catalizadores de reformado de níquel o cobalto, gasificando a menos de 550° C facilitan el craqueo de las fracciones pesadas, es decir, la reducción de la formación de alquitranes. Catalizadores basados en zeolita y dolomía reducen la temperatura de craqueo de 1.100 °C a 800-900 °C, es decir, que permiten trabajar a menor temperatura en la zona de reducción. Si se quiere facilitar la formación de monóxido de carbono e

hidrógeno, se deben utilizar catalizadores de níquel y cobalto, trabajando entre 700 y 800 °C en la zona de reducción(BESEL S.A Departamento de Energia, 2007).

Se puede hablar de varios tipos de catálisis de los cuales podemos mencionar la catálisis homogénea en donde el catalizador y el sistema reactivo forman un sistema homogéneo con una sola fase, son reacciones en fase gas o en disolución, por ejemplo catálisis acido-base, tambien encontramos la catálisis heterogénea en donde la reacción se produce en una región interfacial, así para una reacción donde los reactivos están en fase gas o disolución el catalizador se suele presentar en forma de sólido y la catálisis enzimática en donde reacciones bioquímicas cuya velocidad se incrementa por la acción de las enzimas, que son proteínas formado una dispersión coloidal, aunque formalmente es homogénea, presenta características propias de la catálisis heterogénea, como la existencia de centros activos(Universidad de Valencia, 2009).

4.1.6.4 Pirólisis del polietileno en presencia y ausencia de catalizadores.

El consumo de productos plásticos en países industrializados excede a 100 kg/persona. Esta práctica genera una gran cantidad de residuos poliméricos los cuales deben de ser manejados adecuadamente para reducir su impacto ambiental y optimizar su potencial químico. Una alternativa que está tomando mucho auge es el reciclaje de residuos plásticos el cual ofrece la posibilidad de descomponer y transformar estos residuos en productos que pueden ser usados directamente como combustible o bien como materia prima en la industria petroquímica. La descomposición térmica de plásticos, también referida como pirólisis, es una técnica que involucra el calentamiento de los plásticos a temperaturas entre 500 y 800 °C bajo condiciones atmosféricas inertes para producir la

escisión de las moléculas originales. Las reacciones de descomposición para la mayoría de los polímeros han sido estudiadas mostrando que la naturaleza de los productos que se obtienen depende primordialmente del tipo de polímero. En el caso del polietileno (PE), la degradación térmica tiene lugar a través de un mecanismo de ruptura aleatorio el cual genera una mezcla de parafinas y olefinas con un amplio rango de pesos moleculares. La baja conductividad térmica de los plásticos y el carácter endotérmico de las reacciones de descomposición involucran un alto consumo de energía en el proceso de pirólisis. El uso de catalizadores ácidos sólidos permite que la temperatura del proceso sea disminuida lo cual implica consumos menores de energía y altas conversiones.

4.2 Marco conceptual

4.2.1 Concepto de residuo.

Desde tiempos remotos, la humanidad ha visto como debido a sus actividades cotidianas y productivas se generan residuos que alteran el medio ambiente, anteriormente los residuos eran enterrados sin ningún tipo de protección del subsuelo y de las aguas subterránea, la palabra "residuo" en sí no es suficientemente clara, de acuerdo al diccionario de la Real Academia Española, se observa su definición como "la parte que queda de un todo, lo que queda de la descomposición o destrucción de una cosa", pero en generalmente es residuo para una persona o empresa, puede ser material útil para otra persona o empresa, según el Ministerio de Medio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial es cualquier objeto del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que el generador abandone, rechaza o entrega y que es susceptible aprovechamiento o trasformación en un nuevo bien como se observa, la posibilidad de interpretar estos conceptos como potencial de recuperación y aprovechamiento (M A V D T, 2007)

4.2.2 Problemática de los residuos.

En la medida que los seres humanos han adquirido mayores conocimientos y se han dado cuenta de los diferentes daños ocasionados al planeta por la inadecuada disposición de los residuos, se fueron implementando técnicas tendientes a dar solución a esta problemática, es así como se ha adoptado la técnica de los rellenos sanitarios como la opción más viable desde el punto de vista técnico y ambiental, la definición dada a relleno sanitario según el decreto 838 de 2005 del Ministerio de Ambiente

Vivienda y Desarrollo Territorial, es el lugar técnicamente seleccionado, diseñado y operado para la disposición final controlada de residuos sólidos, sin causar peligro, daño o riesgo a la salud pública, minimizando y controlando los impactos ambientales y utilizando principios de ingeniería, para la confinación y aislamiento de los residuos sólidos en un área mínima, con compactación de residuos, cobertura diaria de los mismos, control de gases y lixiviados, y cobertura final(Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004).

4.2.3 Definición de plástico.

La palabra " plástico" no se asocia únicamente a un material tal y como sucede con el metal, que designa otros materiales además del hierro y del aluminio, la palabra plástico debe entenderse como un término genérico que describe una gran variedad de sustancias, las cuales se distinguen entre sí por su estructura, propiedades y composición. “Las propiedades de los plásticos son tantas y tan variadas que a menudo pueden sustituir a los materiales convencionales como la madera y los metales o complementarlos” (Ministerio de Medio Ambiente, 2002).

Así mismo con el alarmante incremento del consumo de plásticos en el mundo, se toman medidas que han llevado al surgimiento de diversas políticas y planes que permitan combatir y contrarrestar este problema. Dentro de estos programas se encuentra la política de producción más limpia, que según el UNEP es definida como la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada en los procesos productivos y los servicios, para reducir los riesgos relevantes a los humanos y al medio ambiente.

Por lo tanto y siguiendo los principios de la política de producción más limpia se pueden adoptar medidas como el reciclaje, proceso donde las materias primas que

componen los materiales que usamos en la vida diaria como el papel, vidrio, aluminio, plástico, etc., una vez terminados su ciclo de vida útil, se transforman de nuevo en nuevos materiales (Conciencia Eco, 2012), pero a pesar de esta conciencia que ha tomado una significativa fuerza en los últimos años, aún existe un porcentaje de residuos que no son aprovechados y reincorporados en el ciclo productivo, para solucionar este problema una de las alternativas estudiadas es la pirólisis que según la EPA (*Environmental Protection Agency*) es la descomposición de una sustancia química a través de calor extremo, esta técnica ha sido estudiada paralelamente con otras técnicas, aunque para esta investigación se profundizara en la despolimerización, como estrategia de minimización de desechos plásticos que se generan en la Universidad Libre Sede Bosque Popular.

4.3 Marco político y legal.

En materia ambiental Colombia cuenta con una serie de normas que reglamentan cada uno de los aspectos relacionados con la conservación y utilización de los recursos naturales (Minsterio de Medio Ambiente, 2004). Muchas de estas normas han surgido para mitigar problemas ambientales experimentados a lo largo del país.

Actualmente Colombia cuenta con un amplio desarrollo normativo enmarcado en la política nacional para la gestión de residuos sólidos emitida en 1998 actualizada en el COMPES soportada por la Constitución Nacional 1991, la ley 99 de 1993, y Decreto 1713 de 2002 que establece 3 objetivos específicos que determinan las prioridades de la gestión en residuos.

- Minimizar la cantidad de residuos que se generan.
- Aumentar el aprovechamiento racional de los residuos sólidos.
- Mejorar los sistemas de eliminación, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos.

En la Tabla 3, se presenta una relación general de la normativa aplicable a la cadena asociada a la gestión de los residuos sólidos.

Tabla 3: Normatividad en materia ambiental relacionada a la gestión de los residuos sólidos

N°	NORMAS DE REQUISITOS LEGALES	AÑO	EMITIDA POR	DESCRIPCION
1	Decreto ley 2811	1974	Presidencia de la república	Código nacional de los recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente. Plantea en su artículo 34º, de manera futurista la necesidad de utilizar los mejores métodos de acuerdo con los avances de la ciencia y la tecnología, para la gestión integral de los residuos, (recolección, tratamiento procesamiento y disposición final. Igualmente señala que: "se fomentara la investigación para desarrollar métodos que reintegren al proceso natural los residuos sólidos, líquidos y gaseosos y para perfeccionar y desarrollar nuevos métodos para su tratamiento y recolección".
2	Constitución política	1991	Asamblea Nacional Constituyente	Contiene 49 artículos alusivos al medio ambiente, dentro de los cuales se cita el deber del estado de proteger la diversidad e integridad del ambiente de prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental.
3	Ley 99	1993	Congreso de la República	Crea el ministerio del medio ambiente, reordena el sector público encargada de la gestión y conservación del medio ambiente y recursos naturales renovables y se organiza el Sistema Nacional Ambiental- SINA. Globalmente abarca el tema del manejo de los residuos sólidos regulando las condiciones generales para el saneamiento del medio ambiente, con el fin de mitigar e impedir el impacto de actividades contaminantes al entorno natural.
	Política de Producción Más Limpia	1997	Ministerio de Medio Ambiente	Razón por la cual es importante que la academia y en particular los ingenieros ambientales identifiquen procesos de gestión para continuar con la cadena de recuperación de los residuos sólidos, que generen mayor valor agregado a nivel social, económico y ambiental y evalúen técnicamente su eficiencia, con miras a contribuir en la conservación del

				ambiente y por ende del desarrollo sostenible.
4	Política Nacional de Investigación Ambiental	2001	Ministerio del Medio Ambiente	Coordinar, promover y orientar las acciones de investigación sobre el medio ambiente y los recursos naturales renovables. La investigación y el conocimiento del ambiente son parte integral de la vida cotidiana de las poblaciones, y deben ser la base para la construcción de las relaciones armónicas con sus respectivos entornos. Sus temáticas cubrirán todos los campos del saber humano orientados a la generación de conocimiento, que coadyuve al logro del desarrollo sostenible como objetivo central de la Política Nacional Ambiental.
5	Decreto 1713	2002	Ministerio del Medio Ambiente	Aprovechamiento: es el proceso mediante el cual, a través de un manejo integral de residuos sólidos, los materiales recuperados se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente, por medio de la reutilización, el reciclaje, la incineración con fines de generación de energía, el compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios ambientales y /o económicos. (presidente de la republica de colombia, 2002)
6	Guía ambiental sector plásticos	2004	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	La guía ambiental para el manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos, principalmente de pos-consumo, se constituye en herramienta básica para orientar la actividad de todos los actores que intervienen en la gestión de estos residuos, aportando a su vez a la consolidación de una estrategia para el aprovechamiento y valoración de los mismos y el fortalecimiento de las cadenas de reciclaje.

7	Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible	2012	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	La Política de Producción y Consumo Sostenible se orienta a cambiar los patrones insostenibles de producción y consumo por parte de los diferentes actores de la sociedad nacional, lo que contribuirá a reducir la contaminación, conservar los recursos, favorecer la integridad ambiental de los bienes y servicios y estimular el uso sostenible de la biodiversidad.

Fuente: Las autoras

4.4 Marco Demográfico

La Universidad Libre Sede Bosque Popular, está ubicada en la localidad de Engativá, cubre una necesidad de servicio educativo a la población, ofreciendo una educación conformada por todos los niveles de formación desde preescolar, básica, media, pregrado, y posgrados. Una población promedio al semestre entre 8.000 y 10.000 personas (Sistema de Gestión Ambiental de la Universidad Libre, SIGAUL 2013).

Tabla 4: Población Universidad Libre Sede Bosque Popular

DEPENDENCIA	***NUMERO DE PERSONAS***
DERECHO CALENDARIO B:	787
INGENIERIA:	2378
CIENCIAS CONTABLES:	1381
CIENCIAS DE LA EDUCACION:	1415
ADMINISTRACION:	313
DOCENTES:	428
CATEDRATICOS:	515
APRENDIZAJES SENA:	19
TEMPORALES:	19
COLEGIO: DOCENTES Y ESTUDIANTES	1398
TOTAL	8653

Fuente: Sistema de Gestión Ambiental de la Universidad Libre, SIGAUL, 2013

4.5 Marco Geográfico

La Universidad Libre sede Bosque Popular se encuentra ubicada en la localidad de Engativá, figura 4. Colinda al norte con el jardín botánico José Celestino Mutis, al sur con el colegio militar Simón Bolívar, al oriente con el Club Compensar, al occidente con la Avenida Rojas.

Figura 4: Mapa de ubicación geográfica de la Universidad Libre Sede Bosque Popular

Fuente**:** Google Earth, 25 de julio de 2013

5 Metodología

5.1 Clase de investigación

El proceso llevado a cabo en la formulación de la presente propuesta tiene un componente investigativo de enfoque cuantitativo, con tipo de investigación aplicada, teniendo en cuenta que es la respuesta efectiva y fundamentada a un problema detectado (Sabino, 2007), es decir se hace necesaria la recolección de información detallada y exacta acerca de la producción, cantidad generada y tipo de desechables plásticos mediante una primera fase de diagnóstico donde se realizará la caracterización de estos residuos para luego aplicar el proceso de despolimerización catalítica, realizando pruebas y ensayos al producto final con el fin de identificar cada una de las sustancias obtenidas y establecer su potencial como combustible, a partir de la curva de destilación ASTM -D86.

5.1.1 Pregunta de investigación.

¿Cuál de las condiciones de temperatura (525°C-600°C) y catalizador (0g-30g) es la que tiene mayor producción de crudo mediante el proceso de despolimerización catalítica, a partir de los residuos desechables plásticos con restos orgánicos (Polipropileno, Poliestireno rígido y expandido) que se generan en la Universidad Libre sede Bosque Popular?.

5.1.1.1 Hipótesis general de la investigación

Todas las condiciones de temperatura (525°C-600-°C) y catalizador (0g-30g) tienen el mismo efecto sobre la producción de crudo que se obtiene de los residuos desechables plásticos con restos orgánicos (Polipropileno, Poliestireno rígido y expandido) que se generan en la Universidad Libre Sede Bosque Popular.

5.1.1.2 Hipótesis nula.

Las condiciones de temperatura (525°C-600-°C) y catalizador (0g-30g), no tienen efecto en la producción de crudo a través del proceso de despolimerización catalítica a partir de los residuos desechables plásticos con restos orgánicos (Polipropileno, Poliestireno rígido y expandido) que se generan en la Universidad Libre sede Bosque Popular.

5.1.1.3 Hipótesis alternativa.

Las condiciones de temperatura (525°C-600-°C) y catalizador (0g-30g), tienen efecto en la producción de crudo a través del proceso de despolimerización catalítica a partir de los residuos desechables plásticos con restos orgánicos (Polipropileno, Poliestireno rígido y expandido) que se generan en la Universidad Libre sede Bosque Popular.

5.1.2 Variables.

Tabla 5: Variables de Trabajo

VARIABLES INDEPENDIENTES	*VARIABLES DEPENDIENTES*	*VARIABLES INTERVINIENTES*
Temperatura Catalizador (cantidad) Tipo de material(PP,PS)	Crudo Carbonilla Tiempo Presión	Restos orgánicos (residuos de alimentos, vectores)

Fuente**:** Propia

5.1.3 Diseño estadístico

Planteamiento de hipótesis estadística

$$H_o = \mu = \mu_1$$ (No hay efecto en la producción de crudo)

$$H_1 = \mu \neq \mu_1$$ (Hay efecto en la producción de crudo)

Criterio de decisión

Asumiendo una distribución normal el criterio de decisión será:

Rechazar si $Z0 > 1.96$ o $Z0 < -1.96$

No rechazar si $-1.96 \leq Z0 \leq 1.96$

Tabla 6: Análisis de Varianza (ANOVA)

Fuente de Variación	***Suma de Cuadrados***	***Grados de Libertad***	***Cuadrado Medio***	***Fo***
Tratamientos A	SS_A	$a-1$	$MS_A = \frac{SS_A}{a-1}$	$F_0 = \frac{MS_A}{MS_E}$
Tratamientos B	SS_B	$b-1$	$MS_B = \frac{SS_B}{b-1}$	$F_0 = \frac{MS_B}{MS_E}$
Interacción	SS_{AB}	$(a-1)(b-1)$	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a-1)(b-1)}$	$F_0 = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$
Error	SS_E	$ab(n-1)$	$MS_E = \frac{SS_E}{ab(n-1)}$	
Total	SS_T	$abn-1$		

Fuente**:** Montgomery

5.2 Diseño factorial 2 k

Para la realización de los experimentos se plantea un diseño factorial 2^2 ya que solo tiene dos factores, temperatura y catalizador, cada uno con dos niveles, los niveles de los factores pueden denominarse alto y bajo (Montgomery, 2004).Para conocer la cantidad exacta de experimentos a realizar se utilizó el software *DESIGN EXPERT* que es muy útil para configurar un experimento, analizar los datos, y representar gráficamente los resultados, usado para detectar factores de vital importancia, identificar ajustes ideales de proceso con métodos de superficie de respuesta y descubrir sus formulaciones óptimas de productos a través de diseño de la mezcla, en este proyecto se plantearon dos variables, Temperatura y cantidad de catalizador a dos niveles de ensayo, siendo 525 °C el nivel bajo y 600°C el nivel alto para la variable Temperatura y para

catalizador se tendrá 0 g para el nivel bajo y 30 g para el nivel alto, esto para 600 g de carga de material para cada uno de los tres tipos de plástico.

Según el software *Design Expert* y tomando como referencia el diseño experimental 2^k según Montgomery, el número de experimentos que se deben realizar son 12 y debido a que son tres tipos de material; polipropileno (PP), poliestireno expandido (PSE) y poliestireno rígido (PSR), entonces teniendo una replicabilidad de 3 experimentos la cantidad exacta de ensayos es de 36.

En la tabla 7 se muestran las combinaciones de las dos variables y sus dos niveles correspondientes a los ensayos de despolimerización catalítica que se deben realizar.

Tabla 7: Combinación de Tratamientos

CONDICION	***FACTOR***			***REPLICA***			
	TEMPERATURA (°C)	**CATALIZADOR (g)**	**COMBINACION**	**I**	**II**	**III**	**TOTAL**
1	525	0	T Bajo, C Bajo				
2	600	0	T Alto, C Bajo				
3	525	30	T baja, C alto				
4	600	30	T alto, C alto				

Fuente: Las autoras

T: temperatura C: Catalizador Bajo: 0g -525°C Alto: 30g- 600° C

Según Sheirs y Walter Kaminsky la proporción de catalizador debe estar en un rango de mínimo 5% y máximo 9% de la carga a pirolizar, para esta investigación se tomó el valor mínimo de 5 % ya que el catalizador es de difícil acceso por ser de origen extranjero y debido a no tener referencias acerca de no utilizar catalizador, se asumió un 0% para experimentar.

De igual forma la temperatura se ha establecido en un mínimo de 525°C ya que a ésta temperatura empieza la despolimerización de polipropileno (PP), poliestireno rígido(PSR) y poliestireno expandido (PSR)(Jhon & Walter, 2006)tomando como referencia el funcionamiento del reactor, de igual forma se toma un máximo de 600°C ya que ésta es la máxima temperatura que alcanza el reactor, se trabajaran tres ensayos por cada condición de despolimerización.

5.3 Diseño metodológico

5.3.1 Fase 1: Evaluar la obtención de combustible.

5.3.1.1 Actividad 1: Caracterización de residuos.

Para el desarrollo del presente proyecto se planea realizar una caracterización física de los residuos generados en la Universidad Libre y colegio, con el objetivo de establecer la cantidad necesaria y efectuar los 36 experimentos, es decir aproximadamente 22 Kg de material, esto debido a que en las caracterizaciones anteriores no se conocía la cantidad exacta de polipropileno y poliestireno.

Esta actividad se realizó de la siguiente manera:

Paso 1: Coordinación del trabajo con el personal de servicios generales para el desarrollo de la actividad.

Paso 2: Realización de la caracterización de los residuos sólidos de un día de recolección, donde la basura es homogenizada, seleccionada y pesada por tipo de residuos.

Figura 5: Caracterización Universidad Libre y colegio.

Fuente: Las autoras

5.3.1.2 Actividad 2: Alistamiento del material

Tabla 8: Actividad 2 Alistamiento del material (recolección y picado)

Fotografía 1: Recolección de material

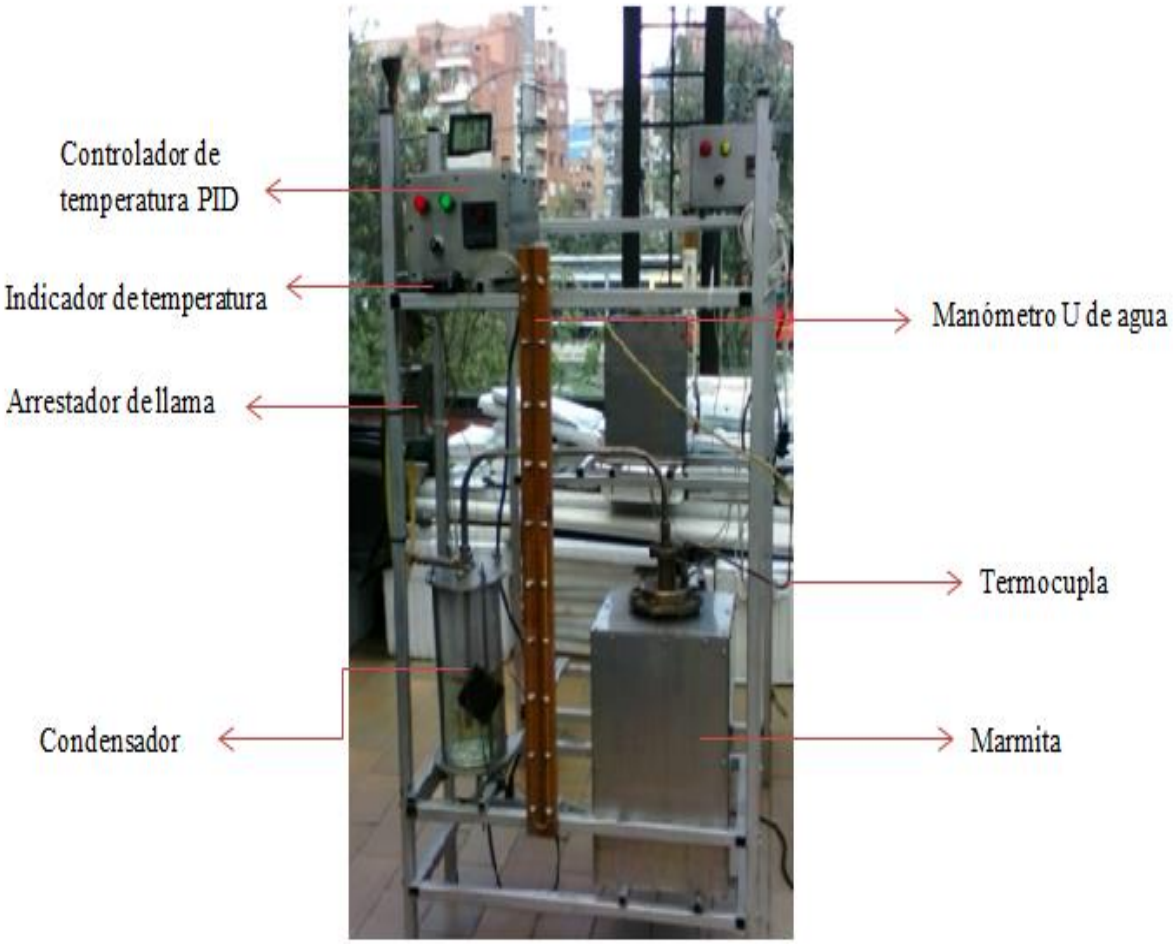
Fotografía 2: Picado de material

Fuente: Las autoras

- Para realizar los experimentos requeridos se recolectó aproximadamente 7.5 Kg por cada tipo de material.
- El picado de este material se realizó manualmente con tijeras industriales con una medida aproximada de 2 x 2 cm, esto fue necesario para reducir el tamaño de los vasos y poder llenar el reactor con los respectivos 600 g de cada tipo material.

Fuente: Las autoras

Figura 6: Reactor de despolimerización catalítica.

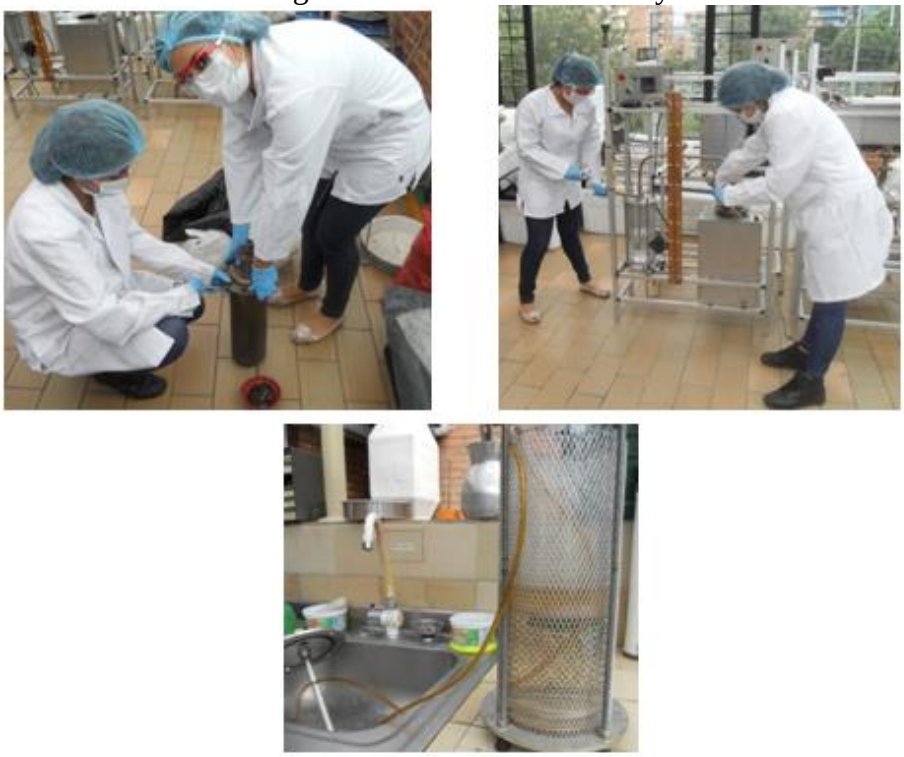


Fuente: Las autoras

En la figura 6 se muestra el reactor de despolimerización catalítica donde se realizaron los ensayos, este reactor cuenta con una capacidad de 1 kg.

5.3.1.3 Actividad 3: Ensayos de despolimerización catalítica

Tabla 9**:** Actividad 3 Realización de ensayos

Fotografía 3:Realización de ensayos

Ensayos de despolimerización catalítica realizados en el laboratorio.

Fuente: Las autoras

5.3.2 Fase 2: Caracterización del crudo obtenido.

Actividad 1: Destilación

Una vez se obtiene el producto al que se le dio el nombre de crudo, se realizó un proceso de destilación para caracterizar los rangos de temperatura de ebullición de los diferentes productos presentes en el, así como sus densidades, basado en la Norma ASTM D-86.

Mediante estos dos factores, temperatura de ebullición de las diversas fracciones y densidad de las mismas, se puede caracterizar el combustible obtenido.

En la figura 7 se muestra el equipo de destilación utilizado en este proyecto.

Figura 7: Destilador Norma ASTM D-86

Fuente: Las autoras

Este método de ensayo se realiza en una unidad de laboratorio de destilación a presión atmosférica, utilizando 100 ml por una unidad de carga para determinar cuantitativamente las características de rango de ebullición de productos tales como: gasolinas naturales, combustibles para aviones a turbina, combustibles diesel, solventes

especiales de petróleo, naftas, solventes incoloros, querosén y fuel oíl grado 1 y grado 2. El punto de ebullición combinado con la densidad del producto da información sobre la composición y las propiedades del combustible.

6 Resultados y Análisis

6.1 Caracterización de residuos plásticos.

En la tabla 10 se muestran los datos generales de la caracterización de residuos de la universidad libre y colegio realizada el día 10 de noviembre de 2013 (Debido a la época de baja influencia estudiantil, los datos varían respecto a la caracterización de 2010).

Tabla 10: Caracterización de residuos de la Universidad Libre

TIPOS DE RESIDUOS SÓLIDOS (MACROAPROXIMACIÓN)	***PORCENTAJE %***	***Kg/Día***	***Ton/mes***
PAPEL	8.80	21.38	0.535
CARTÓN	10.11	24.57	0.614
VIDRIO	5.42	13.16	0.329
PLÁSTICO	24.45	59.42	1.486
METALES	0.25	0.62	0.015
EMPAQUES COMPUESTOS	3.24	7.86	0.197
OTROS MATERIALES POTENCIALMENTE RECICLABLES	0.00	0.00	0.000
RESIDUOS ORGÁNICOS	6.92	16.81	0.420
OTROS RECHAZO	40.81	99.17	2.479
TOTAL	100.00	243.00	6.075

Fuente: Las autoras

La información de la tabla 10 nos indica que de 6.075 ton/mes de basura, el 24.45% son plásticos, comparada con la caracterización de 2010 donde se encontraron 12 toneladas mensuales, de las cuales el 27% fueron plásticos. A pesar de ser realizadas en diferentes épocas del año la cantidad de residuos encontrados sigue siendo alta, lo que quiere decir que la Universidad Libre Sede Bosque Popular tiene un gran potencial de residuos plásticos para ser aprovechados.

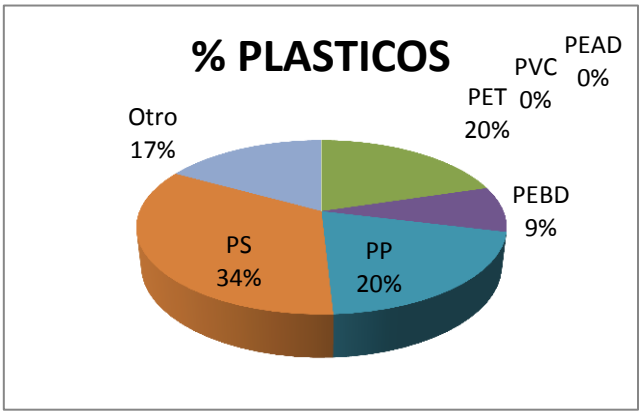
A continuación se muestra en la tabla 11 la cantidad exacta por cada tipo de material de plástico encontrado en la caracterización.

Tabla 11: Plásticos que se generan como basura en la Universidad Libre

	TOTAL(kg/día)	*TOTAL Ton/mes*	*%*
PEAD	0	0	0%
PVC	0	0	0%
PET	12	0.3	20%
PEBD	5	0.125	9%
PP	12	0.3	20%
PS	20	0.5	34%
Otro	10	0.25	17%
Total	59	1.475	100%

Fuente: Propia

Figura 8: Plásticos generados en la Universidad Libre



Fuente: Las autoras

De los residuos plásticos que genera la Universidad Libre, el poliestireno PS y polipropileno PP presentan el mayor porcentaje encontrado dentro de la caracterización, siendo 34% y 20% respectivamente, lo cual representa una cantidad considerable de material potencialmente reciclable para ser sometido al proceso de despolimerización catalítica, aunque el PET y PEBD ya venían siendo reciclados se sigue encontrando 29% de estos materiales.

6.2 Ensayos de despolimerización catalítica

A Continuación se muestra el resultado de los ensayos realizados de despolimerización catalítica, con 4 condiciones establecidas en la metodología y sus respectivas replicas, para el análisis de estos resultados se tuvo en cuenta la tabla de balance de masa, ver **anexo A**, donde se obtuvo la cantidad exacta de crudo, carbonilla y gas.

6.2.1 Polipropileno.

Fotografía 4: Crudo de polipropileno

Fuente: Las autoras

En la foto 4 podemos observar el color amarillo claro, libre de impurezas y con un olor particular de hidrocarburo líquido y en la tabla 12 se observa el promedio de los resultados obtenidos en las réplicas de cada ensayo de despolimerización catalítica para el polipropileno con residuos orgánicos.

Tabla 12: Resultados Promedios de Crudo, Carbonilla y gas de la despolimerización de residuos de Polipropileno

CONDICION	FACTOR			REPLICA (CRUDO) (g)					REPLICA (CARBON) (g)					REPLICA (GAS) (g)				
	TEMPERATURA (°C)	CATALIZADOR (g)	COMBINACION	I	II	III	PROM	%	I	II	III	PROM	%	I	II	III	PROM	%
1	525	0	T Bajo, C Bajo	528	510	523	520.33	87%	10	10	8	9.33	2%	62	80	69	70.33	12%
2	600	0	T Alto, B Bajo	500	538	501	513	86%	11	2	8	7.00	1%	89	60	91	80.00	13%
3	525	30	T baja, B alto	450	474	506	476.66	79%	62	30	37	43	7%	88	86	57	77.00	13%
4	600	30	T alto, B alto	490	499	471	486.67	81%	36	33	31	33.33	5%	74	68	98	80.00	13%

Fuente: Las autoras

Figura 10: Peso vs Condición

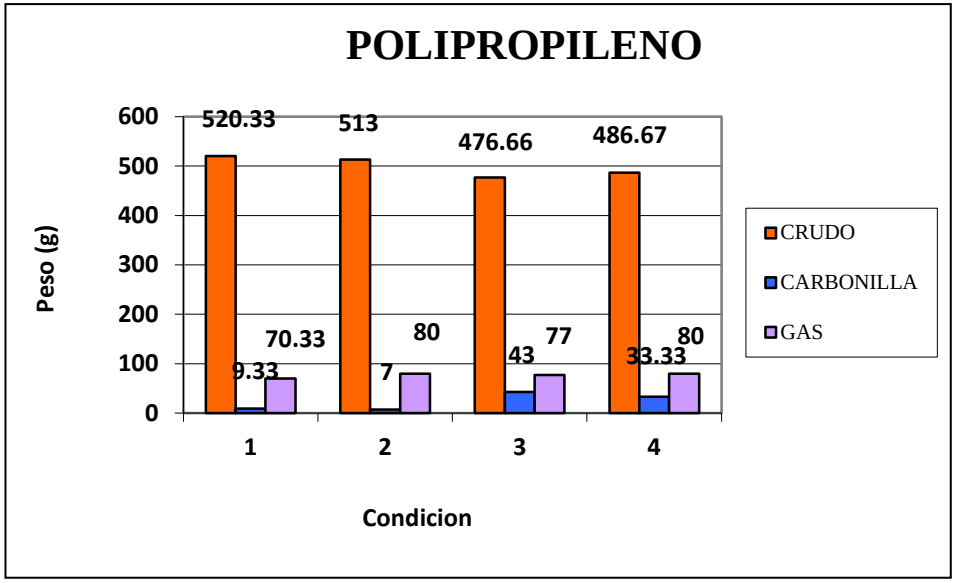
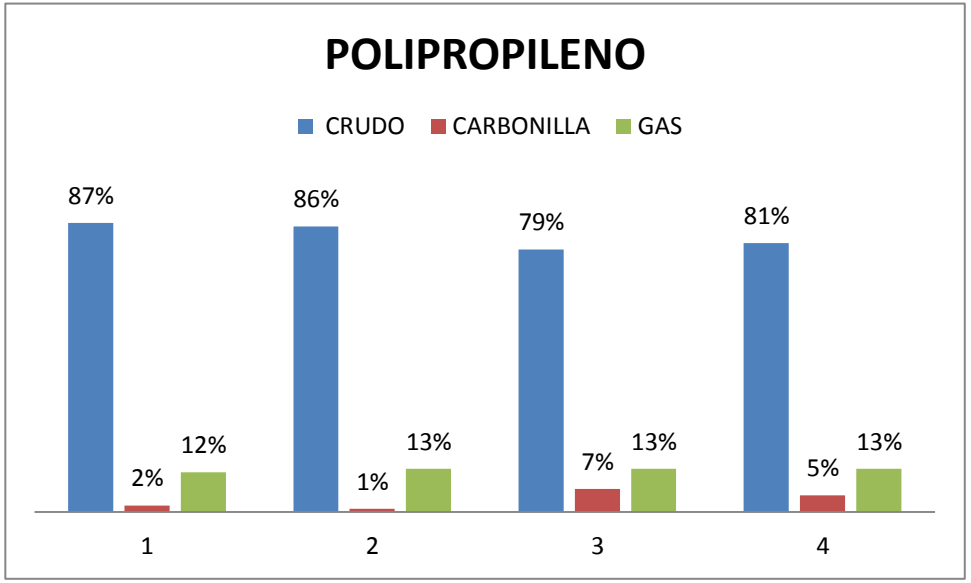


Figura 9: Porcentaje de productos obtenidos



Fuente: Propia

En las Figuras 9-10 se puede evidenciar la cantidad de crudo obtenido en gramos a partir de los residuos de polipropileno en los ensayos de despolimerización con y sin catalizador, en promedio para la condición 1 (525°C -0 g de catalizador), se obtuvo la máxima producción de crudo que fue de 520.33 g lo que equivale al 87%, comparado con la condición 3 en donde la producción de crudo fue el mínimo con 476.66 g equivaliendo al 79%, siendo la temperatura de 525 °C y 30 g de catalizador, es decir que el catalizador a la misma temperatura hizo que disminuyera la producción de crudo en un 8%, esto puede atribuirse a la aceleración de la reacción a tal punto que produce mayor cantidad de gas por ruptura excesiva de los enlaces que llega hasta la formación de carbonos unitarios.

De igual forma se puede ver que la condición 1 y 2 a temperatura de 525 y 600 °C sin catalizador presenta una producción similar con una diferencia del 1%, lo que demuestra que el polipropileno obtiene una buena producción de crudo sin necesidad de un catalizador y con un tiempo de reacción de 4 horas.

6.2.1.1 Modelo estadístico para Polipropileno.

6.2.1.1.1 ANOVA.

Una vez obtenidos los resultados de la experimentación se procede a introducir los datos al software Design Expert, para su respectivo análisis, en la figura 11 se puede apreciar el resumen de los datos:

Figura 11: Resumen de datos en Design Expert

Design Summary

Study Type	Factorial	**Runs**	12
Initial Desig	2 Level Factorial	**Blocks**	No Blocks
Center Point	0		
Design Mod	2FI		

Factor	Name	Units	Type	Low Actual	High Actual	Low Coded	High Coded	Mean	Std. Dev.
A	Temperatura	°C	Numeric	525.00	600.00	-1.000	1.000	562.500	37.500
B	Catalizador	g	Numeric	0.000	30.00	-1.000	1.000	15.000	15.000

Response	Name	Units	Obs	Analysis	Minimum	Maximum	Mean	Std. Dev.	Ratio	Trans	Model
Y1	R1	g	12	Factorial	450.000	538.000	499.167	24.159	1.196	None	2FI

Fuente: Las autoras

Dónde:

Respuesta: Datos del crudo obtenido

R1: Crudo

Unidades: g

Experimentos: 12

Análisis: Factorial

Mínimo: Se obtuvo un mínimo de 450 g de crudo

Máximo: Se obtuvo un máximo de 538 g de crudo

Por medio del programa *Design Expert* se pudo dar solución al planteamiento de la hipótesis anteriormente planteada en la metodología.

En la figura 12 se muestra los resultados por análisis ANOVA:

Figura 12: Tabla de ANOVA

ANOVA for selected factorial model

Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F
Model	3905.67	3	1301.89	3.36	0.0756 not significant
A-Temperatur	*5.33*	*1*	*5.33*	*0.014*	*0.9095*
B-Catalizador	*3675.00*	*1*	*3675.00*	*9.49*	*0.0151*
AB	*225.33*	*1*	*225.33*	*0.58*	*0.4675*
Pure Error	3098.00	8	387.25		
Cor Total	7003.67	11			

Fuente: Las autoras

Recordemos que la hipótesis fue planteada de la siguiente manera:

$H_o = \mu = \mu_1$ (No hay efecto en la producción de crudo)

$H_1 = \mu \neq \mu_1$ (Hay efecto en la producción de crudo)

Criterio de decisión

Asumiendo una distribución normal el criterio de decisión será:

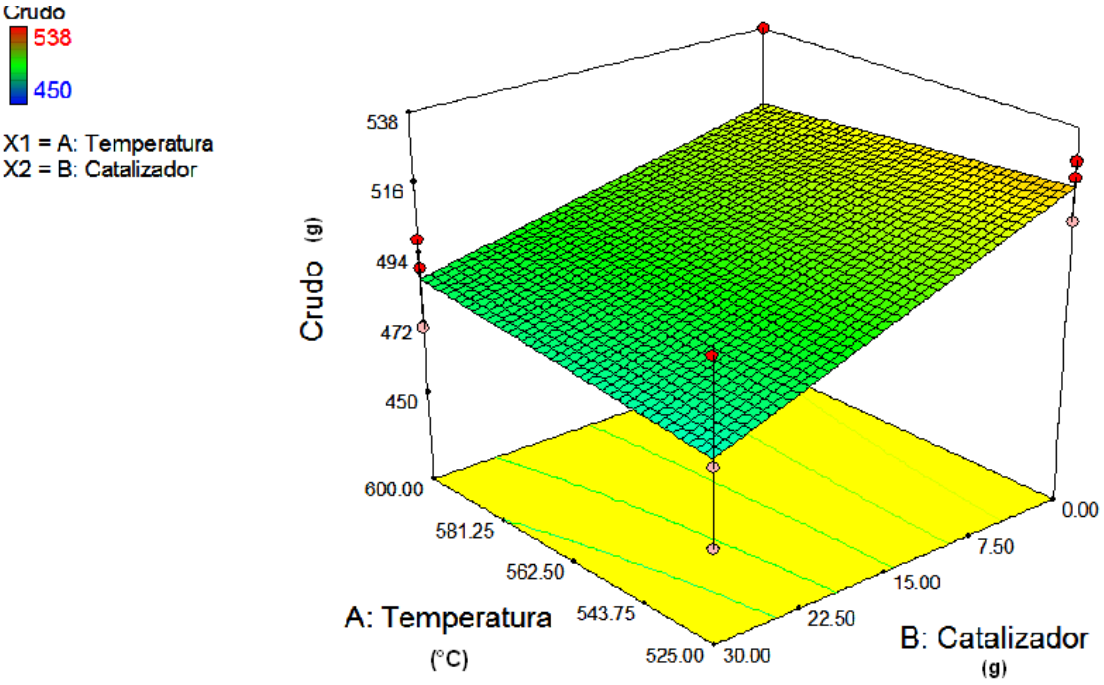
Rechazar si $Z0 > 1.96$ o $Z0 < -1.96$

No rechazar si $-1.96 \leq Z0 \leq 1.96$

El modelo muestra por medio de la distribución F que P > F es decir 0.0756 > 0.05 con una significancia del 5%, se rechaza la hipótesis H_1 y se acepta la Hipótesis nula H_o lo que demuestra que no hay efecto significativo en producción de crudo.

6.2.1.1.2 Análisis de interacción.

Figura 13: Gráfica de interacción - Polipropileno



Fuente: Las autoras

En la figura 13 se puede ver la gráfica de superficie de respuesta, ésta es la representación que se puede obtener con base en un modelo 2^k, para cada combinación de tiempo y temperatura se representa gráficamente el valor de producción de crudo; nótese que a mayor cantidad de catalizador y a menor temperatura el valor de crudo

disminuye, así mismo a mayor temperatura y menor catalizador la producción de crudo aumenta.

6.2.2 Poliestireno expandido.

Fotografía 5: Crudo de poliestireno expandido

Fuente: Las autoras

En la foto 5 se puede observar un color más oscuro con respecto al crudo de polipropileno con algunas impurezas ya que a este material es más fácil de adherir los restos orgánicos y con un olor similar al crudo anterior.

En la tabla 13 se observa el promedio de los resultados de las réplicas de cada ensayo de despolimerización catalítica para los residuos de poliestireno expandido con residuos orgánicos.

Tabla 13: Resultados- Crudo, carbonilla y gas de la despolimerización de residuos de Poliestireno expandido

CONDICION	FACTOR			REPLICA (CRUDO)					REPLICA (CARBONILLA)					REPLICA (GAS)				
	TEMPERATURA (°C)	CATALIZADOR (g)	COMBINACION	I	II	III	PROM	%	I	II	III	PROM	%	I	II	III	PROM	%
1	525	0	T Bajo, C Bajo	523	561	545	543,00	91%	8	21	19	16,00	3%	69	18	36	41,00	7%
2	600	0	T Alto, B Bajo	563	558	590	570,33	95%	15	3	3	7,00	1%	22	39	7	22,67	4%
3	525	30	T baja, B alto	464	501	550	505,00	84%	73	38	46	52,33	9%	63	61	4	42,67	7%
4	600	30	T alto, B alto	470	535	544	516,33	86%	32	35	42	36,33	6%	98	30	14	47,33	8%

Figura 15: Peso vs Condición

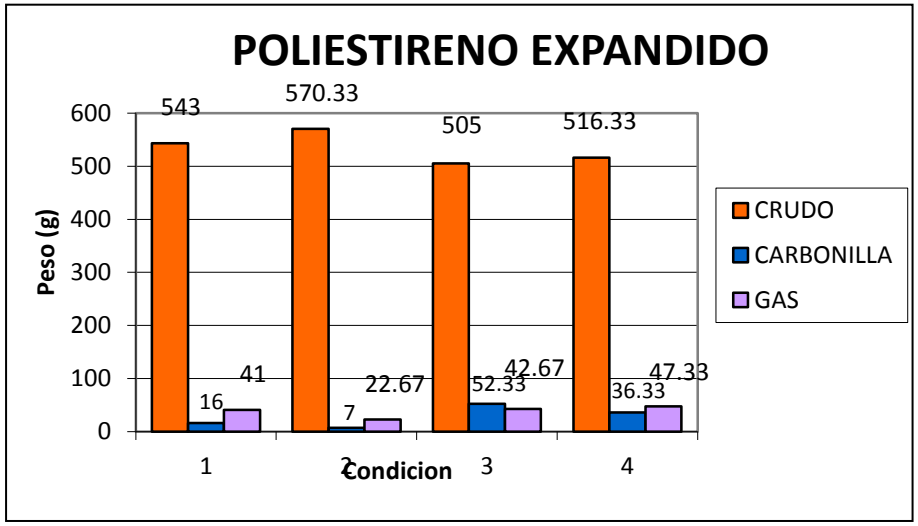
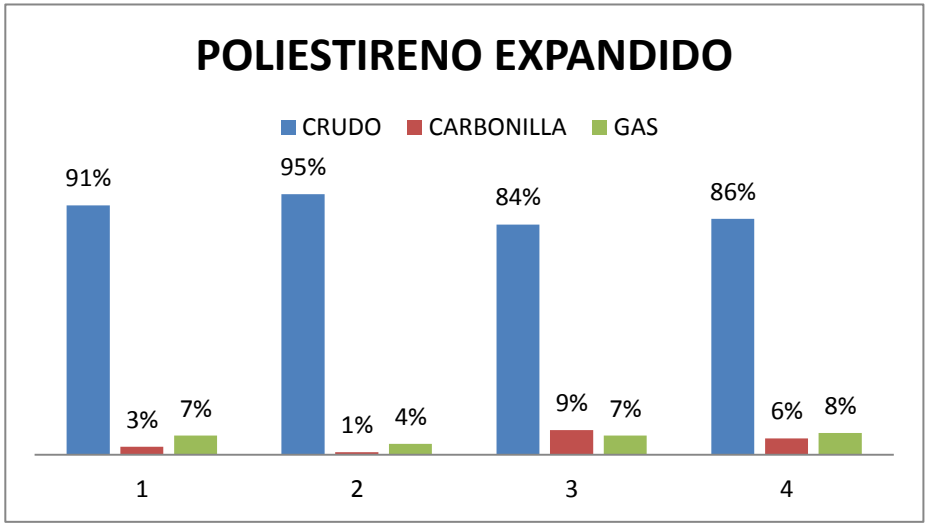


Figura 14: Porcentaje de productos obtenidos



Fuente: Propia

De las figuras 11-12 se puede afirmar que la máxima cantidad de crudo obtenido en gramos a partir de los residuos de poliestireno expandido en los ensayos de despolimerización con y sin catalizador, es la condición 2 con una temperatura de 600°C y 0 g de catalizador, siendo 570.33g de crudo lo que equivale al 95% de producción , comparado con la condición 4 (600° C y 30 g de catalizador), donde se logró 516g de crudo equivalente al 86% de producción, lo que nos indica que el catalizador a la misma temperatura disminuye la producción de crudo en un 9% para el poliestireno expandido.

Los mayores porcentajes de producción se obtuvieron sin catalizador.

Con lo anterior se puede decir que el catalizador utilizado no es necesario para la producción de crudo de poliestireno expandido.

El proceso con este producto tuvo una duración promedio de 3 horas.

6.2.2.1 Modelo estadístico para poliestireno expandido.

6.2.2.1.1 ANOVA.

Por medio del programa *Design Expert* se pudo dar solución al planteamiento de la hipótesis anteriormente planteada en la metodología,

En la figura 16 se muestra los resultados por análisis ANOVA después de haber introducido los resultados obtenidos en la experimentación:

Figura 16: Tabla de ANOVA

ANOVA for selected factorial model

Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	7661.33	3	2553.78	2.46	0.1373	not significant
A-Temperatura	*1121.33*	*1*	*1121.33*	*1.08*	*0.3290*	
B-Catalizador	*6348.00*	*1*	*6348.00*	*6.12*	*0.0385*	
AB	*192.00*	*1*	*192.00*	*0.18*	*0.6785*	
Pure Error	8303.33	8	1037.92			
Cor Total	15964.67	11				

Fuente: Las autoras

Recordemos que la hipótesis fue planteada de la siguiente manera:

$H_o = \mu = \mu_1$ (No hay efecto en la producción de crudo)

$H_1 = \mu \neq \mu_1$ (Hay efecto en la producción de crudo)

Criterio de decisión

Asumiendo una distribución normal el criterio de decisión será:

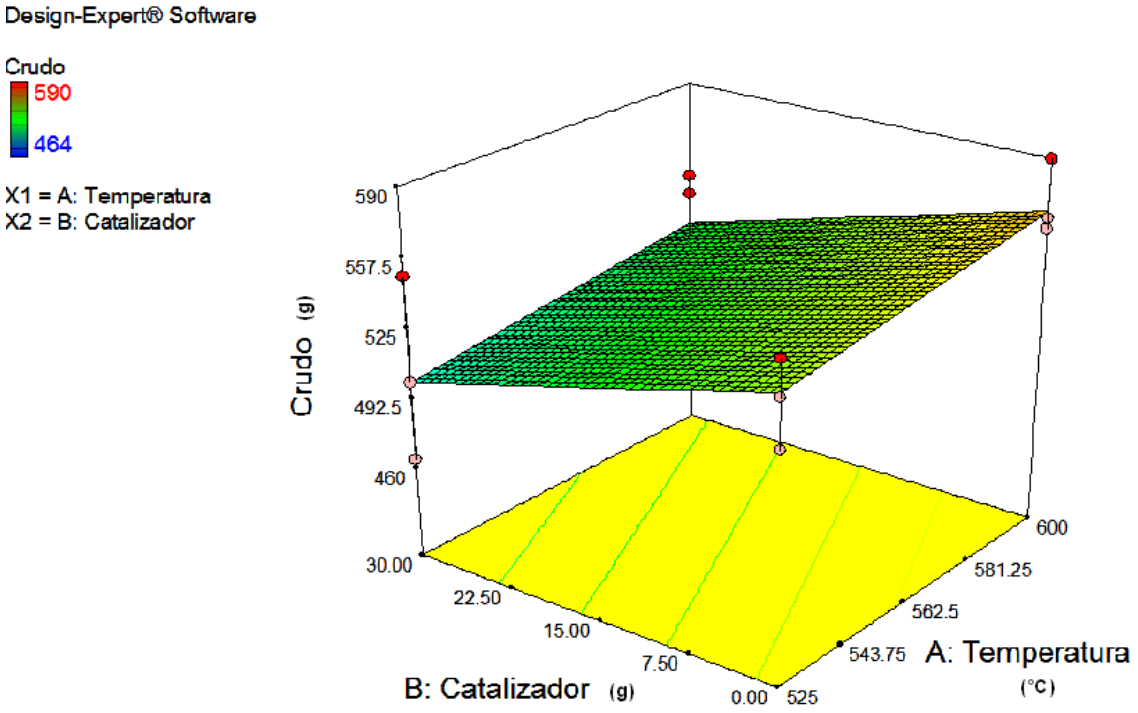
Rechazar si Z0 > 1.96 o Z0<-1.96

No rechazar si -1.96 ≤ Z0 ≤ 1.96

El modelo muestra por medio de la distribución F que P > F es decir 0.1373 > 0.05 con una significancia del 5%, se rechaza la hipótesis H_1 y se acepta la Hipótesis nula H_o lo que demuestra que no hay efecto significativo en la producción de crudo.

6.2.2.1.2 Análisis de interacción.

Figura 17: Gráfica de interacción - Poliestireno expandido



Fuente: Las autoras

En la figura 17 se puede observar la gráfica de superficie de respuesta, con la interacción de las dos variables, temperatura y catalizador, en donde se representa gráficamente el valor de la producción de crudo y donde se puede ver como a menor cantidad de catalizador y a menor temperatura el valor de crudo aumenta, al contrario de

la producción que obtuvo el polipropileno, donde a mayor temperatura la producción de crudo aumentó, sin embargo la cantidad más baja de catalizador sigue afectado la producción de crudo para ambos materiales.

6.2.3 Poliestireno rígido

Fotografía 6: Crudo de poliestireno rígido

Fuente Las autoras

En la foto 6 se puede observar un color más oscuro con respecto a los crudos de polipropileno y poliestireno expandido con un olor más fuerte.

En la **tabla 14** se observa el promedio de los resultados de las réplicas de cada ensayo de despolimerización catalítica para el poliestireno rígido con residuos orgánicos.

Tabla 14: Resultados- Crudo, carbonilla y gas de la despolimerización de los residuos de Poliestireno rígido

CONDICION	FACTOR			REPLICA (CRUDO)					REPLICA (CARBONILLA)					REPLICA (GAS)				
	TEMPERATURA (°C)	CATALIZADOR (g)	COMBINACION	I	II	III	PROM	%	I	II	III	PROM	%	I	II	III	PROM	%
1	525	0	T Bajo, C Bajo	482	544	436	487,33	81%	79	10	97	62,00	10%	39	46	67	50,67	8%
2	600	0	T Alto, B Bajo	534	510	500	514,67	86%	56	41	44	47,00	8%	10	49	56	38,33	6%
3	525	30	T baja, B alto	502	432	407	447	74%	95	113	108	95,33	16%	3	115	55	57,67	10%
4	600	30	T alto, B alto	530	510	493	511,00	85%	38	51	35	41,33	7%	2	9	42	17,67	3%

Figura 18: Peso vs Condición

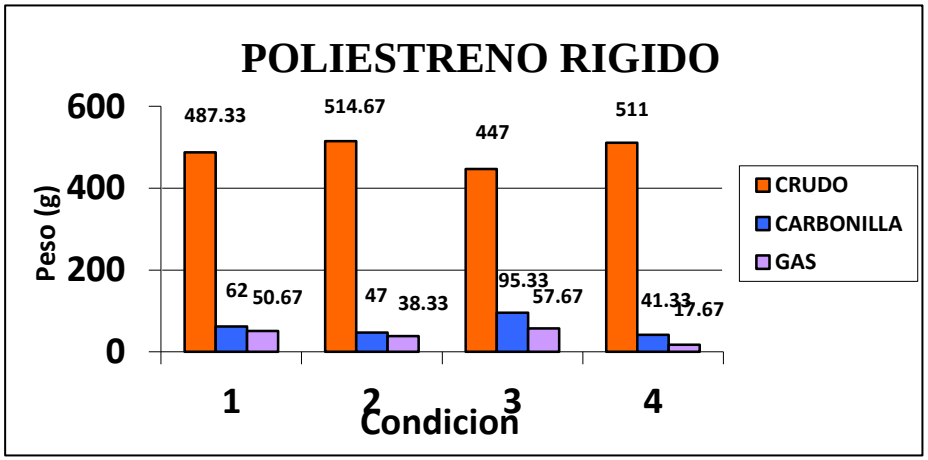
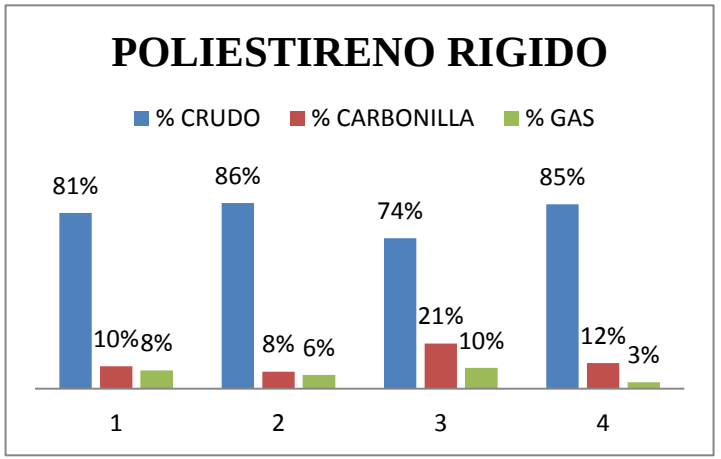


Figura 19: Porcentaje de productos obtenidos



Fuente: Las autoras

En las Figuras 18-19 podemos mostrar la cantidad de crudo obtenido en gramos de los residuos de poliestireno rígido en los ensayos de despolimerización con y sin catalizador, en promedio en la condición 1 (525°C -0 g de catalizador) se obtuvo 487,33 g de crudo lo que equivale al 81% de producción , comparado con el resultado de la condición 3 con una temperatura de 525° C y 30 g de catalizador donde se obtuvo 447 g de crudo lo que equivale a un 74% de producción, al igual que con los otros materiales, el catalizador a la misma temperatura disminuye la producción de crudo, por lo que se puede decir que no es necesario el uso de catalizador para obtener producción de crudo.

Sin embargo la temperatura de 600°C con y sin catalizador es la que permite mayor producción, con una diferencia de un 1 %.

6.2.3.1 Modelo estadístico para polietileno rígido.

6.2.3.1.1 ANOVA.

Figura 20: Tabla de ANOVA

ANOVA for selected factorial model

Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]

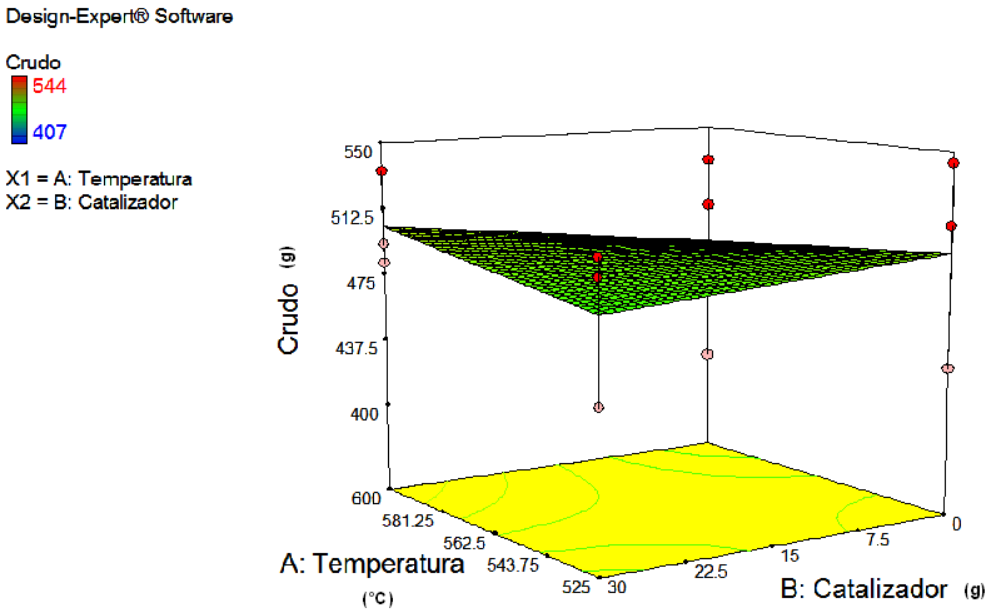
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	2169.67	3	723.22	0.16	0.9211	not significant
A-Temperatura	*936.33*	*1*	*936.33*	*0.21*	*0.6623*	
B-Catalizador	*1200.00*	*1*	*1200.00*	*0.26*	*0.6216*	
AB	*33.33*	*1*	*33.33*	*7.319E-003*	*0.9339*	
Pure Error	36433.33	8	4554.17			
Cor Total	38603.00	11				

Fuente: Las autoras

El modelo muestra por medio de la distribución F que P > F es decir 0.9211 > 0.05 con una significancia del 5%, se rechaza la hipótesis H_1 y se acepta la Hipótesis nula H_o lo que demuestra que no hay efecto en la producción de crudo.

6.2.3.1.2 Análisis de interacción.

Figura 21: Gráfica de interacción - Poliestireno rígido



Fuente: Las autoras

En la figura 21 se puede ver la gráfica de superficie de respuesta, ésta representación basada en un modelo 2^k, permite visualizar la interacción de las variables catalizador y temperatura, donde se puede observar que a menor temperatura y a mayor catalizador la producción de crudo disminuye, por el contrario a mayor temperatura y menor catalizador el crudo aumenta.

6.3 Caracterización - Destilaciones

Para caracterizar los crudos obtenidos, se muestran todas las destilaciones realizadas bajo condiciones atmosféricas basadas en la norma ASTM D86.

Es necesario aclarar que la densidad de los crudos se obtiene pesando el matraz de destilación (peso lleno – peso vacío) y dividiendo sobre el volumen.

6.3.1 Polipropileno.

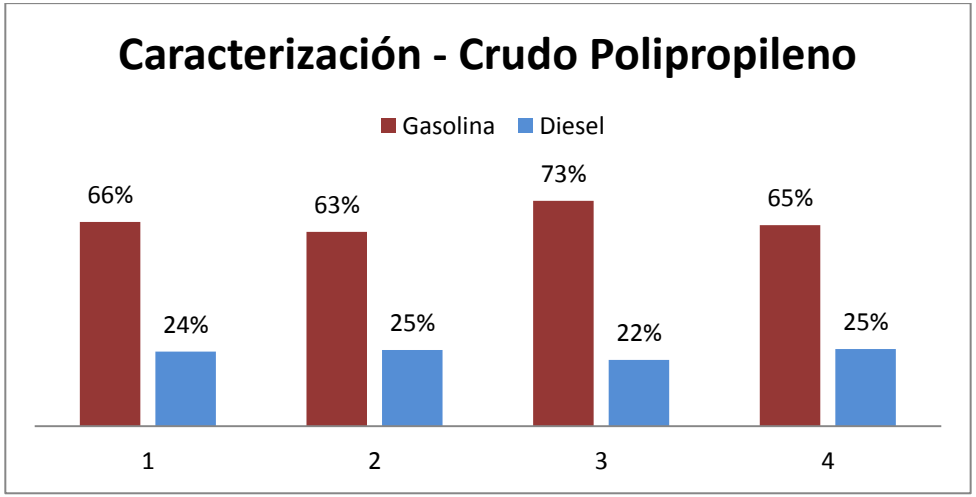
En la **tabla 15** se muestra el promedio de los resultados de las destilaciones, esto se realizó resumiendo todos los resultados de las destilaciones, **ver anexo B**.

Tabla 15: Destilaciones de crudo de polipropileno - Gasolina y Diesel

CONDICIÓN	FACTOR			DENSIDAD CRUDO (g/ml)			PROMEDIO (g/ml)	Fracción 0-240°C (Gasolina) %			PROMEDIO	Fracción 240 -360 °C Diesel; %			PROMEDIO
	TEMPERATURA (°C)	CATALIZADOR (g)	COMBINACIÓN	I	II	II		I	II	III		I	II	III	
1	525	0	T Bajo, C Bajo	0,8	0,75	0,75	0,77	66%	68%	65%	66%	24%	24%	25%	24%
2	600	0	T Alto, B Bajo	0,75	0,74	0,77	0,75	65%	65%	60%	63%	25%	22%	28%	25%
3	525	30	T baja, B alto	0,75	0,74	0,75	0,75	70%	75%	75%	73%	25%	20%	20%	22%
4	600	30	T alto, B alto	0,74	0,76	0,75	0,75	67%	65%	65%	65%	24%	25%	27%	25%

Fuente: Las autoras

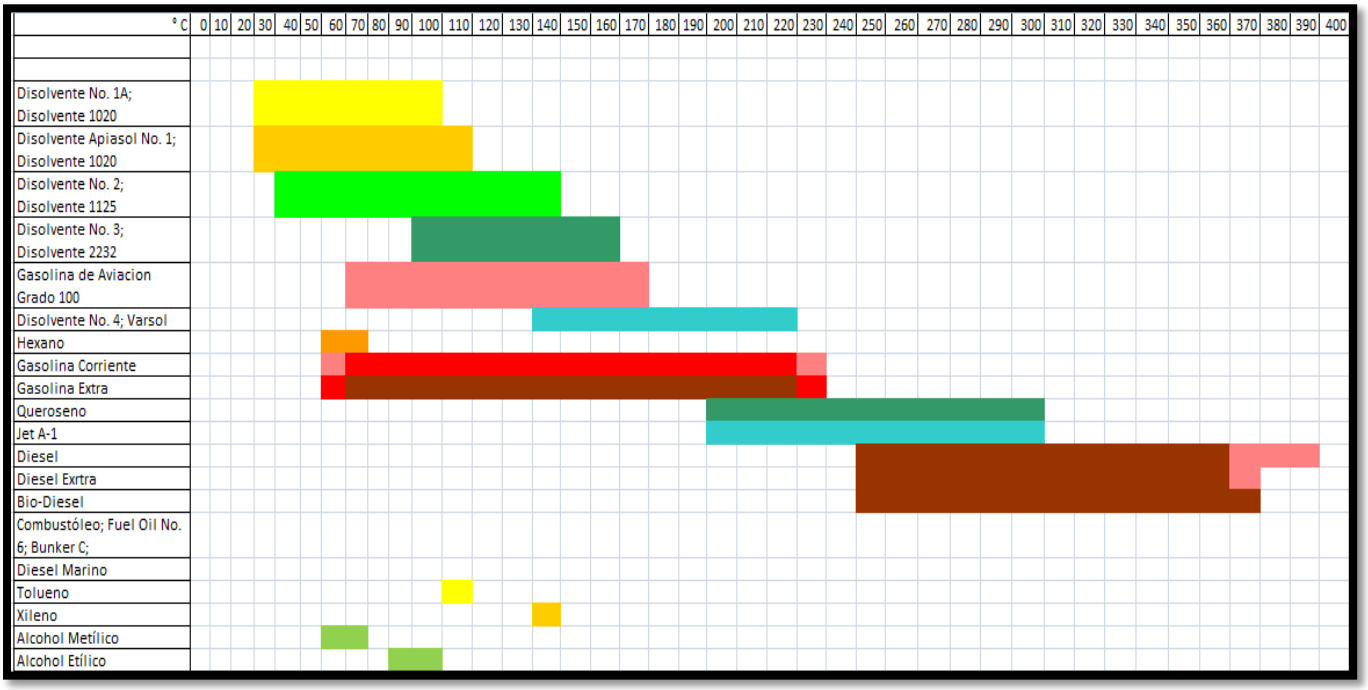
Figura 22: Caracterización crudo de Polipropileno



Fuente: Propia

Para caracterizar los posibles combustibles presentes en el crudo obtenido de polipropileno, se tuvo en cuenta la siguiente tabla para comparar los combustibles según los puntos de ebullición.

Tabla 16: Puntos de ebullición de algunos combustibles



Fuente: Dr. Calderón

Para los crudos de polipropileno se obtuvieron puntos de ebullición iniciales de 64°C y 69° C según la tabla 16 se puede observar que el punto de ebullición de la gasolina empieza en 60°C, por este motivo esta fracción de crudo se caracterizó como gasolina hasta 200°C y la fracción restante se caracterizó como diesel tomando como referencia el mayor punto de ebullición que fue de 340°C.

El crudo correspondiente a la condición 3 con una temperatura de 525°C y 30 g de catalizador obtuvo el mayor porcentaje de fracción gasolina, comparado con el crudo de la condición 2 con una temperatura de 600° C y 0 g de catalizador, lo que nos muestra que aunque el crudo de mayor producción lo tiene la condición 2, en la destilación no se puede suponer que el mismo crudo obtenga el mayor porcentaje de gasolina.

En cuanto al diesel se puede decir que tiene una relación inversamente proporcional, con el catalizador, es decir a mayor porcentaje de catalizador, menor porcentaje de diesel.

Con lo anterior podemos decir que se obtuvo un mayor porcentaje de gasolina con el crudo bajo la condición 3 (525°C- 30g de catalizador), mientras que el mayor porcentaje de diesel se obtuvo bajo la condición 2 (600°C - 0g de catalizador)y 4 (600°C – 30g de catalizador).

En general se cumple una condición muy común en muchas refinerías de petróleo, cual es, que a mayor porcentaje de catalizador, mayor rendimiento en gasolina pero menor rendimiento total en producto.

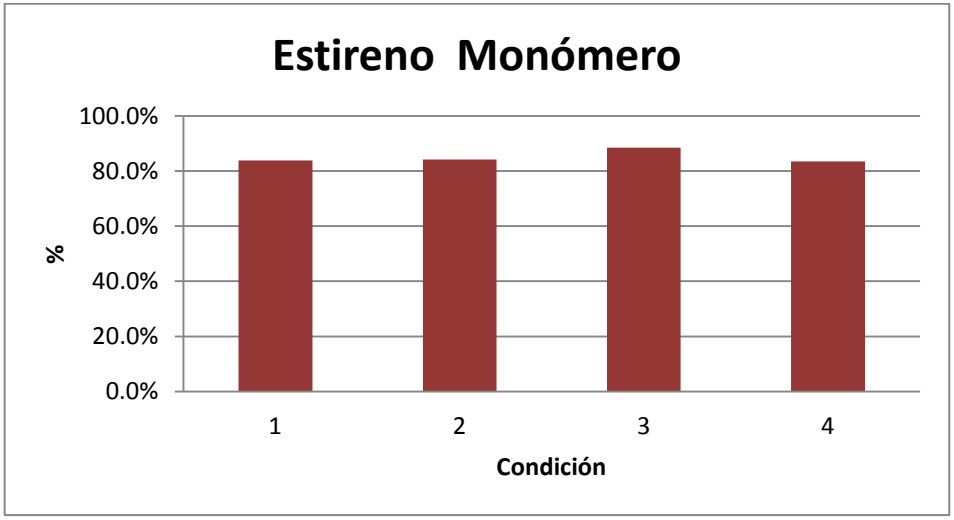
6.3.2 Poliestireno Expandido.

Tabla 17: Destilaciones de crudo –Poliestireno Expandido

CONDICIÓN	FACTOR			DENSIDAD CRUDO (g/ml)			PROMEDIO (g/ml	ESTIRENO MONOMERO %			PROMEDIO
	TEMPERATURA (°C)	CATALIZADOR (g)	COMBINACIÓN	I	II	II		I	II	III	
1	525	0	T Bajo, C Bajo	0,9	0,87	0,87	0,88	78,5%	87%	87%	83,8%
2	600	0	T Alto, B Bajo	0,86	0,86	0,87	0,86	84,5%	84%	84%	84,2%
3	525	30	T baja, B alto	0,85	0,87	0,87	0,86	88,5%	89%	89%	88,5%
4	600	30	T alto, B alto	0,9	0,86	0,87	0,88	78%	87%	86%	83,5%

Fuente: Las autoras

Figura 23: Caracterización crudo de Poliestireno expandido



Fuente: Las autoras

Se puede decir que de la destilación de crudo de poliestireno expandido el producto obtenido fue estireno monómero dada su caracterización por la curva de destilación, su densidad. Por su curva de destilación casi plana se deduce que es una sustancia pura, más densa que la gasolina dentro del rango de 0.8 g/ml y 0.9 g/ml. Esta sustancia de acuerdo con la literatura corresponde a Estireno Monómero.

Su punto de ebullición fue entre 100°C y 300°C aproximadamente, lo cual en la gráfica de destilación se mantuvo siempre plana lo que quiere decir que hasta el primer punto de inflexión fue estireno monómero.

La mayor fracción de estireno monómero se presentó en la condición 3 a una temperatura de 525°C y 30 g de catalizador, las demás condiciones presentan un porcentaje de fracción similar.

El monómero de estireno obtenido en la destilación fue un líquido oleoso transparente, de incoloro a amarillo con un olor dulce en bajas concentraciones, muy similar al monómero de estireno comercial.

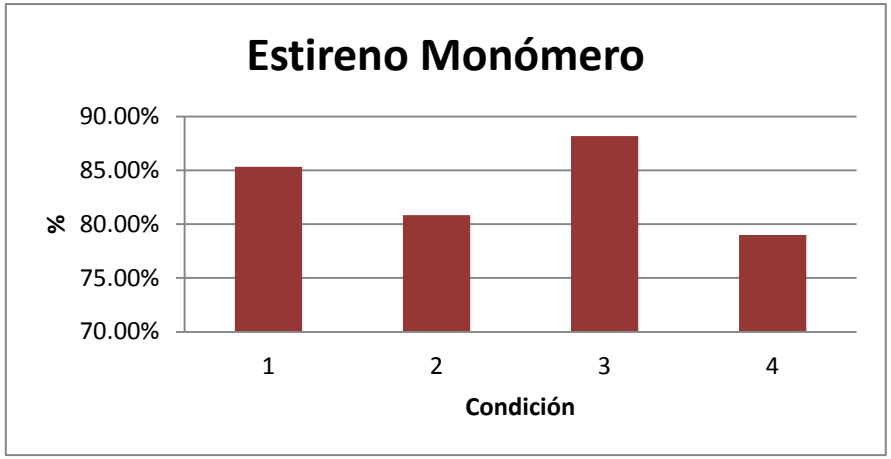
6.3.3 Poliestireno Rígido.

Tabla 18: Destilaciones de crudo-Poliestireno Rígido

CONDICION	FACTOR			DENSIDAD CRUDO (g/ml)			PROMEDIO (g/ml	Estireno monómero %			PROMEDIO
	TEMPERATURA (°C)	CATALIZADOR (g)	COMBINACION	I	II	II		I	II	III	
1	525	0	T Bajo, C Bajo	0,87	0,87	0,89	0,88	78%	90%	88%	85,33%
2	600	0	T Alto, B Bajo	0,90	0,90	0,90	0,90	82%	83%	78%	80,83%
3	525	30	T baja, B alto	0,89	0,89	0,90	0,89	89%	88%	88%	88,17%
4	600	30	T alto, B alto	0,88	0,90	0,91	0,90	72%	83%	83%	79,00%

Fuente: Las autoras

Figura 24: Caracterización crudo de Poliestireno rígido



Fuente: Las autoras.

En las destilaciones de poliestireno rígido también se encontró en su totalidad la sustancia química estireno monómero, al igual que en las destilaciones de los crudos de poliestireno expandido, a diferencia del crudo de poliestireno expandido el poliestireno rígido presento una densidad promedio de 0.9 g/ml.

Su punto de ebullición de igual forma fue entre 100°C y 300°C aproximadamente, lo cual en la gráfica de destilación se mantuvo siempre plana lo que quiere decir que hasta el punto de inflexión fue estireno monómero.

El mayor porcentaje de estireno monómero, igualmente se presentó en la condición 3 a una temperatura de 525°C y 30 g de catalizador, las demás condiciones presentan un porcentaje similar.

También el monómero de estireno obtenido en la destilación de poliestireno rígido fue un líquido oleoso transparente, de incoloro a amarillo con un olor dulce en bajas concentraciones, muy similar al monómero de estireno comercial.

7 Conclusiones

- Se obtuvieron diversos productos mediante el proceso de despolimerización catalítica evaluando el potencial de aprovechamientode los residuos desechables plásticos con restos orgánicos que se generan en la Universidad Libre Sede Bosque Popular, concluyendo que del 100% de los residuos plásticos generados, el 54% (Polipropileno, Poliestireno rígido y expandido) es potencialmente aprovechable para este proceso
- Los residuos de vasos de Polipropileno, producen un crudo del cual se pueden destilar productos equivalentes a la Gasolina en un 66.75% y el Diesel en un 24% de acuerdo a sus puntos de ebullición (0-240°C Gasolina y 240 a 340 °C Diesel).
- Los residuos de Poliestireno en cambio producen un crudo, del cual se puede derivar por destilación un producto que corresponde a Estireno Monómero en un 85%, dada sus características de color, olor, densidad y curva de destilación.
- En cuanto al rendimiento el material que obtuvo mayor porcentaje de crudo fue el polipropileno bajo la condición de 600 °C sin catalizador, lo que quiere decir que el catalizador no es necesario para la producción de crudo, sin embrago en la destilación los mayores porcentajes de combustible se presentaron bajo la condición de 525°C y 30 g de catalizador.
- El poliestireno expandido tiene menor tiempo de reacción, siendo cada experimento de aproximadamente 3 horas y 15 minutos, mientras que para el polipropileno y el poliestireno rígido el tiempo de reacción esta entre 4 y 5 horas, con variaciones de aproximadamente 30 min con y sin catalizador.

- Hubo diferencias entre los resultados obtenidos en la producción de crudo, lo que se puede atribuir a que los materiales utilizados contenían restos orgánicos como tierra y mugre.

- De las caracterizaciones realizadas por medio de la norma ASTM- D 86 y las pruebas de densidad, se puede concluir que los residuos de polipropileno son aptos para la producción de fracciones equivalente a la gasolina 73%, y 20 % de fracción equivalente a Diesel de un color muy claro similar a la de la gasolina y el Diesel comercial. Lo que quiere decir que los plásticos de la Universidad Libre tienen gran potencial como base para la producción de combustibles líquidos.

- En la destilación del crudo de poliestireno rígido y expandido, se obtuvo estireno monómero que es el insumo más importante para hacer fibra de vidrio. Lo que quiere decir que este material tiene potencial como sustancia para la industria petroquímica.

- El polipropileno tuvo su mayor producción a 525 °C y 0 g catalizador. Tanto la temperatura como el catalizador, especialmente este último tuvo un efecto significativos en el nivel de 5%, por lo que se puede concluir que especialmente el catalizador afecta la producción de crudo, en este caso la disminuye.
- El poliestireno expandido y rígido tuvieron su mayor producción a 600 °C y 0 g catalizador. En este caso la temperatura y el catalizador tienen efecton significativos en el nivel de 5%, por lo que se puede concluir que tanto la temperatura como el catalizador afectan la producción de crudo.

8 Recomendaciones

- Se recomienda dar continuidad a la investigación de este proyecto, planteando como variable la mezcla de los materiales estudiados y analizar la producción de crudo.

- Se recomienda investigar la carbonilla y encontrar un uso productivo.

- Es recomendable estudiar otro tipo de catalizador que pueda tener un efecto positivo sobre la producción de crudo de estos materiales.

- Establecer el tiempo como variable independiente y estudiar la producción de crudo respecto al tiempo de reacción.

- Es recomendable establecer la separación de los residuos plásticos de polipropileno y poliestireno facilitando la recolección de material, para ello sería necesario modificar las canecas de la Universidad Libre, ya que el material pasaría a ser reciclable.
- Realizar una campaña buscando que los residuos sean dispuestos de la forma más limpia posible, es decir escurriendo los excesos de líquidos y los excesos de comidas sólidas en la parte orgánica.

9 Bibliografía

1. ACITEP. (s.f.). *Historia del petróleo en Colombia.* Recuperado el 13 de 08 de 2013, de http://www.alip.org/docs/Historias/breve_historia_petrolera_colombia.pdf.pdf
2. Alcaldía de Bogotá, decreto838 de 2005, disponible en http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=16123.
3. Arandés J M; Bilbao J; López Valerio (2004), Reciclado de residuos plásticos, *Revista Iberoamericana de Polímeros* Volumen5 (1).
4. Arellana. Pirólisis de plásticos para la obtención de combustibles alternativos. Proyecto de grado. Bogotá: Universidad de los Andes, 2007.
5. ASTM D86: Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products at Atmospheric Pressure, American society for testing and materials.
6. Alternative Fuel from Waste Plastic in India, http://www.wasteplastictechnology.blogspot.com/, Sunday, October 19, 2008.
7. BESEL S.A Departamento de Energia. (2007). *Biomasa Gasificacion*. Recuperado el 5 de 7 de 2013, de http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_10737_Biomasa_gasificacion_07_d2adcf3b.pdf
8. BESEL S.A Departamento de Energia. (2007). *Biomasa Gasificación* . Madrid: IDAE.
9. Becidan, Michaël. (2007).Experimental Studies on Municipal Solid Waste and Biomass Pyrolysis, Norwegian University of Science and Technology Faculty of Engineering Science and Technology Department of Energy and Process Technology, Trondheim.
10. Calderón Tobón P, *Estudio de factibilidad para la adquisición e instalación de una planta industrial de pirolisis para la conversión de residuos plásticos en petróleo crudo ligero*, Pontificia Universidad Javeriana de Cali, Facultad de ingeniería civil e Industrial. 2014. pag 24.
11. CEMPRE. (2011) Ficha Técnica del plástico. Compromiso empresarial para el reciclaje En:http://www.cempre.org.co/Documentos/Ficha%20Pl%C3%A1stico.pdf
12. Castillo, Edgar. (Diciembre de 2008). *Tecnicana Org.* Recuperado el 3 de Agosto de 2013, de http://www.tecnicana.org/pdf/2009/tec_v13_no21_2009_p18-23.pdf

13. Conciencia Eco. (2012). *¿Que es reciclar?* Recuperado el 01 de 09 de 2011, de http://www.concienciaeco.com/2012/08/21/que-es-el-reciclaje/

14. Catálisis heterogénea y cinética electródic, Departamento de Química Física Universidad de Valencia, tema 6, Disponible en : http://www.uv.es/tunon/QFIII/tema_6.pdf

15. Departamento de Conservación Ambiental del Estado de New York. (s.f.). Reciclar plastico es tan facil. Brodway, New York, Estados Unidos.

16. Departamento de educación. Fundación zoológico Santa cruz. Guía de manejo de las áreas de disposición. (2010). Disponible en: http://www.izea.net/education/year%20of%20the%20forestsProtocolo%20de%20areas%20de%20disposicion.pdf.

17. Dr Calderón Asistencia Técnica agrícola. (2009). *La conversión de combustibles plásticos líquidos*. Recuperado el 2013, de http://www.drcalderonlabs.com/,

18. DesignExpert, version 7.00, software for experiment design September 7, 2005.

19. "Introducción a las catálisis homogénea y heterogénea", Universidad de Castilla la Mancha, departamento de química inorgánica, orgánica y bioquímica, Fernando carillo Hermosilla, disponible en: http://www.uclm.es/profesorado/fcarrillo/TEMA8.INTROCAT.pdf.

20. EPA (Enviromental Protection Agency) disponible en : http://nlquery.epa.gov/epasearch/epasearch?querytext=PIROLISIS&typeofsearch=epa&fld=earlink1%7Cespanol&areaname=EPA+en+espa%C3%B1ol&areacontacts=contactenos.html&areasearchurl=http%3A%2F%2Fwww.epa.gov%2Fespanol%2Fbusqueda.html&result_template=epafiles_default.xsl&filter=sample4filt.hts

21. Francisco, Javier. (2006). Alemania. http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/10130/3/Sempere%20Alemany,%20Francisco%20Javier_2.pdf.

22. Fundacion Santa Cruz. (2010).disponible en: http://www.izea.net/education/year%20of%20the%20forests-Protocolo%20de%20areas%20de%20disposicion.pdf

23. Gaiker. (2007). *Reciclado de materiales: perspectivas, tecnológias y oportunidades.*

24. Garcia, A. (10 de Agosto de 2011). Los residuos sólidos:Una problematica Mundial. *El siglo*.

25. Grupo PRIES Universidad Libre. Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos, En: www.unilibre.edu.co/sga2. UAESP- PUJ. Talleres 1 al 13 del Diplomado Escuela de formación en gestión y administración de residuos sólidos en las Instituciones de Educación Superior- IES. Marzo- septiembre de 2010.

26. HCWH. (2010). *Pirólisis una técnica de tratamiento térmico no tradicional.* Recuperado el 13 de 08 de 2013, de http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/other/pir-lisis-una-tecnica-de-trat.pdf

27. Holguín, M. T. (2010). *Sistema de Gestión Ambiental Académico - Administrativo de la Universidad Libre.* "Propuesta para la inclusión de la dimensión ambiental de manera transversal, como referente para un modelo institucional".Universidad Libre, Bogota.Informe para Comité Ambiental Universitario, pag 62.

28. Jacek kijeñski, T. K,Universidad de Tecnología de Warsa ul. *Catalytic degradation of polystyrene,* Noakowskiego Warszawae-mail: jacekk@ch.pw.edu.pl.

29. J.M.N Van Kasteren, Q. Z. (s.f.). Comparación del comportamiento de la pirólisis en residuos plásticos virgenes.

30. Jhon, S., & Walter, K. (2006). *Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastic.*Austalia: West Sussex.

31. JM, A., J, B., & Valerio, L. (2004). Reciclado de Residuos Plasticos. *Revista Iberoamericaan de polímeros*.

32. Jurado, N; Oliver, R; Charadia, M.C. Diseño de un proceso de aprovechamiento integral de residuos agroindustriales. P.L. Universidad Tecnológica Nacional.

33. Laboratorios Dr. Calderón Asistencia Técnica Agrícola. (2011) La conversión de plásticos en combustibles vehiculares líquidos. En: http://www.drcalderonlabs.com/

34. Lagrega, Michael, Gestión de residuos tóxicos: Tratamiento Eliminación y recuperación de suelos, Madrid: McGraw-Hill, 1998.

35. Millán Enrique, polímeros en la industria venezolana, comentarios sobre su química y aplicaciones, Escuela de polímeros Mérida. Venezuela, en http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/DIC/Millan.PDF.

36. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). Gestión integral de residuos peligrosos: Bases conceptuales. Bogotá, Colombia.

37. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (Julio de 2004). Principales procesos de transformacion de la industria plastica y manejo, aprovechamiento y disposicion de residuos plásticos post-consumo, Bogotá, Colombia.

38. Ministerio de Medio Ambiente. (2002). *Guía para la selección de tecnologías de manejo integral de residuos sólidos.* Recuperado el 6 de 8 de 2013, de http://www.cortolima.gov.co/SIGAM/cartillas/residuossolidos/LIBRO%204%20-PARTE%203ok.pdf

39. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, viceministerio de ambiente dirección de desarrollo sectorial sostenible. Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica y Manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo. Guía Ambiental. Bogotá, Colombia. Julio de 2004.

40. Ministerio de Medio Ambiente. (2004). Recuperado el 14 de 7 de 2013, de http://www.cortolima.gov.co/SIGAM/cartillas/residuossolidos/LIBRO%204%20-PARTE%203ok.pdf

41. Montero, Gabriel. Pirólisis para el tratamiento de diferentes tipos de biomasa y polímeros. Estudiante de la Escuela de Ingeniería en ciencia de los materiales del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

42. Montgomery, Douglas,*Diseño y analisis de experimentos, capitulo 6,* Mexico D.F: Limusa. 2004.

43. Nicholson, J. (2006). *The Chemistry of polymers.*Tercera Edición, disponible en: http://es.scribd.com/doc/130192058/Nicholson-J-2006-the-Chemistry-of-Polymers-3rd-Edition-RSC-Publishing.

44. Presidente de la República de Colombia. (06 de agosto de 2002). *alcaldiabogota.gov.co.* Recuperado el 30 de septiembre de 2013, de http://WWW.alcaldiabogota.gov.co

45. Ramírez, Fernando (2000). ¿Cómo ganar la guerra de la " Basura" Ecología y ambiente?, Santafé de Bogotá: Fundación Planeta Azul.

46. Real Academia Española. Disponible en: http://lema.rae.es/drae/?val=Residuo.

47. Rivera, Abel; Rivera Francisco; Zabala, Harold; Forero, Edwin; Bermúdez, Reynaldo. Proyecto Creación Empresa Bolsi-Plast Ltda. http://www.slideshare.net/jaclar1122/presentacion-102058-17

48. Sampere, F. J. (2005). Recuperado el 2014, de http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/10130/3/Sempere%20Alemany,%20Francisco%20Javier_2.pdf

49. Sabino, Carlos. *El proceso de investigación*. Ed. Panamericana, Bogotá, Colombia, pág. 39. 2007.

50. Scheirs J, Kaminsky W, *Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics: Converting Waste Plastics into Diesel*, 2006, Edited by West Sussex, Australia And University of Hamburg, Germany 2006, Cap 3: Catalytic Upgrading of Plastic Wastes, pág, 102.

51. Tamayo, Mario. *El proceso de la investigación científica*. Ed cuarta. México. LIMUSA, SA, 2002, 57p.

52. Universidad Libre. Política Ambiental de la Universidad Libre en el marco del desarrollo del Sistema de Gestión Ambiental académico administrativo, Resolución N 04. Octubre 22 de 2012. En:http://www.unilibre.edu.co/images/pdf/reso4ambi.pdf, recuperado Octubre de 2013.

53. Villalba. (s.f.). Recuperado el 15 de 8 de 2013, de http://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2011/09/plasticos-tejina.pdf

ANEXO A: BALANCE DE MASA DE CADA MATERIAL

POLIPROPIL 1

CONDICION	FACTOR			CARGA	PESO CATALIZADOR (g)	CRUDO PRODUCIDO		CARBONILLA PRODUCIDA			PERDIDAS POR VOLATI		TOTAL
	TEMPERATURA (°C)	CATALIZADOR (g)	COMBINACION			crudo (g)	peso %	carb + cat	carb (g)	% peso	ppv(g)	% peso	
1	525	0	T Bajo, C	600	0	528	88%	10	10	2%	62	10%	600
2	600	0	T Alto, B	600	0	500	83%	11	11	2%	89	15%	600
3	525	30	T baja, B	600	30	450	75%	62	32	5%	88	15%	600
4	600	30	T alto, B alto	600	30	490	82%	36	6	1%	74	12%	600

POLIPROPILENO 2

CONDICION	FACTOR			CARGA	PESO CATALIZADOR (g)	CRUDO PRODUCIDO		CARBONILLA PRODUCIDA			IDAS POR VOLATILIZA		TOTAL
	TEMPERATURA (°C)	CATALIZADOR (g)	COMBINACION			crudo (g)	peso %	carb + cat	carb (g)	% peso	ppv(g)	% peso	
1	525	0	T Bajo, C	600	0	510	85%	10	10	2%	80	13%	600
2	600	0	T baja, B	600	0	538	90%	2	2	0.3%	60	10%	600
3	525	30	T Alto, B	600	30	474	79%	40	10	2%	86	14%	600
4	600	30	T alto, B alto	600	30	499	83%	33	3	1%	68	11%	600

POLIPROPILENO 3

CONDICION	FACTOR			CARGA	PESO CATALIZADOR (g)	CRUDO PRODUCIDO		CARBONILLA PRODUCIDA			IDAS POR VOLATILIZA		TOTAL
	TEMPERATURA (°C)	CATALIZADOR (g)	COMBINACION			crudo (g)	peso %	carb + cat	carb (g)	% peso	ppv(g)	% peso	
1	525	0	T Bajo, C	600	0	523	87%	8	8	1%	69	12%	600
2	600	0	T Alto, B	600	0	501	84%	8	8	1%	91	15%	600
3	525	30	T baja, B	600	30	506	84%	37	7	1%	57	10%	600
4	600	30	T alto, B alto	600	30	471	79%	31	1	0%	98	16%	600

POLIESTIRENO EXPANDIDO 1

CONDICION	FACTOR			CARGA	PESO CATALIZADOR (g)	CRUDO PRODUCIDO		CARBONILLA PRODUCIDA			PERDIDAS POR VOLATILIZA		TOTAL
	TEMPERATURA (°C)	CATALIZADOR (g)	COMBINACION			crudo (g)	peso %	carb + cat	carb (g)	% peso	ppv(g)	% peso	
1	525	0	T Bajo, C	600	0	523	87%	8	8	1%	69	12%	600
2	600	0	T baja, B	600	0	563	94%	15	15	3%	22	4%	600
3	525	30	T Alto, B	600	30	464	77%	73	43	7%	63	11%	600
4	600	30	T alto, B	600	30	470	78%	32	2	0%	98	16%	600

POLIESTIRENO EXPANDIDO 2

CONDICION	FACTOR			CARGA	PESO CATALIZADOR (g)	CRUDO PRODUCIDO		CARBONILLA PRODUCIDA			PERDIDAS POR VOLATILIZA		TOTAL
	TEMPERATURA (°C)	CATALIZADOR (g)	COMBINACION			crudo (g)	peso %	carb + cat	carb (g)	% peso	ppv(g)	% peso	
1	525	0	T Bajo, C	600	0	561	94%	21	21	4%	18	3%	600
2	600	0	T baja, B	600	0	558	93%	3	3	1%	39	7%	600
3	525	30	T Alto, B	600	30	501	84%	38	8	1%	61	10%	600
4	600	30	T alto, B	600	30	535	89%	35	5	1%	30	5%	600

POLIESTIRENO EXPANDIDO 3

CONDICION	FACTOR			CARGA	PESO CATALIZADOR (g)	CRUDO PRODUCIDO		CARBONILLA PRODUCIDA			PERDIDAS POR VOLATILIZA		TOTAL
	TEMPERATURA (°C)	CATALIZADOR (g)	COMBINACION			crudo (g)	peso %	carb + cat	carb (g)	% peso	ppv(g)	% peso	
1	525	0	T Bajo, C	600	0	545	91%	19	19	3%	36	6%	600
2	600	0	T baja, B	600	0	590	98%	3	3	1%	7	1%	600
3	525	30	T Alto, B	600	30	550	92%	46	16	3%	4	1%	600
4	600	30	T alto, B	600	30	544	91%	42	12	2%	14	2%	600

				POLIESTIRENO RIGIDO 1									
CONDICION	FACTOR			CARGA	PESO CATALIZADOR (g)	CRUDO PRODUCIDO		CARBONILLA PRODUCIDA			PERDIDAS POR VOLATILIZ		TOTAL
	TEMPERATURA (°C)	CATALIZADOR (g)	COMBINACION			crudo (g)	peso %	carb + cat	carb (g)	% peso	ppv(g)	% peso	
1	525	0	T Bajo, C Bajo	600	0	482	80%	79	79	13%	39	7%	600
2	600	0	T baja, B alto	600	0	534	89%	56	56	9%	10	2%	600
3	525	30	T Alto, B Bajo	600	30	502	84%	95	65	11%	3	1%	600
4	600	30	T alto, B alto	600	30	530	88%	68	38	6%	2	0%	600
				POLIESTIRENO RIGIDO 2									
CONDICION	FACTOR			CARGA	PESO CATALIZADOR (g)	CRUDO PRODUCIDO		CARBONILLA PRODUCIDA			PERDIDAS POR VOLATILIZ		TOTAL
	TEMPERATURA (°C)	CATALIZADOR (g)	COMBINACION			crudo (g)	peso %	carb + cat	carb (g)	% peso	ppv(g)	% peso	
1	525	0	T Bajo, C Bajo	600	0	544	91%	10	10	2%	46	8%	600
2	600	0	T baja, B alto	600	0	510	85%	41	41	7%	49	8%	600
3	535	30	T Alto, B Bajo	600	30	342	57%	143	113	19%	115	19%	600
4	600	30	T alto, B alto	600	30	510	85%	81	51	9%	9	2%	600
				POLIESTIRENO RIGIDO 3									
CONDICION	FACTOR			CARGA	PESO CATALIZADOR (g)	CRUDO PRODUCIDO		CARBONILLA PRODUCIDA			PERDIDAS POR VOLATILIZ		TOTAL
	TEMPERATURA (°C)	CATALIZADOR (g)	COMBINACION			crudo (g)	peso %	carb + cat	carb (g)	% peso	ppv(g)	% peso	
1	525	0	T Bajo, C Bajo	600	0	436	73%	97	97	16%	67	11%	600
2	600	0	T baja, B alto	600	0	500	83%	44	44	7%	56	9%	600
3	525	30	T Alto, B Bajo	600	30	407	68%	138	108	18%	55	9%	600
4	600	30	T alto, B alto	600	30		0%		-30	-5%	600	100%	600

ANEXO B: DESTILACIONES % GASOLINA %DIESEL

POLIPROPILENO 1

CONDICION	FACTOR			PESO VACIO (g)	PESO LLENO (g)	PESO FINAL (g)	COLA DE DESTILACION (g)	VOLUMEN (ml)	DENSIDAD (g/ml)	GASOLINA	DISEL
	TEMPERATURA (°C)	CATALIZADOR (g)	COMBINACION								
1	525	0	T Bajo, C Bajo	45	120	47	2	100	0.75	66%	24%
2	600	0	T Alto, B Bajo	39	114	44	5	100	0.75	64.5%	25%
3	525	30	T baja, B alto	39	114	40	1	100	0.75	70%	25%
4	600	30	T alto, B alto	46	120	47	1	100	0.74	67%	24%

POLIPROPILENO 2

CONDICION	FACTOR			PESO VACIO (g)	PESO LLENO (g)	PESO FINAL (g)	COLA DE DESTILACION (g)	VOLUMEN (ml)	DENSIDAD (g/ml)	GASOLINA	DISEL
	TEMPERATURA (°C)	CATALIZADOR (g)	COMBINACION								
1	525	0	T Bajo, C Bajo	45	120	47	2	100	0.75	68%	24%
2	600	0	T Alto, B Bajo	40	114	43	3	100	0.74	65%	22%
3	525	30	T baja, B alto	40	114	41	1	100	0.74	75%	20%
4	600	30	T alto, B alto	39	115	41	2	100	0.76	65%	25%

POLIPROPILENO 2

CONDICION	FACTOR			PESO VACIO (g)	PESO LLENO (g)	PESO FINAL (g)	COLA DE DESTILACION (g)	VOLUMEN (ml)	DENSIDAD (g/ml)	GASOLINA	DISEL
	TEMPERATURA (°C)	CATALIZADOR (g)	COMBINACION								
1	525	0	T Bajo, C Bajo	45	120	46	1	100	0.75	65%	25%
2	600	0	T Alto, B Bajo	39	116	40	1	100	0.77	60%	28%
3	525	30	T baja, B alto	39	114	41	2	100	0.75	75%	20%
4	600	30	T alto, B alto	39	114	43	4	100	0.75	65%	27%

ANEXO C: DESPOLIMERIZACION DE POLIPROPILENO (PP), POLIESTIRENO (PS) RIGIDO Y EXPANDIDO.

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº: 01			pH-H_2O:		FECHA: 27/03/2014
TIPO DE MATERIAL:			POLIPROPILENO		
CARGA DE PLASTICO:			600	TEMPERATURA 525°c	
CATALIZADOR:			0		
AGUA:			2500		
Tº	HORA DE	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	10:40	20	31	0	
	10:50	156	29	18	BURBUJEA
	11:00	271	29	18	
	11:10	359	29	16	
	11:20	435	28	18	
	11:30	473	29	18	
	11:40	498	30	17	
	11:50	517	31	18	SE VE CRUDO, SE PRENDE
	12:00	528	32	18	
	12:10	528	31	18	
	12:20	526	214	19	SE OVIDO PONER LA
	12:30	526	249	19	
	12:40	526	259	19	
	12:50	525	272	20	
	13:00	525	288	20	
	13:10	526	297	21	
	13:20	525	306	21	
	13:30	525	314	22	LA MAQUINA SE APAGA
	13:40	525	318	21	
	13:50	499	314	20	
	14:00	520	322	20	
	14:10	529	330	20	
	14:20	528	329	20	
	14:30	527	325	21	
	14:40	525	322	20	
	14:50	525	318	21	
	15:00	525	316	20	
	15:10	526	313	20	
	15:20	526	311	20	
	3:30 PM	525	307	20	
CRUDO		528		OBSERVACIONES GENERALES:	
AGUA		2500			
CARBONILLA		10			

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº: 02			pH-H_2O:		FECHA: 28/03/2014
TIPO DE MATERIAL:			POLIPROPILENO		
CARGA DE PLASTICO:			600	TEMPERATURA 525°c	
CATALIZADOR:			0		
CARGA:			0		
AGUA:			2500		
Tº	HORA DE	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	12:00	24	32	0	
	12:10	121	34	11	
	12:20	278	36	12	
	12:30	378	44	14	
	12:40	447	47	18	
	12:50	498	85	18	
	13:00	527	85	18	
	13:10	529	102	17	COMIENZA A VER CRUDO
	13:20	528	128	18	
	13:30	523	200	18	LA TEA SE PRENDE
	13:40	526	230	18	
	13:50	526	250	19	
	14:00	525	201	19	
	14:10	525	273	20	
	14:20	524	284	20	
	14:30	526	294	20	
	14:40	523	310	20	
	14:50	526	317	20	
	15:00	525	324	20	
	15:10	525	325	20	
	15:20	525	327	20	
	15:30	527	327	21	
	15:40	526	324	19	
	15:50	526	318	21	
	16:00	526	311	19	
	16:10	525	302	20	
	16:20	525	299	20	
	16:30	525	289	19	
	16:40	526	288	19	
	4:50 PM	525	282	21	
	5:00 PM	526	277	19	
CRUDO		510		OBSERVACIONES GENERALES:	
AGUA		2500			
CARBONILLA		10			

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº: 03			pH-$H_2$0:		FECHA: 29/03/2014
TIPO DE MATERIAL:			POLIPROPILENO		
CARGA DE PLASTICO:			600	TEMPERATURA 525°c	
CATALIZADOR:			0		
AGUA:			2500		
Tº	HORA DE	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	11:00	33	24	0	
	11:10	119	34	16	
	11:20	264	35	17	BURBUJEA
	11:30	357	36	18	
	11:40	427	39	18	
	11:50	470	50	18	
	12:00	497	56	18	
	12:10	520	96	20	SE VE CRUDO, PRENDE LA TEA
	12:20	530	138	21	
	12:30	524	193	22	
	12:40	525	236	22	
	12:50	523	255	22	
	13:00	524	261	23	
	13:10	529	278	23	
	13:20	525	287	24	
	13:30	524	293	24	
	13:40	526	304	24	
	13:50	525	313	24	
	14:00	525	322	24	
	14:10	525	327	24	
	14:20	526	333	24	
	14:30	528	331	24	
	14:40	527	328	24	
	14:50	526	324	24	
	15:00	525	317	24	
	15:10	525	310	24	
	15:20	525	305	24	
	15:30	526	304	23	
	15:40	525	298	23	
	15:50	525	296	23	
	4:00 PM	525	294	23	
CRUDO		523		OBSERVACIONES GENERALES:	
AGUA		2500			
CARBONILLA		8			

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº: 04			pH-$H_2$0:		3 DE MARZO
TIPO DE MATERIAL:			POLIPROPILENO		
CARGA DE MATERIAL:			600	TEMPERATURA 600°C	
CATALIZADOR:			0		
AGUA:			2500		
TOTAL CARGA:					
Tº 600	HORA	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	13:00	20	30	0	
	13:10	166	30	10	
	13:20	289	29	11	
	13:30	382	28	11	
	13:40	442	28	11	
	13:50	481	47	11	BURBUJEA
	14:00	512	69	11	
	14:10	531	91	10	
	14:20	541	141	11	
	14:30	553	206	11	
	14:40	567	256	12	
	14:50	568	274	12	SIN TEA
	15:00	574	289	14	
	15:10	577	309	14	
	15:20	574	320	13	
	15:30	569	279	14	
	15:40	600	306	14	
	15:50	602	299	15	JPG 1620
	16:00	600	292	15	
CRUDO		500		OBSERVACIONES GENERALES: jpg 1621,1622	
AGUA		2500			
CARBONILLA		11			

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº: 05		pH-$H_2$0:			FECHA: 23/04/2014
TIPO DE MATERIAL:		POLIPROPILENO			
CARGA DE PLASTICO:		600	TEMPERATURA 600°c		
CATALIZADOR:		0			
AGUA:		2500			
Tº	HORA DE INICIO	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	11:25	19	28	0	
	11:35	156	29	5	
	11:45	278	30	9	
	11:55	372	30	6	
	12:05	427	33	10	
	12:15	470	54	17	
	12:25	499	79	17	
	12:35	517	90	16	BURBUJEA
	12:45	531	106	16	
	12:55	542	171	17	
	13:05	548	231	18	PRESENTA TEA
	13:15	555	258	19	
	13:25	557	284	21	
	13:35	560	295	20	
	13:45	571	320	21	
	13:55	588	339	18	
	14:05	601	337	19	
	14:15	603	229	21	
	14:25	601	313	20	
	14:35	601	308	20	
	14:45	600	300	20	
	14:55	601	292	20	
	15:05	601	282	19	
	15:15	601	274	19	
	15:25	600	267	19	
	15:35	601	261	19	
	15:45	600	256	18	
CRUDO		514		OBSERVACIONES GENERALES:	
AGUA		2500			
CARBONILLA		2			

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº: 06					FECHA: 19/05/2014
TIPO DE MATERIAL:		POLIROPILENO			
CARGA DE PLASTICO:		600	TEMPERATURA 600°c		
CATALIZADOR:		0			
AGUA:		2500			
Tº	HORA DE INICIO	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	11:25	19	28	0	
	11:35	137	28	0	
	11:45	272	29	0	
	11:55	377	29	0	
	12:05	452	30	5	
	12:15	488	49	5	
	12:25	514	60	11	
	12:35	536	92	10	
	12:45	559	154	11	
	12:55	571	216	12	
	13:05	581	255	13	
	13:15	588	290	13	
	13:25	590	303	13	
	13:35	609	318	13	
	13:45	603	313	13	
	13:55	600	306	13	
	14:05	600	303	13	
	14:15	601	297	12	
	14:25	600	294	13	
	14:35	600	287	13	
	14:45	600	288	13	
	14:55	600	277	13	
	15:05	600	273	13	
	15:15	600	270	13	
CRUDO		489 g		OBSERVACIONES GENERALES:	
AGUA		2500 g			
CARBONILLA		8 g			

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº: 07				FECHA: 25/03/2014	
TIPO DE MATERIAL:			POLIPROPILENO		
CARGA DE PLASTICO:		600	TEMPERATURA 525°c		
CATALIZADOR:		30			
AGUA:		2500			
Tº	ORA DE INIC	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	13:10	22	28	0	
	13:20	133	29	11	
	13:30	279	28	11	BURBUJEA
	13:40	367	29	11	
	13:50	437	30	11	
	14:00	458	47	11	
	14:10	515	64	11	
	14:20	532	92	11	
	14:30	528	123	11	SE EMPIEZA A VER CRUDO
	14:40	526	171	11	
	14:50	525	205	12	SIN TEA
	15:00	525	228	12	
	15:10	525	241	12	
	15:20	525	251	13	
	15:30	525	263	12	
	15:40	525	269	13	
	15:50	526	275	14	
	16:00	525	281	13	
	16:10	525	286	13	
	16:20	525	292	13	
	16:30	524	295	13	
	16:40	524	298	14	
	16:50	525	302	14	
	17:00	525	305	14	
	17:10	525	308	14	
CRUDO		450			
AGUA		2500			
CARBONILLA		62			

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº: 08				FECHA:	
TIPO DE MATERIAL:			POLIPROPILENO		
CARGA DE PLASTICO:		600	TEMPERATURA 525°c		
CATALIZADOR:		30			
AGUA:		2500			
Tº	HORA DE INICIO	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	11:20	19	26	0	
	11:30	190	26	0	
	11:40	267	27	0	
	11:50	400	28	0	
	12:00	434	28	0	
	12:10	485	44	10	
	12:20	525	57	10	
	12:30	532	87	10	
	12:40	527	123	10	
	12:50	523	166	10	se ve crudo
	13:00	527	197	10	
	13:10	525	220	10	
	13:20	525	242	12	
	13:30	525	245	12	
	13:40	525	252	12	
	13:50	524	257	12	
	14:00	526	267	12	
	14:10	524	271	12	
	14:20	523	277	12	
	14:30	525	284	12	
	14:40	526	289	12	
	14:50	525	293	12	
	15:00	527	298	12	
	15:10	525	302	12	
	15:20	525	304	12	
	15:30	525	308	12	
	15:40	525	310	12	
	15:50	524	313	12	
	16:00	525	315	12	
	16:10	524	315	12	
	16:20	526	317	12	
	16:30	449	295	12	
	16:40	501	300	12	
	16:50	531	314	12	
CRUDO		470	g		
AGUA		2500	g		
CARBONILLA		40	g		

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº: 09				FECHA: 27/05/2014	
TIPO DE MATERIAL:			POLIPROPILENO		
CARGA DE PLASTICO:			600	TEMPERATURA 525°c	
CATALIZADOR:			30		
AGUA:			2500		
Tº	HORA DE	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	11:00	23	28	0	
	11:10	170	27	10	
	11:20	286	27	10	
	11:30	377	27	10	
	11:40	437	27	10	
	11:50	489	44	10	
	12:00	513	55	10	BURBUJEA
	12:10	532	73	10	
	12:20	528	118	10	
	12:30	526	162	10	
	12:40	525	207	10	
	12:50	526	232	10	se ve crudo
	13:00	526	243	12	
	13:10	526	248	12	
	13:20	525	256	12	
	13:30	525	264	12	
	13:40	524	270	13	
	13:50	525	278	13	
	14:00	525	283	13	
	14:10	524	289	13	
	14:20	525	294	13	
	14:30	497	289	13	
	14:40	516	295	13	
	14:50	526	306	13	
	15:00	525	308	13	
	15:10	525	309	13	
	15:20	520	310	13	
	15:30	515	311	13	
	15:40	513	305	13	
	15:50	528	314	13	
	16:00	526	319	13	
	16:10	525	321	13	
	16:20	526	321	13	
CRUDO		504	g		
AGUA		2500	g		
CARBONILLA		37	g		

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº: 10				FECHA: 14/04/2014	
TIPO DE MATERIAL:			PILPROPILENO		
CARGA DE PLASTICO:			600	TEMPERATURA 600°c	
CATALIZADOR:			30		
CARGA:			0		
AGUA:			2500		
Tº	HORA DE INICIO	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	12:18	23	32	0	
	12:28	227	33	0	
	12:38	288	33	0	
	12:48	395	34	10	
	12:58	451	36	18	
	13:08	504	59	17	
	13:18	527	73	17	
	13:28	545	103	17	
	13:38	562	169	17	
	13:48	574	225	18	
	13:58	583	280	18	
	14:08	588	274	19	
	14:18	590	287	19	
	14:28	591	308	19	
	14:38	601	312	19	
	14:48	606	307	19	
	14:58	601	305	19	
	15:08	599	299	20	
	15:18	601	299	21	
	15:28	601	299	19	
	15:38	600	289	19	
	15:48	600	284	19	CRUDO CLARO
	15:58	600	280	19	
CRUDO		487			
AGUA		2500			
CARBONILLA		33			

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº:11					FECHA: 4 DE MARZO
TIPO DE MATERIAL:			POLIPROPILENO		
CARGA DE MATERIAL:			600	TEMPERATURA 600°C	
CATALIZADOR:			30		
AGUA:			2500		
Tº 600	HORA DE	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	13:20	21	23	0	
	13:30	194	23	14	
	13:40	310	22	17	
	13:50	398	23	22	
	14:00	459	23	22	
	14:10	494	23	23	
	14:20	525	23	23	SE VE CRUDO
	14:30	548	24	23	HAY TEA
	14:40	563	25	24	
	14:50	578	220	24	LA TERMOCUPLA NO ESTABA PUESTA
	15:00	589	254	24	
	15:10	594	276	24	
	15:20	597	296	24	
	15:30	601	299	26	
	15:40	608	287	26	
	15:50	601	265	26	
	16:00	599	265	26	
	16:10	577	271	25	
	16:20	590	266	25	
CRUDO		490			
AGUA		2500			
CARBONILLA		36			

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº: 12					FECHA: 30/04/2014
TIPO DE MATERIAL:			POLIPROPILENO		
CARGA DE PLASTICO:			600	TEMPERATURA 600°c	
CATALIZADOR:			30		
CARGA:			0		
AGUA:			2500		
Tº	HORA DE INICIO	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	12:25	45	32	0	
	12:35	189	32	10	
	12:45	310	32	10	
	12:55	388	34	10	
	13:05	461	52	10	
	13:15	493	63	11	
	13:25	520	88	11	SE VE CRUDO
	13:35	544	98	11	
	13:45	562	146	11	
	13:55	570	220	13	
	14:05	590	249	14	
	14:15	595	270	17	
	14:25	594	291	17	
	14:35	596	317	15	
	14:45	607	326	13	
	14:55	602	320	13	
	15:05	601	310	13	
	15:15	600	304	14	
	15:25	600	299	15	
	15:35	601	292	15	
	15:45	600	286	15	
	15:55	600	287	15	
CRUDO		469		OBSERVACIONES GENERALES:	
AGUA		2500			
CARBONILLA		31			

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº: 13					FECHA: 17/2/2014
TIPO DE MATERIAL:			POLIESTIRENO EXPANDIDO		
CARGA DE PLASTICO:			600	TEMPERATURA 525°c	
CATALIZADOR:			0		
AGUA:			2500		
Tº	HORA DE	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	12:00	21	28	0	
	12:10	149	43	17	
	12:20	271	61	17	Se ve crudo 1/2 cm
	12:30	364	67	16	
	12:40	426	88	16	el agua se pone blanca
	12:50	468	110	18	
	13:00	494	134	16	
	13:10	519	168	18	
	13:20	528	192	19	
	13:30	528	221	19	
	13:40	534	231	17	
	13:50	525	232	19	tres fases
	14:00	523	236	19	
	14:10	525	232	18	
	14:20	525	239	18	
	14:30	525	241	18	
	14:40	524	243	18	
	14:50	525	246	19	
	15:00	525	247	19	
	15:10	526	249	19	
	15:20	526	250	19	
	15:30	525	253	19	
CRUDO		523			
AGUA		2500			
CARBONILLA		8			

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº: 14					FECHA: 06/05/2014
TIPO DE MATERIAL:			POLIESTIRENO EXPANDIDO		
CARGA DE PLASTICO:			600	TEMPERATURA 525°c	
CATALIZADOR:			0		
AGUA:			2500		
Tº	HORA DE INICIO	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	11:00	24	28	0	
	11:10	169	31	12	
	11:20	270	39	18	
	11:30	357	40	18	
	11:40	419	124	17	
	11:50	457	133	18	
	12:00	482	142	11	
	12:10	509	152	17	
	12:20	525	170	18	
	12:30	529	205	19	
	12:40	523	219	19	
	12:50	528	235	19	
	13:00	527	244	19	
	13:10	528	210	19	
	13:20	526	220	19	
	13:30	526	227	19	
	13:40	525	219	17	
	13:50	524	235	16	
	14:00	525	230	18	
	14:10	524	238	18	
	14:20	525	223	19	
	14:30	524	225	18	
	14:40	526	231	18	
	14:50	525	218	18	
CRUDO		557	g		OBSERVACIONES GENERALES:
AGUA		2500	g		
CARBONILLA		21	g		

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº: 15				FECHA: 30/05/2014	
TIPO DE MATERIAL:			POLIESTIRENO EXPANDIDO		
CARGA DE PLASTICO:			600	TEMPERATURA 525°c	
CATALIZADOR:			0		
AGUA:			2500		
Tº	HORA DE INICIO	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	12:52	24	30	0	
	1:02	178	32	0	
	1:12	293	40	10	
	1:22	388	40	10	
	1:32	443	132	8	
	1:42	485	154	8	
	1:52	514	165	8	
	2:02	531	172	8	
	2:12	528	178	8	
	2:22	524	196	8	
	2:32	524	207	8	
	2:42	525	234	8	
	2:52	526	247	10	
	3:02	529	223	8	
	3:12	526	218	10	
	3:22	526	223	10	
	3:32	526	214	10	
	3:42	524	203	10	
	3:52	524	198	8	
	4:02	525	197	8	
	4:12	525	193	10	
	4:22	525	191	10	
	4:32	525	193	10	
	4:42	526	198	8	
	4:52	526	201	10	
CRUDO		545 g		OBSERVACIONES GENERALES:	
AGUA		2500 g			
CARBONILLA		19 g			

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº: 16		pH-$H_2$0:		FECHA: 23/05/2014	
TIPO DE MATERIAL:		POLIESTIRENO EXPANDIDO			
CARGA DE PLASTICO:		600	TEMPERATURA 600°c		
CATALIZADOR:		0			
AGUA:		2500			
Tº	HORA DE INICIO	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	3:20	30	30		
	3:30	171	32		
	3:40	286	36		
	3:50	371	37		
	4:00	402	102		
	4:10	464	149		
	4:20	500	160		SE VE CRUDO
	4:30	528	174		
	4:40	546	186		
	4:50	557	208		
	5:00	563	222		
	5:10	603	255		
	5:20	604	261		
	5:30	600	276		SIN TEA
	5:40	600	282		
	5:50	601	287		
	6:00	601	291		
CRUDO		586 g		OBSERVACIONES GENERALES:	
AGUA		2500 g			
CARBONILLA		3 g			

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº: 17				FECHA: 14/2/2014	
TIPO DE MATERIAL:			POLIESTIRENO EXPANDIDO		
CARGA DE PLASTICO:			600	TEMPERATURA 600°c	
CATALIZADOR:			0		
AGUA:			2500		
Tº	HORA DE	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	12:30	24	31	0	
	12:40	157	35	11	
	12:50	287	43	12	
	13:00	374	92	12	
	13:10	436	131	12	comienza a ver crudo
	13:20	468	139	13	
	13:30	499	150	13	
	13:40	517	168	15	
	13:50	530	207	16	
	14:00	532	231	17	
	14:10	557	238	20	
	14:20	604	201	18	sin tea
	14:30	603	262	18	
	14:40	600	266	17	
	14:50	600	268	16	
	15:00	601	270	16	
	15:10	600	269	16	
	15:20	601	272	16	
	15:30	598	271	16	
CRUDO		534		OBSERVACIONES GENERALES:	
AGUA		2500			
CARBONILLA		15			

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº: 18				FECHA: 21/04/2014	
TIPO DE MATERIAL:			POLIESTIRENO EXPANDIDO		
CARGA DE PLASTICO:			600	TEMPERATURA 600°c	
CATALIZADOR:			0		
AGUA:			2500		
Tº	HORA DE INICIO	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	12:30	19	26	0	
	12:40	162	30	17	
	12:50	278	37	17	
	13:00	362	45	17	
	13:10	416	112	16	
	13:20	460	141	17	
	13:30	490	155	17	
	13:40	514	164	17	
	13:50	540	186	19	
	14:00	543	195	19	
	14:10	552	210	19	
	14:20	573	232	15	
	14:30	601	242	17	
	14:40	605	250	17	
	14:50	601	256	18	
	15:00	600	259	18	
	15:10	600	265	19	
	15:20	601	269	19	
	15:30	600	272	18	
	15:40	600	274	19	
	15:50	601	277	19	
	16:00	600	279	17	
CRUDO		554		OBSERVACIONES GENERALES:	
AGUA		2500			
CARBONILLA		3			
CUNCHO		4			

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº: 19				FECHA: 28/05/2014	
TIPO DE MATERIAL:			POLIESTIRENO EXPANDIDO		
CARGA DE PLASTICO:			600	TEMPERATURA 525°c	
CATALIZADOR:			30		
AGUA:			2500		
TOTAL CARGA:			3130		
Tº	HORA DE INICIO	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	12:45	26	32	0	
	12:55	198	35	5	
	13:05	524	43	11	
	13:15	389	83	6	
	13:25	434	135	9	
	13:35	481	153	9	
	13:45	505	164	6	
	13:55	530	171	10	
	14:05	529	182	12	
	14:15	525	200	12	
	14:25	525	210	11	
	14:35	525	235	13	
	14:45	526	257	13	
	14:55	525	266	13	
	15:05	525	269	12	
	15:15	527	257	12	
	15:25	527	243	13	
	15:35	525	219	13	
	15:45	527	211	13	
	15:55	524	207	13	
	16:05	524	207	13	
	16:15	525	207	13	
	16:25	525	205	13	
CRUDO		545 g		OBSERVACIONES GENERALES:	
AGUA		2500 g			
CARBONILLA		20 g			

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº: 20				FECHA: 29/05/2014	
TIPO DE MATERIAL:			POLIESTIRENO EXPANDIDO		
CARGA DE PLASTICO:			600	TEMPERATURA 525°c	
CATALIZADOR:			30		
AGUA:			2500		
Tº	HORA DE INICIO	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	11:30	22	29	0	
	11:40	144	32	0	
	11:50	250	37	5	
	12:00	354	45	10	
	12:10	408	65	10	
	12:20	460	116	10	
	12:30	505	149	10	
	12:40	531	162	10	
	12:50	530	173	10	
	13:00	525	177	10	
	13:10	524	184	10	
	13:20	525	184	10	
	13:30	526	191	10	
	13:40	526	194.5	10	
	13:50	525	198.7	10	
	14:00	527	202.9	10	
	14:10	525	207.1	10	
	14:20	524	211.3	10	
	14:30	525	215.5	10	
	14:40	525	219.7	10	
	14:50	525	223.9	10	
	15:00	525	228.1	10	
	15:10	525	232.3	10	
CRUDO		550 g		OBSERVACIONES GENERALES:	
AGUA		2500 g			
CARBONILLA		46 g			

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº:21				FECHA: 10 de marzo	
TIPO DE MATERIAL:			POLIESTIRENO EXPANDIDO		
CARGA DE MATERIAL:			600	TEMPERATURA 525°C	
CATALIZADOR:			30		
AGUA:			2500		
Tº 525	HORA DE INICIO	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	12:00	20	30	0	
	12:10	165	35	11	
	12:20	267	45	11	
	12:30	360	63	11	
	12:40	431	104	11	
	12:50	481	132	11	
	13:00	514	141	11	1 cm de crudo
	13:10	495	145	9	agua amarilllenta
	13:20	523	152	12	
	13:30				olvido conectar la tea al
	13:40	411	141	12	
	13:50	473	150	13	
	14:00	516	190	14	
	14:10	533	242	13	
	14:20	528	247	14	
	14:30	528	219	14	
	14:40	525	216	14	
	14:50	525	206	13	
	15:00	525	204	14	
	15:10	525	203	13	
	15:20	525	200	14	
	15:30	525	199	11	
CRUDO		464		OBSERVACIONES GENERALES:	
AGUA		2500			
CARBONILLA		63			

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº:22				FECHA: 5 MARZO	
TIPO DE MATERIAL:			POLIESTIRENO EXPANDIDO		
CARGA DE MATERIAL:			600	TEMPERATURA 600°C	
CATALIZADOR:			30		
AGUA:			2500		
Tº 600	HORA DE	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	11:45	22	32	0	
	11:55	155	33	34	
	12:05	284	55	25	
	12:15	366	67	23	
	12:25	436	81	24	PRESENTA CRUDO
	12:35	487	111	24	
	12:45	522	125	25	
	12:55	544	141	25	
	13:05	554	168	24	
	13:15	565	198	27	
	13:25	580	223	4	
	13:35	606	236	6	
	13:45	574	239	6	
	13:55	587	238	6	SIN TEA
					AGUA CONTAMINADA
CRUDO		470		OBSERVACIONES GENERALES:	
AGUA		2500			
CARBONILLA		32			

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº: 23				FECHA: 24/04/2014	
TIPO DE MATERIAL:			POLIESTIRENO EXPANDIDO		
CARGA DE PLASTICO:			600	TEMPERATURA 600°c	
CATALIZADOR:			30		
AGUA:			2500		
Tº	HORA DE INICIO	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	13:35	18	26	0	
	13:45	198	32	10	
	13:55	288	35	10	BURBUJEA
	14:05	376	40	10	
	14:15	442	117	3	
	14:25	492	143	11	SE VE CRUDO
	14:35	521	159	10	
	14:45	543	170	10	
	14:55	555	182	12	
	15:05	567	209	13	
	15:15	581	224	13	
	15:25	595	229	13	
	15:35	606	253	12	
	15:45	601	253	12	
	15:55	600	254	12	
CRUDO		532		OBSERVACIONES GENERALES:	
AGUA		2500			
CARBONILLA		35			

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº: 24				FECHA: 25/04/2014	
TIPO DE MATERIAL:			POLIESTIRENO EXPANDIDO		
CARGA DE PLASTICO:			600	TEMPERATURA 600°c	
CATALIZADOR:			30		
CARGA:			0		
AGUA:			2500		
Tº	HORA DE INICIO	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	13:20	22	27	0	
	13:30	170	30	10	
	13:40	292	36	10	BURBUJEA
	13:50	379	41	10	
	14:00	442	121	3	
	14:10	477	145	10	SE VE CRUDO
	14:20	505	159	11	
	14:30	527	168	12	
	14:40	543	178	12	SIN TEA
	14:50	549	213	12	
	15:00	554	228	12	
	15:10	567	233	13	
	15:20	599	224	13	
	15:30	604	259	13	
	15:40	601	264	13	
	15:50	600	276	13	
	4:00 PM				
CRUDO		544		OBSERVACIONES GENERALES:	
AGUA		2500			
CARBONILLA		15			

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº: 25					FECHA: 01/04/2014
TIPO DE MATERIAL:			POLIESTIRENO RIGIDO		
CARGA DE PLASTICO:			600	TEMPERATURA 525°c	
CATALIZADOR:			0		
AGUA:			2500		
Tº	HORA DE	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	11:45	22	30	0	el tapon no se pone
	11:55	207	29	0	
	12:05	301	30	0	
	12:15	396	30	0	
	12:25	463	32	0	se pone el tapon
	12:35	518	80	18	burbujea
	12:45	531	137	18	se ve crudo negro
	12:55	527	142	18	
	13:05	525	152	18	
	13:15	525	158	18	
	13:25	526	182	18	
	13:35	525	212	18	
	13:45	525	232	19	
	13:55	526	248	19	
	14:05	525	255	19	
	14:15	526	259	19	
	14:25	524	266	19	
	14:35	525	274	19	
	14:45	526	277	19	
	14:55	525	278	18	
	15:05	525	281	18	
	15:15	524	291	19	
	15:25	526	281	19	
	15:35	526	280	18	
	15:45	525	280	19	
	15:55	525	280	19	
CRUDO			436	OBSERVACIONES GENERALES:	
AGUA			2500		
CARBONILLA			97		

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº: 26					FECHA: 12/2/2014
TIPO DE MATERIAL:			POLIESTIRENO RIGIDO		
CARGA DE PLASTICO:			600	TEMPERATURA 525°c	
CATALIZADOR:			0		
AGUA:			2500		
Tº	HORA DE INICIO	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	11:00	21	39	0	
	11:10	163	39	10	
	11:20	289	38	10	
	11:30	385	38	10	
	11:40	435	41	11	
	11:50	481	73	12	Burbujea
	12:00	508	135	11	se empieza a ver crudo
	12:10	529	149	12	
	12:20	530	166	11	
	12:30	526	191	11	
	12:40	524	200	12	
	12:50	525	234	12	
	13:00	526	248	13	
	13:10	526	262	13	
	13:20	526	265	14	
	13:30	526	274	14	
	13:40	525	278	14	sin tea
	13:50	525	281	14	
	14:00	526	282	14	
	14:10	525	283	14	
	14:20	525	284	15	
	14:30	525	285	15	
	14:40	525	285	15	
	14:50	526	286	15	
	15:00	509	287	15	
	15:10	514	283	15	
CRUDO		476		OBSERVACIONES GENERALES:	
AGUA		2500			
CARBONILLA		79			

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº: 27		pH-H_20:		FECHA: 31/03/2014	
TIPO DE MATERIAL:		POLIESTIRENO			
CARGA DE PLASTICO:		600	TEMPERATURA 525°c		
CATALIZADOR:		0			
AGUA:		2500			
Tº	HORA DE	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	11:25	22	35	0	
	11:35	174	36	0	
	11:45	294	35	3	se ve crudo
	11:55	381	38	5	
	12:05	445	39	17	
	12:15				la maqina se apaga ya que se absorve el agua de la presion
	12:25	268	93	12	
	12:35	332	93	16	
	12:45	364	93	15	
	12:55	406	92	2	
	13:05	475	89	11	
	13:15	515	100	14	
	13:25	531	140	12	
	13:35	525	166	14	
	13:45	526	212	14	
	13:55	525	243	12	
	14:05	526	247	12	
	14:15	526	240	12	
	14:25	526	259	13	
	14:35	526	279	13	
	14:45	522	285	13	
	14:55	524	288	13	
	15:05	526	291	12	
	15:15	526	291	13	
	15:25	532	207	15	
CRUDO		544		OBSERVACIONES GENERALES:	
AGUA		2500			
CARBONILLA		10			

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº: 28				FECHA: 02/04/2014	
TIPO DE MATERIAL:		POLIESTIRENO RIGIDO			
CARGA DE PLASTICO:		600	TEMPERATURA 600°c		
CATALIZADOR:		0			
AGUA:		2500			
Tº	HORA DE	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	12:25	20	25	0	
	12:35	151	27	0	
	12:45	274	28	0	
	12:55	366	29	0	
	13:05	439	37	0	
	13:15	503	60	21	
	13:25	541	106	21	
	13:35	574	140	21	
	13:45	599	155	21	
	13:55	606	181	23	
	14:05	602	205	23	
	14:15	601	221	23	
	14:25	601	217	23	
	14:35	600	218	24	
	14:45	600	229	24	
	14:55	601	236	24	
	15:05	601	237	25	
	15:15	599	243	25	
	15:25	601	244	25	
	15:35	601	239	24	
	15:45	600	235	24	
	15:55	601	222	24	
	16:05	601	215	24	
	16:15	599	215	24	
	16:25	601	221	23	
	16:35	544	199	24	
CRUDO		510		OBSERVACIONES GENERALES:	
AGUA		2500			
CARBONILLA		41			

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº: 29			pH-$H_2$0:		FECHA: 03/04/2014
TIPO DE MATERIAL:			POLIESTIRENO RIGIDO		
CARGA DE PLASTICO:			600	TEMPERATURA 600°c	
CATALIZADOR:			0		
AGUA:			2500		
T°	HORA DE	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	14:00	23	27	0	
	14:10	126	26	0	
	14:20	270	22	0	se moja la marmita por llovisna
	14:30	271	23	18	
	14:40	445	33	0	el tapon se retira
	14:50	500	85	18	se pone el tapon, se ve crudo
	15:00	533	133	18	
	15:10	565	148	18	
	15:20	593	173	19	
	15:30	605	204	19	
	15:40	602	216	20	
	15:50	601	220	20	
	16:00	601	224	21	sin tea
	16:10	601	228	21	
	16:20	600	234	21	
	16:30	600	242	21	
	16:40	600	204	21	
	16:50	601	216	21	
	17:00	600	226	20	
CRUDO		500		OBSERVACIONES GENERALES:	
AGUA		2500			
CARBONILLA		44			

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº: 30					FECHA: 13/2/2014
TIPO DE MATERIAL:			POLIESTIRENO RIGIDO		
CARGA DE PLASTICO:			600	TEMPERATURA 600°c	
CATALIZADOR:			0		
AGUA:			2500		
Tº	HORA DE INICIO	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	10:40	21	31	0	
	10:50	152	33	11	
	11:00	272	34	11	
	11:10	360	35	12	
	11:20	415	46	15	
	11:30	457	87	17	
	11:40	489	133	12	comienza a ver crudo
	11:50	515	143	12	
	12:00	593	157	13	
	12:10	566	178	14	
	12:20	588	207	16	
	12:30	606	227	18	
	12:40	603	232	19	
	12:50	601	231	19	sin tea
	13:00	601	205	21	
	13:10	601	210	21	crudo negruzco
	13:20	599	226	19	
	13:30	599	244	18	
CRUDO		534		OBSERVACIONES GENERALES:	
AGUA		2500			
CARBONILLA		56			

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº:31				FECHA: 18 FEBRERO	
TIPO DE MATERIAL:			POLIESTIRENO RIGIDO		
CARGA DE MATERIAL:			600	TEMPERATURA 600°C	
CATALIZADOR:			30		
AGUA:			2500		
Tº 600	HORA DE	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	11:55	21	27	0	
	12:05	158	27	11	Burbujea
	12:15	277	27	12	
	12:25	372	27	13	
	12:35	439	28	14	
	12:45				la maquina se apaga debido a que la marmita succiono el agua del manometro
	12:55				
	13:05				
	13:15				
	13:25				
	13:35	174	92	0	
	13:45	284	92	16	
	13:55	324	92	20	
	14:05	345	92	26	se obtiene mucho aire, condensador se caliente mucho
	14:15	369	92	26	
	14:25	410	92	10	
	14:35	474	90	12	
	14:45		94	14	
	14:55	557	114	14	
	15:05	582	152	15	
	15:15	599	179	15	
	15:25	604	210	15	
	15:35	601	228	15	
	15:45	601	233	15	
	15:55	602	246	15	presencia de tea
	16:05	600	271	15	
	16:15	599	279	15	
	16:25	601	281	15	
	16:35	601	283	15	
CRUDO		530			
AGUA		2500			
CARBONILLA		68			

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº: 32				FECHA: 15/04/2014	
TIPO DE MATERIAL:			POLIESTIRENO RIGIDO		
CARGA DE PLASTICO:			600	TEMPERATURA 600°c	
CATALIZADOR:			30		
AGUA:			2500		
Tº	HORA DE [illegible]	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	11:33	22	28	0	
	11:43	29	30	0	
	11:53	158	30	0	
	12:03	279	29	0	SE PONE EL TAPON
	12:13	372	30	17	
	12:23	440	30	17	BUBRBUJEA
	12:33	498	73	17	
	12:43	53	118	17	MEDIO CM DE CRUDO
	12:53	570	145	17	
	13:03	592	174	18	
	13:13	606	197	19	
	13:23	602	209	19	
	13:33	601	213	19	
	13:43	600	219	19	
	13:53				SE APAGA POR MANTENIEINTO
	14:03				
	14:13	429	173	18	
	14:23	537	189	18	
	14:33	588	209	19	CRUDO OSCURO
	14:43	609	234	19	
	14:53	602	239	20	
	15:03	599	232	19	
	15:13	600	238	19	
	15:23	600	236	19	
	15:33	601	231	19	
	15:43	600	227	19	
	15:53	600	230	19	
CRUDO		510		OBSERVACIONES GENERALES:	
AGUA		2500			
CARBONILLA		81			

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº: 33				FECHA: 15/04/2014	
TIPO DE MATERIAL:			POLIESTIRENO RIGIDO		
CARGA DE PLASTICO:			600	TEMPERATURA 600°c	
CATALIZADOR:			30		
AGUA:			2500		
T°	HORA	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	1:30	19	27	0	
	1:40	167	27	10	
	1:50	294	26	10	
	2:00	384	27	10	
	2:10	446	28	10	Se paga la maquina poruqe se
	2:20				
	2:30				
	2:40				
	2:50	214	92	0	
	3:00	308	92	10	
	3:10	352	92	12	
	3:20	375	92	20	
	3:30	392	92	22	se quita el tapon por presion alta
	3:40	403	92	6	
	3:50	408	92	6	
	4:00	469	90	4	se coloca nuevamente el tapon
	4:10	512	90	15	
	4:20	543	94	15.5	se nota crudo
	4:30	580	138	16	
	4:40	607	187	16	
	4:50	604	212	16	
	5:00	599	230	16	
	5:10	600	244	16.5	
	5:20	600	262	17	
	5:30	600	273	18	
	5:40	601	278	18	
	5:50	598	289	18	
	6:00	599	300	17	
	6:10	569	298	16	
	6:20	600	300	16	
CRUDO		493		OBSERVACIONES GENERALES:	
AGUA		2500			
CARBONILLA		65			

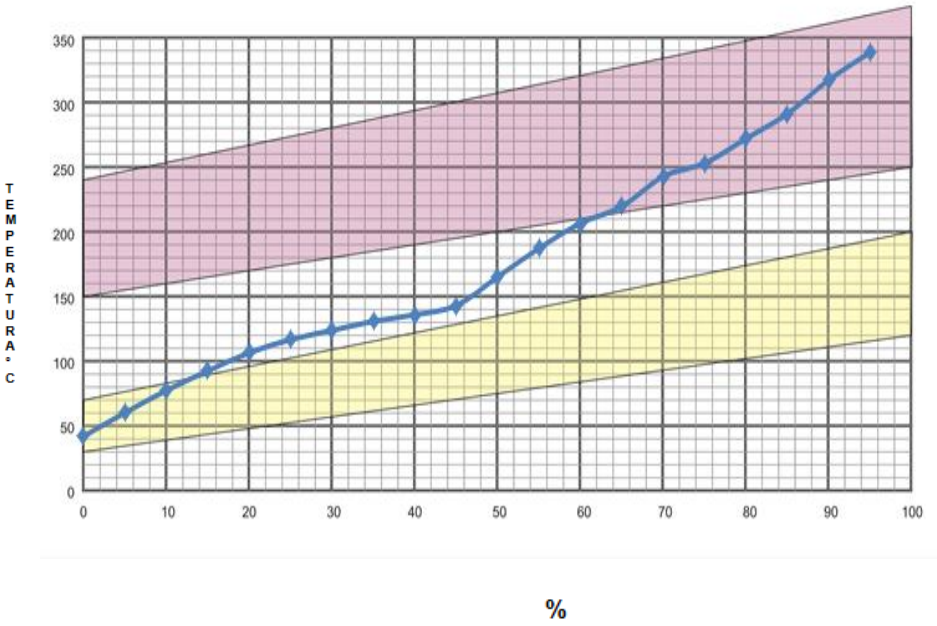
FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº: 34				FECHA: 22/05/2014	
TIPO DE MATERIAL:			POLIESTIRENO RIGIDO		
CARGA DE PLASTICO:			600	TEMPERATURA 525°c	
CATALIZADOR:			30		
AGUA:			2500		
Tº	HORA DE INICIO	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	11:45	21	34	0	
	11:55	128	34	0	
	12:05	281	35	0	
	12:15	372	35	10	
	12:25	449	58	10	BURBUJEA
	12:35	518	86	11	SIN TEA
	12:45	535	128	11	
	12:55	528	137	12	
	13:05	526	148	12	
	13:15	526	155	12	
	13:25	525	164	12	
	13:35	526	173	12	
	13:45	525	176	12	
	13:55	525	174	12	
	14:05	525	179	12	
	14:15	525	180	12	
	14:25	525	182	12	
	14:35	525	193	12	
	14:45	525	189	13	SIN TEA
	14:55	525	188	13	
	15:05	525	188	13	AGUA CONTAMINADA
	15:15	525	194	12	
	15:25	525	192	12	
	15:35	525	197	13	
	15:45	525	200	13	
	15:55	525	264	13	
	16:05	526	207	13	
	16:15	524	212	13	
	16:25	526	211	13	
	16:35	525	214	13	
CRUDO		407	g	OBSERVACIONES GENERALES:	
AGUA		2500	g		
CARBONILLA		138	g		

FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS N°: 35				FECHA: 18/2/2014	
TIPO DE MATERIAL:			POLIESTIRENO RIGIDO		
CARGA DE PLASTICO:			600	TEMPERATURA 525°c	
CATALIZADOR:			30		
AGUA:			2500		
Tº	HORA DE INICIO	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	11:40	22	30	0	
	11:50	162	29	0	
	12:00	281	29	0	
	12:10	379	28	1	
	12:20	455	29	1	
	12:30	508	50	8	
	12:40	534	136	10	Se ve crudo
	12:50	527	142	10	
	13:00	526	154	10	
	13:10	525	169	10	
	13:20	525	173	11	
	13:30	525	193	11	
	13:40	525	206	11	
	13:50	525	224	9	
	14:00	525	232	11	sin tea
	14:10	525	342	11	
	14:20	525	253	11	
	14:30	525	255	11	
	14:40	525	251	12	
	14:50	525	253	12	
	15:00	525	253	12	
	15:10	525	252	12	
	15:20	525	257	12	
	15:30	525	266	12	
	15:40	524	272	13	
	15:50	525	275	13	
	16:00	525	275	13	
	16:10	527	273	13	
	4:20 PM	525	278	13	
CRUDO		548		OBSERVACIONES GENERALES:	
AGUA		2500			
CARBONILLA		95			

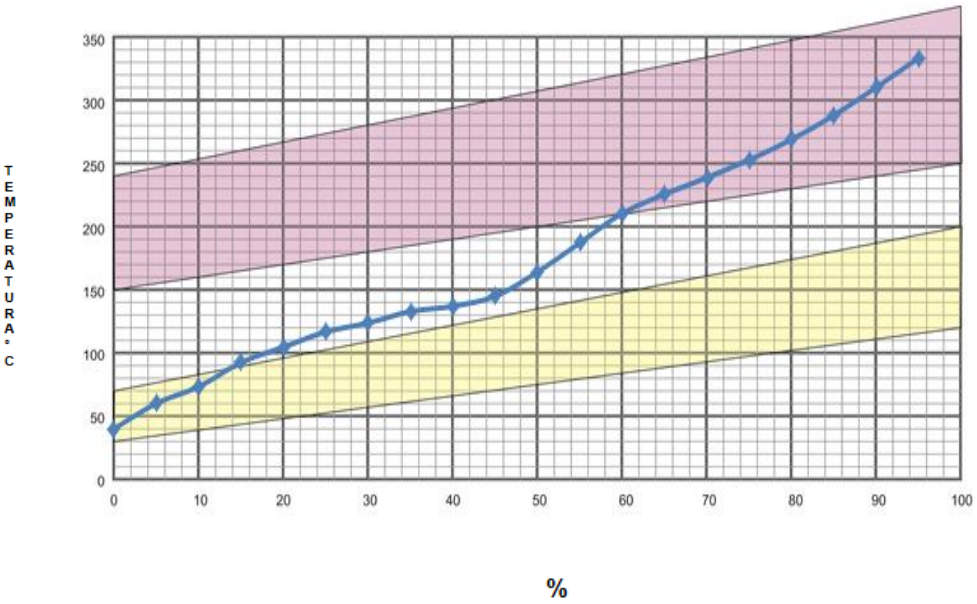
FORMATO TOMA DE DATOS PIROLISIS					
PIROLISIS Nº: 36				FECHA: 05/05/2014	
TIPO DE MATERIAL:			POLIESTIRENO RIGIDO		
CARGA DE PLASTICO:			600	TEMPERATURA 525°c	
CATALIZADOR:			30		
AGUA:			2500		
Tº	HORA DE	TIN	TC4Y	P	OBSERVACIONES
	12:00	24	35	0	
	12:10	191	35	11	
	12:20	290	36	11	BURBUJEA
	12:30	417	49	11	
	12:40	456	67	12	
	12:50	525	95	11	
	13:00	535	122	12	
	13:10	527	134	12	
	13:20	525	141	12	
	13:30	525	147	12	
	13:40	526	161	12	
	13:50	525	163	13	
	14:00	524	175	13	
	14:10	525	175	14	CRUDO
	14:20	526	181	15	
	14:30	525	182	15	
	14:40	525	189	18	
	14:50	526	191	20	
	15:00	525	192	20	
	15:10	525	188	20	
	15:20	525	191	20	
	15:30	525	198	20	
	15:40	525	191	20	
	15:50	525	188	20	
	16:00	525	196	20	
	16:10	525	203	20	
	16:20	525	202	20	
CRUDO		432		OBSERVACIONES GENERALES:	
AGUA		2500			
CARBONILLA		143			

ANEXO D: DESTILACIONES PP, PS RIGIDO Y EXPANDIDO

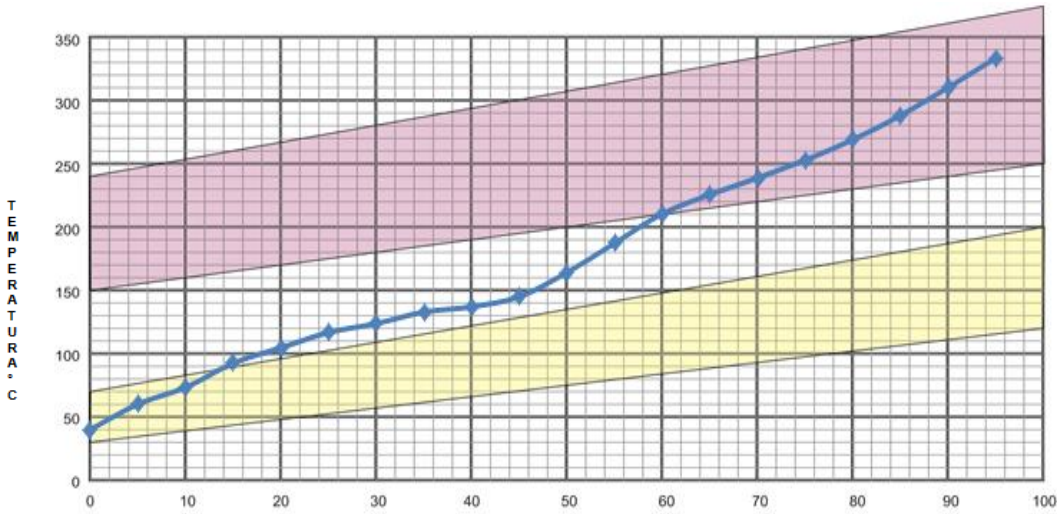
	Curva de Destilación ASTM D86		
		Fecha	**jueves, 03 de abril de 2014**
	Analisis de Combustibles No.		
	Muestra:	**01-Polipropileno Sin Catalizador a 525°C**	
	Temperatura	Hora	Observación
Inicio	35	11:52:00 a.m.	
Inicio Ebullición			
0	46	11:55:00 a.m.	
5	64	11:56:00 a.m.	
10	81	11:57:00 a.m.	
15	96	11:58:00 a.m.	
20	110	11:58:00 a.m.	
25	120	11:59:00 a.m.	
30	127	12:00:00 p.m.	
35	134	12:01:00 p.m.	
40	139	12:02:00 p.m.	
45	146	12:03:00 p.m.	
50	168	12:04:00 p.m.	
55	190	12:05:00 p.m.	
60	209	12:07:00 p.m.	
65	222	12:08:00 p.m.	
70	245	12:09:00 p.m.	
75	255	12:10:00 p.m.	
80	274	12:11:00 p.m.	
85	293	12:12:00 p.m.	
90	319	12:13:00 p.m.	
95	340	12:14:00 p.m.	
97			
Peso Lleno; g	120		
Peso Vacio; g	45		
Volumen;ml	100		
Densidad; g/ml	0,8		



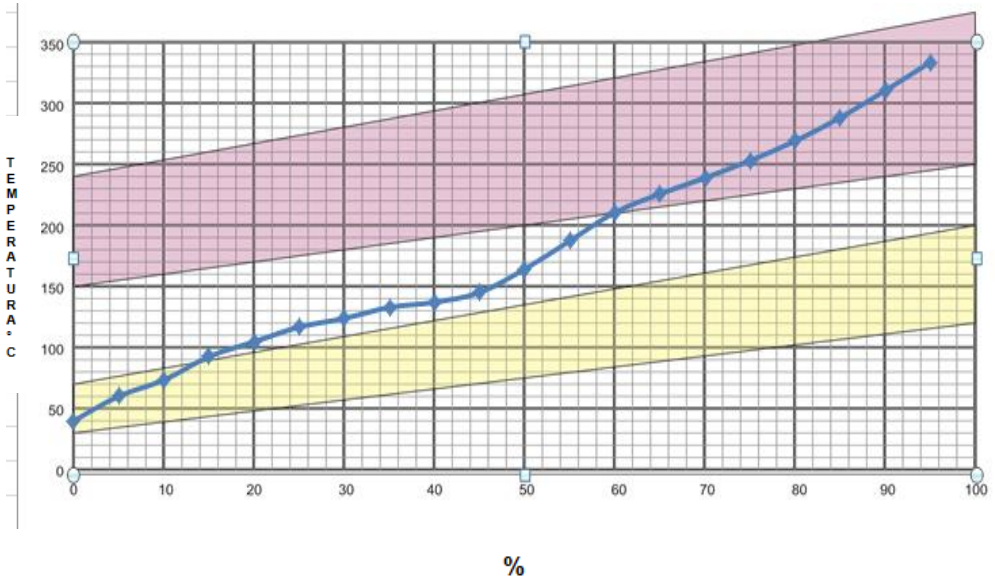
	Curva de Destilación ASTM D86		
		Fecha	03/04/2014
	Analisis de Combustibles No.		
	Muestra:	02– Polipropileno Sin Catalizador a 525°C	
	Temperatura	Hora	Observación
Inicio	30	16:16	
Inicio Ebullición			
0	46	16:21	
5	64	16:23	
10	80	16:26	
15	98	16:27	
20	111	16:28	
25	122	16:29	
30	129	16:29	
35	135	16:30	
40	141	16:31	
45	150	16:33	
50	173	16:34	
55	192	16:35	
60	211	16:36	
65	223	16:38	
70	238	16:39	
75	257	16:41	
80	273	16:41	
85	293	16:42	
90	312	16:45	
95	333	16:47	
96			
Peso Lleno; g	120		
Peso Vacio; g	45		
Volumen; ml	100		
Densidad; g/ml	0,8		
Peso Final; g	47		



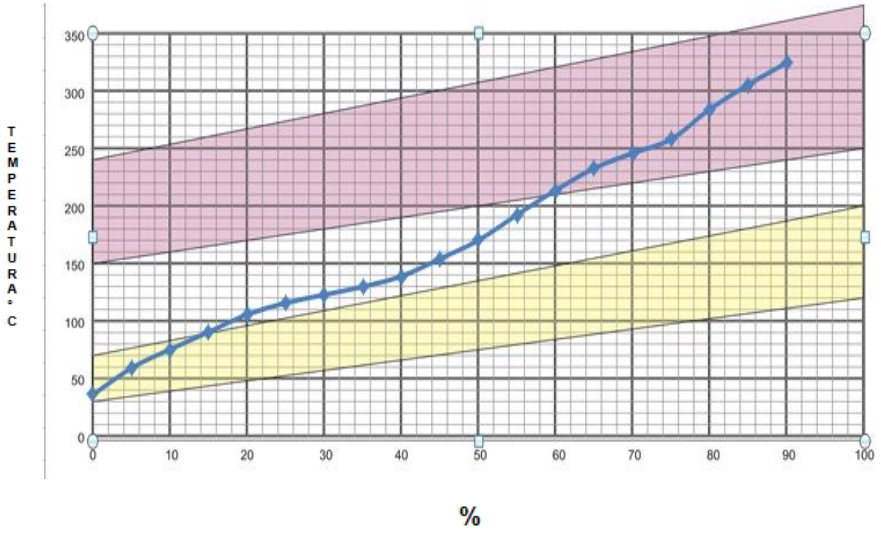
	Curva de Destilación ASTM D86		
		Fecha	**04/04/2014**
	Analisis de Combustibles No.		**AC-63**
	Muestra:	**03, Polipropileno Sin Catalizador a 525°C**	
	Temperatura	Hora	Observación
Inicio	31	10:43:00 a.m.	
Inicio Ebullición			
0	44	10:48:00 a.m.	
5	64	10:49:00 a.m.	
10	77	10:50:00 a.m.	
15	96	10:51:00 a.m.	
20	108	10:52:00 a.m.	
25	120	10:53:00 a.m.	
30	127	10:54:00 a.m.	
35	136	10:55:00 a.m.	
40	140	10:56:00 a.m.	
45	148	10:57:00 a.m.	
50	167	10:58:00 a.m.	
55	190	10:59:00 a.m.	
60	213	11:00:00 a.m.	
65	228	11:01:00 a.m.	
70	241	11:02:00 a.m.	
75	255	11:03:00 a.m.	
80	271	11:04:00 a.m.	
85	290	11:05:00 a.m.	
90	312	11:06:00 a.m.	
95	335	11:07:00 a.m.	
96			
Peso Lleno; g	120		
Peso Vacio; g	45		
Volumen; ml	100		
Densidad; g/ml	0,8		
Peso Final; g	46		



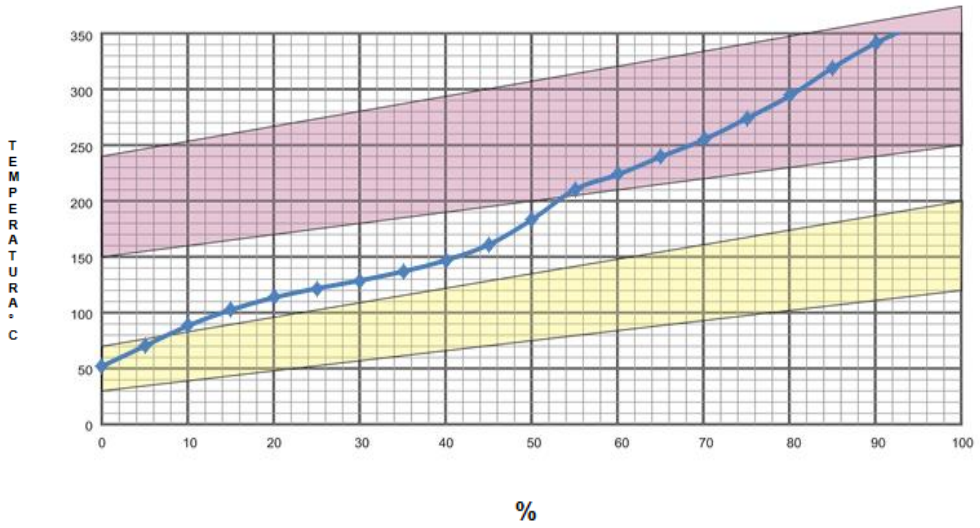
	Curva de Destilación ASTM D86		
		Fecha	27/03/2014
	Analisis de Combustibles No.	AC-52	
	Muestra:	Crudo 04, Polipropileno a 600°C	
	Temperatura	Hora	Observación
Inicio	31	03:37:00 p.m.	
Inicio Ebullición			
0	46	03:41:00 p.m.	
5	69	03:42:00 p.m.	
10	85	03:43:00 p.m.	
15	99	03:44:00 p.m.	
20	112	03:45:00 p.m.	
25	120	03:46:00 p.m.	
30	128	03:47:00 p.m.	
35	135	03:48:00 p.m.	
40	142	03:49:00 p.m.	
45	153	03:50:00 p.m.	
50	180	03:53:00 p.m.	
55	202	03:54:00 p.m.	
60	218	03:56:00 p.m.	
65	235	03:58:00 p.m.	
70	250	04:01:00 p.m.	
75	270	04:02:00 p.m.	
80	288	04:03:00 p.m.	
85	310	04:05:00 p.m.	
90	330	04:06:00 p.m.	
93			
100			
Peso Lleno; g	114		
Peso Vacio; g	39		
Volumen;ml	100		
Densidad; g/ml	0,75		
Peso Final; g	44		



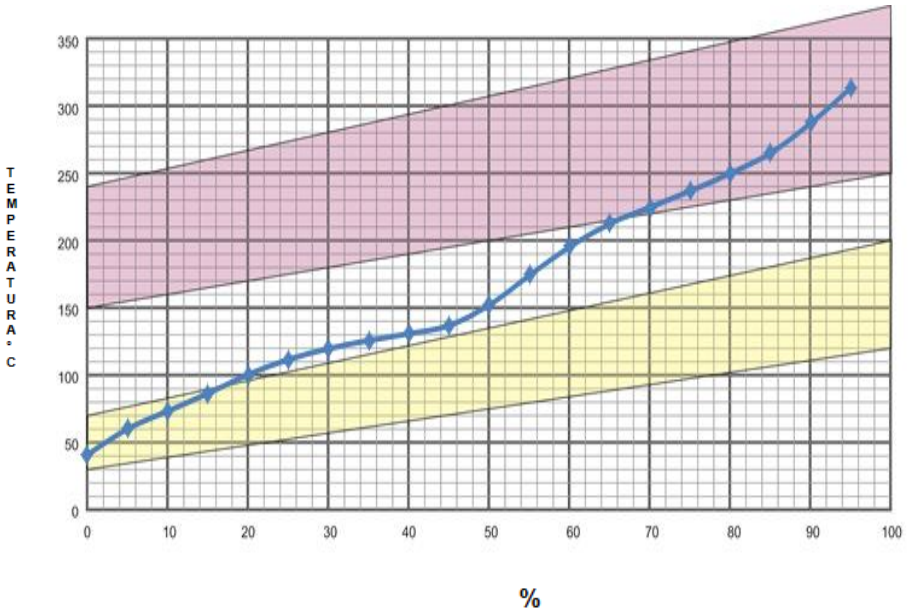
Curva de Destilación ASTM D86			
		Fecha	03/06/14
Analisis de Combustibles No.			
		Muestra:	Crudo 05, PP Sin Catalizador a 600°C
	Temperatur	Hora	Observación
Inicio	31	04:56:00 p.m.	
Inicio Ebullición			
0	40	04:58:00 p.m.	
5	63	04:58:00 p.m.	
10	79	04:59:00 p.m.	
15	94	05:00:00 p.m.	
20	109	05:00:00 p.m.	
25	119	05:01:00 p.m.	
30	126	05:01:00 p.m.	
35	133	05:02:00 p.m.	
40	142	05:02:00 p.m.	
45	157	05:03:00 p.m.	
50	173	05:04:00 p.m.	
55	195	05:04:00 p.m.	
60	216	05:05:00 p.m.	
65	235	05:06:00 p.m.	
70	248	05:07:00 p.m.	
75	260	05:08:00 p.m.	
80	286	05:09:00 p.m.	
85	307	05:10:00 p.m.	
90	326	05:11:00 p.m.	
94			
100			
Peso Lleno; g	114		
Peso Vacio; g	40		
Volumen;ml	100		
Densidad; g/ml	0,7		
Peso Final; g	43		



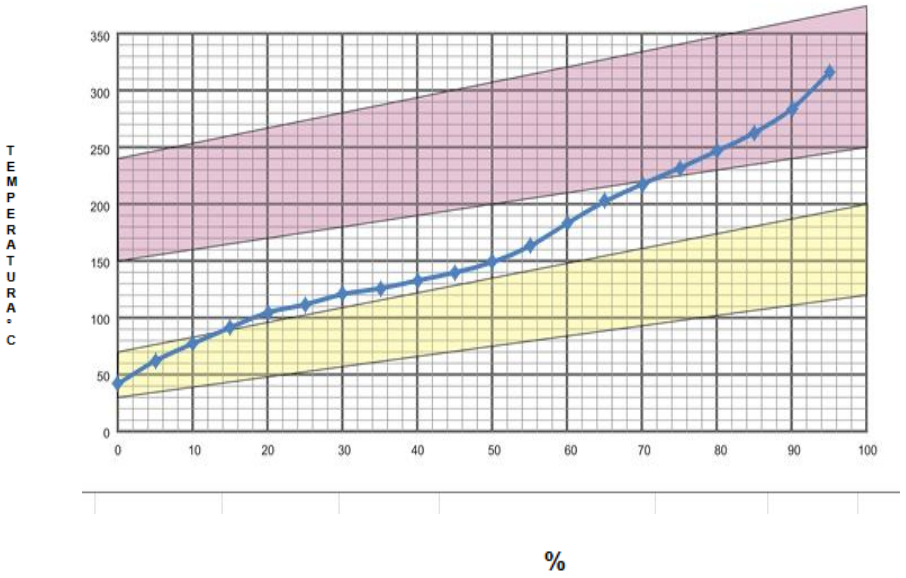
Curva de Destilación ASTM D86			
		Fecha	viernes, 20 de junio de 2014
Analisis de Combustibles No.			
		Muestra:	Crudo 06, PP Sin Catalizador a 600°C
	Temperatura	Hora	Observación
Inicio	34	10:45:00 a.m.	
Inicio Ebullición			
0	56	10:48:00 a.m.	
5	74	10:49:00 a.m.	
10	92	10:50:00 a.m.	
15	106	10:51:00 a.m.	
20	117	10:51:00 a.m.	
25	125	10:52:00 a.m.	
30	132	10:53:00 a.m.	
35	140	10:54:00 a.m.	
40	150	10:55:00 a.m.	
45	164	10:56:00 a.m.	
50	186	10:57:00 a.m.	
55	213	10:57:00 a.m.	
60	226	10:58:00 a.m.	
65	242	10:59:00 a.m.	
70	257	11:00:00 a.m.	
75	276	11:01:00 a.m.	
80	296	11:03:00 a.m.	
85	321	11:04:00 a.m.	
90	343	11:05:00 a.m.	
95	360	11:06:00 a.m.	
97			
Peso Lleno; g	116		
Peso Vacio; g	39		
Volumen;ml	100		
Densidad; g/ml	0,8		
Peso Final; g	40		



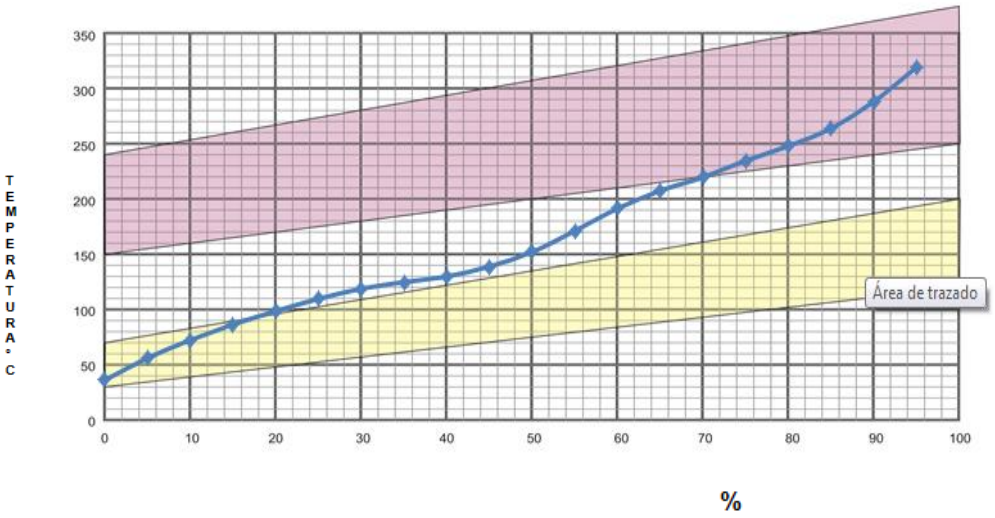
	Curva de Destilación ASTM D86		
		Fecha	28/03/2014
	Analisis de Combustibles No.		
	Muestra:	07, Polipropileno a 525°C con 5% de Catalizador	
	Temperatura	Hora	Observación
Inicio	32	###########	
Inicio Ebullición			
0	45	03:50:00 p.m.	
5	64	03:52:00 p.m.	
10	77	03:53:00 p.m.	
15	90	03:55:00 p.m.	
20	104	03:56:00 p.m.	
25	115	03:58:00 p.m.	
30	123	03:59:00 p.m.	
35	129	04:00:00 p.m.	
40	134	04:02:00 p.m.	
45	140	04:03:00 p.m.	
50	155	04:05:00 p.m.	
55	177	04:08:00 p.m.	
60	198	04:09:00 p.m.	
65	215	04:10:00 p.m.	
70	227	04:10:00 p.m.	
75	239	04:11:00 p.m.	
80	252	04:12:00 p.m.	
85	267	04:13:00 p.m.	
90	289	04:14:00 p.m.	
95	315	04:18:00 p.m.	
97			
Peso Lleno; g	114		
Peso Vacio; g	39		
Volumen;ml	100		
Densidad; g/ml	0,75		



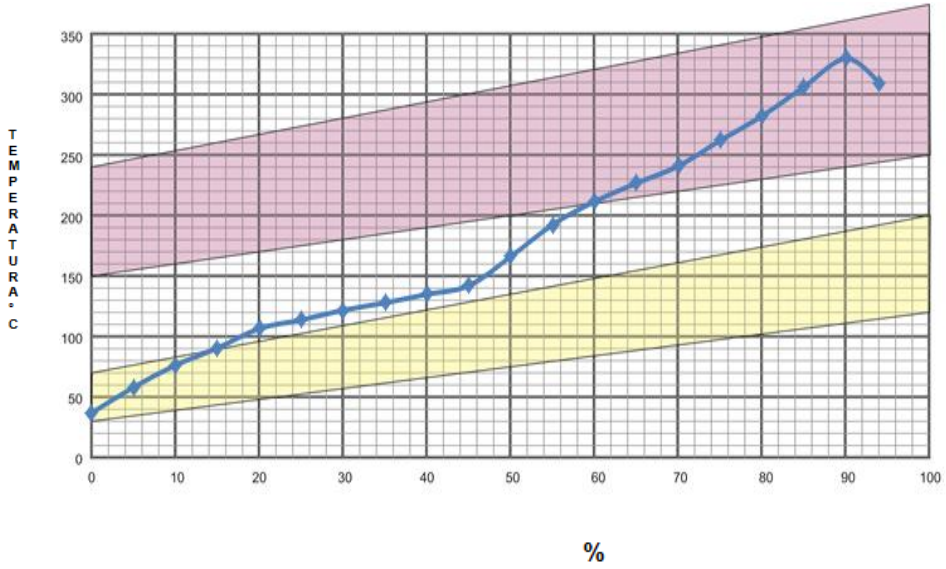
	Curva de Destilación ASTM D86		
		Fecha	viernes, 20 de junio de 2014
	Analisis de Combustibles No.		AC-82
	Muestra:	08, PP Con Catalizador a 525°C	
	Temperatura	Hora	Observación
Inicio	30	03:29:00 p.m.	
Inicio Ebullición			
0	46	03:33:00 p.m.	
5	66	03:34:00 p.m.	
10	81	03:35:00 p.m.	
15	95	03:36:00 p.m.	
20	108	03:37:00 p.m.	
25	115	03:38:00 p.m.	
30	124	03:38:00 p.m.	
35	129	03:39:00 p.m.	
40	136	03:40:00 p.m.	
45	143	03:40:00 p.m.	
50	152	03:41:00 p.m.	
55	166	03:42:00 p.m.	
60	186	03:42:00 p.m.	
65	205	03:44:00 p.m.	
70	220	03:45:00 p.m.	
75	234	03:46:00 p.m.	
80	249	03:47:00 p.m.	
85	265	03:48:00 p.m.	
90	286	03:49:00 p.m.	
95	318	03:49:00 p.m.	
97			
Peso Lleno; g	114		
Peso Vacio; g	40		
Volumen;ml	100		
Densidad; g/ml	0,7		
Peso Final; g	41		



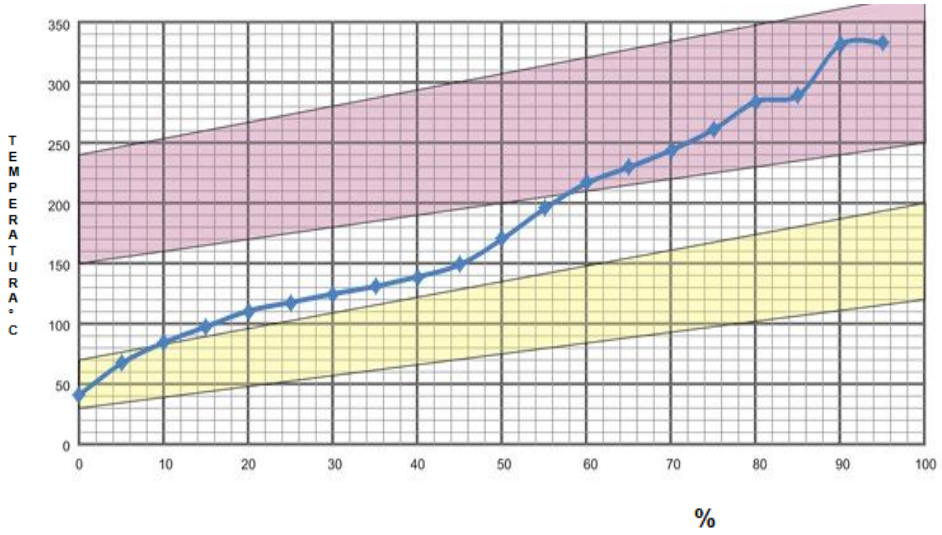
	Curva de Destilación ASTM D86		
		Fecha	martes, 24 de junio de 2014
	Analisis de Combustibles No.		
	Muestra:	09, PP Con Catalizador a 525°C	
	Temperatura	Hora	Observación
Inicio	22	10:00:00 a.m.	
Inicio Ebullición			
0	40	10:02:00 a.m.	
5	60	10:03:00 a.m.	
10	76	10:03:00 a.m.	
15	90	10:04:00 a.m.	
20	102	10:05:00 a.m.	
25	113	10:06:00 a.m.	
30	122	10:08:00 a.m.	
35	128	10:09:00 a.m.	
40	133	10:10:00 a.m.	
45	142	10:11:00 a.m.	
50	155	10:12:00 a.m.	
55	174	10:13:00 a.m.	
60	194	10:13:00 a.m.	
65	210	10:14:00 a.m.	
70	222	10:14:00 a.m.	
75	237	10:15:00 a.m.	
80	250	10:16:00 a.m.	
85	266	10:17:00 a.m.	
90	290	10:18:00 a.m.	
95	321	10:18:00 a.m.	
98			
Peso Lleno; g	114		
Peso Vacio; g	39		
Volumen;ml	100		
Densidad; g/ml	0,8		
Peso Final; g	41		



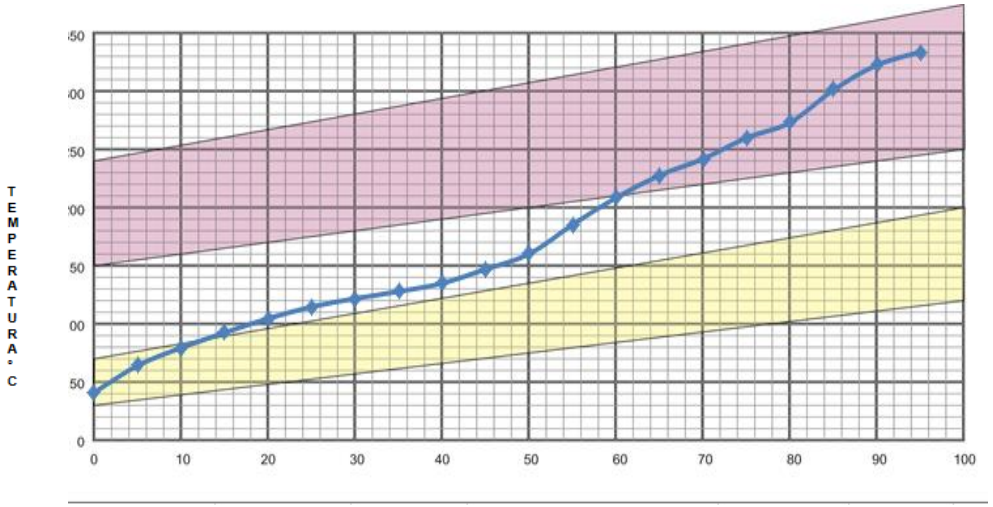
	Curva de Destilación ASTM D86		
		Fecha	02/04/14
	Analisis de Combustibles No.		AC-58
	Muestra:	10, Polipropileno con Catalizador a 600°C	
	Temperatura	Hora	Observación
Inicio	27	02:51:00 p.m.	
Inicio Ebullición			
0	41	02:54:00 p.m.	
5	62	02:55:00 p.m.	
10	80	02:56:00 p.m.	
15	94	02:57:00 p.m.	
20	110	02:58:00 p.m.	
25	117	02:59:00 p.m.	
30	125	03:00:00 p.m.	
35	131	03:01:00 p.m.	
40	138	03:02:00 p.m.	
45	145	03:03:00 p.m.	
50	169	03:06:00 p.m.	
55	195	03:07:00 p.m.	
60	214	03:08:00 p.m.	
65	229	03:10:00 p.m.	
70	243	03:12:00 p.m.	
75	264	03:13:00 p.m.	
80	284	03:14:00 p.m.	
85	308	03:16:00 p.m.	
90	331	03:17:00 p.m.	
94	311	03:19:00 p.m.	
96			
Peso Lleno; g	120		
Peso Vacio; g	46		
Volumen;ml	100		
Densidad; g/ml	0,7		
Peso Final; g	47		



	Curva de Destilación ASTM D86		
		Fecha	**29/04/14**
	Analisis de Combustibles No.		**AC-69**
	Muestra:	**11- PP Con 5% Catalizador a 600°C**	
	Temperatura	Hora	Observación
Inicio	25	01:10:00 p.m.	
Inicio Ebullición			
0	45	01:14:00 p.m.	
5	71	01:16:00 p.m.	
10	88	01:17:00 p.m.	
15	101	01:19:00 p.m.	
20	114	01:20:00 p.m.	
25	121	01:21:00 p.m.	
30	128	01:23:00 p.m.	
35	134	01:24:00 p.m.	
40	142	01:25:00 p.m.	
45	152	01:27:00 p.m.	
50	173	01:29:00 p.m.	
55	198	01:30:00 p.m.	
60	219	01:31:00 p.m.	
65	232	01:31:00 p.m.	
70	246	01:33:00 p.m.	
75	263	01:34:00 p.m.	
80	286	01:36:00 p.m.	
85	291	01:39:00 p.m.	
90	333	01:42:00 p.m.	
95	334	01:44:00 p.m.	
96			
Peso Lleno; g	115		
Peso Vacio; g	39		
Volumen;ml	100		
Densidad; g/ml	0,8		
Peso Final; g	41		

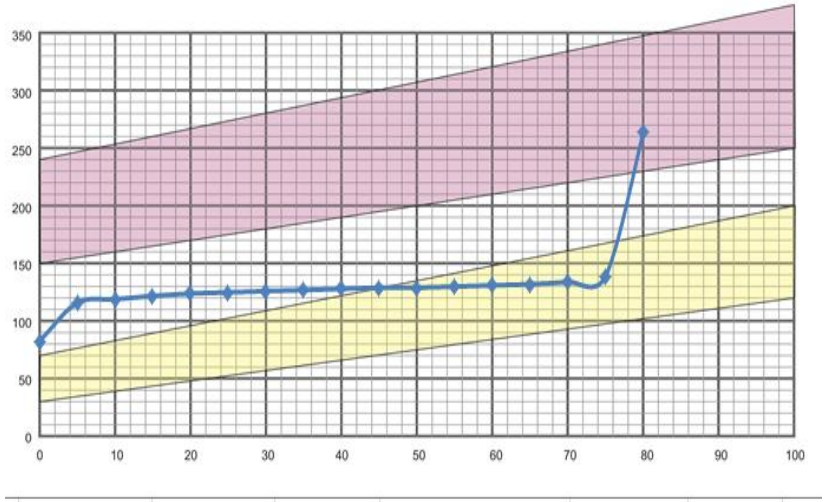


	Curva de Destilación ASTM D86		
		Fecha	**05/06/14**
	Analisis de Combustibles No.		**AC-76**
	Muestra:	**Crudo 106, PP Con Catalizador a 600°C**	
	Temperatura	Hora	Observación
Inicio	33	02:51:00 p.m.	
Inicio Ebullición			
0	45	02:55:00 p.m.	
5	68	02:57:00 p.m.	
10	83	02:58:00 p.m.	
15	96	02:59:00 p.m.	
20	108	03:00:00 p.m.	
25	118	03:01:00 p.m.	
30	125	03:02:00 p.m.	
35	131	03:04:00 p.m.	
40	138	03:05:00 p.m.	
45	150	03:06:00 p.m.	
50	163	03:08:00 p.m.	
55	188	03:10:00 p.m.	
60	211	03:12:00 p.m.	
65	230	03:13:00 p.m.	
70	244	03:14:00 p.m.	
75	262	03:15:00 p.m.	
80	275	03:16:00 p.m.	
85	303	03:18:00 p.m.	
90	324	03:19:00 p.m.	
95	335	03:20:00 p.m.	
100			
Peso Lleno; g	114		
Peso Vacio; g	39		
Volumen;ml	100		
Densidad; g/ml	0,8		
Peso Final; g	43		



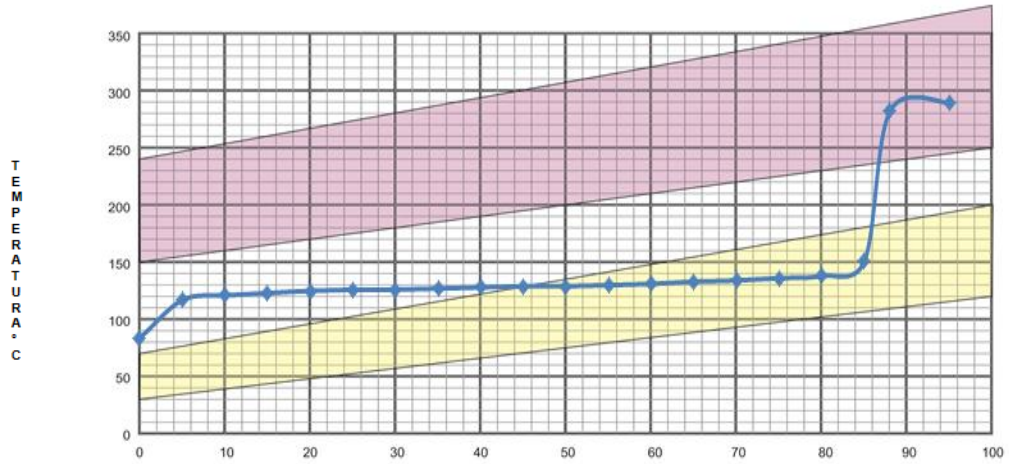
Curva de Destilación ASTM D86			
		Fecha	26/03/2014
Analisis de Combustibles No.			
	Muestra:	Crudo 13, PSE a 525°C sin c	
	Temperatura	Hora	Observación
Inicio	36	02:09:00 p.m.	
Inicio Ebullición			
0	86	02:17:00 p.m.	
5	119	02:19:00 p.m.	
10	122	02:20:00 p.m.	
15	125	02:21:00 p.m.	
20	127	02:22:00 p.m.	
25	128	02:23:00 p.m.	
30	129	02:24:00 p.m.	
35	130	02:26:00 p.m.	
40	131	02:27:00 p.m.	
45	132	02:28:00 p.m.	
50	132	02:29:00 p.m.	
55	133	02:30:00 p.m.	
60	134	02:31:00 p.m.	
65	135	02:32:00 p.m.	
70	137	02:34:00 p.m.	
75	142	02:35:00 p.m.	
80	266	02:39:00 p.m.	
83			
90			
95			
100			
Peso Lleno; g	129		
Peso Vacio; g	39		
Volumen;ml	100		
Densidad; g/ml	0,9		
Peso Final; g	56		

TEMPERATURA °C

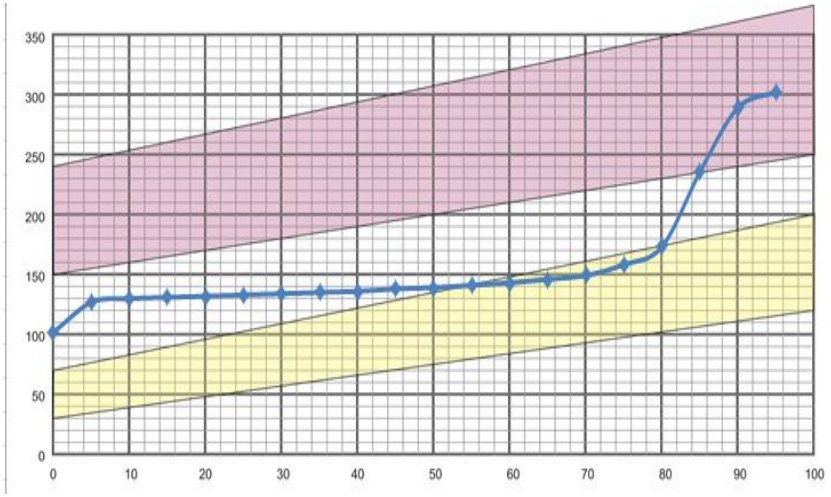


%

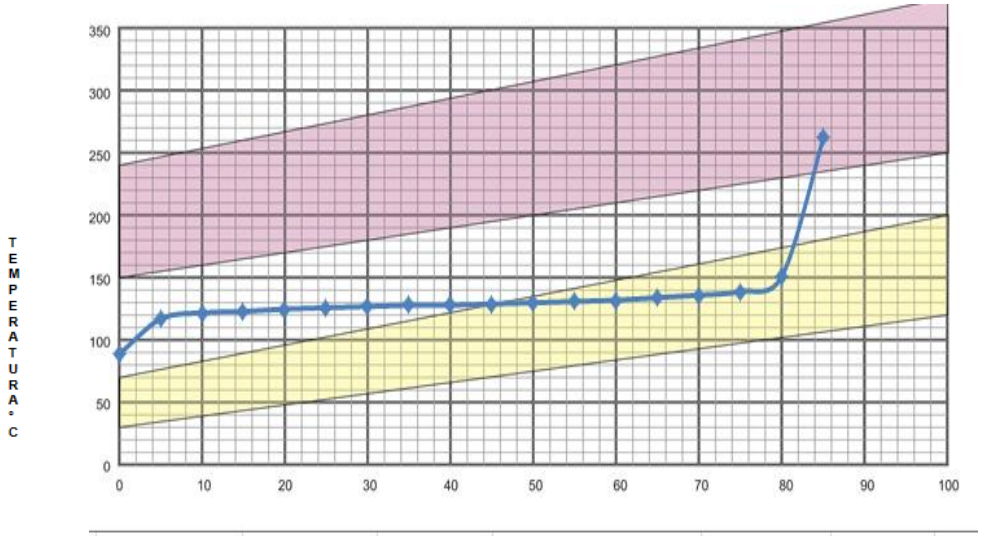
	Curva de Destilación ASTM D86		
		Fecha	**06/06/14**
	Analisis de Combustibles No.		**AC-78**
	Muestra:	**14 PSE Sin Catalizador a 525°C**	
	Temperatura	Hora	Observación
Inicio	32	04:26:00 p.m.	
Inicio Ebullición			
0	87	04:30:00 p.m.	
5	120	04:31:00 p.m.	
10	124	04:31:00 p.m.	
15	126	04:32:00 p.m.	
20	128	04:32:00 p.m.	
25	129	04:33:00 p.m.	
30	129	04:34:00 p.m.	
35	130	04:34:00 p.m.	
40	131	04:35:00 p.m.	
45	132	04:36:00 p.m.	
50	132	04:36:00 p.m.	
55	133	04:37:00 p.m.	
60	134	04:37:00 p.m.	
65	136	04:37:00 p.m.	
70	137	04:38:00 p.m.	
75	139	04:38:00 p.m.	
80	141	04:39:00 p.m.	
85	154	04:40:00 p.m.	
88	284	04:42:00 p.m.	
95	291	04:43:00 p.m.	
98			
Peso Lleno; g	127		
Peso Vacio; g	40		
Volumen;ml	100		
Densidad; g/ml	0,9		
Peso Final; g	41		



	Curva de Destilación ASTM D86		
		Fecha	viernes, 20 de junio de 2014
	Analisis de Combustibles No.		AC-81
	Muestra:		16-, PS Expandido Sin Catalizador a 600°C
	Temperatura	Hora	Observación
Inicio	30	02:35:00 p.m.	
Inicio Ebullición			
0	105	02:43:00 p.m.	
5	130	02:45:00 p.m.	
10	133	02:46:00 p.m.	
15	134	02:47:00 p.m.	
20	135	02:49:00 p.m.	
25	136	02:50:00 p.m.	
30	137	02:51:00 p.m.	
35	138	02:52:00 p.m.	
40	139	02:53:00 p.m.	
45	141	02:53:00 p.m.	
50	142	02:54:00 p.m.	
55	144	02:55:00 p.m.	
60	146	02:56:00 p.m.	
65	149	02:57:00 p.m.	
70	152	02:59:00 p.m.	
75	161	02:59:00 p.m.	
80	176	03:00:00 p.m.	
85	238	03:01:00 p.m.	
90	291	03:02:00 p.m.	
95	303	03:04:00 p.m.	
97			
Peso Lleno; g	126		
Peso Vacio; g	39		
Volumen;ml	100		
Densidad; g/ml	0,9		
Peso Final; g	42		

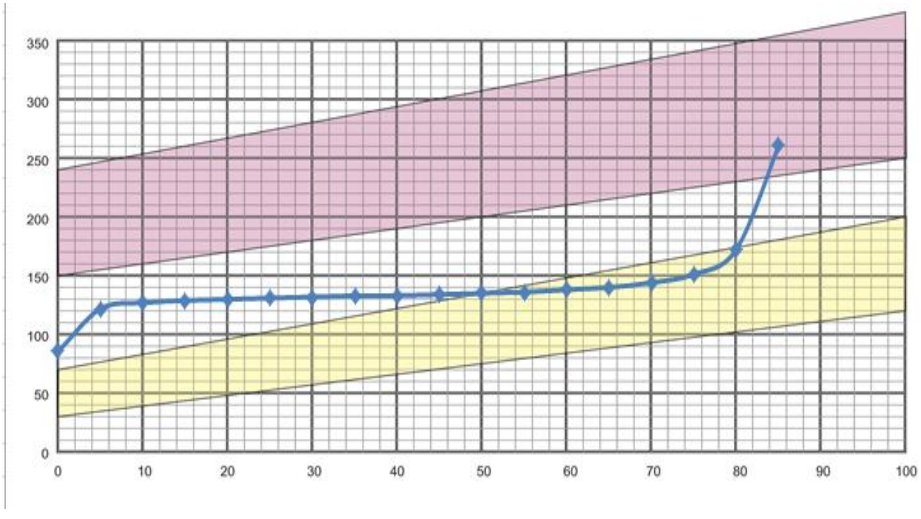


Curva de Destilación ASTM D86			
		Fecha	26/03/2014
Analisis de Combustibles No.			
	Muestra:		17, PSE a 600°C sin c
	Temperatura	Hora	Observación
Inicio	31	##########	
Inicio Ebullición			
0	92	01:29:00 p.m.	
5	120	01:30:00 p.m.	
10	125	01:31:00 p.m.	
15	126	01:32:00 p.m.	
20	128	01:33:00 p.m.	
25	129	01:34:00 p.m.	
30	130	01:35:00 p.m.	
35	131	01:36:00 p.m.	
40	131	01:36:00 p.m.	
45	132	01:38:00 p.m.	
50	133	01:39:00 p.m.	
55	134	01:39:00 p.m.	
60	135	01:40:00 p.m.	
65	137	01:42:00 p.m.	
70	139	01:43:00 p.m.	
75	142	01:45:00 p.m.	
80	154	01:46:00 p.m.	
85	264		
87			
91			
100			
Peso Lleno; g	125		
Peso Vacio; g	39		
Volumen;ml	100		
Densidad; g/ml	0,86		
Peso Final; g	52		



124

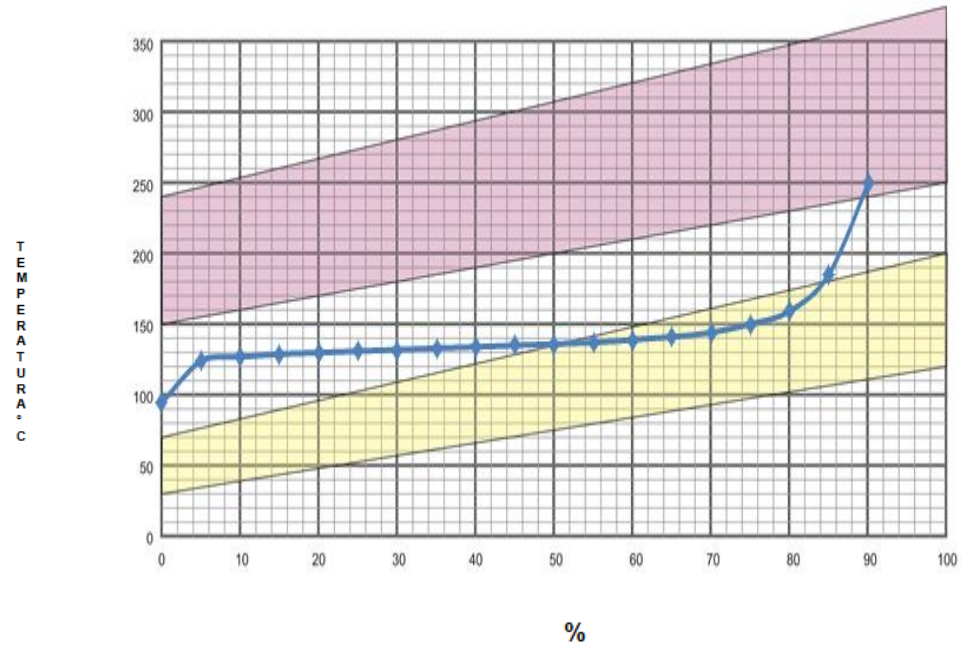
Curva de Destilación ASTM D86			
		Fecha	03/06/2014
Analisis de Combustibles No.			
	Muestra:	Crudo 18, PS Expandido Sin Catalizador a 600°C	
	Temperatura	Hora	Observación
Inicio	32	04:20:00 p.m.	
Inicio Ebullición			
0	89	04:25:00 p.m.	
5	125	04:25:00 p.m.	
10	130	04:26:00 p.m.	
15	132	04:26:00 p.m.	
20	133	04:27:00 p.m.	
25	134	04:28:00 p.m.	
30	135	04:28:00 p.m.	
35	136	04:29:00 p.m.	
40	136	04:29:00 p.m.	
45	137	04:30:00 p.m.	
50	138	04:30:00 p.m.	
55	139	04:31:00 p.m.	
60	141	04:32:00 p.m.	
65	143	04:32:00 p.m.	
70	147	04:33:00 p.m.	
75	154	04:33:00 p.m.	
80	175	04:35:00 p.m.	
85	263	04:37:00 p.m.	
90			
95			
96			
Peso Lleno; g	125		
Peso Vacio; g	39		
Volumen;ml	100		
Densidad; g/ml	0,9		
Peso Final; g	54		



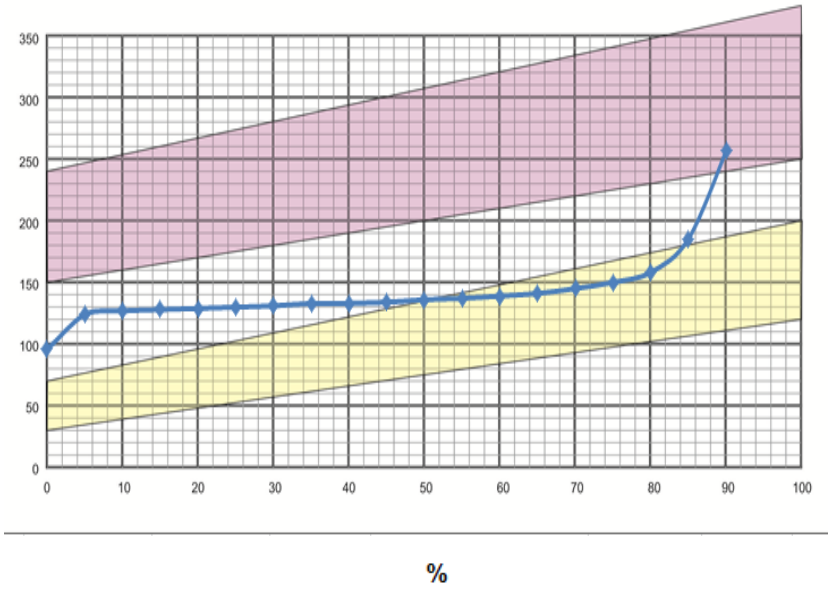
%

125

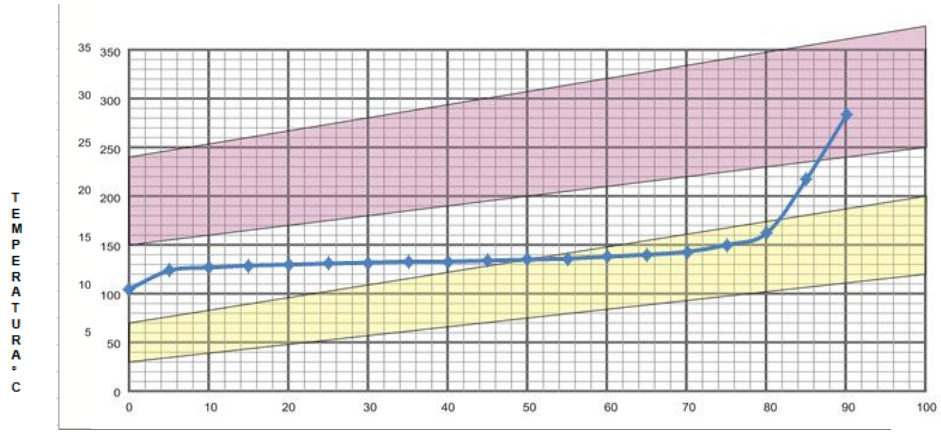
	Curva de Destilación ASTM D86		
		Fecha	**martes, 24 de junio de 2014**
	Analisis de Combustibles No.		**AC-84**
		Muestra:	**19- PSE Con Catalizador a 525°C**
	Temperatura	Hora	Observación
Inicio	38	10:34:00 a.m.	
Inicio Ebullición			
0	98	10:38:00 a.m.	
5	127	10:38:00 a.m.	
10	130	10:39:00 a.m.	
15	132	10:41:00 a.m.	
20	133	10:42:00 a.m.	
25	134	10:43:00 a.m.	
30	135	10:44:00 a.m.	
35	136	10:46:00 a.m.	
40	137	10:47:00 a.m.	
45	138	10:49:00 a.m.	
50	139	10:50:00 a.m.	
55	140	10:51:00 a.m.	
60	142	10:52:00 a.m.	
65	144	10:53:00 a.m.	
70	147	10:54:00 a.m.	
75	153	10:56:00 a.m.	
80	162	10:58:00 a.m.	
85	188	10:59:00 a.m.	
90	252	11:00:00 a.m.	
93			
Peso Lleno;	126		
Peso Vacio;	39		
Volumen;m	100		
Densidad; g	0,9		
Peso Final;	48		



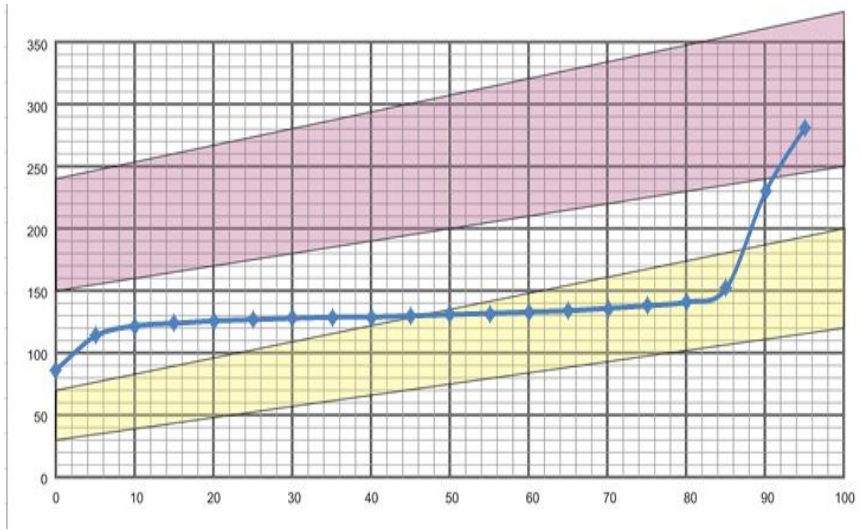
	Curva de Destilación ASTM D86		
		Fecha	**miércoles, 02 de abril de 2014**
	Analisis de Combustibles No.		**AC-59**
	Muestra:	**22, Poliestireno expandido con Catalizador a 600°C**	
	Temperatura	Hora	Observación
Inicio	30	03:50:00 p.m.	
Inicio Ebullición			
0	86	03:58:00 p.m.	
5	125	03:59:00 p.m.	
10	129	04:00:00 p.m.	
15	130	04:02:00 p.m.	
20	131	04:03:00 p.m.	
25	132	04:04:00 p.m.	
30	132	04:05:00 p.m.	
35	133	04:06:00 p.m.	
40	134	04:07:00 p.m.	
45	134	04:08:00 p.m.	
50	135	04:08:00 p.m.	
55	135	04:09:00 p.m.	
60	136	04:10:00 p.m.	
65	136	04:11:00 p.m.	
70	138	04:12:00 p.m.	
75	144	04:13:00 p.m.	
80	272	04:16:00 p.m.	
85	296	04:17:00 p.m.	
90	296	04:18:00 p.m.	
95	296	04:19:00 p.m.	
97			
Peso Lleno; g	135		
Peso Vacio; g	45		
Volumen;ml	100		
Densidad; g/ml	0,9		
Peso Final; g	47		



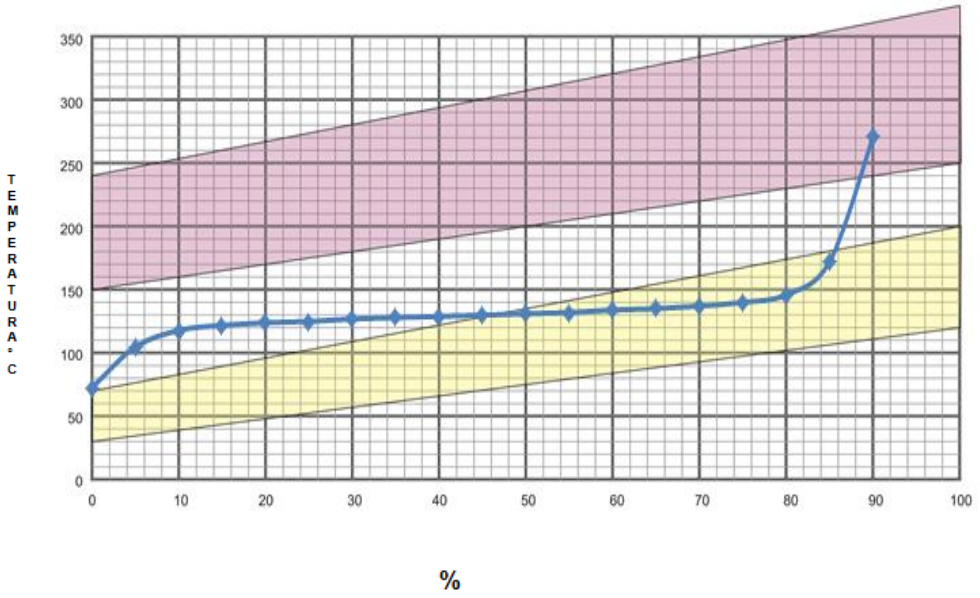
Curva de Destilación ASTM D86			
		Fecha	05/06/14
Analisis de Combustibles No.			AC-74
	Muestra:	C24, PS Expandido Con Catalizador a 600°C	
	Temperatura	Hora	Observación
Inicio	28	01:30:00 p.m.	
Inicio Ebullición			
0	108	01:36:00 p.m.	
5	127	01:37:00 p.m.	
10	130	01:38:00 p.m.	
15	132	01:39:00 p.m.	
20	133	01:40:00 p.m.	
25	134	01:41:00 p.m.	
30	135	01:41:00 p.m.	
35	136	01:42:00 p.m.	
40	136	01:42:00 p.m.	
45	137	01:43:00 p.m.	
50	138	01:44:00 p.m.	
55	139	01:44:00 p.m.	
60	141	01:45:00 p.m.	
65	143	01:46:00 p.m.	
70	146	01:47:00 p.m.	
75	153	01:49:00 p.m.	
80	165	01:50:00 p.m.	
85	220	01:51:00 p.m.	
90	285	01:53:00 p.m.	
94			
100			
Peso Lleno; g	126		
Peso Vacio; g	39		
Volumen;ml	100		
Densidad; g/ml	0,9		
Peso Final; g	48		



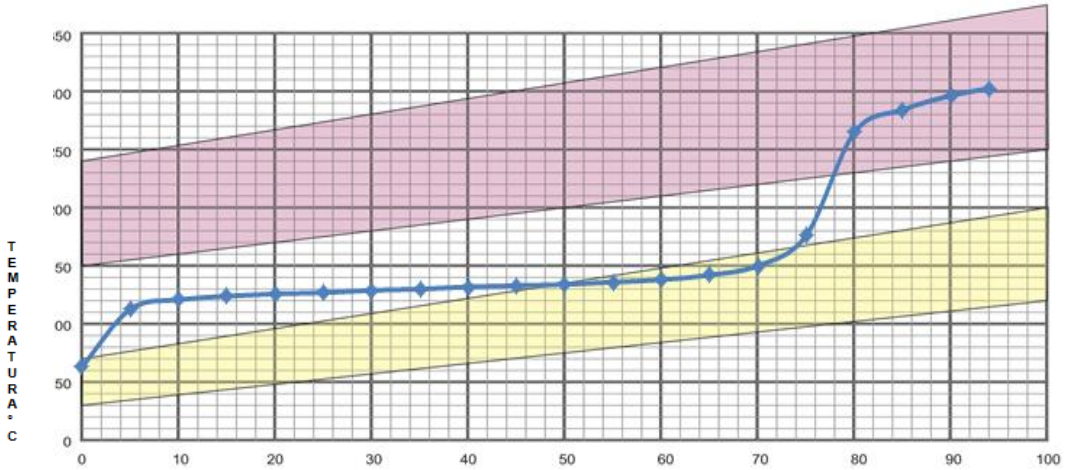
	Curva de Destilación ASTM D86		
		Fecha	viernes, 04 de abril de 2014
	Analisis de Combustibles No.		AC-65
	Muestra:	25 , Poliestireno Rígido Sin Catalizador a 525°C	
	Temperatura	Hora	Observación
Inicio	32	01:57:00 p.m.	
Inicio Ebullición			
0	90	02:02:00 p.m.	
5	117	02:03:00 p.m.	
10	125	02:04:00 p.m.	
15	127	02:05:00 p.m.	
20	129	02:05:00 a.m.	
25	130	02:06:00 p.m.	
30	131	02:06:00 p.m.	
35	132	02:07:00 p.m.	
40	132	02:07:00 p.m.	
45	133	02:08:00 p.m.	
50	134	02:09:00 p.m.	
55	135	02:09:00 p.m.	
60	136	02:10:00 p.m.	
65	137	02:11:00 p.m.	
70	139	02:12:00 p.m.	
75	141	02:13:00 p.m.	
80	144	02:14:00 p.m.	
85	155	02:15:00 p.m.	
90	232	02:16:00 p.m.	
95	283	02:18:00 p.m.	
96			
Peso Lleno; g	134		
Peso Vacio; g	45		
Volumen;ml	100		
Densidad; g/ml	0,9		
Peso Final; g	49		



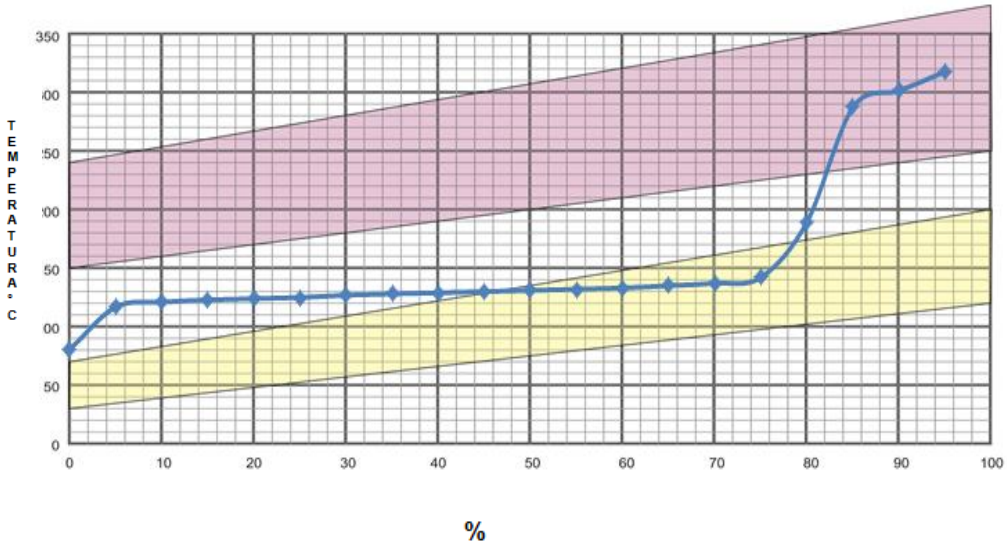
Curva de Destilación ASTM D86			
		Fecha	19/03/2014
Analisis de Combustibles No.			
	Muestra:	**Crudo 26, PS Rigido a 525°C SIN C**	
	Temperatura	Hora	Observación
Inicio	28	11:51:00 a.m.	
Inicio Ebullición			
0	76	11:55:00 a.m.	
5	108	11:56:00 a.m.	
10	121	11:56:00 a.m.	
15	125	11:57:00 a.m.	
20	127	11:57:00 a.m.	
25	128	11:58:00 a.m.	
30	130	11:58:00 a.m.	
35	131	11:59:00 a.m.	
40	132	11:59:00 a.m.	
45	133	11:59:00 a.m.	
50	134	12:00:00 p.m.	
55	135	12:00:00 p.m.	
60	137	12:01:00 p.m.	
65	138	12:01:00 p.m.	
70	140	12:02:00 p.m.	
75	143	12:02:00 p.m.	
80	149	12:03:00 p.m.	
85	175	12:04:00 p.m.	
90	273	12:05:00 p.m.	
91			
100			
Peso Lleno; g	126		
Peso Vacio; g	39		
Volumen;ml	100		
Densidad; g/ml	0,87		
Peso Final; g	47		



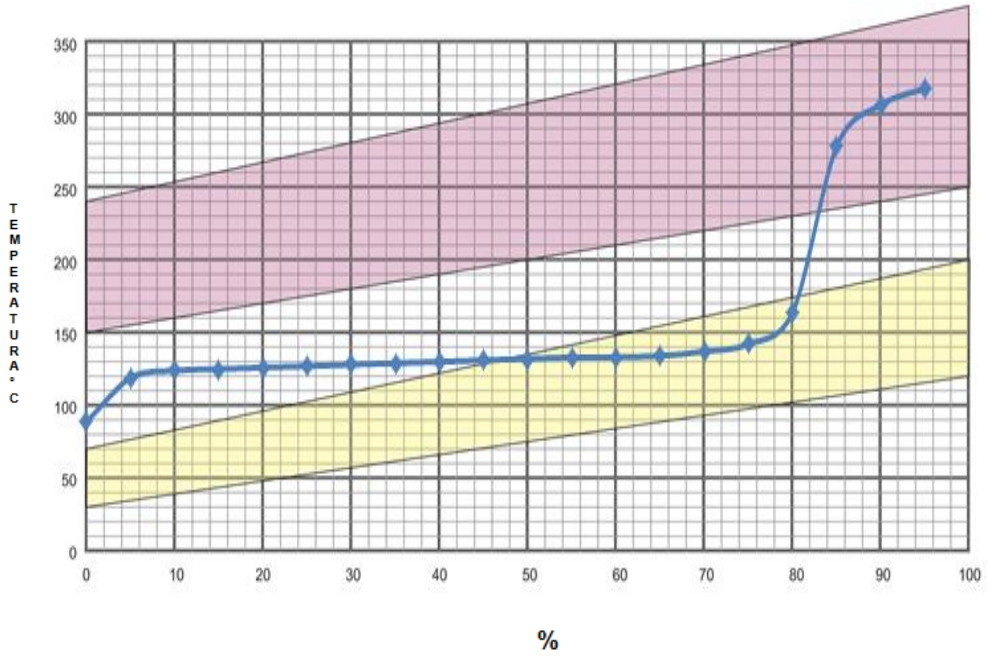
	Curva de Destilación ASTM D86		
		Fecha	viernes, 04 de abril de 2014
	Analisis de Combustibles No.		AC-64
	Muestra:	27 Poliestireno Sin Catalizador a 525°C	
	Temperatura	Hora	Observación
Inicio	31	11:58:00 a.m.	
Inicio Ebullición			
0	67	12:06:00 p.m.	
5	116	12:07:00 p.m.	
10	124	12:08:00 p.m.	
15	127	12:08:00 p.m.	
20	129	12:09:00 p.m.	
25	130	12:10:00 p.m.	
30	132	12:11:00 p.m.	
35	133	12:11:00 p.m.	
40	135	12:12:00 p.m.	
45	136	12:12:00 p.m.	
50	137	12:13:00 p.m.	
55	139	12:14:00 p.m.	
60	141	12:15:00 p.m.	
65	145	12:16:00 p.m.	
70	153	12:17:00 p.m.	
75	179	12:18:00 p.m.	
80	267	12:19:00 p.m.	
85	286	12:20:00 p.m.	
90	298	12:21:00 p.m.	
94	304	12:22:00 p.m.	
96			
Peso Lleno; g	132		
Peso Vacio; g	45		
Volumen;ml	100		
Densidad; g/ml	0,9		
Peso Final; g	49		



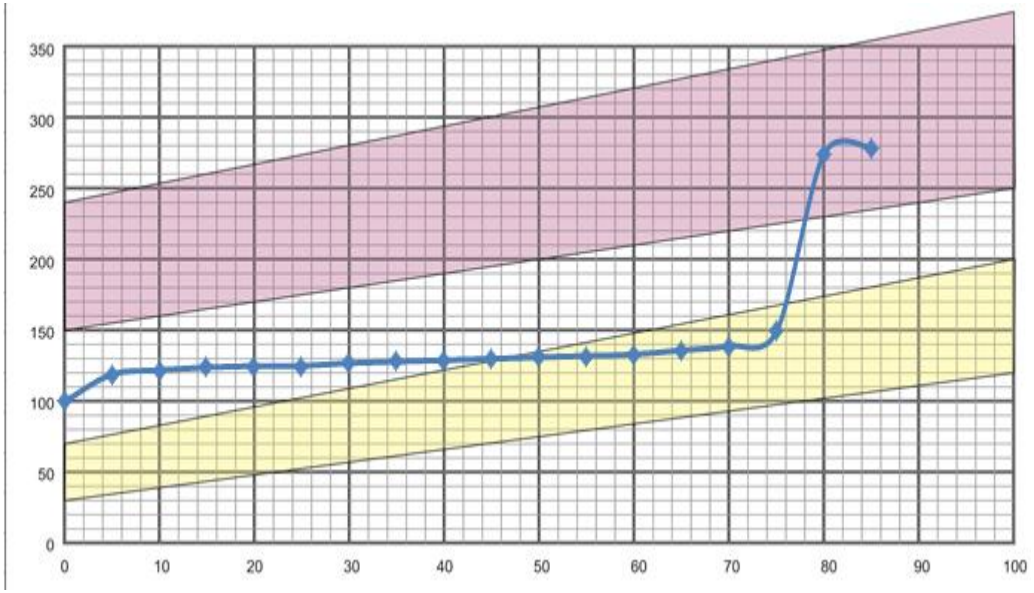
	Curva de Destilación ASTM D86		
		Fecha	04/04/14
	Analisis de Combustibles No.		
	Muestra:	28, Poliestireno Rígido Sin Catalizador a 600°C	
	Temperatura	Hora	Observación
Inicio	32	02:40:00 p.m.	
Inicio Ebullición			
0	84	02:47:00 p.m.	
5	120	02:48:00 p.m.	
10	124	02:49:00 p.m.	
15	126	02:50:00 p.m.	
20	127	02:51:00 p.m.	
25	128	02:52:00 p.m.	
30	130	02:53:00 p.m.	
35	131	02:54:00 p.m.	
40	132	02:54:00 p.m.	
45	133	02:55:00 p.m.	
50	134	02:56:00 p.m.	
55	135	02:56:00 p.m.	
60	136	02:57:00 p.m.	
65	138	02:57:00 p.m.	
70	140	02:58:00 p.m.	
75	145	02:59:00 p.m.	
80	192	03:01:00 p.m.	
85	289	03:02:00 p.m.	
90	303	03:03:00 p.m.	
95	319	03:05:00 p.m.	
96			
Peso Lleno; g	134		
Peso Vacio; g	45		
Volumen;ml	100		
Densidad; g/ml	0,9		
Peso Final; g	48		



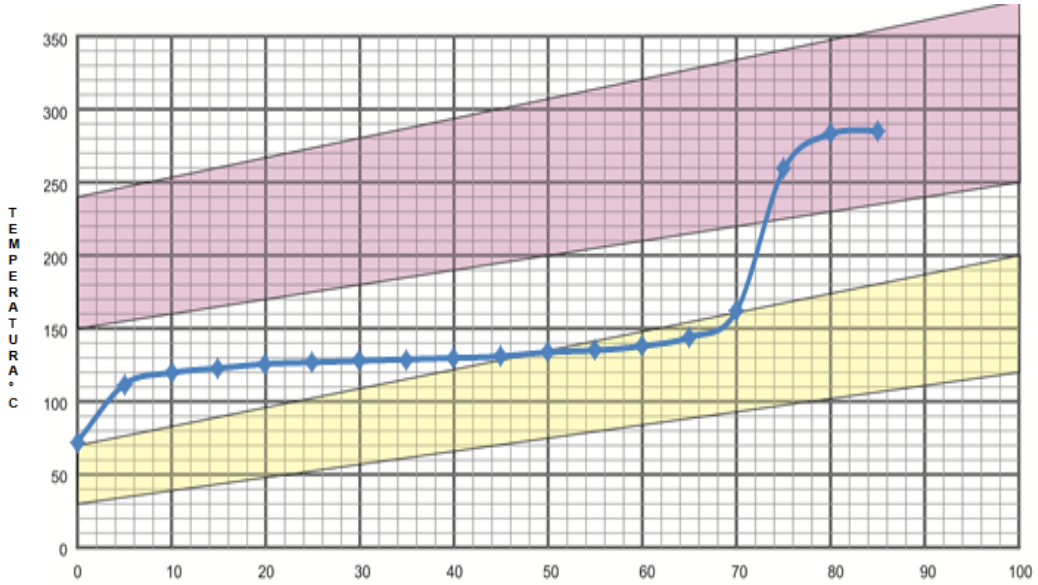
	Curva de Destilación ASTM D86		
		Fecha	**viernes, 04 de abril de 2014**
	Analisis de Combustibles No.		**AC-67**
	Muestra:	**Crudo 29, Poliestireno Rígido Sin Catalizador a 600°C**	
	Temperatura	Hora	Observación
Inicio	28	03:39:00 p.m.	
Inicio Ebullición			
0	92	03:46:00 p.m.	
5	122	03:47:00 p.m.	
10	127	03:47:00 p.m.	
15	128	03:48:00 p.m.	
20	129	03:49:00 p.m.	
25	130	03:49:00 p.m.	
30	131	03:50:00 p.m.	
35	132	03:51:00 p.m.	
40	133	03:51:00 p.m.	
45	134	03:52:00 p.m.	
50	135	03:52:00 p.m.	
55	136	03:53:00 p.m.	
60	136	03:54:00 p.m.	
65	137	03:54:00 p.m.	
70	140	03:55:00 p.m.	
75	145	03:56:00 p.m.	
80	167	03:57:00 p.m.	
85	280	03:56:00 p.m.	
90	308	03:59:00 p.m.	
95	319	04:00:00 p.m.	
96			
Peso Lleno; g	135		
Peso Vacio; g	45		
Volumen;ml	100		
Densidad; g/ml	0,9		
Peso Final; g	48		



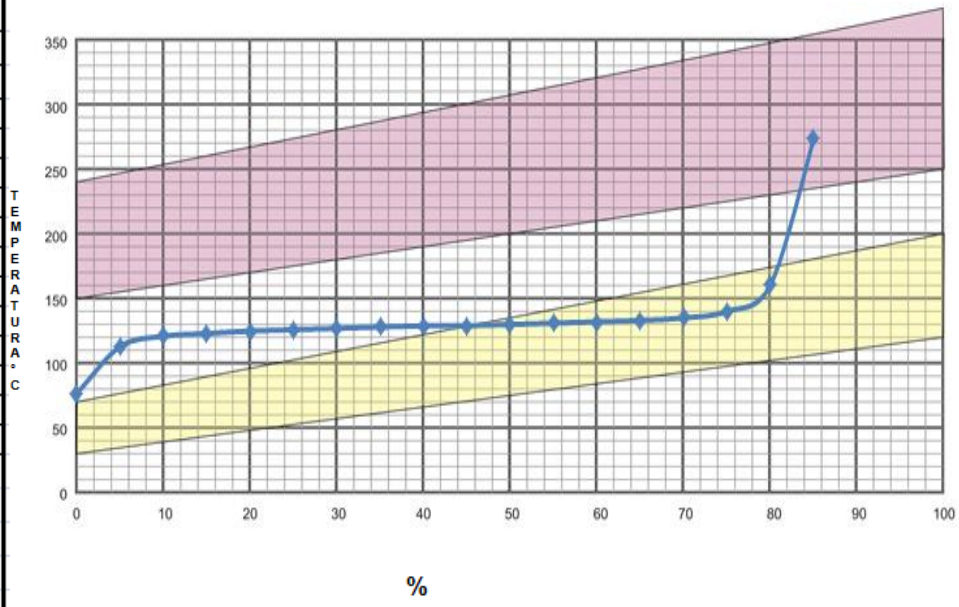
	Curva de Destilación ASTM D86		
		Fecha	26/03/2014
	Analisis de Combustibles No.		
	Muestra:	Crudo 30, PS Rigido a 600°CSIN C	
	Temperatura	Hora	Observación
Inicio	32	11:24:00 a.m.	
Inicio Ebullición			
0	103	11:29:00 a.m.	
5	122	11:30:00 a.m.	
10	125	11:31:00 a.m.	
15	127	11:32:00 a.m.	
20	128	11:33:00 a.m.	
25	128	11:35:00 a.m.	
30	130	11:36:00 a.m.	
35	131	11:37:00 a.m.	
40	132	11:38:00 a.m.	
45	133	11:39:00 a.m.	
50	134	11:41:00 a.m.	
55	135	11:42:00 a.m.	
60	136	11:44:00 a.m.	
65	139	11:46:00 a.m.	
70	142	11:47:00 a.m.	
75	152	11:50:00 a.m.	
80	276	11:53:00 a.m.	
85	280	11:55:00 a.m.	
87			
91			
100			
Peso Lleno; g	129		
Peso Vacio; g	39		
Volumen;ml	100		
Densidad; g/ml	0,9		
Peso Final; g	50		



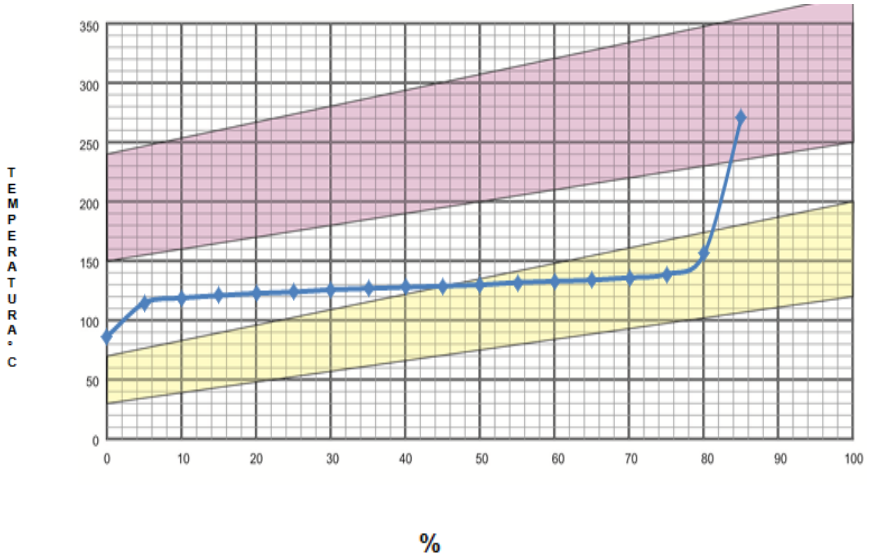
	Curva de Destilación ASTM D86		
		Fecha	27/03/2014
	Analisis de Combustibles No.		
	Muestra:	31, PS Rigido a 600°C con 5% de Catalizador	
	Temperatura	Hora	Observación
Inicio	34	02:42:00 p.m.	
Inicio Ebullición			
0	76	02:47:00 p.m.	
5	115	02:48:00 p.m.	
10	123	02:49:00 p.m.	
15	126	02:49:00 p.m.	
20	129	02:50:00 p.m.	
25	130	02:51:00 p.m.	
30	131	02:51:00 p.m.	
35	132	02:52:00 p.m.	
40	133	02:53:00 p.m.	
45	134	02:54:00 p.m.	
50	137	02:54:00 p.m.	
55	138	02:55:00 p.m.	
60	141	02:56:00 p.m.	
65	147	02:57:00 p.m.	
70	165	02:59:00 p.m.	
75	261	03:00:00 p.m.	
80	285	03:02:00 p.m.	
85	287	03:03:00 p.m.	
88			
92			
100			
Peso Lleno; g	127		
Peso Vacio; g	39		
Volumen;ml	100		
Densidad; g/ml	0,88		
Peso Final; g	51		



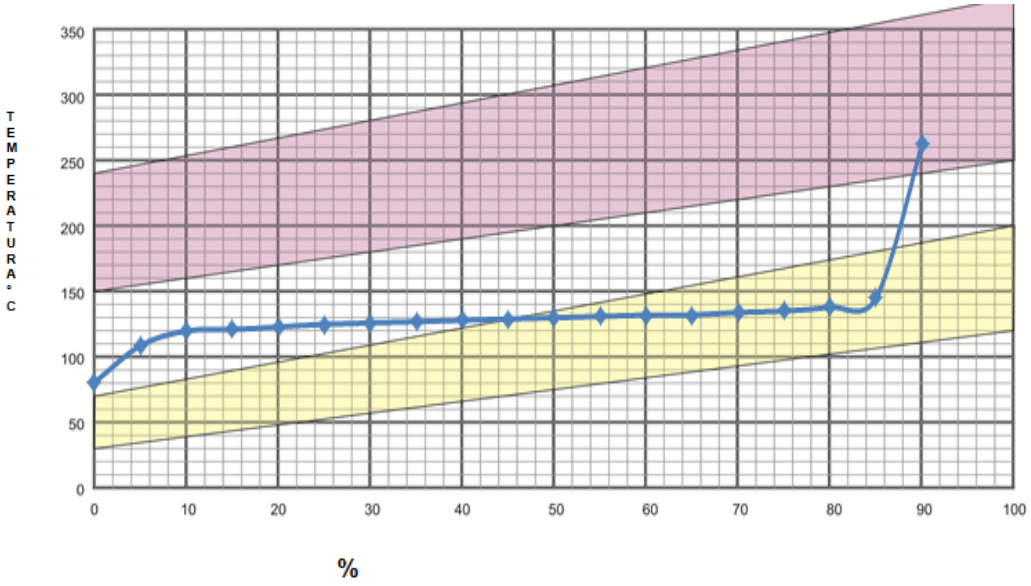
	Curva de Destilación ASTM D86		
		Fecha	martes, 03 de junio de 2014
	Analisis de Combustibles No.		AC-70
	Muestra:	Crudo 32, PS Con 5% Catalizador a 600°C	
	Temperatura	Hora	Observación
Inicio	31	03:46:00 p.m.	
Inicio Ebullición			
0	80	03:50:00 p.m.	
5	116	03:51:00 p.m.	
10	124	03:51:00 p.m.	
15	126	03:52:00 p.m.	
20	128	03:52:00 p.m.	
25	129	03:52:00 p.m.	
30	130	03:53:00 p.m.	
35	131	03:53:00 p.m.	
40	132	03:53:00 p.m.	
45	132	03:54:00 p.m.	
50	133	03:54:00 p.m.	
55	134	03:55:00 p.m.	
60	135	03:56:00 p.m.	
65	136	03:56:00 p.m.	
70	138	03:56:00 p.m.	
75	143	03:57:00 p.m.	
80	163	03:58:00 p.m.	
85	275	04:01:00 p.m.	
90			
95			
96			
Peso Lleno; g	129		
Peso Vacio; g	39		
Volumen;ml	100		
Densidad; g/ml	0,9		
Peso Final; g	52		



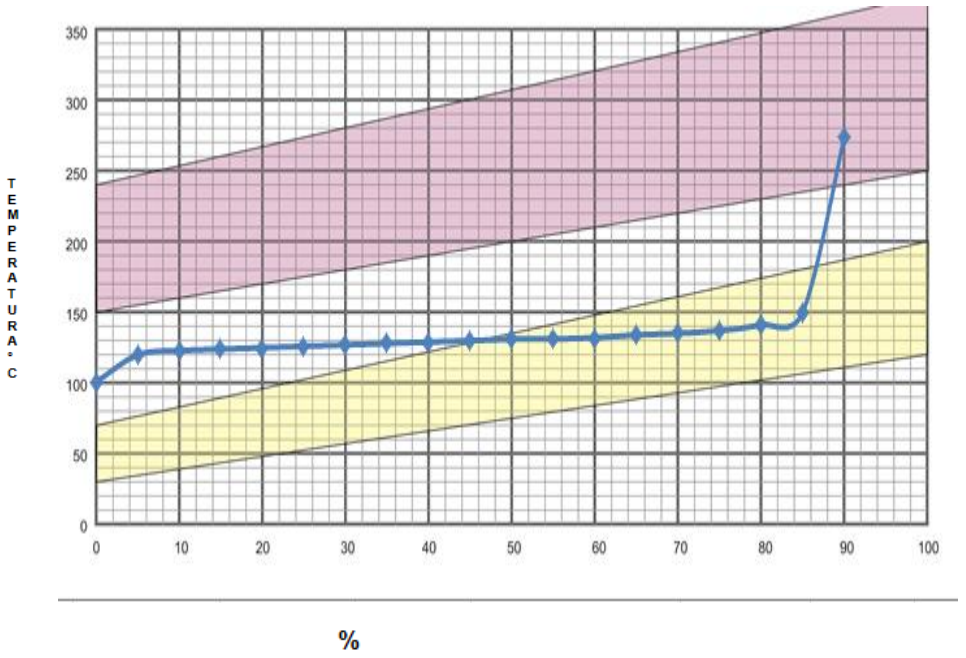
	Curva de Destilación ASTM D86		
		Fecha	**jueves, 05 de junio de 2014**
	Analisis de Combustibles No.		**AC-75**
	Muestra:	**C 33, PS Rígido Con Catalizador a 600°C**	
	Temperatura	Hora	Observación
Inicio	33	02:11:00 p.m.	
Inicio Ebullición			
0	90	02:15:00 p.m.	
5	118	02:16:00 p.m.	
10	122	02:17:00 p.m.	
15	124	02:19:00 p.m.	
20	126	02:21:00 p.m.	
25	127	02:22:00 p.m.	
30	129	02:24:00 p.m.	
35	130	02:24:00 p.m.	
40	131	02:25:00 p.m.	
45	132	02:26:00 p.m.	
50	133	02:27:00 p.m.	
55	135	02:28:00 p.m.	
60	136	02:28:00 p.m.	
65	137	02:30:00 p.m.	
70	139	02:31:00 p.m.	
75	142	02:32:00 p.m.	
80	159	02:33:00 p.m.	
85	273	02:36:00 p.m.	
86			
95			
100			
Peso Lleno; g	130		
Peso Vacio; g	39		
Volumen;ml	100		
Densidad; g/ml	0,9		
Peso Final; g	54		



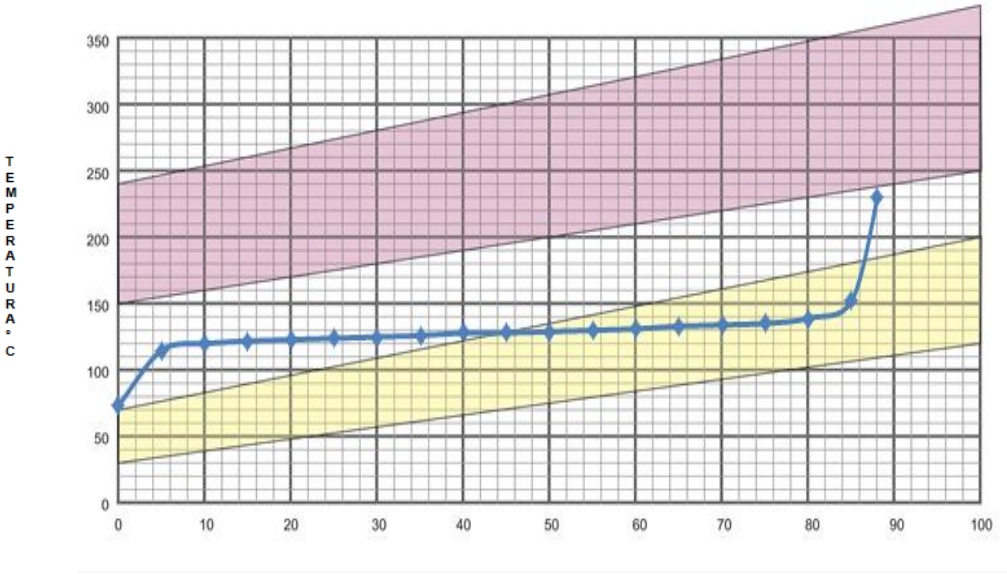
	Curva de Destilación ASTM D86		
		Fecha	**viernes, 20 de junio de 2014**
	Analisis de Combustibles No.		**AC-80**
	Muestra:	**Crudo 34, PS Rigido Con Catalizador a 525°C**	
	Temperatura	Hora	Observación
Inicio	42	11:24:00 a.m.	
Inicio Ebullición			
0	84	11:28:00 a.m.	
5	112	11:29:00 a.m.	
10	123	11:30:00 a.m.	
15	124	11:31:00 a.m.	
20	126	11:33:00 a.m.	
25	128	11:34:00 a.m.	
30	129	11:36:00 a.m.	
35	130	11:37:00 a.m.	
40	131	11:38:00 a.m.	
45	132	11:39:00 a.m.	
50	133	11:40:00 a.m.	
55	134	11:41:00 a.m.	
60	135	11:42:00 a.m.	
65	135	11:43:00 a.m.	
70	137	11:44:00 a.m.	
75	138	11:44:00 a.m.	
80	141	11:45:00 a.m.	
85	148	11:46:00 a.m.	
90	265	11:48:00 a.m.	
92			
100			
Peso Lleno; g	129		
Peso Vacio; g	39		
Volumen;ml	100		
Densidad; g/ml	0,9		
Peso Final; g	46		



	Curva de Destilación ASTM D86		
		Fecha	27/03/2014
	Analisis de Combustibles No.	35	
	Muestra:	PS Rigido a 525°C con 5% de Catalizador	
	Temperatura	Hora	Observación
Inicio	30	01:58:00 p.m.	
Inicio Ebullición			
0	104	02:04:00 p.m.	
5	123	02:05:00 p.m.	
10	126	02:05:00 p.m.	
15	127	02:06:00 p.m.	
20	128	02:07:00 p.m.	
25	129	02:08:00 p.m.	
30	130	02:08:00 p.m.	
35	131	02:09:00 p.m.	
40	132	02:10:00 p.m.	
45	133	02:11:00 p.m.	
50	134	02:11:00 p.m.	
55	134	02:12:00 p.m.	
60	135	02:13:00 p.m.	
65	137	02:14:00 p.m.	
70	138	02:15:00 p.m.	
75	140	02:16:00 p.m.	
80	144	02:17:00 p.m.	
85	153	02:19:00 p.m.	
90	276	02:22:00 p.m.	
92			
100			
Peso Lleno; g	128		
Peso Vacio; g	39		
Volumen;ml	100		
Densidad; g/ml	0,89		
Peso Final; g	47		



	Curva de Destilación ASTM D86		
		Fecha	viernes, 06 de junio de 2014
	Analisis de Combustibles No.		AC-77
	Muestra:	Crudo 36, PS Con Catalizador a 525°C	
	Temperatura	Hora	Observación
Inicio	25	03:47:00 p.m.	
Inicio Ebullición			
0	77	03:52:00 p.m.	
5	118	03:53:00 p.m.	
10	123	03:53:00 p.m.	
15	125	03:54:00 p.m.	
20	126	03:55:00 p.m.	
25	127	03:56:00 p.m.	
30	128	03:57:00 p.m.	
35	129	03:57:00 p.m.	
40	131	03:58:00 p.m.	
45	131	03:59:00 p.m.	
50	132	04:00:00 p.m.	
55	133	04:00:00 p.m.	
60	134	04:01:00 p.m.	
65	136	04:01:00 p.m.	
70	137	04:02:00 p.m.	
75	138	04:02:00 p.m.	
80	142	04:03:00 p.m.	
85	155	04:04:00 p.m.	
88	232	04:06:00 p.m.	
95			
100			
Peso Lleno; g	129		
Peso Vacio; g	39		
Volumen;ml	100		
Densidad; g/ml	0,9		
Peso Final; g	49		



ANEXO E: REGISTRO FOTOGRÁFICO

Crudo obtenido de polipropileno

Crudo obtenido de poliestireno expandido

Crudo de poliestireno rígido

Carbonilla y catalizador en el reactor obtenida

Carbonilla y catalizador obtenido

Carbonilla y catalizador obtenido

Laboratorio Dr. calderón labs asistencia técnica agrícola

Reactor de despolimerización catalítica

Reactor de despolimerización catalítica