



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS

**“Determinación del uso de Plástico PET como Alternativa
al uso de Madera en Fortificación Minera.”**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO EN MINAS

Autor:

DANIEL FRANCISCO RODRÍGUEZ ANDRADE

Director:

ERNESTO PATRICIO FEIJOO CALLE

CUENCA, ECUADOR

2018

DEDICATORIA

El siguiente proyecto de grado está dedicado a Catalina del Rocío Andrade Rodas, mi madre, mi amiga y mi confidente, sé que siempre cuidarás de mí.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a la Universidad del Azuay por todas las enseñanzas que recibí a lo largo de estos años y que me permitirán ejercer mi carrera de la mejor manera sirviendo a mi país y a mi gente, agradezco a mi tutor el Ing. Patricio Feijoo por toda la ayuda y apoyo que me brindó en los momentos más difíciles, a mis profesores de la carrera que con tanto esfuerzo transmitieron sus conocimientos y experiencias, al Ing. César Chica y su empresa INMEPLAST S.A ya que sin su ayuda este proyecto no hubiera podido ser realizado, al Sr. Ricardo Ordóñez que gracias a su ayuda y motivación encontré el camino a seguir para realizar este proyecto.

Agradezco también a mi hermano Jorge por apoyarme siempre en este largo y difícil camino, a mi novia Karina porque con su amor pude salir adelante siempre, a mis mejores amigos Felipe y Santiago que me enseñaron el valor de la verdadera amistad forjada a través de risas y lágrimas, a toda mi familia por su apoyo y comprensión.

Agradezco a mi madre, Catalina Andrade, por enseñarme a ser un hombre de bien y siempre seguir adelante.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO CARACTERÍSTICAS Y CLASIFICACIÓN DE PLÁSTICOS Y PET	4
1.1 Origen de los plásticos	4
1.2 Definición.....	8
1.3 Características Generales de los Plásticos.....	8
1.4 Clasificación General de los Plásticos.....	10
1.4.1 Según su Monómero Base.....	10
1.4.2 Según se Estructura Molecular.....	13
1.4.3 Según su Cadena Polimérica	14
1.4.4 Según los Monómeros que constituyen el Polímero	14
1.4.5 Según su Comportamiento Mecánico	15
1.4.6 Según su Comportamiento Térmico.....	16
1.4.7 Según su Tipo de Aplicación	18

1.5	Elementos Básicos de un Plástico	18
1.5.1	Materias Primas	19
1.5.2	Modificantes	19
1.6	Clasificación de los Plásticos según su plasticidad	24
1.6.1	Termoplásticos	25
1.6.2	Termoestables.....	29
1.7	Codificación	31
1.8	Polietileno de Tereftalato (PET).....	35
1.8.1	Características Principales.....	35
1.8.2	¿Cómo se Obtiene?.....	37
1.8.2.1	Proceso de Polimerización	38
1.8.2.2	Proceso de Cristalización.....	39
1.8.2.3	Proceso de Polimerización en Estado Sólido	39
1.9	PET Grado Botella	40
1.10	Reciclaje del PET.....	42
1.10.1	Tipos de Reciclaje	42
1.10.1.1	Reciclado Mecánico	43
1.10.1.2	Reciclado Químico.....	45
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO DE GRANULOMETRÍA DE SUELOS .		46
2.	Granulometría de los Suelos	46
2.1	Análisis Granulométrico	47
2.1.1	Tamización.....	48
2.1.2	Curvas Granulométricas	49
2.2	Suelos	50
2.2.1	Clasificación de Suelos.....	51
2.2.2	Textura de los Suelos.....	55

2.2.3 Estructura de los Suelos	57
2.2.4 Porosidad e Índice de Vacíos	59
2.2.5 Color de los Suelos	60
CAPÍTULO 3: DISEÑO Y EXPERIMENTACIÓN.....	62
3. Diseño y Experimentación	62
3.1 Descripción de Muestras	63
3.1.1 PET	63
3.1.2 Arena.....	64
3.1.3 Forma y Tamaño	66
3.1.4 Diseño de Muestras.....	67
3.2 Procedimiento de realización de Muestras.....	70
3.2.1 Preparación de Arena.....	70
3.2.2 Preparación PET	76
3.2.3 Fabricación de Muestras	81
3.3 Descripción de Métodos de Experimentación.....	89
3.3.1 Ejecución Experimental en las Muestras	89
3.3.2 Fichas de Resultados.....	90
3.4 Interpretación de Resultados	91
3.4.1 Tablas de Resultados	92
3.4.2 Resultados.....	94
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	95
BIBLIOGRAFÍA.....	98
ANEXOS.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Codificación PET	31
Figura 1.2 Codificación PEAD	32
Figura 1.3 Codificación PVC	32
Figura 1.4 Codificación PEBD	33
Figura 1.5 Codificación PP	33
Figura 1.6 Codificación PS	34
Figura 1.7 Codificación Otros.....	34
Figura 2.1 Clasificación Textural.....	56
Figura 3.1 PET	63
Figura 3.2 Arena.....	65
Figura 3.3 Curva Granulométrica - Arena Gruesa.....	73
Figura 3.4 Curva Granulométrica - A. Fina	75
Figura 3.5 Diagrama Producción PET	79
Figura 3.6 Pesaje de Materiales	81
Figura 3.7 Pesaje de Muestras.....	82
Figura 3.8 Horno Industrial de Fundición.....	83
Figura 3.9 Mezcla PET - Arena	84
Figura 3.10 Moldeado y Segunda Fundición	86
Figura 3.11 Desmolde y Extracción.....	87
Figura 3.12 Enfriamiento en Etapas.....	88
Figura 3.13 P. Resistencia Compresión Simple.....	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Datos Técnicos PET	37
Tabla 2.1 Tipos de Tamices	48
Tabla 2.2 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).....	53
Tabla 2.3 Clasificación de los Suelos según Normas AASHTO M-145	54
Tabla 2.4 Clasificación de los Suelos según Normas ASTM D-7263	54
Tabla 2.5 Clasificación de los Suelos según Normas INV-E-102-07	55
Tabla 3.1 Características PET	63
Tabla 3.2 Características Arena	65
Tabla 3.3 Clasificación de Arena según S.I	67
Tabla 3.4 Tabla de Diseño de Muestras	69
Tabla 3.5 Diseño Muestra 10	69
Tabla 3.6 Análisis Granulométrico Arena Gruesa	72
Tabla 3.7 Arena Gruesa Seleccionada	73
Tabla 3.8 Análisis Granulométrico Arena Fina	74
Tabla 3.9 Arena Fina Seleccionada.....	75
Tabla 3.10 Tabla de Muestras - Resultados	92
Tabla 3.11 Tabla de Muestra Nro. 10 - Resultados.....	92

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo Nro. 1 Muestra (90% PET – 10% Arena Nro. 50).....	101
Anexo Nro. 2 Muestra (80% PET – 20% Arena Nro. 50).....	102
Anexo Nro. 3 Muestra (70% PET – 30% Arena Nro. 50).....	103
Anexo Nro. 4 Muestra (90% PET – 10% Arena Nro. 40).....	104
Anexo Nro. 5 Muestra (80% PET – 20% Arena Nro. 40).....	105
Anexo Nro. 6 Muestra (70% PET – 30% Arena Nro. 40).....	106
Anexo Nro. 7 Muestra (90% PET – 10% Arena Nro. 30).....	107
Anexo Nro. 8 Muestra (80% PET – 20% Arena Nro. 30).....	108
Anexo Nro. 9 Muestra (70% PET – 30% Arena Nro. 30).....	109
Anexo Nro. 10 Muestra (100% PET).....	110

DETERMINACIÓN DEL USO DE PLÁSTICO PET COMO ALTERNATIVA AL USO DE MADERA EN FORTIFICACIÓN MINERA

RESUMEN

El siguiente proyecto de grado tiene como objetivo determinar si el plástico Polietileno de Tereftalato (PET) reciclado es una alternativa al uso de madera en estructuras de fortificación minera evaluando su resistencia a la compresión simple, para lograrlo fue necesario el diseño y elaboración de muestras cilíndricas compuestas por Polietileno de Tereftalato (PET) reciclado y una carga reforzante compuesta por arena de construcción civil, estas muestras fueron sometidas a una prueba de compresión simple en las instalaciones de la Universidad del Azuay, los datos y cálculos respectivos se elaboraron mediante fichas técnicas en las que se describe la composición, características y observaciones que se recopiló de cada muestra elaborada para poder establecer un criterio de selección que permita una conclusión fiable.

Palabras Clave: PET, compresión simple, minería, reciclado, arena.



Ernesto Patricio Feijoo Calle

Director del Trabajo de Titulación



Jaime Alfonso Ampuero Franco

Coordinador de Escuela



Daniel Francisco Rodríguez Andrade

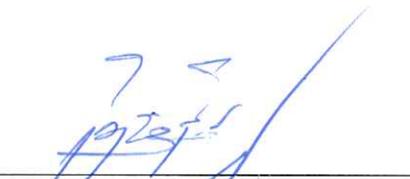
Autor

DETERMINATION OF THE USE OF PET PLASTIC AS AN ALTERNATIVE TO THE USE OF WOOD IN MINING FORTIFICATION

ABSTRACT

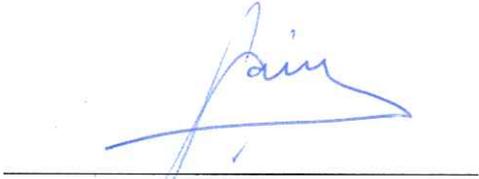
The following degree project aimed to determine if recycled polyethylene terephthalate plastic (PET) was an alternative to the use of wood in mining fortification structures. Its resistance to simple compression was evaluated. The design and elaboration of cylindrical samples composed of recycled polyethylene terephthalate (PTE) and a reinforcing load composed of civil construction sand were needed. These samples were subjected to a simple compression test at the University of Azuay. The data and calculations were elaborated using technical cards where the composition, characteristics and observations collected on each sample were described in order to establish a selection criterion that allowed a reliable conclusion.

Keywords: PET, simple compression, mining, recycled, sand.



Ernesto Patricio Feijoo Calle

Degree Work Director



Jaime Alfonso Ampuero Franco

Faculty Director



Daniel Francisco Rodríguez Andrade

Author



Ana Juana Pacheco de Urbi
AZUAY
Dpto. Idiomas



Translated by

Ing. Paul Arpi

Rodríguez Andrade Daniel Francisco

Trabajo de Titulación

Ing. Ernesto Patricio Feijoo Calle

Abril, 2018

DETERMINACIÓN DEL USO DE PLÁSTICO PET COMO ALTERNATIVA AL USO DE MADERA EN FORTIFICACIÓN MINERA

INTRODUCCIÓN

Desde el inicio de las actividades extractivas en el mundo y a lo largo de la historia la minería a ocupado un lugar prioritario en el desarrollo y evolución de la vida humana hasta llegar a lo que hoy conocemos como civilización pero el camino que se ha seguido siempre ha involucrado la utilización y posterior desecho de materiales utilizados generando desarrollos poco sostenibles y sustentables, específicamente en la minería de extracción subterránea desde siglos pasados hasta la actualidad se ha optado por utilizar diferentes tipos de maderas con el fin de fortificar los emplazamientos y túneles subterráneos y de esta manera estabilizarlos y evitar el desprendimiento de materiales rocosos, de esta manera se brindaba seguridad en los labores mineros.

La utilización de madera, u otro tipo de materiales, para este fin ha provocado que a lo largo de los años se produzca un aumento en su demanda pero al mismo tiempo ha provocado su consumo excesivo que ha llevado, en el caso de la madera, a una demostración acelerada y poco renovada que causa estragos ambientales como la erosión de suelos fértiles hasta la destrucción del hábitat de la flora y fauna silvestre. Es a partir del año 1950 cuando se empieza a crear una conciencia ambiental generada por el cambio climático que experimentaba el planeta lo cual lleva a generar

alternativas en el uso de este tipo de materiales en las industrias extractivas y en general.

Debido a esta iniciativa se empieza a buscar alternativas al uso de recursos naturales para usos industriales, es en este momento en donde surge como alternativa el uso de polímeros sintéticos los cuales habían sido utilizados experimentalmente en 1860 mediante la confección de un nitrato de celulosa basado en resinas naturales para sustituir el marfil, de esta manera se incrementó la producción y uso de polímeros sintéticos para su uso ingenieril e industrial pero seguía existiendo un gran problema y era que la mayoría de estos polímeros eran derivados de petróleo, siendo este un recurso no renovable y de elevado valor, debido a este inconveniente fue que nació la idea de la reutilización de materiales para crear materia prima que pueda ser convertida en un material nuevo con las mismas características, de esta manera se acogió el término “reciclaje”.

Sin embargo aunque el reciclaje en estos tiempos es muy alto y la conciencia de las personas acerca de los recursos no renovables y del cambio climático ha incrementado se sigue utilizando recursos naturales en tareas industriales, como ejemplo, en el Ecuador la mayoría de la industria minera de extracción subterránea de escala pequeña y artesanal utiliza madera para la fortificación de túneles y galerías recurriendo para esto a industrias madereras que a pesar de contar con planes de sustentabilidad deforestan bosques, también se recalca que la tala ilegal e indiscriminada confabula para crear este tipo de estragos naturales y perjudicar socialmente la imagen de la minería a la cual culpan por estos problemas ambientales.

Es por esto que la utilización de un material no natural y reciclado, que suplante a estos recursos, se antoja indispensable y para lograr aquello se ha ideado la fabricación de pilares de fortificación minera producidos a partir de materiales reciclables de gran utilización como el polietileno de tereftalato o PET que se usa en envases de alimentos o bebidas de consumo humano, este material totalmente reciclable ya se ha utilizado en otro tipo de productos sustentables y en este proyecto se intenta probar que puede

resistir la misma o una mayor fuerza de aplastamiento que una madera soporta mediante el cálculo de su resistencia a la compresión simple.

Para esto se han creado una serie de 10 muestras compuestas por PET y una variación en porcentaje y tamaño de granos de arena de construcción civil extraídos de la provincia del Azuay los cuales serán sometidos a las pruebas y ensayos de compresión simple pertinentes a fin de probar si existe viabilidad técnica para la suplantación de pilares de madera por pilares de plásticos reciclado PET y evitar el uso de un recurso natural en la industria minera subterránea, estos resultados serán presentados en fichas técnicas que detallen su comportamiento y caracterización a fin de idéntica el prototipo adecuado que puede cumplir las expectativas.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO CARACTERÍSTICAS Y CLASIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS Y PET

En el primer capítulo de la investigación se recopila la información necesaria para entender el comportamiento de los plásticos, codificación y origen, pasando a través de sus clasificaciones y características más notables así como los elementos que pueden complementarlo y crearlo, todo esto se investiga con el fin de tener una base sustentable de información acerca de los mismos y partir hacia la experimentación con plásticos teniendo en consideración todo lo anteriormente detallado.

1.1 Origen de los plásticos

La historia del origen y evolución de lo que hoy conocemos como plásticos y que utilizamos a diario ya sea en una u otra actividad se remonta al año 1860, en el cual mediante un concurso en el que el premio era \$10.000, el fabricante estadounidense de bolas de billar Phelan and Collander buscaba un sustituto de garantías al marfil natural, pues éste no era un recurso económicamente sostenible.

Durante este concurso realizado entre varios inventores destacó el norteamericano Wesley Hyatt, él desarrolló un método de procesamiento mediante presión a la piroxilina, ésta sustancia era en sí un nitrato de celulosa de baja nitración, tratado anteriormente con alcanfor y una cantidad mínima de disolvente de alcohol, cabe recalcar que Hyatt no ganó dicho concurso, pero su producto fue patentado bajo el nombre de “celuloide”, el cual tuvo un importante éxito a nivel comercial pues se utilizó para elaborar diferentes productos u objetos que resultaban ser inflamables y se sabía de su deterioro al exponerse a la luz.

La producción de este celuloide se daba mediante el procesamiento de un hidrato de carbono que se obtenía de las plantas, en una solución de alcanfor y etanol, el resultado

final era el celuloide cuya característica principal era el poder ser ablandado y moldeado repetitivamente mediante calor, lo cual le da el calificativo de termoplástico. Con dicho proceso se obtuvo la materia prima para fabricar distintos objetos, pero principalmente se elaboraban películas cinematográficas, mangos de herramientas y armazones para lentes, entre otros.

A principios del siglo XIX (1909) Leo Hendrik Baekeland, químico norteamericano con ascendencia belga, mediante ensayos y experimentos logró sintetizar un polímero de garantías y de interés comercial, el mismo que se producía mediante moléculas de fenol y formaldehído. Este polímero gozaba de características únicas para ese tiempo, principalmente el hecho de que podían moldearse en el mismo momento en que se formaba, su dureza al solidificarse, su nula conductividad a la electricidad y su resistencia a diferentes tipos de disolventes lo convirtieron en lo que para la historia se conocería como el primer plástico totalmente sintético y mecanizable de la historia y recibió la denominación de baquelita (bakelita). (Gómez & Gil Bercero, 1997)

Al momento de producir su polímero, Baekeland desconocía que su invento resultaría en lo que hoy por hoy conocemos bajo el nombre de copolímero que, a diferencia de los homopolímeros, constituidos por unidades monoméricas idénticas, éstos están formados por al menos dos monómeros diferentes. Baekeland también llegó a ignorar un pequeño detalle que le confería a su invento la termoestabilidad y éste no era más que el alto grado de entrecruzamiento de la estructura molecular, que le otorgaba la propiedad de poder moldearse apenas se terminaba su preparación.

Dicho de manera simple, una vez que la baquelita se enfría no es posible que se pueda volver a ablandar, lo cual la diferencia en la actualidad de otros polímeros termoplásticos que son capaces de fundirse y moldearse repetidas veces debido a que su estructura molecular no presenta un entrecruzamiento sino que sus cadenas moleculares pueden ser lineales o ramificadas.

La evolución de los plásticos se vio impulsada por el incentivo que suponía a los químicos y a la industria el poder implementar moléculas más sencillas con el fin de que se pudieran formar enlaces y a partir de ellas crear polímeros. Así fue que en las posteriores décadas se fueron descubriendo nuevos termoplásticos, por ejemplo, un grupo de químicos ingleses en 1930 ensayó sometiendo al gas etileno a la acción del

calor y la presión, este se polimerizaba formando un termoplástico al que denominaron PE (Polietileno).

De la misma manera en 1930 pero en Alemania se desarrolló una variante de plástico conocida como PS (Poliestireno) que era un material totalmente transparente y que en su mayoría se utilizó para envases o recipientes, a partir de este también se produjo el EPS (Poliestireno Expandido) el cual era una espuma blanca y rígida que se utilizó como aislante térmico y en otros casos para embalaje. Posteriormente en 1950 se descubrió el PP (Polipropileno).

El PVC (Cloruro de Polivinilo), que hoy por hoy se utiliza en tuberías de distintos tipos, se inventó al remplazar en el etileno un átomo de hidrógeno por uno de cloruro dando como resultado un plástico muy duro y rígido que era resistente al fuego, adecuado para cañerías, al agregar distintos aditivos al PVC se consiguió un material más suave y blando que se utilizó para ser sustituto del caucho que en ese entonces era utilizado en distintos objetos como cobertores, impermeables y juguetes. El PVC guarda relación con un material sumamente parecido que es el PTFE (Politetrafluoretileno) o mayormente conocido como teflón con el cual se producían sartenes y rodillos antiadherentes entre otras herramientas. (Modernos, 1990)

El mayor impulso que recibió la industria de los plásticos se dio en años anteriores y posteriores a la Segunda Guerra Mundial pues en 1935 el químico Wallace Carothers creó la primera fibra de nylon de la historia, en la empresa Dupont, esto se dio debido a que Carothers descubrió que juntar una sustancia química como el Hexametildiamina con el ácido adípico daba como resultado polímeros que al ser bombeados y estirados a través de agujeros se podían tejer, su primer uso fue la fabricación de paracaídas para las fuerzas aerotransportadas de la armada estadounidense, se extendió de manera acelerada a la industria textil que combinó el nylon con algodón y lana para la confección de medias y otros artículos de vestir tejidos, el nylon tuvo distintos tipos de variantes como el acrilán y el orlón.

Durante la Segunda Guerra Mundial, la industria de los plásticos creció y evolucionó debido a una serie de eventos en distintos países en conflicto, en Alemania se perdieron las fuentes naturales de látex, utilizado en diferentes materiales, esto dio paso a la creación de un programa dedicado al desarrollo de cauchos sintéticos. La irrupción de Japón en este conflicto mundial comenzó mediante un bloqueo de suministros a

Estados Unidos, estos suministros eran distintos tipos de cauchos sintéticos, seda y diferentes tipos de metales asiáticos, Estados Unidos en respuesta a este bloqueo intensificó la producción y utilización de plásticos tales como el nylon que se convirtió en fuente de fibras textiles, los poliésteres que fueron utilizados para crear blindajes y materiales bélicos y armamentísticos, la creación en grandes cantidades de cauchos sintéticos.

Una vez finalizada la Segunda Guerra Mundial, la industria de los plásticos mantuvo una creciente evolución mediante descubrimientos que la dotaron de mayor campo de aplicación, los plásticos técnicos como los policarbonatos, acetatos y las poliamidas se utilizaron como materiales sintéticos que suplantaron a los metales en componentes para maquinaria, cascos de seguridad y en general a muchas más herramientas que estuvieran sometidas a altas temperaturas o condiciones ambientales extremas.

La industria de los plásticos mantuvo su creciente evolución antes, durante y posterior a la Segunda Guerra Mundial siendo uno de los favorecidos a distintas circunstancias que desembocaron en su crecimiento, producción y evolución debido a su inagotable versatilidad a la hora de crear sustitutos aceptables.

Los estudios acerca de las propiedades de los plásticos llegaron a su punto máximo en el año 1953 cuando el químico alemán Karl Ziegler realizó una exhaustiva investigación acerca del polietileno y a su vez su homólogo Giulio Natta desarrolló en 1954 el polipropileno, estos dos tipos de plásticos son los más utilizados en la presente década, en 1963 Karl Ziegler y Giulio Natta compartieron el Premio Nobel de Química por sus estudios y avances en el campo de los polímeros. (Gnauk & Frundt, 1989)

En la actualidad el plástico que más se utiliza en el embotellamiento, envasado y en distintos materiales es el PET (Polietileno de Tereftalato) que ha suplantado al vidrio y al PVC en el mercado de plásticos para envases. (Lokensgard & Richardson, 1999)

1.2 Definición

Etimología: Proviene de “PLASTIKO”, palabra griega que significa susceptible de ser moldeado o modelado. (Chacón & Lema, 2011)

Los plásticos están formados por sustancias químicas sintéticas denominadas polímeros, poseen una potente estructura molecular debido a la fuerza de sus enlaces. Su componente principal es el carbono (C), pueden ser moldeados o modelados por calor o presión. Los polímeros a su vez son grandes agrupaciones de monómeros unidos o enlazados mediante un proceso de producción llamado polimerización. Cabe recalcar que los monómeros son compuestos químicos en los que los átomos de carbono están unidos mediante un doble enlace.

1.3 Características Generales de los Plásticos

La mejor manera de caracterizar a los plásticos es describir las cualidades que todos ellos tienen en común, es decir, mencionar aquellas características que convierte a un elemento en plástico, estas son:

- Los plásticos se llaman así debido a que en alguna etapa de su producción, elaboración o utilización poseen propiedades plásticas, pueden ser plásticos solo una vez o tantas veces como se desee.
- Los plásticos son materiales orgánicos debido a que están basados en la química del carbono.
- Los plásticos son también materiales sintéticos cuyos productos se derivan de industrias químicas que convierten materias primas en objetos de utilización cotidiana.
- Los plásticos son polímeros cuyo peso molecular siempre es elevado, esto se debe a que son moléculas grandes formadas por numerosas unidades repetidas combinadas en un solo agregado.

Específicamente existen diferentes propiedades o características mecánicas que hacen del plástico un material versátil y confiable:

- Densidad: La densidad de los plásticos es baja, esto se debe a que la mayoría de plásticos tienen un bajo peso específico.
- Propiedades Ópticas: Existen materiales plásticos transparentes, translúcidos y opacos, esta propiedad se adquiere mediante la adición de pigmentos o colorantes durante la etapa de producción del plástico.
- Coeficiente de Fricción: El coeficiente de fricción producida entre los plásticos con otros plásticos o metales es baja, esto elimina la necesidad de lubricantes.
- Aislante Eléctrico y Térmico: En general, los plásticos son excelentes aislantes eléctricos, pues no tienen la capacidad de conducir electricidad, sin embargo, en caso de incendios el plástico es altamente conductor y es necesario tomar precauciones.
- Resistencia a la Fatiga: Una gran variedad de plásticos ofrecen un comportamiento sobresaliente a la fatiga, lo cual los hace óptimos para soportar esfuerzos dinámicos como dobleces o pandeos.
- Conductividad Térmica: Los plásticos contienen un alto coeficiente de aislamiento térmico, esto le proporciona una ventaja para controlar o soportar variaciones de temperatura externas.
- Resistencia a Impactos: Son altamente resistentes a los impactos, esta resistencia puede ser mejorada añadiendo o incorporando aditivos durante su elaboración.
- Resistencia a la Corrosión: Resisten la humedad, oxígeno, ácidos débiles y soluciones salinas de manera notable, existen algunas variaciones de plásticos que además son resistentes a solventes orgánicos.
- Diseño: En el proceso de producción de los plásticos, las propiedades de este ofrecen la posibilidad de diseñar y elaborar formas polifuncionales de objetos sin necesidad de ensamblajes.
- Economía: Tomando en cuenta el coste de la materia prima, su producción y manufactura es relativamente económica.
- Higiene: La hermeticidad con la que los plásticos son elaborados y la adecuada materia prima los convierten en altamente higiénicos.
- Grado de Toxicidad y Reciclaje: Los plásticos son resistentes al deterioro, pero no todos ellos son reutilizables, esto depende de su tipo y aplica para todo tipo de plástico.

1.4 Clasificación General de los Plásticos

La ciencia de los polímeros es un campo amplio y variado que incluye diversos tipos de materiales que repiten gran cantidad de unidades en estructuras de cadena larga, a continuación se presentan distintas formas de clasificar los polímeros, estas categorizaciones no son fijas debido a que se debe entender que algunos materiales pueden encajar en más de una categoría según sus propiedades.

Los plásticos pueden clasificarse en diferentes grupos según sus propiedades o características:

1.4.1 Según su Monómero Base

Los plásticos pueden estar formados por moléculas de tamaño normal (monómeros) o moléculas grandes (polímeros), es decir, que la unidad de peso molecular es el monómero, este es capaz de combinarse con más moléculas de su misma naturaleza y formar un producto de peso molecular elevado conocido como polímero. Los polímeros son nombrados en base a su peso y estructura molecular, su grado de polimerización y el número de unidades de monómero que contiene, de esta manera se pueden denominar como dímeros, trímeros, tetrámeros, pentámeros y así sucesivamente. El término polímero se refiere a una cantidad no específica de unidades.

La clasificación según su monómero base es la siguiente:

- Naturales: Cuando existen y se encuentran en la naturaleza, ejemplo: celulosas, resinas vegetales, cauchos, etc. (Gnauk & Frundt, 1989)

Sus principales exponentes son:

- **Ámbar:** Es conocida desde la antigüedad, su origen se da como una resina fósil de plantas coníferas, se utilizaba para producir objetos de ornamento con grabados o estampados a presión, muy valiosa y escasa, se ha intentado imitar utilizando Baquelita.

- Marfil: Proviene de colmillos de animales, están constituidos por sales de calcio y diferentes sustancias orgánicas, se utilizaba antes de la invención de las materias plásticas para producir bolas de billar, teclas de piano, peines, etc. En la actualidad su uso es restringido.
 - Celulosa: Es uno de los polímeros que se encuentra en abundancia en la naturaleza, principalmente en madera, algodón o cáñamo que están compuestos por celulosa fibrosa, esta está compuesta por unidades repetidas del monómero glucosa. Fue utilizada para fabricar los primeros polímeros sintéticos como el acetato y el rayón.
- Artificiales o Semisintéticos: Son obtenidos en su mayoría por procesos o transformaciones químicas de los polímeros naturales. (Gnauk & Frundt, 1989)

Sus principales exponentes son:

- Celuloide: Es el primer material plástico inventado, se produce al mezclar nitrato de celulosa con alcanfor, tiene múltiples usos debido a sus propiedades como su elaboración, resistencia y resiliencia.
 - Acetato de Celulosa: Al igual que el celuloide, se obtiene al modificar un polímero natural como la celulosa que se encuentra en abundancia en la naturaleza, es la primera materia plástica capaz de ser estampada mediante inyección, su aspecto se asemeja a un polvo blanco que es utilizado para materiales translúcidos, transparentes y opacos.
 - Ebonita: Es un plástico obtenido al someter a la goma a un proceso de vulcanización, se trata de un compuesto intermedio entre las materias plásticas auténticas y la goma natural. Tiene una buena resistencia a los productos químicos, dureza y rigidez hasta los 50° centígrados y aspecto brillante.
- Sintéticos: Son obtenidos de manera química en industrias, se forman a partir de sustancias de bajo peso molecular para crear monómeros que se polimericen y den como resultado poliésteres y polietilenos. (Gómez & Gil Bercero, 1997)

Sus principales exponentes son:

- Resinas Fenólicas: Son el resultado de un proceso de condensación de fenoles y formaldehídos, también se denominan fenoplastos, sus principales características son su amplio campo de aplicación, bajo costo, dureza, rigidez y resistencia al envejecimiento, se dividen en tres grupos: moldeados a compresión, laminados y fraguados en frío. Su mejor ejemplo es la baquelita, este polímero fue el primer plástico totalmente sintético de la historia.
- Resinas Acrílicas: Su principal componente acrílico es el metacrilato o polimetacrilato de metilo (PMM), su nombre comercial es Plexiglás y vidrio sintético. Son productos termoplásticos que pueden moldearse por inyección o compresión, se descomponen por el calor y se queman con lentitud, son aislantes térmicos, eléctricos y acústicos, con buena resistencia al envejecimiento.
- Resinas de Hidrocarburos: Son derivados de un proceso de polimerización de componentes no saturados de alquitrán de colofonia o petróleo, que dan como producto un plástico gomoso y susceptible al quiebre, son termoplásticos y solubles en disolventes que se utilizan en la industria de barnices y revestimientos impermeables.
- Resinas Melamínicas: Proviene de tres grupos de moléculas de cianida de calcio, por lo cual se denominan trímeros, reaccionan en presencia del formol y esto da como resultado plásticos de fraguado térmico, es decir, termoestables. Se presentan en tres tipos: resinas fluidas para recubrimientos, polvos para moldes a compresión, inyección o transferencia y laminados para adhesivos o láminas.
- Resinas Poliamidas: Son productos provenientes de algunos poliácidos o ácidos dibásicos, se dividen en dos grupos: las fibras, cuyo producto es comúnmente denominado nylon, el cual es utilizado en la industria textil por su flexibilidad y duración, por otro lado, están los polímeros en forma de fluidos de baja, media y alta viscosidad, éstos son empleados en el moldeo de piezas para maquinaria o mecanismos que estén sujetos a constantes fricciones. Las propiedades de estos productos poliamínicos

son: su bajo coeficiente de rozamiento, alta elasticidad, facultad de amortiguación y resistencia a la abrasión de agentes químicos y disolventes.

1.4.2 Según se Estructura Molecular

Esta clasificación está caracterizada por el orden en el que las moléculas se encuentran distribuidas en el plástico, esta distribución concede a los plásticos características distintas.

Según su estructura se dividen en:

- **Amorfos:** Los plásticos son amorfos cuando, en su composición, las moléculas no presentan ningún tipo de orden ya que están distribuidas aleatoriamente lo cual produce vacíos entre sus cadenas que permiten el paso de la luz que a su vez proporciona la transparencia característica de estos polímeros.
- **Semicristalinos:** Estos polímeros, por lo general, presentan zonas que constan con un cierto grado de orden pero también zonas amorfas, esto hace que existan un menor espacio entre cadenas por donde pueda atravesar la luz a menos que el polímero conste de un espesor de menor tamaño.
- **Cristalizables:** Este tipo de polímeros están ligados a su velocidad de enfriamiento, es decir, en los polímeros semicristalinos se puede disminuir (por enfriamiento rápido) o aumentar (por enfriamiento lento) el grado y porcentaje de cristalinidad, mientras que en los polímeros amorfos no se puede presentar cristalinidad aun así su velocidad de enfriamiento sea extremadamente lenta.

1.4.3 Según su Cadena Polimérica

Esta clasificación depende de la forma que adopten las cadenas macromoleculares en el proceso de polimerización de los plásticos.

Se clasifican en:

- Lineales: Su cadena macromolecular no presenta ramificaciones o entrecruzamientos, como su nombre lo especifica, presenta cadenas macromoleculares de forma lineal.
- Ramificados: Presenta una cadena macromolecular en la cual destacan ciertas ramificaciones o pequeñas cadenas laterales.
- Entrecruzados: En esta cadena macromolecular, los polímeros poseen una estructura tridimensional característica en donde las cadenas están unidas unas a otras mediante enlaces laterales.

1.4.4 Según los Monómeros que constituyen el Polímero

Esta clasificación se basa en la relación a la estructura química de los monómeros constituyentes del polímero, es decir, que toma en cuenta el grupo funcional de los monómeros.

Las principales estructuras son:

- Poliésteres: Policarbonato, poli (Tereftalato de Etileno).
- Polióxidos: Poli (óxido de etileno), poli (óxido de fenileno).
- Poliolefinas: Polipropileno, polibutadieno, poliestireno.
- Poliamidas: Nylon, rayón, poliimida.
- Polímeros Celulosos: Nitrato de Celulosa, acetato de celulosa.
- Polímeros Acrílicos: Poli (metacrilato de metilo), poliacrilonitrilo.
- Polímeros Vinílicos: Poli (acetato de vinilo), poli (alcohol vinílico).
- Poliuretanos: Pertenecen a esta clasificación los productos derivados de isocianatos.
- Resinas Formaldehído: Resina fenol - formol, resina úrea - formol.

1.4.5 Según su Comportamiento Mecánico

Los plásticos son sometidos a diferentes ensayos que permiten caracterizar propiedades como la maleabilidad, que permite la obtención por compresión de láminas delgadas, la ductilidad, que mediante tracción concede la obtención de hilos o cables y por último la resistencia mecánica que es la capacidad de un material para resistir esfuerzos aplicados sin romperse.

Se dividen principalmente en:

- Plásticos: Este tipo de polímeros son adecuados para el moldeo debido a que durante su etapa de fabricación son producidos en estado líquido para que mediante calor o presión se puedan moldear según prototipos establecidos. El material cuando se solidifica es resistente y químicamente estable bajo condiciones normales. Ejemplos: polietileno, polipropileno, poliestireno, etc.
- Fibras: Estos materiales son producidos bajo una extensa relación entre la longitud y el diámetro, las fibras mantienen un orden lineal de macromoléculas y se orientan longitudinalmente como es el caso de los poliésteres, poliamidas y poliacrilonitrilos.
- Elastómeros: Comúnmente conocidos como cauchos, por sus características están también incluidos en la clasificación según su comportamiento térmico. Son polímeros que pueden provenir de origen natural o sintético, son materiales que tienen la capacidad de recuperar su forma original aceleradamente después de sufrir una deformación debido a la acción de una fuerza, esta propiedad se mantiene aún al ser sometidos a deformaciones grandes por tiempos prolongados.

1.4.6 Según su Comportamiento Térmico

Mediante el efecto de la temperatura en los polímeros se crean propiedades térmicas que dan lugar a la siguiente clasificación:

- Termoplásticos: Son plásticos que a temperatura ambiente son deformables, cuando se expone a temperaturas elevadas se derriten y cuando son enfriados pasan a un estado vítreo en el cual se endurecen. Durante su proceso de producción pueden ser fácilmente moldeados al calentarse para adquirir una forma concreta y ser estabilizados al enfriarse, este proceso puede repetirse de forma cíclica lo cual da a los termoplásticos la propiedad de reciclabilidad.

Los termoplásticos incluyen el 90% de los polímeros que se dividen en dos grupos:

- Cristalinos: Estos polímeros termoplásticos se cristalizan al enfriarse a una temperatura característica que es denominada temperatura de fusión (T_f).
- Amorfos: Este tipo de polímeros no presentan una estructura cristalina y su fusión es menos brusca pues pasa de un líquido subenfriado (estado vítreo) a un estado líquido (gomoso).

La mayoría de los termoplásticos son polímeros que contienen un alto peso molecular, sus cadenas son asociadas por medio de débiles fuerzas Van Der Waals y poseen enlaces de hidrógeno.

Los polímeros termoplásticos se diferencian de los termoestables principalmente porque posterior a su calentamiento y moldeo pueden volver a recalentarse y formar otros objetos cuyas propiedades físicas cambian gradualmente si se funden y moldean varias veces, mientras que los termoestables no pueden cambiar de forma después de enfriarse. (Modernos, 1990)

Los plásticos termoplásticos principales son:

- Polietilenos y sus derivados: Estos polímeros utilizan como materia prima al etileno obtenido del petróleo que al ser tratado industrialmente produce

monómeros como el acetato de vinilo, alcohol vinílico, cloruro de vinilo, etc. El PVC, poliestireno, metacrilato, etc., pertenecen a este grupo.

- Derivados del Caucho: En este grupo se encuentran los clorhidratos de caucho que son obtenidos al adicionar ácido clorhídrico a los polímeros del caucho, comercialmente son llamados pliofilmes.
- Termoestables: También se los conoce como termofijos o termorígidos, son resinas que están constituidas por una mezcla de compuestos de baja masa molecular que al calentarlos reaccionan entre ellos y se transforman de forma líquida a un material muy sólido debido principalmente al entrecruzamiento que se forma en sus cadenas. Los polímeros termoestables conservan su forma al exponerse a elevadas temperaturas debido a que sus cadenas estructurales son muy rígidas y presentan entrecruzamiento mediante enlaces covalentes.

Son materiales que generalmente al haber sido sometidos a un proceso de calentamiento, fusión, formación y solidificación se convierten en materiales sumamente rígidos que no vuelven a fundirse, para su obtención se parte de un aldehído y son disueltos en solventes.

Los más reconocidos ejemplos de plásticos termoestables son:

- Poliésteres: Son resinas que tiene su origen en la esterificación de polialcoholes que son utilizados en la industria de los barnices.
- Resinas Melamínicas: Es una resina que se realiza por la condensación de la melamina y formaldehído, son utilizados en revestimientos o en materiales de construcción.

1.4.7 Según su Tipo de Aplicación

Se clasifican dependiendo del campo de aplicación o utilización de un polímero.

- **Polímeros de Uso General:** Son polímeros que debido a su gran versatilidad pueden ser utilizados en múltiples aplicaciones a nivel mundial, su producción es elevada debido a la gran demanda que representa en el mercado de plásticos, sus principales referentes son: el polietileno, el polipropileno, el estireno, el policloruro de vinilo, etc.
- **Tecnopolímeros:** Son también denominados plásticos de ingeniería, son producidos para sustituir otros materiales específicos y cumplir una determinada función, su elaboración se da mediante tecnología especializada y son normalizados según altos estándares técnicos lo cual hace que su precio de producción sea elevado, sus principales ejemplos son: el poliacetal, el policarbonato y el poli (tetraflúor - etileno).

1.5 Elementos Básicos de un Plástico

Los constituyentes básicos de un plástico son monómeros, polímeros y resinas artificiales que por lo general son derivados de hidrocarburos o celulosas, para la utilización de estos elementos es necesario la adición de productos que modifiquen y mejoren sus propiedades como: su flexibilidad, resistencia al impacto, resistencia térmica, etc. Estos productos son conocidos como modificantes, catalizadores o plastificantes, al final de su producción se utilizan refuerzos y armaduras para plásticos especiales.

1.5.1 Materias Primas

La mayoría de las materias primas que conforman los plásticos provienen de hidrocarburos como el petróleo que se refina y forma moléculas orgánicas llamadas monómeros, estos se combinan y forman polímeros resinosos que mediante un proceso de extrusión se moldean para formar productos plásticos.

Del total de petróleo extraído el 70% se incinera para producir energía, un 20% se utiliza en diversas industrias, el 4% se utiliza en la industria petroquímica y el 6% restante se utiliza en la producción y fabricación de plásticos.

- Resinas: En la industria tecnológica de la manufactura de plásticos se entiende por resina a todo polímero que constituye la materia prima básica en la producción de objetos plásticos y también a las resinas empleadas directamente en su ejecución.

Por su origen se dividen en tres grandes grupos que son:

- Resinas Naturales: Su origen es natural vegetal y en algunas ocasiones de origen animal.
- Resinas Artificiales o Semisintéticas: Proceden al modificar químicamente los ácidos grasos, resinas naturales y distintas estructuras macromoleculares.
- Resinas Sintéticas: Tiene su origen en reacciones químicas controladas a partir de materiales definidos que no tienen carácter de resinas.

1.5.2 Modificantes

Existen distintas clases de polímeros y copolímeros que contienen y proporcionan una gran variedad de propiedades, pero muchas veces estas propiedades no son suficientes para aplicar estos polímeros en tareas específicas que demandan características especiales en el mercado de los plásticos, para esto se utilizan modificantes que

proveen la variación de las propiedades y amplían el campo de aplicación de los plásticos.

En el proceso de producción de plásticos se consideran modificantes o aditivos a los materiales que van dispersos físicamente en una matriz polimérica y no afectan a estructura molecular, la inclusión de estos aditivos altera las propiedades de un material, por ejemplo, en el caucho al agregar un aditivo específico se pueden obtener neumáticos, colchones, bandas elásticas, suelas de zapatos, etc. Otro ejemplo es el del PVC del que se pueden obtener tubos rígidos, recubrimientos de cables, juguetes, envases, etc.

Para el uso de un determinado aditivo se debe cumplir una serie de normas y requisitos que garanticen su eficacia para cumplir las necesidades propuestas a una sustancia y que resulte económicamente viable. Los aditivos pueden generar ciertas mejoras en una propiedad específica, pero al mismo tiempo pueden empeorar otra, para determinar la elección del aditivo correcto se valora en conjunto el comportamiento del producto. En ciertas ocasiones las moléculas del aditivo y las del polímero deben interactuar a un nivel de compatibilidad alta, es decir, poseer una elevada miscibilidad, sin embargo, en otros casos se recomienda que la compatibilidad del aditivo y el polímero formen dos fases bien diferenciadas. Los aditivos no deben ser volátiles en las condiciones que el proceso de transformación presenten, deben tener una tensión de vapor baja en presencia de elevadas temperaturas, no debe presentar exudación pues esto acarrea problemas de estética y pérdida de eficacia del aditivo y por último, los aditivos no deben ser tóxicos ni perjudiciales para la salud del personal que lo fabrique ni para el consumidor que lo adquiera. (Gorka, 2009)

Según su función se clasifican en:

- Aditivos Facilitadores de Procesado: Lubricantes, Estabilizantes.

Lubricantes:

En los procesos de producción de polímeros, los lubricantes tienen como función el disminuir las fuerzas de fricción que se puedan presentar por rozamientos entre dos cuerpos y de esta manera reducir el desgaste provocado, dado que en esta industria es frecuente que en diferentes etapas de la

elaboración del polímero se produzcan problemas debido a una fricción excesiva.

Los lubricantes se pueden categorizar según su comportamiento dominante:

- Lubricantes Externos

Tienen la función de reducir y controlar la fricción y adhesión entre el polímero y las superficies metálicas de los equipos de fundición y transformación.

Los más utilizados son: ácido esteárico, estearato cálcico y de plomo, ceras de parafina, PE de bajo peso molecular, ésteres de etilo, etc.

- Lubricantes Internos

Estos aditivos tienen como función el disminuir la fricción que genera las moléculas del polímero entre sí, esto mejora el flujo del material, para un proceso ideal es necesario que los lubricantes internos sean compatibles con el polímero solo a altas temperaturas.

Los más utilizados son: cera de Montana, ácido esteárico, ácido oleico, alcohol de cadena larga, etc.

Estabilizantes:

Desde que se empezó a emplear polímeros sintéticos se ha investigado todos aquellos procesos que son desencadenados por la acción de factores como el calor, radiación, atmósfera y que conducen a la degradación de la estructura de los polímeros, los estabilizantes ejercen una acción retardante sobre este proceso de degradación, además se suele recomendar que los estabilizantes posean otros tipos de propiedades tales como una buena compatibilidad con el polímero, efectividad a bajas concentraciones, no afectar otras propiedades del polímero, costo asequible y en lo posible deben ser incoloros, inodoros y no poseer toxicidad. (Hachi & Rodríguez, 2010)

Existen diferentes tipos de estabilizantes entre los cuales tenemos:

- Antioxidantes

- Estabilizantes Ultravioleta
- Estabilizantes Térmicos

➤ Aditivos Modificadores de Propiedades Mecánicas: Plastificantes, Cargas Reforzantes, Modificadores de Impacto.

Plastificantes:

Un plastificante tiene la función de reducir la viscosidad del fundido, rebajar la temperatura de transición vítrea o disminuir el modulo elástico del fundido, provienen de la reacción de ácido o anhídrido con un alcohol lineal o ramificado. Son materiales líquidos o sólidos que al mezclarlos con los polímeros los vuelve blandos, flexibles y tenaces. Los plastificantes líquidos más utilizados son el ftalato de diisnonilo (DINP), ftalato de diisodecilo (DIDP), dioctil ftalato (DOP), aceite epoxidado de soya (ESBO).

Cargas Reforzantes:

Durante su fabricación los polímeros contienen distintos compuestos, entre ellos existen adicionados materiales de refuerzo a la matriz de resina plástica, estos materiales suelen ser fibras de vidrio o carbono. Los polímeros compuestos suelen tener la resistencia y estabilidad de los metales pero son más ligeros, las espumas plásticas que son formadas por polímeros y gas proporcionan masas de gran tamaño pero ligeras.

Modificadores de Impacto:

Los modificadores de impacto se utilizan principalmente para mejorar la resistencia al impacto de los polímeros, especialmente a bajas temperaturas, los modificadores de impacto funcionan al absorber la energía de los impactos y dispersarla de manera no destructiva, en su mayoría son materiales elastoméricos y pueden ser añadidos a diferentes termoplásticos a un nivel del hasta 20%.

Existen amplios y diversos tipos de modificadores, entre los cuales destacan los Poliacrilatos, ABS, MBS y CPE.

- Aditivos Modificadores de Propiedades Ópticas: Pigmentos y Colorantes, Agentes de Nucleación.

Pigmentos y Colorantes:

En los plásticos se pueden utilizar pigmentos que son sustancias inorgánicas sólidas e inmiscibles y también se pueden usar colorantes que son orgánicos miscibles y compatibles con los polímeros, en ambos casos se ocupan en concentraciones bajas.

Los pigmentos y colorantes deben impartir colores sólidos y resistentes a la luz, la temperatura, la humedad y a los productos químicos pero sin afectar otro tipo de propiedades del polímero como su resistencia al agrietamiento o al impacto y su flujo de producción, deben ser compatibles con el polímero y sus aditivos, plastificantes o estabilizadores, además deben poseer estabilidad a la luz.

Agentes de Nucleación:

Este tipo de agente se añade a los plásticos semi-cristalinos antes de su procesamiento y fabricación, afectan directamente la velocidad de cristalización y el tamaño de las esferulitas. Los agentes de nucleación por lo general son insolubles o inmiscibles y proporcionan sitios en los que se forman cristales, su principal uso es el de mejorar el tiempo de ciclo durante el proceso de inyección.

También se los puede denominar agentes clarificantes debido a que reducen la opacidad y mejoran la transparencia de los polímeros al disminuir el tamaño de los cristales por debajo de la longitud de onda de la luz visible.

- Otros Aditivos: Agentes Espumantes, Retardantes de Flama.

Agentes Espumantes:

Los agentes espumantes tienen como finalidad producir estructuras celulares en los polímeros, estas estructuras están llenas de celdas de gas y pueden ser

cerradas o abiertas, las propiedades físicas del producto serán intermedias entre las del sólido y las del gas, los beneficios de estos agentes son productos espumados con modificaciones importantes en su densidad, conductividad eléctrica, disipación de energía mecánica y acústica, etc.

Retardantes de Flama:

Los polímeros poseen una inflamabilidad que es muy estudiada y verificada en la industria textil o de fabricación de juguetes, esto lleva a que la mayoría de polímeros sea resistentes al fuego dado que en su estado puro son muy flamables exceptuando a los que presentan una elevada porción de cloruros o fluoruros, los polímeros orgánicos arden a temperaturas elevadas como los polímeros carbonosos.

La resistencia al fuego de los polímeros aumenta al agregar aditivos ignífugos que funcionan al interferir en los procesos de combustión mediante una fase gaseosa, de esta manera alteran el mecanismo normal de degradación térmica y producen una baja de energía mediante una reacción química que enfría la región de combustión y cesa el fuego, después de esto forma un recubrimiento protector que aísla la zona de la energía térmica.

(Gnauk & Frundt, 1989)

1.6 Clasificación de los Plásticos según su plasticidad

Los plásticos pueden clasificarse según su plasticidad en dos grandes grupos conformados por los termoplásticos que contienen macromoléculas lineales o ramificadas pero no entrecruzadas y pueden ser moldeados por medio de calor después de enfriarse repetidas veces, los termoestables que son macromoléculas tridimensionalmente entrecruzadas y no pueden ser moldeados de manera reversible.

1.6.1 Termoplásticos

Son polímeros lineales o ramificados que se pueden reblandecer o plastificar en repetidas ocasiones por medio de calor, al enfriarse se endurecen y pueden llegar a fundirse sin una descomposición química siempre y cuando no se llegue a una temperatura muy elevada de descomposición. Sus cadenas macromoleculares pueden formar fluidos viscosos al descomponerse por elevadas temperaturas.

Para que un polímero sea caracterizado como termoplástico debe poseer una temperatura de transición vítrea (T_g) en caso de los materiales amorfos o una temperatura de fusión (T_m) si se trata de un material cristalino, ambas temperaturas deben ser superiores a la temperatura ambiente.

Generalmente los polímeros termoplásticos poseen excelentes propiedades mecánicas, son fáciles de procesar y su reciclaje continuo hace que su costo no sea elevado, su principal desventaja deriva en que son materiales que se pueden fundir a determinadas temperaturas por encima de su temperatura de transición vítrea y eso provoca la pérdida de propiedades.

Los polímeros termoplásticos pueden dividirse según sus derivados, los siguientes representan las Poliolefinas que incluyen polímeros como el polietileno, polipropileno, polibuteno, polisobutileno, etc. (López., 2016)

➤ Polietileno (PE)

El polietileno es un polímero termoplástico que se produce a partir del etileno, elaborado a partir del etanol, puede obtenerse en forma de granos o en forma de un polvo blanquecino.

El polietileno al ser un derivado del etileno posee una gran resistencia a diferentes productos químicos, ácidos, aceites, disolventes, grasas, sin embargo su resistencia es relativamente moderada en contra de hidrocarburos clorados o normales, su proceso de fabricación por extrusión para crear film es muy fácil y mecanizable por lo que se puede usar para recubrimientos de papel, cartón, envases y embalajes.

➤ Polietileno de Alta Densidad (HDPE)

El polietileno de alta densidad es, igualmente, un termoplástico que proviene del etanol, se obtiene al elevar el etanol por debajo de los 70° centígrados y manteniendo la presión atmosférica normal. Se polimeriza con una estructura lineal de tipo cristalino y su densidad se encuentra entre 0.94 y 0.96 kg/dm³. Una de sus ventajas es su versatilidad de procesamiento pues puede ser transformado por inyección, soplado, extrusión o rotomoldeo.

Entre sus principales características se tiene que su resistencia a las bajas temperaturas es alta, es casi irrompible, es impermeable y no posee ninguna toxicidad, su resistencia térmica le permite al polietileno ser usado para la producción de envases que deban ser esterilizados para contener sueros o bebidas.

➤ Polietileno de Baja Densidad (PEBD)

Para fabricar un polímero termoplástico como el polietileno de baja densidad se debe elevar al etileno hasta una temperatura de 17° centígrados combinado con una presión de 1400 atmósferas, esto da como resultado un polvo blanquecino que posee una estructura ramificada amorfa y con una densidad comprendida entre 0.91 a 0.93 kg/dm³.

El polietileno de baja densidad se utiliza para producir bolsas plásticas flexibles, embalajes industriales, techos de invernaderos. Posee grandes características como su gran flexibilidad, su extraordinaria resistencia química y dieléctrica, es resistente a las bajas temperaturas, prácticamente irrompible e impermeable, no posee ningún tipo de toxicidad, su versatilidad para amplias aplicaciones, su fácil proceso de fabricación y bajo costo dado que se puede fabricar por inyección, soplado, extrusión o rotomoldeo.

➤ Polipropileno (PP)

El polipropileno es un polímero termoplástico que se obtiene mediante la polimerización del propileno, al agregar etileno durante el proceso se forma un copolímero.

Debido a que soporta muy bien las temperaturas cercanas a los 100° centígrados, el polipropileno es utilizado para la fabricación de tuberías por las cuales atraviesan fluidos a altas temperaturas. Entre sus principales propiedades destacan su rigidez, alta cristalinidad, elevado punto de fusión, precio económico, no presenta toxicidad, excelente resistencia química, térmica y baja densidad.

Los polímeros termoplásticos pueden dividirse según sus derivados, los siguientes representan los Polimerizados del Estireno que incluyen polímeros como los poliestirenos, copolímeros. (Chacón & Lema, 2011)

➤ Poliestireno (PS)

El poliestireno posee una estructura molecular en forma de una larga cadena hidrocarbonada que contiene un grupo fenilo unido cada dos átomos de carbono. Para la fabricación del poliestireno se necesita de materias primas como el etileno y el benceno.

Existen tres variedades de poliestireno que son:

- Poliestireno Cristal.
- Poliestireno de Alto Impacto.
- Poliestireno Expandido.

➤ Acrilonitrilo-Butadeino-Estireno (ABS)

El ABS es un polímero termoplástico que fue desarrollado con la finalidad de conseguir alta fluidez y rigidez al mismo tiempo que una buena resistencia al impacto dado que estas características no las cumplía el poliestireno.

El ABS es un copolímero del poliestireno y de compuestos de caucho, su polimerización se da en base a tres elementos, el acrilonitrilo que aporta una alta resistencia química, brillo, resistencia térmica y resistencia al desgaste; el butadieno que confiere la resistencia al impacto y el estireno que provee propiedades como la moldeabilidad y estabilidad dimensional.

Los polímeros termoplásticos pueden dividirse según sus derivados, los siguientes representan los Polímeros Halogenados que incluyen polímeros como los policloruros de vinilo, copolímeros vinílicos, politetrafluoretileno, polifloruro de vinilo, etc. (Quintero, 2007)

➤ Cloruro de Polivinilo (PVC)

Este tipo de polímero se produce mediante la combinación de gas en una proporción del 43% y de cloruro de sodio (sal común) en una proporción del 57%. Cuenta con una estructura similar a la de los polietilenos, se diferencia debido a la inclusión de un átomo de cloro en lugar de un átomo de hidrogeno, seguido secuencialmente por dos átomos de carbono.

El PVC es polímero termoplástico el cual adquiere sus principales características mediante la adición de elastificantes, plastificantes, cargas y distintos aditivos durante su proceso de producción y que permiten a este polímero su uso en distintas y específicas labores debido a que puede ser rígido o flexible, opaco o translúcido, compacto o espumado, dependerá del aditivo adicionado según se requiera.

➤ Politetrafluoretileno (PTFE)

Es una resina fluorurada y son materiales que se elaboran mediante procesos mecánicos que le suministran características especiales, tienen diferentes aplicaciones en la industria fílmica y para materiales de laboratorios.

Existen además polímeros termoplásticos que contienen una cadena de constitución mezclada y son comúnmente llamados heteropolímeros como el caso de óxidos, sulfonas y similares.

➤ Polietileno de Tereftalato (PET)

Es el más comúnmente utilizado, está constituido por ácido tereftálico y etilenglicol, mediante un proceso de policondensación pueden obtenerse dos tipos de polímero, de grado textil y grado botella, posee características que lo vuelven transparente, irrompible, liviano, además de evitar el paso de gases.

➤ Policarbonato (PC)

Es un termoplástico que toma su nombre de los grupos carbonatados de su cadena principal, se elabora a partir de bisfenol A y fosgeno, visualmente es amorfo y transparente que fácilmente aguanta una temperatura de trabajo de hasta 135°C.

Entre sus principales características cabe recalcar que es 250 veces más resistente al impacto en comparación al vidrio, posee buenas propiedades mecánicas, resistencia química, es ligero y puede funcionar como aislante térmico y acústico.

1.6.2 Termoestables

Estos polímeros son también denominados duroplastos y son aquellas materias poliméricas que por la acción del calor se endurecen de forma irreversible y al tratar de fundirlos proceden a descomponerse químicamente.

Los polímeros termoestables se forman a partir de materias primas de bajo peso molecular en diferentes fases y mediante reacciones químicas, son materiales que soportan de manera satisfactoria trabajos a elevadas temperaturas puesto que no se funden ni se reblandecen, esto sumado a su resistencia química, estabilidad y dureza superficial.

En comparación a los termoplásticos, los polímeros termoestables contienen excelentes acabados debido a que son en su mayoría opacos y amarillentos, sin embargo, se emplean hoy en día en muy pocos procesos puesto sus métodos de elaboración, producción y perfeccionamiento son lentos.

➤ Fenoplastos o Resinas Fenólicas

Fenol – formol (PF): Las resinas fenólicas son las más antiguas y hoy en día aún son usadas, se desarrolló a partir de 1909 y durante las posteriores mundiales. En su mayoría se utilizan para fabricar elementos de la industria eléctrica, electrónica y automovilística.

➤ Aminoplastos o Resinas de Urea

Se obtienen mediante la reacción de la urea con un formaldehído y poseen características termofraguantes. Fueron creados alrededor de 1920 y propulsados por su bajo costo y sus apreciables propiedades, poseen un aspecto de polvo blanco elaborado mediante compresión en un molde con la acción del calor. Su principal uso está en el campo de los adhesivos y pegamentos además de utilizarse en componentes eléctricos y electrónicos.

➤ Poliéster

Son en su mayoría resinas sintéticas de poliésteres constituidos por una gran variedad de materias primas, en su mayoría viscosas y de color amarillento que se endurecen al añadir catalizadores y así obtienen su flexibilidad y rigidez. Estas resinas pueden ser modificadas según se añadan diferentes aditivos en su producción tales como cargas reforzantes de fibra de vidrio o carbono.

➤ Poliuretanos (PU)

Son polímeros termoplásticos que comparten características termoestables, se obtienen mediante la poliadición del polioliol y los isocianatos y toman su nombre debido a que en su cadena principal existen enlaces uretanos.

El poliuretano es un plástico de uso mayormente industrial debido al amplio campo de aplicación, puesto que puede ser tan blando como el caucho como tan duro como algunas poliamidas, pero siempre conservando su elasticidad.

➤ Polímeros Silicónicos

Este tipo de polímeros silicónicos son inorgánicos pues no contienen átomos de carbono en su estructura, en su lugar poseen una estructura conformada por cadenas alternadas de átomos de silicio y de oxígeno.

Estas siliconas son considerados buenos elastómeros debido a su flexibilidad lo cual le permite aplicarse en lubricantes y líquidos para frenos por su resistencia al calor ya que su viscosidad varía muy poco con la temperatura.

(Gorka, 2009)

1.7 Codificación

En la actualidad se ocupan polímeros termoplásticos o termoestables para diferentes aplicaciones, estos pueden modificar sus propiedades dependiendo del aditivo que se le agregue lo cual da un resultado de más de 100 tipos diferentes de polímeros, es por eso que según el sistema de identificación de plásticos (SPI) identifica a los 6 tipos más comunes de polímeros para efectos prácticos en su reciclado, ya que estos según su codificación necesitan un reciclaje diferenciado. (Hachi & Rodríguez, 2010)

Las 6 codificaciones que se le pueden dar a un polímero son las siguientes:

➤ Polietileno de Tereftalato (PET)



Figura 1.1 Codificación PET

Fuente: (Sistema de Indentificación Americano, 2008)

Es uno de los polímeros que más se han aplicado en la fabricación y transporte de productos de consumo o contacto humano tales como bebidas, aceites y

hasta cosméticos. De la misma manera también tienen su aplicación en otros campos como la fabricación de fibras textiles, envases sellados al vacío, material radiográfico y películas para recubrimientos. Se recicla tan solo el 23% de todo lo que se produce.

➤ Polietileno de alta densidad (PEAD)



Figura 1.2 Codificación PEAD

Fuente: (Sistema de Identificación Americano, 2008)

Es un polímero termoplástico cuya aplicación se centra en el envase de una gran variedad de líquidos ya sean de consumo o uso humano tales como gaseosas, cervezas, productos lácteos, aceites de vehículos. También es utilizado para fabricar herramientas como cascos de seguridad, tuberías, redes, lonas, etc. Debido a sus características el polietileno de alta densidad puede ser usado en áreas como alcantarillado, minería, materiales eléctricos y electrónicos. Tan solo se recicla el 27% del polietileno producido.

➤ Cloruro de Polivinilo (PVC)



Figura 1.3 Codificación PVC

Fuente: (Sistema de Identificación Americano, 2008)

Dependiendo del uso al que se destine este polímero se le agregan aditivos, plastificantes o cargas que permitan producir dese tuberías, mangueras, marcos, puertas, juguetes y películas flexibles para envasado. Se recicla un 1% del material producido.

➤ Polietileno de Baja Densidad (PEBD)



Figura 1.4 Codificación PEBD

Fuente: (Sistema de Identificación Americano, 2008)

Debido a su flexibilidad, impermeabilidad y su nula toxicidad es utilizado para la producción de bolsas plásticas, pañales desechables, contenedores herméticos, pomos. También son utilizados en la industria agropecuaria para techos de invernadero, recubrimiento de acequias y embalajes industriales. En la construcción civil se utilizan como recubrimientos de hormigón, revestimiento de encofrados y agentes desmoldeantes del cemento. Se recicla tan solo el 1% del material.

➤ Polipropileno (PP)



Figura 1.5 Codificación PP

Fuente: (Sistema de Identificación Americano, 2008)

Este polímero rígido que contiene alta cristalinidad y elevado punto de fusión se utiliza para producir bolsas de plástico tejido, envases industriales, tuberías. También se utiliza en la industria automovilística para fabricar parachoques, guardafangos, cajas de baterías y materiales interiores y exteriores. Solo se recicla un 3% del material producido.

➤ Poliestireno (PS)



Figura 1.6 Codificación PS

Fuente: (Sistema de Identificación Americano, 2008)

Es un polímero termoplástico que puede ser fácilmente moldeable y se utiliza mayormente para elaborar utensilios descartables, afeitadoras descartables, juguetes, bandejas y anaqueles. En la industria eléctrica y electrónica se pueden utilizar como aislantes térmicos y acústicos. Se recicla solo un 1% del material.

➤ Otros



Figura 1.7 Codificación Otros

Fuente: (Sistema de Identificación Americano, 2008)

Esta codificación está conformada por diferentes tipos de polímeros termoplásticos, termoestables y elastómeros que no se incluyen en las seis anteriores clasificaciones. Se recicla únicamente el 1% del material total.

1.8 Polietileno de Tereftalato (PET)

El PET o polietileno de tereftalato es un tipo de polímero termoplástico de alta calidad creado en la década de 1950 y utilizado para la fabricación de envases transparentes y resistentes desde 1970, es un tipo de materia prima plástica derivada del petróleo, específicamente del etileno y paraxileno, que fue descubierto en 1941 por los científicos británicos Whinfield y Dickson. (Gnauk & Frundt, 1989)

En la actualidad la producción, fabricación y manufacturación de PET se ha expandido y evolucionado a nivel tecnológico logrando colocarse en el primer puesto de los polímeros más utilizados en el mundo, las grandes industrias dedican un gran esfuerzo al perfeccionamiento de maquinaria utilizada en la transformación de estos polímeros, el PET también se ha convertido en uno de los plásticos más reciclados del mundo debido principalmente a su fácil proceso de reciclado que le permite ser transformado, modelado y utilizado en diferentes aplicaciones. (Gómez & Gil Bercero, 1997)

1.8.1 Características Principales

Se pueden distinguir diversas propiedades y características que hacen del PET un material óptimo para casi cualquier aplicación, pero principalmente podemos mencionar que el PET está caracterizado por poseer un peso tan ligero pero al mismo tiempo conservar una resistencia mecánica y una resistencia al impacto muy elevadas, visualmente el PET es transparente en condiciones óptimas, además de poseer también un brillo, su característica más notable es su alto grado de reciclabilidad que permite obtener un plástico de alta calidad mediante los debidos procesos de reciclaje.

Entre sus propiedades más destacadas se encuentran:

- Posee diferentes formas de producción; por soplado, extrusión, inyección.
- Es una confiable barrera ante los gases externos.
- Gran ligereza.

- Brillo y transparencia.
- Alto grado de reciclabilidad.
- Posee muy buenas propiedades mecánicas y químicas.

En definitiva, son muchas las ventajas que el Polietileno de Tereftalato ofrece a diferentes industrias para distintos campos de aplicación, algunas de estas son únicas como su transparencia y termoformabilidad, algunas otras de carácter económico como su costo el cual no ha recibido fluctuaciones en exceso puesto a que al igual que otros polímeros conservan su mismo precio de hace cinco años, geográficamente el PET puede ser encontrado, procesado, utilizado en distintas regiones como América, Europa, Asia y Sudáfrica. (Quito & Villafuerte, 2011)

Pero el Polietileno de Tereftalato también posee desventajas que se deben considerar en menor medida, las cuales pueden ser:

- Secado: Ya sea reciclado o producido de cero, el PET debe atravesar un proceso de secado debido a que es un material higroscópico, lo cual le permite absorber la humedad del entorno, de lo contrario se pueden presentar defectos en sus propiedades mecánicas.
- Temperatura: El PET a pesar de tener una buena resistencia térmica que es capaz de resistir temperaturas superiores a los 230°C no comparte esta propiedad con muchos otros polímeros a los que tienen que añadirse aditivos o aplicar diferentes tipos de termoformado.
- Costo: Los precios en los que se encuentran los polímeros y en especial el PET no ha sufrido mayores cambios y siguen siendo económicamente rentables, pero en cambio la maquinaria que se utiliza para su producción mediante inyección o soplado han incrementado su costo haciéndolos difícilmente reemplazables o adquiribles.
- Condiciones Atmosféricas: Ante la intemperie y bajo condiciones naturales una gran cantidad de polímeros y en especial el PET tienden a amarillarse por efecto de la humedad y los rayos ultravioleta, además de perder otras propiedades.

Cabe destacar algunas características y datos técnicos que se han obtenido a través de los años mediante diferentes experimentos para tener un conocimiento técnico sobre este polímero:

➤ Datos Técnicos:

Tabla 1.1 Datos Técnicos PET

Densidad (g/cm ³)	1,3
Inflamabilidad	Nula
Resistencia UV	Moderada
Densidad Aparente Aprox. (g/cm ³)	0,85
Punto de Fusión (°C)	260 – 270
Dureza (M)	101
Coefficiente de Fricción	0,2 – 0,4
Resistencia a la Tracción (MPa)	160 - 190

Fuente: Iniciación a la Química de los Plásticos (1989)

1.8.2 ¿Cómo se Obtiene?

El proceso de producción del Polietileno de Tereftalato se deriva en la combinación de una resina poliéster de etilenglicol y un ácido tereftalático, el PET como tal es un polímero termoplástico con características definidas como su transparencia y utilidad en el embasamiento de alimentos.

Además, el PET también puede ser producido si se utiliza un dimetil tereftalato en lugar del ácido mencionado, de igual manera estos se polimerizan junto con el etilenglicol y según los aditivos que se utilicen se puede obtener distintas variaciones de PET.

El PET atraviesa distintas etapas para su producción desde que es se extrae el paraxileno del petróleo crudo para obtener un ácido tereftalático mediante oxidación, la producción del etilenglicol a partir de los derivados que se obtienen del gas natural

y hasta las fases finales de “pelletización” en donde se funden las cadenas monoméricas deseadas para este polímero mediante la utilización de extrusoras.

1.8.2.1 Proceso de Polimerización

Esta es la primera etapa que se ejecuta para la obtención de PET, se parte desde dos compuestos que son un ácido tereftalático obtenido del petróleo o un dimetil tereftalato y un etilenglicol que se extrae del gas natural. El proceso es sumamente complejo pero se resume a la reacción por esterificación del etilenglicol con el ácido tereftalático o el dimetil tereftalato, de esta reacción se crea un monómero llamado Bis-Beta-hidroxi-etil-tereftalato, sucesivamente este monómero entra a una fase de policondensación en donde se polimeriza para obtener polietileno de tereftalato.

Este proceso resulta muy difícil de explicar debido a las numerosas reacción químicas que se producen, sin embargo se puede recalcar que en el proceso de esterificación se tiene como objetivo la eliminación de agua del ácido y metanol del dimetil, en el proceso de policondensación se trabaja en temperaturas iguales o superiores a los 270° centígrados y mediante la adición de catalizadores se puede agilizar este proceso. De la misma manera el etilenglicol se elimina a través de un proceso de vacío aplicado en la autoclave, el glicol restante se reutiliza en un nuevo proceso de fabricación cíclico.

Una vez en la autoclave, cuando la mezcla de este polímero alcanza una viscosidad normal o la deseada, es necesario la introducción de nitrógeno al detenerse la reacción pues así se evita un proceso de oxidación del polímero. El polímero mezclado en estado viscoso debe ser procesa a través de maquinaria que ejerce una presión mínima por efecto del nitrógeno presenta en la mezcla y excreta el polímero en forma de fibra o hilo, su enfriamiento consolida el estado sólido del polímero, después de esto y mediante un proceso de corte, el polímero se granula, tamiza y examina de esta manera se constata que cumpla con sus características propias en esta etapa como su viscosidad, su estado amorfo y su peso molecular adecuado, una vez concluido esto, el polímero es enviado a su acopio para su siguiente etapa de uso o aplicación.

1.8.2.2 Proceso de Cristalización

Los procesos de cristalización que atraviesa los polímeros son menos complejos debido a que son de carácter térmico, es decir el polímero se debe tratar a temperaturas que oscilan entre los 130° – 160° centígrados en períodos de tiempo entre 10 minutos a 1 hora dependiendo del tipo de tratamiento térmico que se reciba pues puede ser agitado mecánicamente o mediante un efecto de fluidez continua, esto se hace con el fin de que no se estorben entre sí y el calor se distribuya uniformemente entre todos los granos de PET.

Químicamente este proceso de tratamiento térmico tiene como finalidad el cambio de la estructura semicristalina del polímero debido a que, después de su policondensación, el polímero presenta una disposición espacial en la que las macromoléculas están desordenadas lo cual confiere una estructura amorfa transparente y mediante un fenómeno físico producido por la acción térmica se obtiene una distribución macromolecular uniforme desordenada que posee características semicristalinas, opacidad y un color blanco lechoso que son propias del PET, de igual manera su densidad cambia con respecto a su estructura, es decir, en su estado amorfo teniendo 1.33 g/cm³ pasa a tener 1.4 g/cm³ en su estado cristalino. (Quito & Villafuerte, 2011)

1.8.2.3 Proceso de Polimerización en Estado Sólido o Post Polimerización

En este proceso se ultiman las características del polímero, al haber atravesado las dos anteriores fases, el PET en forma de un grano cristalizado es introducido a un sistema cilíndrico en el cual permanece por tiempos prolongados y en el cual también es sometido a un flujo de nitrógeno a una temperatura por encima de los 200° centígrados.

El objetivo de este proceso es el de crear una reacción de posterior a la polimerización de la primera etapa para lograr dos objetivos tales como la eliminación de acetaldehídos producidos en la primera etapa y aumentar los índices de viscosidad

mediante el aumento del peso molecular y elevarlas al grado de aplicación que se necesite, ya sea de grado botella como de grado ingenieril.

1.9 PET Grado Botella

Para que el Polietileno de Tereftalato sea de grado para botella primero sufre un tratamiento previo mediante una serie de procesos que facilitan la transformación y el cambio en su estructura, tales procesos son:

- **Secado:** EL PET, en estado de grano semicristalino, es depositado en tolvas de secado que cuentan con un sistema de calefacción que las mantienen en un flujo constante que supera los 150° centígrados por unas aproximadas 4 horas, mediante este proceso se elimina la humedad relativa que un material higroscópico como el PET adquiere del ambiente en el que se encuentre.
- **Deshumificación:** No es un proceso que afecte directamente al PET, es un proceso secundario de gran importancia debido a que elimina la humedad que se encuentra contenido en el aire, al salir de este proceso de deshumificación, el aire seco ingresa en las tolvas de secado, es necesario la deshumificación del aire debido a que así se evitan condensaciones que afecten la transformación del PET.
- **Cristalización:** Este proceso es realizado mediante un cristalizador que eleva la temperatura del PET por encima de los 100° centígrados agitándolo durante el proceso y de esta manera lo dejará listo para ingresar a las extrusoras de termoformado y convertirse en botellas, cuando el PET ya ha sido extrusionado o utilizado es necesario que sea triturado y vuelva a ingresar en las tolvas de secado.

Después de estas tres etapas de preparación, los gránulos de PET están listos para su siguiente proceso de formación, para esto existen diferentes maneras de producir botellas de polietileno pero dos de las más utilizadas son los Sistemas de Inyección y posterior Soplado y el Sistema de Extrusión y posterior Soplado.

➤ Sistema de Inyección – Soplado

Es uno de los conjuntos de procesos para producción de botellas de PET más utilizados en la industria de los polímeros y básicamente está compuesto por tres etapas que son: inyección, estirado y soplado. Los granos de PET se secan previamente para entrar a un proceso de polimerización en el cual se funden y se inyectan mediante presión a moldes denominados “preformas”, estos no son más que polímeros en forma de tubos a los cuales se les añade una rosca, posterior a esto son enfriadas para luego ser nuevamente calentadas gradualmente en donde mediante la inyección de aire a presión de 40 Kg/cm² son sopladas e infladas hasta adquirir la forma del molde que se desee.

Mediante este sistema de inyección, estirado y soplado se logra obtener y verificar una característica importante del PET, se denomina biorientación y proporciona una resistencia mecánica del polímero y también consigue que las macromoléculas del polímero se distribuyan o estructuren en forma de una red longitudinalmente y paralelamente al eje del molde. (Hachi & Rodríguez, 2010)

➤ Sistema de Extrusión – Soplado

Este sistema de formación es el tradicionalmente utilizado desde hace décadas en la producción de botellas de PET, durante este tiempo ha sido modificado y renovado, pero conserva el mismo principio básico.

Los granos de Polietileno de Tereftalato después de ser procesados en una tolva de secado ingresan a una extrusora en donde un tornillo mecánico que cuenta con una elevada temperatura lo extrusiona en una prensa y lo acumula para después en un solo paso ingresarlo al molde, darle forma y mediante una expulsión ligera permitir el soplado del material polimérico que genera el envase en menos etapas que el sistema de inyección debido a que en este proceso no se necesita producir una “preforma” para dar lugar a un envase.

1.10 Reciclaje del PET

El reciclado de PET es un proceso de reutilización en el cual el material es reacondicionado con el fin de obtener una materia prima que sea nuevamente útil para la producción, estos procesos de reciclaje son parte fundamental en la industria de los polímeros debido a que la mayoría de ellos provienen del petróleo, el cual es un material no renovable.

La finalidad del reciclaje de plásticos es el obtener una materia prima que de origen a un nuevo producto el cual contenga las mismas o mejores condiciones sin un exceso de aditivos que un material virgen, para esto los polímeros pueden tener diferentes tipos de reciclaje dependiendo de lo que se necesite obtener o de la finalidad que le den al material. (López., 2016)

1.10.1 Tipos de Reciclaje

El reciclaje de polímeros es una tarea complicada pues intervienen muchos factores, siendo el más importante el consumo irresponsable, esto se debe a que las industrias que se encargan de producirlo, utilizarlo y comercializarlo muchas veces no tienen un criterio medio ambiental responsable pues no aúpan sus esfuerzos en crear o producir materias primas o productos que tengan un cierto grado de materiales reciclados en su composición, la responsabilidad también recae en el consumidor o las industrias consumidoras debido a que menosprecian los productos reciclados al considerarlos inferiores lo cual es falso pues se mantienen rigurosamente las propiedades mecánicas, térmicas y de diseño al igual que en los materiales vírgenes.

Los plásticos se pueden reciclar y reutilizar después de un conjunto de procesos mecánicos o químicos que permitan acondicionarlos nuevamente obteniendo sus mismas propiedades, de esta manera se reduce considerablemente la cantidad de

residuos plásticos que se producen a diario, los rellenos sanitarios no se saturan con rapidez debido a que los polímeros ocupan más espacio de lo que pesan, además se ahorran recursos naturales no renovables evitando así más contaminación.

Según su método de reciclaje, los plásticos pueden clasificarse de muchas maneras pero las más importantes son el reciclado químico y mecánico pues ambos buscan plenamente la reutilización.

1.10.1.1 Reciclado Mecánico

El reciclado mecánico es una de las formas de reciclaje más utilizadas en la actualidad debido a su eficacia y a su rentabilidad, esta forma de reciclaje no es más que la transformación de los desechos plásticos en un tipo de granulo plástico que puede ser reutilizado como materia prima de otros productos. Cabe recalcar que este tipo de procesos es más eficiente si se reciclan solo un tipo de plástico específico a la vez y como obligación deben ser polímeros termoplásticos, pues solo ellos pueden ser fusionados, extruidos y moldeados de nuevo.

El reciclado mecánico consta de diferentes etapas para producir materiales reciclados, estas son las principales:

- Acopio: El acopio es la primera y quizás la más importante de las etapas que transcurren los plásticos para su reciclaje pues no depende estrictamente de aquellos que operan una fábrica de reciclaje, depende de la conciencia de reciclaje del consumidor y de personas intermediarias que se encargan en clasificar los materiales en los basureros o recorriendo calles.
- Limpieza y Clasificación: Al llegar de los centros de acopio, los plásticos generalmente se encuentran sucios por su periodo en la intemperie, esto se corrige mediante una limpieza de los plásticos que remueva polvo, papeles, aceites, pegamentos y cualquier tipo de material extraño que contamine al plástico. Este proceso también puede ser mecanizado mediante la intervención de hidrociclones que dentro de su sistema hacen flotar a los plásticos lo cual permite que los contaminantes se depositen en acumuladores, en ningún momento de este proceso, ya sea manual o mecánico, es recomendable utilizar

detergentes o limpiadores debido a que se utilizarían grandes cantidades que no se podrían devolver a su cauce esperando su disolución, tampoco convendría un sistema de purificación por su costo así que se desaconseja su uso.

- La clasificación de los plásticos también es una fase muy estricta del reciclaje pues es necesario diferenciar y separar el tipo de plástico que se va a reciclar de otro tipo de componentes o plásticos, esto se vuelve indispensable debido a que otros materiales diferentes al principal pueden afectar las propiedades de la materia prima uniforme producida al ser inmiscibles o incompatibles. Existen diferentes formas de clasificar los plásticos ya sea de forma manual, en la que la mano de obra selecciona y separa los materiales por su transparencia y por propiedades ópticas, y también existen formas mecánicas que pueden basarse en el peso, densidad o gravedad específica.

- Trituración: El proceso de molienda o trituración de plásticos tiene como objetivo moler y triturar el plástico para la reducción de su tamaño, esto facilita los siguientes procesos de reciclaje, la trituración de los plásticos dependerá exclusivamente del tamaño de partícula que se desee obtener pues puede variar desde hojuelas de 1 pulgada hasta llegar a polvo de plástico, este proceso relativamente es afectado por el tamaño debido a que si se busca uniformidad en el producto triturado se disminuirá la eficiencia del molino, mientras que si se trituran grandes cantidades pues se tendrá tamaño mayores no uniformes pero con evidencia absoluta.

- Lavado y Secado: Una vez finalizada esta etapa, el material aun poseerá contaminantes iniciales o adquiridos durante la molienda, deben ser removidos mediante un lavado o más dependiendo del tipo de contaminante. Posteriormente, las hojuelas de plástico son introducidas a maquinas secadoras de acción centrifuga que extraen los remanentes de humedad por medio de las paredes del equipo, también se pueden utilizar secadoras de aire frio o caliente que circulen por el material. En algunos casos en donde se necesite que el material este completamente seco se pueden utilizar máquinas de secado térmicas que pueden accionarse desde los 100° centígrados hasta los 180° centígrados.

- Extrusión: Llegado a la etapa final, el PET, clasificado, triturado, lavado y secado se dispone para ingresar en una extrusora, que mediante a un tornillo mecánico caliente, funde y homogeniza al plástico para ser termoformado mediante un sistema de fusión, bombeo y presurización que moldea el plástico en forma de hilo el cual es cortado en un granulador mecánico para dar origen a un grano de “pellet”.

Estas son las etapas para un correcto reciclado mecánico, a partir de eso, el material granulado está en perfectas condiciones para ser extruido o inyectado en nuevas piezas que se quiera producir. (Gorka, 2009)

1.10.1.2 Reciclado Químico

Los procesos del reciclaje químico tienen como objetivo el tratamiento de los residuos plásticos por medio de la aplicación de reacciones de polimerización, gasificación y refinación con el fin de romper las moléculas del polímero y así dar origen a nueva materia prima que sirva para la producción de nuevos materiales.

El reciclaje químico fue impulsado por las empresas e industrias petroquímicas con el afán de optimizar sus recursos recuperando parte de ellos mediante el reciclaje de plásticos, con el pasar del tiempo se han desarrollado nuevos métodos que evitan el amplio trabajo de clasificación de polímeros y de igual manera se reproducen materiales de muy buenas características.

En la actualidad se está trabajando en desarrollar métodos que permitan la separación de los componentes básicos de cualquier polímero así como su el ahorro de gas y petróleo. En la industria del reciclaje químico, los métodos mayormente utilizados son:

- Hidrogenación.
- Gasificación.
- Pirólisis.
- Metanólisis.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO DE GRANULOMETRÍA DE SUELOS

Dada la importancia que genera la utilización de granos de arena de diferente tamaño en el presente trabajo de titulación, es necesario conocer los aspectos básicos acerca de los suelos y su granulometría, así como su clasificación, es por eso que se procede a investigar y recopilar información que ayude al entendimiento de las características principales de los distintos suelos.

2. Granulometría de los Suelos

Los agregados que componen los suelos son granos de diferente forma y tamaño que pueden ser del tamaño de la mano hasta aquellos que son visibles solamente por medio de un microscopio, la granulometría es un proceso de clasificación y distribución según el tamaño de los granos de un material y sirva principalmente para analizar las propiedades mecánicas de los agregados que se utilicen en construcciones civiles.

Cuando se habla de granulometría se puede conceptualizar como un procedimiento ya sea manual o mecánico que tenga como fin la separación o clasificación según el tamaño de partícula de un material, es decir, la medición o gradación de los granos que componen un suelo específico mediante el cual se pueda analizar su composición, origen y propiedades mecánicas y geológicas por medio de una escala de clasificación definida, además de esto, se estudia la proporción en la que un tamaño de partícula se presenta en un material.

La importancia del estudio granulométrico radica en la clasificación de los materiales según su tamaño de grano pero además esto permite una clasificación según el sistema de dispersión que posea el material, por lo general los suelos están constituidos por sistemas de material disperso pues sus granos son de diferente tamaño y forma, estos

sistemas se encuentran finamente divididos aunque actúan de manera distinta en conjunto que en solitario. Estos sistemas pueden presentar de tres maneras que son:

- **Sistemas Granulares:** Estos sistemas por lo general presentan distribuciones de tamaño de partícula en torno a los 2 milímetros y 0.044 milímetros.
- **Sistemas en Polvo:** Los sistemas en polvo se componen de finas partículas que se encuentran entre los 44 micrómetros y los 0.24 micrómetros aproximadamente.
- **Sistemas Coloidales:** Son solo visibles plenamente mediante un microscopio debido a que su tamaño de partícula oscila entre las centenas y decenas de nanómetros.

La mayoría de los agregados que la industria ocupa para la producción de materiales son sistemas dispersos como la arena y grava, la clasificación de los sistemas según el tamaño de su grano es compleja dependiendo de cuanto más disminuya el tamaño de la partícula y cuanto más se desee clasificar los granos. (Casanova, Vera, Leighton, & Salazar, 2004)

2.1 Análisis Granulométrico

El análisis granulométrico o de granulometría es el conjunto de procesos mediante los cuales se logra la determinación de los tamaños que compone una muestra en relación a su peso, es una herramienta que sirve para el análisis del comportamiento de un material que se destina como agregado de un producto ya sea para construcciones civiles o ensayos de permeabilidad.

La finalidad de este análisis es obtener la distribución y clasificación de un suelo según su tamaño de partícula mediante un proceso manual o mecánico de tamización, en los cuales se utilizan tamices de separación normalizados en orden decreciente, los resultados se pueden interpretar de forma analítica, mediante tablas de porcentajes con respecto al peso total, y de forma gráfica, mediante graficas de curvatura conocida como “Curva Granulométrica”.

2.1.1 Tamización

El proceso mecánico de tamización mediante el cual se separan las partículas por su tamaño en diferentes tamices normalizados que contienen diferentes tipos de aberturas en orden decreciente, la cantidad retenida entre dos tamices indica el tamaño que posee, estos ensayos se realizan en partículas cuyo tamaño es mayor a 0.075 milímetros.

Un tamiz es un instrumento metálico por el cual se separa los suelos según su tamaño, está conformado por alambres que se cruzan ortogonalmente y forman aberturas, según las normas ASTM son diseñados por medio de pulgadas y números que indican el grado de abertura del tamiz.

Existen diferentes tipos de mallas que clasifican el material pero las más comunes se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2.1 Tipos de Tamices

TAMIZ (ASTM)	ABERTURA REAL (mm.)	TIPO DE SUELO
3 "	76,12	GRAVA
1 "	25,4	
3/8 "	9,52	
N° 4	4,76	ARENA GRUESA
N° 10	2	ARENA MEDIA
N° 20	0,84	
N° 40	0,42	
N° 60	0,25	ARENA FINA
N° 140	0,105	
N° 200	0,074	

Fuente: (Sistema de Clasificación Internacional de Suelos, USCS. 2011)

El método de tamización también posee algunas claras desventajas al momento de aplicarlo, por ejemplo, no provee de información acerca de la estructura y forma de las partículas, algunas partículas pequeñas tienden a adherirse a partículas grandes, el número de tamices son limitados y los tamaños que una partícula puede tener son

infinitos y sobre todo este método de gradación mide partículas irregulares en un sistema orientado a partículas de forma regular.

Procedimiento:

- La muestra se debe secar en un horno a 100° centígrados por un periodo de 3 horas con el fin de evaporar todo tipo de humedad que las cavidades porosas puedan albergar.
- Con ayuda de una balanza se debe pesar la cantidad de muestra que se va a analizar.
- Se procede a verter el material a través de los tamices en orden decreciente con un acumulador en el fondo.
- Se inserta el sistema de tamices en un agitador mecánico con movimiento vertical y horizontal durante 5 minutos, de no contar con agitadores mecánicos se puede hacer de forma manual por un lapso de 10 minutos.
- Se pesa la cantidad de material retenido en cada tamiz, este proceso puede hacerse de manera individual o acumulada.
- El material acumulado en el fondo se puede secar a 100° centígrados si se desea clasificar aún más.
- Cabe recalcar que si se tiene un material compuesto por granulometrías muy dispares es mejor realizar el proceso en dos etapas, en la primera realizar el procedimiento con tamices de hasta una granulometría media y la segunda etapa realizar solo con tamices de granulometría media y fina.

2.1.2 Curvas Granulométricas

La curva granulométrica de un suelo se obtiene mediante los datos obtenidos por el proceso de tamización, se representa en una tabla junto a una gráfica donde se puede observar el tamaño promedio de las partículas y la forma de distribución, estos sistemas de representación ayudan a comparar diversas granulometrías de forma eficiente.

La grafica en la que la curva granulométrica se representa está conformada por un eje de abscisas, que contiene una escala logarítmica que representa el diámetro del tamiz,

y en el eje de las ordenadas se encuentra una escala natural que representa el porcentaje que pasa por cada tamiz.

Las representaciones graficas de las curvas granulométricas sirven para determinar tres parámetros básicos del suelo, estos son:

- **Diámetro Efectivo:** Es la abertura del tamiz por la cual pasa el 10% de la muestra.
- **Coefficiente de Uniformidad:** Es la relación entre el diámetro correspondiente al 60% y el diámetro efectivo de la curva granulométrica.
- **Coefficiente de Curvatura:** Es la relación que existe entre la abertura por la cual pasa el 30% del material dividida para la abertura por la cual pasa el 60% del material multiplicada por el diámetro efectivo de la curva granulométrica.

Por medio del análisis granulométrico se pueden obtener los distintos tipos de diámetros de los granos del material representados por la letra “D” y un subíndice (10, 30, 60,85) que denota el porcentaje del material. (Casanova, Vera, Leighton, & Salazar, 2004)

2.2 Suelos

La capa que compone la superficie terrestre es denominada como suelo, está en constante cambio debido a diferentes fenómenos atmosféricos, el suelo está compuesta por materiales orgánicos y minerales Se encuentra diferenciado de la roca madre “bedrock” por diferentes horizontes a distintas profundidades, posee diferentes tipos de propiedades y características dependiendo de su composición.

Lo suelos se originan a través de la acumulación de material meteorizado por medio del arrastre de los mismos de una zona a otra, este material es separado de la roca madre, durante este proceso se diferencian las capas que el suelo posee con diferentes espesores, esto depende de varios factores como la intensidad de los factores atmosféricos que intervienen, la resistencia del suelo y el tiempo que dure el proceso.

Existen diversas sustancias orgánicas e inorgánicas que constituyen los suelos y se pueden presentar en los diferentes estados del suelo, estas fases son:

- Fase Sólida: La fase sólida del suelo puede subdividirse en orgánica e inorgánica:

Suelo Orgánico: Está compuesto por todos los restos de sustancias vivas o muertas en diferente grado de descomposición, es capaz de retener agua lo cual favorece la aeración del suelo, su fertilidad y su porosidad.

Suelo Inorgánico: Son todos los fragmentos de roca y mineral que produce la meteorización.

- Fase Líquida: Los suelos coloidales compuestos por arcillas finas y sales minerales se mezclan y son transportadas por medio del agua, el agua se logra almacenar en los poros intersticiales de los granos del suelo solo cuando estos poros no son excesivamente grandes o muy pequeños.
- Fase Gaseosa: Esta fase está compuesta por el aire o los gases que estén dentro de los poros del suelo o dentro de los poros en los que el agua se ha evaporado.

Para la formación de los suelos es necesario que exista un proceso de meteorización mediante el cual se desintegre y descomponga el manto rocoso, este proceso puede ser diverso dependiendo de su origen, este origen puede ser físico, si es mediante la desintegración mecánica de la forma y tamaño del material por acción de la gravedad, viento, agua o temperatura, puede además ser un proceso químico, cuando se descomponen los materiales que constituyen el suelo en sustancias más simples mediante procesos de oxidación o reducción, carbonatación, disolución o hidrólisis, además, este proceso de meteorización puede ser también biológico por la interacción de seres vivos como hongos que viven en las superficies de los suelos o plantas que crecen en la superficie. (Jordán López, 2006)

2.2.1 Clasificación de Suelos

Los sistemas de clasificación de los suelos son diversos pero el más utilizado en los ensayos y análisis es según su composición granulométrica de la fracción inorgánica que se encuentra en el suelo como granos rocosos y minerales. Las características de los suelos y su clasificación dependen del tamaño de partícula y reciben la misma nomenclatura en casi todas las clasificaciones internacionales variando únicamente los

tamaños permisibles de una partícula para ser considerada en términos de grava, arena, limo o arcilla.

La clasificación por su composición granulométrica o clase textural son tres fracciones bien definidas que están presentes en distintas proporciones, el porcentaje en el cual estas fracciones estén presentes en un suelo es denominado textura de suelo. Los suelos pueden estar conformados y ser clasificados mediante su tamaño y así se puede separar en:

- **Gravas y Piedras:** Son generalmente partículas minerales sólidas cuyo diámetro se establece entre 2 centímetros y 7 centímetros, llegando a ser incluso mayor en el caso de piedras, si predominan en un suelo podría provocar un mal manejo, comportamiento y resistencias características.
- **Tierra Fina:** La tierra fina se compone por partículas menores a 2 milímetros de diámetro que puede a su vez subdividirse en arena, limo y arcilla.

Arena: Son granos minerales en estado sólido cuyo tamaño oscila entre los 2 milímetros y 0.02 milímetros, la arena es el componente más predominante de los suelos y está compuesta principalmente por cuarzo meteorizado, feldespatos y micas. Son visibles y palpables, además, no poseen una capacidad de agregación por lo que siempre se encuentra de manera individual y su principal función es componer la matriz de los suelos. Mediante una determinación por tacto se puede definir como un material que no se adhiere a los dedos, que no es moldeable y se puede vislumbrar sus partículas individuales sin necesidad de un microscopio.

Limo: Es una clase de material mineral de tamaño entre 0.02 milímetros y 0.002 milímetros, está compuesto por un material medio fino como el talco, no posee capacidad de agregación, no puede formar estructuras de limos, no se expanden ni contraen y su composición química se asemeja más a la composición de la arena. Si se analiza su comportamiento al tacto se puede definir como un material que se adhiere con facilidad a los dedos dejando una apariencia grasosa, se moldea con dificultad y sus partículas brillan notablemente.

Arcilla: Es la fracción que menos se encuentra en los suelos en comparación con las arenas y los limos, la arcilla proviene del fraccionamiento físico de las

rocas por medio de una alteración química, su diferenciación se denota por su composición mayormente conformada por minerales originados por procesos de meteorización, posee capacidad de agregación y no se comportan como granos individuales, su tamaño por lo general es menor a dos micrómetros con propiedades físicas y químicas especiales. Se puede determinar mediante el tacto pues característicamente se adhiere bastante y se moldea con facilidad, su superficie es levemente brillante.

El sistema de clasificación de suelos difiere según la norma en la que este aplicado y básicamente clasifica o separa el material en función al tamaño de su grano, de esta manera se tienen distintos tipos de sistemas internacionales, como son:

➤ Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Tabla 2.2 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Nomenclatura	Tamaño Mínimo (mm.)	Tamaño Máximo (mm.)
Bloques	300	-
Bolos	75	300
Grava	4,76	75
Arena	0,075	4,76
Limo	0,002	0,075
Arcilla	-	0,002

Fuente: (Unión Internacional de Ciencias del Suelo, 1998)

- Normas Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO M-145)

Tabla 2.3 Clasificación de los Suelos según Normas AASHTO M-145

Nomenclatura	Tamaño Mínimo (mm.)	Tamaño Máximo (mm.)
Bloques	75	-
Grava	2	75
Arena	0,075	2
Limo	0,005	0,075
Arcilla	0,001	0,005

Fuente: (Unión Internacional de Ciencias del Suelo, 1998)

- Normas American Society for Testing and Materials (ASTM D-7263)

Tabla 2.4 Clasificación de los Suelos según Normas ASTM D-7263

Nomenclatura	Tamaño Mínimo (mm.)	Tamaño Máximo (mm.)
Grava	4,76	75
Arena Gruesa	2	4,76
Arena Media	0,42	2
Arena Fina	0,075	0,42
Limo	0,005	0,075
Arcilla	0,001	0,005
Coloides	-	0,001

Fuente: (Unión Internacional de Ciencias del Suelo, 1998)

➤ Normas de Identificación Manual y Visual de Suelos (INV-E-102-07)

Tabla 2.5 Clasificación de los Suelos según Normas INV-E-102-07

Nomenclatura	Tamaño Mínimo (mm.)	Tamaño Máximo (mm.)
Fragmentos	300	-
Guijarros	75	300
Grava	4,76	75
Arena	0,075	4,76
Limo	0,002	0,075
Arcilla	-	0,002

Fuente: (Unión Internacional de Ciencias del Suelo, 1998)

2.2.2 Textura de los Suelos

En concepto, la textura se refiere básicamente a la cantidad de arcilla, limo y arena que se encuentra en el suelo. Además de la clasificación textural o composición granulométrica, esta clasificación también puede ser representada gráficamente mediante el triángulo textural, que es un triángulo equilátero en el cual sus lados representan los porcentajes de arena, limo y arcilla. Además también se puede encontrar balances equilibrados de arcilla, limo y arena y se conocen como suelos francos.

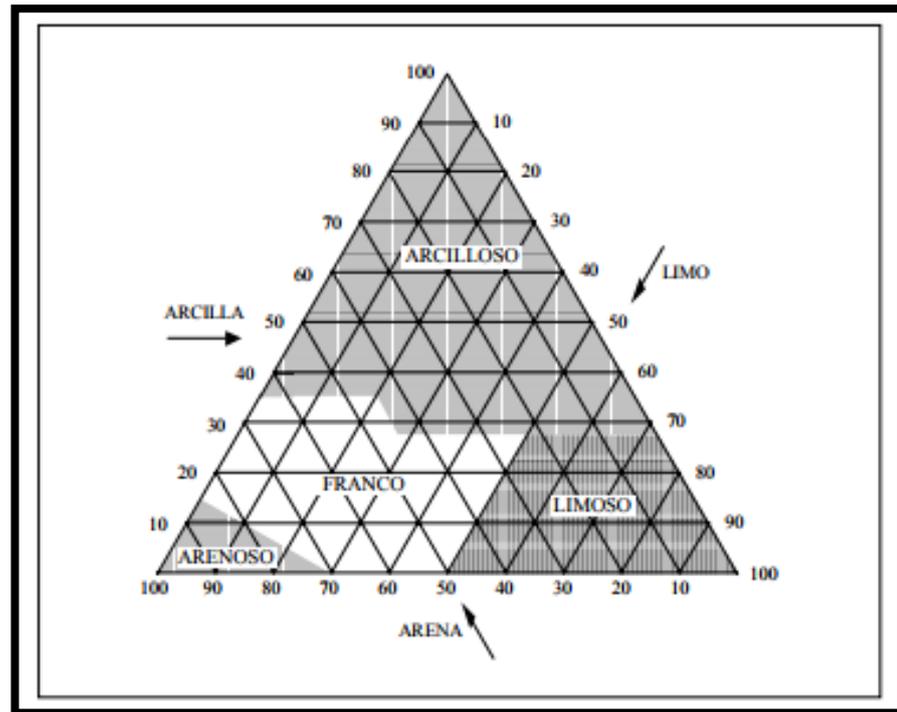


Figura 2.1 Clasificación Textural

Fuente: Manual de Edafología, Jordán López, 2006.

De la clasificación textural se analizan las propiedades mecánicas de los suelos como su facilidad de mecanización, movimiento de agua y aire, susceptibilidad a erosión y meteorización, esta clasificación también puede dividirse más allá de suelos francos y representar una nomenclatura más de acorde a su composición, entre las cuales tenemos:

- Arenoso: Son suelos que solo se pueden acumular en disposición de pirámide pues por lo general permanecen sueltos y separados.
- Arena Franca: Estos suelos poseen limo y arcilla por lo que tienden a ser pegajosos y moldeables de forma esférica.
- Franco Limoso: Los suelos franco limosos comparten características de la arena franca, excepto en su moldeo que se realiza en forma cilíndrica.
- Franco: Son suelos que contienen la misma proporción de arcilla, limo y arena, son moldeables en ciertas circunstancias.
- Franco Arcilloso: Muy parecidos a los suelos francos aunque su propiedad de moldeo es más resistente.
- Arcilla Fina: Este tipo de arcilla es usualmente moldeable aunque presenta agrietamientos.

- Arcilla Pesada: A diferencia de la arcilla fina, la arcilla gruesa puede ser moldeable y no presenta grietas en su estructura.

(Jordán López, 2006)

2.2.3 Estructura de los Suelos

Es el resultado de la composición granulométrica, actividad biológica y condiciones físico químicas que permiten la aglomeración de las partículas. La estructura de los suelos difiere de la textura de los suelos, pues, es la distribución o disposición de las partículas como la arcilla, limo y arena en el suelo que las contiene, esta estructura depende en gran medida del contenido de materia orgánica, calcio, sodio, humedad y arcilla (coloidal y fina) que se presente en el suelo.

La estructura que contenga un suelo no es precisamente estable debido a que puede sufrir variaciones dependiendo de las condiciones climáticas y procesos edáficos a los que se someta, por ejemplo, las precipitaciones moderadas puede producir un efecto de dilución en los cationes que ayudan a la floculación de las arcillas coloidales. La acidificación o descalcificación de los suelos también producen una desestabilización de los agregados.

Las estructuras de los suelos pueden clasificarse según la presencia de partículas de arcilla coloidal en el suelo y como estas actúan con las partículas más gruesas, así tenemos:

- Estructura de Grano Suelto: Cuando los materiales coloidales se presentan en mínimas proporciones y las partículas gruesas son predominantes en el suelo, no se produce una agregación y las partículas permanecen individualmente.
- Estructura Grumosa: Estas estructuras se producen cuando existe una presencia elevada de materiales coloidales floculados, estos materiales actúan como aglomerantes de partículas gruesas, esto favorece la formación de grumos que contienen un índice de porosidad, aireación y permeabilidad elevado.
- Estructura Masiva: Cuando la presencia de materiales coloidales es muy extensa en un suelo se disminuyen los poros y provoca una menor aireación y drenaje, a esto se conoce como estructura asfixiante.

Adicionalmente existen materiales que no pueden ser clasificados según las estructuras mencionadas antes por lo que para ciertos materiales el grado de estructura que los suelos pueden contener se clasifica de la siguiente manera:

- Sin Estructura: Generalmente son suelos que contienen gran proporción de granos de arena sueltos y una pequeña proporción de materiales finos, son suelos que destacan por su estructura maciza, no posee fisuras o superficies débiles y suelen romperse según la dirección en que se aplique una fuerza.
- Suelo Estructurado: Los suelos estructurados forman agregados y se pueden subdividir según el grado de desarrollo, así podemos tener:

Grado de desarrollo débil: Presenta zonas de debilidad poco definidas en los agregados, si se separan los agregados, por medio de estas zonas débiles, el material resulta muy suelto y se desprende abundantemente.

Grado de desarrollo moderado: Los agregados que componen esta estructura están bien diferenciados y poseen una dureza y duración elevada.

Grado de desarrollo fuerte: este tipo de estructura posee agregados duraderos y su nivel de organización es muy alto, además, sus zonas de debilidad están muy bien definidas lo cual produce que cuando el material se separa puede volver a unirse y encajar normalmente.

Desde un punto de vista morfológico, los suelos también pueden clasificarse, por su estructura, de la siguiente manera:

- Laminar: Son materiales que normalmente son depositados por el agua mediante inundaciones, su origen se encuentra en el impacto de gotas de lluvias sobre superficies costrosas, sus agregados son de forma aplanada o de lámina.
- Prismática: Son estructuras que se presentan en materiales en los cuales la arcilla predomina, posee superficies de debilidad y grietas de retracción en una misma zona, generalmente son agregados muy duros.
- Columnar: Estructuras con forma columnar como su nombre específica, son prismas con extremos redondeados, característicos de suelos arcillosos enriquecidos en sales.

- Poliédrica Angular: Son conformados por agregados poliédricos regulares con superficies planas, aristas marcadas y vértices patente, estos agregados se comportan muy bien en conjunto.
- Poliédrica Subangular: Las estructuras poliédricas angulares están compuestas por agregados con superficies no muy planas, no contienen vértices en su formación y suelen comportarse con poca efectividad en conjunto.
- Granular: Son materiales cuya estructura presenta muy poca porosidad no distribuidos homogéneamente en su superficie pero no se ajustan bien en conjunto.
- Migajosa: A diferencia de las estructuras granulares, las estructuras migajosas presentan una porosidad elevada y distribuida homogéneamente en su superficie, tampoco se ajustan bien en conjunto.

2.2.4 Porosidad e Índice de Vacíos

La porosidad que presenten los suelos está directamente relacionado a la textura y la estructura de los suelos, es decir, el tamaño de los poros de un suelo es directamente proporcional al tipo de suelo y el grado de compactación de la estructura.

Dicho en porcentajes, el suelo está conformado por 45% material mineral, 5% de material orgánico y 50% de espacios porosos compuestos por 25% de aire y 25% de agua, entonces, la porosidad es la suma de los porcentajes que represente cada poro de diferente tamaño, estos tamaños pueden ser denominados poros grandes cuando tienen un diámetro entre 0.01 milímetros y 0.05 milímetros, poros medianos cuando su diámetro oscila entre los 0.0002 milímetros y 0.01 milímetros, poros pequeños cuando poseen un diámetro menor a 0.0002 milímetros. Teóricamente, un suelo ideal debe tener un 50% de porosidad, del cual, un tercio deben ser poros grandes y sus dos tercios restantes deben ser poros medianos.

Debido a que el volumen de poros de un suelo se puede representar en porcentajes, este porcentaje de porosidad puede dividirse en dos compartimientos que son:

- Capacidad de Campo: Es la cantidad máxima de agua que un suelo puede retener en sus poros sin que el efecto de la gravedad le afecte, esta capacidad es proporcional al tamaño, distribución, número y forma de poros que el suelo posea.
- Capacidad de Aire: Es el volumen máximo de aire que los poros que contiene el suelo pueden albergar, esto se produce cuando la humedad coincide con la capacidad de campo. Esta capacidad de aire en los suelos arenosos es del 30% del volumen poroso, en los suelos arcillosos apenas llega al 5% de su volumen poroso.

Para los análisis estructurales es necesario conocer este tipo de datos de capacidad de aire y campo para conocer el estado de la estructura del suelo y sus propiedades físicas, pero además, la porosidad está directamente relacionada a dos parámetros técnicos característicos que son:

- Densidad Real: Se representa como la densidad que se presenta en la fase sólida del suelo, es un valor generalmente constante y es de 2.65 g/cc, si este valor de densidad tiende a variar es debido a la cantidad de materia orgánica presente en el suelo.
- Densidad Aparente: Es la densidad del suelo conformada por la fase sólida y la fase gaseosa en la cual la densidad aparente es de 1 g/cc en suelos bien estructurados y es de 1.88 g/cc en suelos compactados.

2.2.5 Color de los Suelos

El color de los suelos es una propiedad por la cual se pueden interpretar y conocer distintos tipos de características físicas como su edad, procesos edáficos y composición mineralógica, además, el color de un suelo sirve para clasificarlo según el estado en el que se encuentre la materia orgánica en el suelo y su drenaje, el proceso de clasificación se da por medio del humedecimiento de una muestra de suelo en contraste con los colores de clasificación establecidos, las propiedades y características de un suelo en función de su color, así se tiene: (Casanova, Vera, Leighton, & Salazar, 2004)

- **Color Oscuro o Negro:** Los colores negros en los suelos suelen denotar la presencia de materia orgánica, cuanto más oscuro sea el suelo más cantidad de materia orgánica existirá en su composición. Si en cambio en los suelos se presentan tiras o puntos oscuros puede deberse a presencia de compuestos de hierro o manganeso.
- **Color Claro o Blanco:** En los suelos, el color blanco generalmente indica la existencia de carbonatos de calcio, yesos, magnesio y otro tipo de sales solubles. Estos materiales suelen acumularse en los suelos debido a la aridez del clima y fenómenos atmosféricos aunque originalmente también pueden estar incluidos en los suelos.
- **Color Pardo Amarillento:** Este color se presenta en los suelos cuando se encuentran minerales como la Goethita, $\text{FeO}(\text{OH})$, que es un óxido de hierro hidratado que se une a la arcilla y materia orgánica original del suelo.
- **Color Rojo:** Suele aparecer en los suelos como resultado de la alteración de los minerales presentes en las arcillas, estas alteraciones son provocadas por la reacción de óxidos férricos en climas cálidos con sequías, estos suelos a su vez poseen un buen drenaje que permite las reacciones oxidación.
- **Color Gris Veteado:** Por lo general este tipo de suelos contienen gran cantidad de compuestos ferrosos y férricos, este tipo de suelos suelen tener condiciones alternantes de oxidación y reducción.
- **Color Gris Verdoso Azulado:** Estos colores se presentan en presencia de hidróxidos de hierro o arcillas saturadas de hierro, estos suelos poseen una intensa hidromorfia y carencia de oxígeno por baja porosidad.
- **Color Violeta:** Este tipo de color en los suelos es menos frecuente pero suele servir como indicador de la existencia de minerales como el yeso.

CAPÍTULO 3

DISEÑO Y EXPERIMENTACIÓN

Dentro de este último capítulo procedemos con el diseño de las muestras y su posterior experimentación, después de haber recopilado y estudiado las diferentes características y cualidades tanto del PET como la arena procedemos a elaborar muestras que permitan llevar a cabo el experimento, para esto seguimos distintos pasos y etapas que a continuación se detallarán con mayor precisión.

3. Diseño y Experimentación

Las muestras que fueron realizadas se basaron en diferentes parámetros técnicos que a continuación se detallarán, para esto se tomó en cuenta distintos aspectos que influirían en su diseño como su tamaño, forma y volumen, así como su experimentación por medio de un análisis de resistencia a la compresión simple.

Las muestras pueden definirse brevemente como cilindros compuestos por plástico reciclado, conocido como Polietileno de Tereftalato, mezclado con arena común utilizada en construcción civil, el PET tiene como objetivo proporcionar dureza y resistencia a un bajo coste mientras que la arena actúa como una carga que proporciona consistencia y estabilidad. Estas muestras son probadas en una prensa mecánica de compresión para obtener la fuerza que son capaces de resistir e inferir si esta fuerza es equiparable a otros materiales que se usan en fortificación minera.

La finalidad del siguiente análisis es probar, mediante la resistencia a la compresión simple, que se puede considerar la utilización de plástico PET, reciclado, fundido y mezclado con arena de construcción simple en diferentes porcentajes que funcione como una carga o agregado que proporcione estabilidad y dureza para su uso en estructuras de fortificación minera.

Las distintas variables se detallan a continuación con el fin de explicar su uso y justificación dentro del análisis.

3.1 Descripción de Muestras

3.1.1 PET

El polietileno de Tereftalato, como se ha descrito anteriormente, posee características y propiedades mecánicas muy buenas, como su dureza, su peso ligero, su resistencia al desgaste, su fácil moldeo y adaptación a diferentes aplicaciones.

Para la realización de muestras se tuvo en cuenta que la composición de la mezcla debía contener un elevado porcentaje de PET debido a que su uso como material principal era un motivo para incentivar el reciclaje y dar un nuevo uso a uno de los polímeros más producidos, usados y desechados del consumo diario humano e industrial.

Tabla 3.1 Características PET

PET		
Características	Color	Blanco Lechoso
	Forma	Granular Típica
	Peso	Ligero
Propiedades	Óptica	Cristalino y Transparente
	Reciclabilidad	Alta
	Temperatura de Transición Vítrea	270° - 300° Centígrados
	Granulometría	Uniforme
	Resistencia a la Tracción	160 – 190 Mpa

Figura 3.1 PET

3.1.2 Arena

EL tipo de arena utilizado para la conformación de las muestras proviene del sector denominado El Tahual – El Descanso, en la provincia del Azuay, específicamente es extraída de la formación Biblián, sus afloramientos se dan en los núcleos del anticlinal de Cuenca, sinclinal de Azogues y en el margen centro sureste de la cuenca.

Su ubicación se puede detallar sobre la autopista Cuenca – Azogues a lo largo de 3 kilómetros al norte del puente sobre el río Déleg, la litología del terreno se puede definir como una secuencia sedimentaria clástica que presenta alternancia de argilitas, limolitas rojizas y areniscas tobáceas de grano fino a grueso, también se presentan conglomerados de cantos mal sorteados y subangulares de la formación Yunguilla. La edad de la formación Biblián se puede establecer en el Mioceno – Medio mediante el depósito de un sistema fluvial muy distal con planicies de inundación, el espesor de la formación ronda sobre los 1000 metros y su tectónica se ve alterada por deformaciones y fallas post sedimentarias.

Presenta una moderada susceptibilidad a terrenos inestables que depende de la pendiente favorable y de los movimientos superficiales del terreno, es decir, sus condiciones geodinámicas demuestran una erosión intensa en las coberturas pero no hay evidencias de inestabilidad en el macizo rocoso que contiene rocas volcánicas andesíticas, ocasionalmente se puede observar el desprendimiento de bloques cuando la orientación de las juntas favorece a su inestabilidad.

En cuanto a sus condiciones hidrogeológicas se cuenta con una permeabilidad baja o nula, intenso escurrimiento superficial con aguas freáticas escasas debido a su nivel freático profundo.

En cuanto a la arena que se puede encontrar en esta región se puede inferir que deriva de los suelos volcánicos de Llaqueo, es extraída desde los depósitos del río Sidcay por fábricas que producen ladrillos para construcción civil. Generalmente se encuentran en los taludes de derrubio que son zonas llanas y estrechas formadas por depósitos aluviales de arenas características de la edad cuaternaria, también se encuentran guijarros grandes, estas arenas pueden ser encontradas a ambos lados del plano inundable y son originadas por repetidos descensos del nivel base de erosión, existen cerca de 4761 hectáreas con estas propiedades a lo largo de esta zona.

Este tipo de arena es principalmente extraída y utilizada para labores de construcción civil, como un agregado a mezclas de cemento o ladrillos, generalmente es un material cuyo costo es económico si se tiene en cuenta que es un material apto para usos civiles con gran dureza y compactación, lo cual deriva en que su mezcla con PET, también económico, resulte en un material asequible económicamente.

Tabla 3.2 Características Arena

Arena Andesítica		
Características	Origen	Ígneo Extrusivo
	Composición	Intermedia - Básica
	Forma	Piroclastos
Propiedades	Densidad	2,42 g/cm ³
	Absorción	5,40%
	Porcentaje Finos M. Nro. 100:	< Malla 100: 15%
	Granulometría	Discontinua
	Calidad Física y Química	Buena como agregado



Figura 3.2 Arena

3.1.3 Forma y Tamaño

La forma de las muestras, según la norma ASTM. C42-68, debe ser cilíndrica con el fin de que la fuerza de compresión que se aplique a la muestra se disperse en la mayor cantidad de área superficial de la misma, su relación de tamaño debe ser proporcional y coherente con lo que se investiga.

El tamaño de las muestras que se proceden a fabricar no siempre será exacto, pues el volumen de PET en relación al volumen de arena es crucial, es decir, si existe una mayor cantidad de PET en la mezcla, al fusionarse con la arena éste ocupará más volumen debido a que su fusión encierra a los granos de arena y se plastifica ocupando más espacio en comparación a otras muestras con menos volumen de PET y más volumen de arena.

Para obtener estas muestras que contengan 8 centímetros de altura y su radio sea de 8 centímetros, se impone una base de 470 gramos de compuestos, entre PET y arena, con un porcentaje de pérdida del 10% a 12% ya sea en hornos, moldes o manipulación directa de la muestra y tomando en cuenta el índice de esparcimiento por fusión que pueda tener el PET lo cual influirá directamente en la altura de la muestra pero esto no será significativo al momento de su estudio.

Los factores que influyen en el diseño de las muestras tienen que ver directamente con la disminución del peso y volumen, en comparación a otros ensayos de compresión simple, la disminución de estos dos factores proporciona un menor costo de producción, mayor facilidad de manejo, un mayor control y fiabilidad de resultados, una mayor perfección en las muestras y un mayor control en el momento de rotura y dispersión de residuos.

3.1.4 Diseño de Muestras

El diseño de las muestras tiene principalmente dos variables que modifican totalmente la composición de cada una, la primera variable que se estableció en el siguiente estudio tiene como objetivo el garantizar la utilización de plástico fundido PET en la mayoría del compuesto final, esto se establece para reducir el número de plásticos

desechados y reutilizarlos en fortificación minera a su vez garantiza ser un material casi completamente creado a partir de materiales reciclables.

De esta manera se definió que las muestras tendrían un porcentaje no menor del 70% de PET en su composición dejando un 30% de margen para la adición de agregados, esto se definiría de la siguiente manera:

- Relación: 90% PET – 10% Arena
- Relación: 80% PET – 20% Arena
- Relación: 70% PET – 30% Arena

Estos 3 tipos de relaciones PET/Arena serían distribuidas equitativamente en las 9 muestras a realizarse.

La variable que corresponde al tamaño de partícula que se agregará al material fundido, PET, se realizó con el afán de utilizar un determinado tamaño de partícula en las muestras y no un conglomerado de diversos tamaños, la selección de los tamaños de partícula se dio en base a la clasificación de Attemberg (Sistema Internacional) que brinda la información acerca de los tamaños en los que un material puede considerarse “arena”.

Tabla 3.3 Clasificación de Arena según S.I

Dimensión de la partícula elemental (mm)	Attemberg (Sistema Internacional)
0,05	Arena Fina
0,1	
0,25	
0,2	
0,5	Arena Gruesa
1	
2	

Fuente: Sistema Internacional de Clasificación de Suelos

De esta manera se fija como variable de estudio 3 tipos de granulometría según el tipo de tamiz que lo retiene:

- Agregado Grueso: Tamiz Nro. 30: Tamaño de Partícula 0.3 (mm)
- Agregado Fino: Tamiz Nro. 40: Tamaño de Partícula 0.425 (mm)
- Agregado Fino: Tamiz Nro. 50: Tamaño de Partícula 0.6 (mm)

La siguiente tabla muestra el número de muestras que se producirán y su relación PET/Arena en porcentajes y cantidades establecidas con un máximo de 470 gramos, las variables a tomarse en cuenta para la fabricación de las muestras son:

- Porcentaje de Arena en la Mezcla
- Granulometría de la Arena en la Mezcla

Tabla 3.4 Tabla de Diseño de Muestras

Tabla de Muestras - Relación PET/Arena				
		Granulometría de Arena		
		Arena Fina Tamiz: Nro. 50 Tamaño: 0,3 mm.	Arena Fina Tamiz: Nro. 40 Tamaño: 0,425 mm.	Arena Gruesa Tamiz: Nro. 30 Tamaño: 0,6 mm.
Porcentaje de Arena	10% de Arena	Muestra: Nro. 1 Porcentajes: - 90% PET - 10% Arena Cantidades: - 423 gr. PET - 47 gr. Arena	Muestra: Nro. 4 Porcentajes: - 90% PET - 10% Arena Cantidades: - 423 gr. PET - 47 gr. Arena	Muestra: Nro. 7 Porcentajes: - 90% PET - 10% Arena Cantidades: - 423 gr. PET - 47 gr. Arena
	20% de Arena	Muestra: Nro. 2 Porcentajes: - 80% PET - 20% Arena Cantidades: - 376 gr. PET - 94 gr. Arena	Muestra: Nro. 5 Porcentajes: - 80% PET - 20% Arena Cantidades: - 376 gr. PET - 94 gr. Arena	Muestra: Nro. 8 Porcentajes: - 80% PET - 20% Arena Cantidades: - 376 gr. PET - 94 gr. Arena
	30% de Arena	Muestra: Nro. 3 Porcentajes: - 70% PET - 30% Arena Cantidades: - 329 gr. PET - 141 gr. Arena	Muestra: Nro. 6 Porcentajes: - 70% PET - 30% Arena Cantidades: - 329 gr. PET - 141 gr. Arena	Muestra: Nro. 9 Porcentajes: - 70% PET - 30% Arena Cantidades: - 329 gr. PET - 141 gr. Arena

Tabla 3.5 Diseño Muestra 10

Muestra: Nro. 10
Porcentajes: - 100% PET
Cantidades: - 470 gr. PET

Adicionalmente se decidió fabricar una muestra extra la cual contenga una composición 100% Polietileno de Tereftalato, es decir que no contenga ninguna carga reforzante, esto con el fin de poder calificar el desempeño del material sin una carga que le dote de estabilidad y consistencia.

3.2 Procedimiento de realización de Muestras

El procedimiento detallado a continuación se ejecutó después de un periodo de ensayos experimentales que tenían como objetivo el perfeccionamiento de cada etapa en la fabricación de las muestras.

Cabe recalcar que la precaución al momento de la producción de muestras fue completamente íntegra para evitar perjuicios a la salud debido a vapores de fundición, polvo o cualquier sustancia dañina.

3.2.1 Preparación de Arena

La arena de la zona de El Tawal en su mayoría es extraída como cualquier material pétreo, son utilizadas en construcciones civiles como agregados en mezclas de concreto u hormigón, sus características litológicas se han descrito con anterioridad sin embargo un análisis granulométrico brinda más información acerca de la distribución del tamaño de partículas que contiene este tipo de materiales.

Para esto se recolectó dos tipos de agregados que se extraen en esta zona, conocidos como agregados de arena gruesa y agregados de arena fina con un peso aproximado de 2.5 kilogramos cada una.

Se procedió con el análisis granulométrico en el cual se necesitó de los siguientes:

- Balanza digital con precisión de 0.1 gramos.
- Tamices Nro. 16, 30, 40, 50 y 100.
- Bandejas metálicas.
- Agitador de tamices mecánico.
- Horno de secado.

El procedimiento de preparación de las muestras para su análisis fue realizado en los laboratorios de ingeniería civil de la Universidad del Azuay, para esto se tuvo que seguir los siguientes pasos.

- Preparación física de la arena: Con un mazo de goma se procede a golpear la muestra a fin de que los conglomerados formados se destruyan y liberen los granos contenidos.
- Lavado de muestras: En un recipiente se colocan las muestras y se procede a lavarlas con abundante agua y movimientos circulares, esto con el fin de que se extraigan los limos que pueden estar incluidos en el material arenoso.
- Secado de muestras: Una vez que se escurre manualmente el agua de las muestras se procede a introducirlas en un horno que cuenta con un termostato, se eleva la temperatura hasta los 100° centígrados por un lapso de 3 horas.
- Tamización: Se superponen los tamices de mayor a menos de acuerdo a su diámetro de abertura y se vierte el material, después de esto, se coloca el juego de tamices en el agitador mecánico por el tiempo aproximado de 10 minutos.
- Pesaje: Se desmonta el juego de tamices y se coloca las porciones retenidas en bandejas separadas y posteriormente se pesa cada una de ellas asegurándose que no existan residuos en las mallas.
- Cálculos: Una vez que se anotan todos los resultados se proceden a introducirlos en una hoja de cálculo que nos proveerá de un análisis granulométrico y su respectiva curva.

El siguiente análisis granulométrico se realizó en las dos muestras siguiendo el mismo procedimiento de preparación.

➤ Análisis Granulométrico Arena Gruesa

Tabla 3.6 Análisis Granulométrico Arena Gruesa

Arena Gruesa						
Total de la Muestra: 2637gr						
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido Parcial (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
Nro. 16	1,19 mm	1426	1426	54,07	54,07	45,93
Nro. 30	0,595 mm	548	1974	20,78	74,85	25,15
Nro. 40	0,420 mm	283	2257	10,73	85,58	14,42
Nro. 50	0,297 mm	187	2444	7,1	92,68	7,32
Nro. 100	0,149 mm	167	2611	6,33	99,01	0,99
Pasa Nro. 100		22	2633	0,83	99,84	0,16

Nota: Pérdida de 4 gramos de material durante el proceso de tamización.

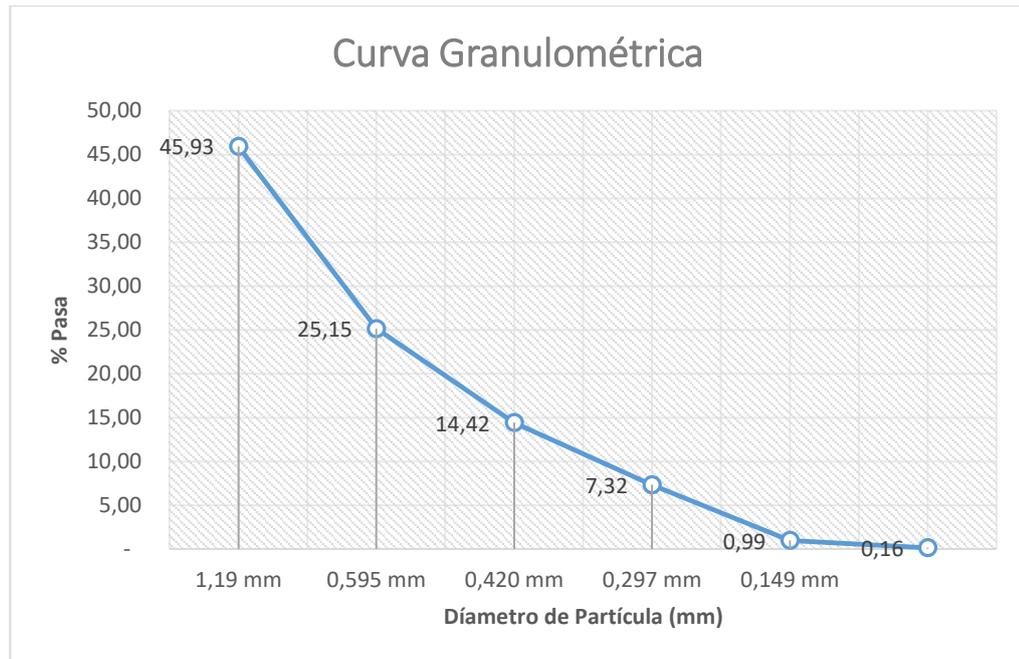


Figura 3.3 Curva Granulométrica - Arena Gruesa

Después del análisis respectivo de este suelo arenoso se determina cuáles son los tamaños de partícula o granulometría que serán utilizadas como agregado en la elaboración de las posteriores muestras.

Tabla 3.7 Arena Gruesa Seleccionada

Arena Seleccionada Utilizable			
Tamiz	Abertura (mm)	Peso (gr)	Clasificación (Attemberg, SI)
Nro. 30	0,595 mm	548	Arena Gruesa
Nro. 40	0,420 mm	283	Arena Fina
Nro. 50	0,297 mm	187	Arena Fina

Nota: La selección de la arena utilizable en los ensayos posteriores es más de la necesaria para las 9 muestras pero mucha de esta arena se desperdiciará en ensayos experimentales previos a la realización final de las muestras.

➤ Análisis Granulométrico Arena Fina

Tabla 3.8 Análisis Granulométrico Arena Fina

Arena Fina						
Total de la Muestra: 2425 gr						
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido Parcial (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
Nro. 16	1,19 mm	438	438	18,06	18,06	81,94
Nro. 30	0,595 mm	721	1159	29,73	47,79	52,21
Nro. 40	0,420 mm	463	1622	19,09	66,89	33,11
Nro. 50	0,297 mm	351	1973	14,47	81,36	18,64
Nro. 100	0,149 mm	376	2349	15,51	96,87	3,13
Pasa Nro. 100		73	2422	3,01	99,88	0,12

Nota: Pérdida de 4 gramos de material durante el proceso de tamización.

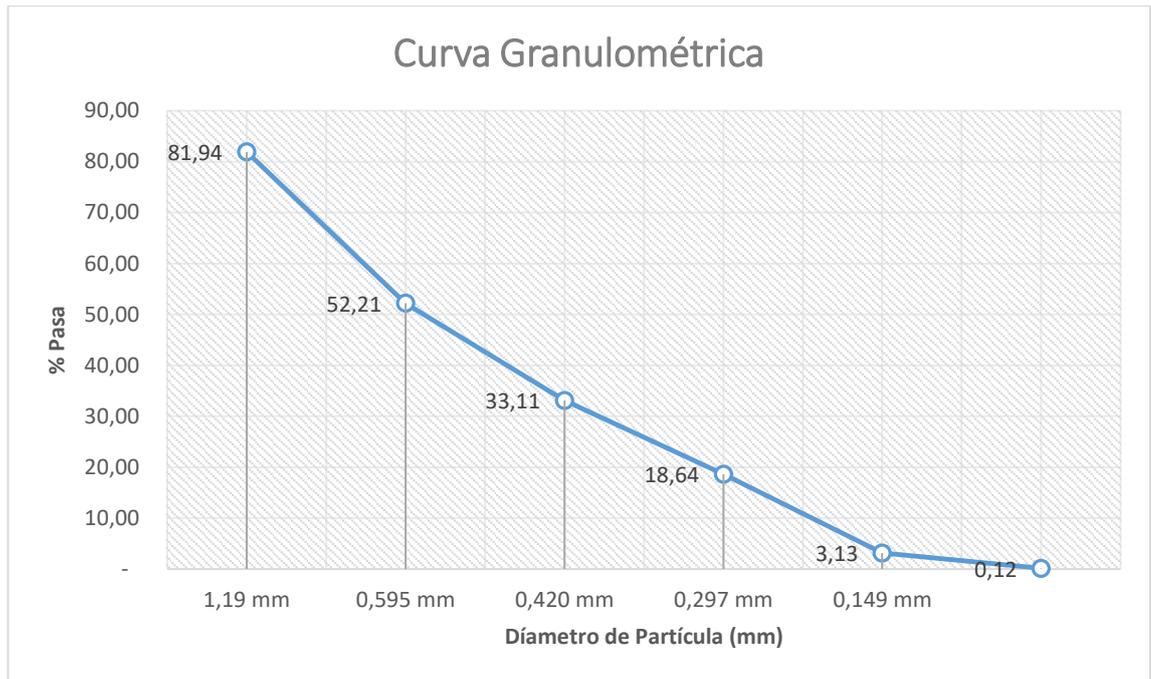


Figura 3.4 Curva Granulométrica - A. Fina

Después del análisis respectivo de este suelo arenoso se determina cuáles son los tamaños de partícula o granulometría que serán utilizadas como agregado en la elaboración de las posteriores muestras.

Tabla 3.9 Arena Fina Seleccionada

Arena Seleccionada Utilizable			
Tamiz	Abertura (mm)	Peso (gr)	Clasificación (Attemberg, SI)
Nro. 30	0,595 mm	721	Arena Gruesa
Nro. 40	0,420 mm	463	Arena Fina
Nro. 50	0,297 mm	351	Arena Fina

Nota: La selección de la arena utilizable en los ensayos posteriores es más de la necesaria para las 9 muestras pero mucha de esta arena se desperdiciará en ensayos experimentales previos a la realización final de las muestras.

Como parte final de esta preparación y análisis de estos suelos arenosos podríamos destacar lo siguiente:

- Los materiales considerados agregados gruesos son en su mayoría pequeños cantos rodados o conglomerados, la mayoría de este material posee un diámetro de partícula superior a 1 milímetro.
- Los materiales considerados agregados finos presentan una granulometría más uniforme que, según el análisis, en su mayoría son granos con un diámetro de partícula alrededor de 0.5 milímetros, poseen gran consistencia y uniformidad.
- En resumen, ambos materiales arenosos de este sector poseen casi las mismas características y distribución pero se diferencia en su método de extracción y clasificación.

3.2.2 Preparación PET

El Polietileno de Tereftalato que se utiliza es un material reciclado mecánicamente en empresas que cuentan con alta tecnología y experiencia, estas empresas en su mayoría se encuentran en la ciudad de Guayaquil.

El proceso de reciclaje mecánico que estas empresas utilizan para transformar plásticos desechados en material plástico reutilizable se basa en los siguientes puntos descritos.

➤ Acopio de Materiales Reciclables

El proceso de acopio de los materiales reciclables se realiza mediante la recolección por puntos, es decir, en diferentes zonas existen puntos de acopio los cuales al llenarse o cumplir una cuota son transportados a la fábrica, de esta manera se economizan costos de transportación intermitentes y no planificados.

Este proceso también crea fuentes de trabajo indirectamente pues existen personas que se dedican a recolectar materiales reciclables y venderlos en centros de acopio por su peso o tipo, el acopio de material es una tarea fundamental pues garantiza una fuente de alimentación de materiales reciclables a la planta de reciclaje. Estos materiales son transportados a las

fábricas en donde son pesados nuevamente y almacenados para su posterior uso.

➤ Clasificación y Separación

El material que ha llegado a la fábrica es separado primero según su tipo de material, es decir, los polímeros son separados de otro tipo de materiales como papel, metales, cartones u otros. Con esto se obtiene solo materiales poliméricos los cuales deben ser clasificados según su tipo de polímero diferenciando polietilenos, poliuretanos, polipropilenos, entre otros. Esto es de crucial importancia pues en la conformación de un nuevo polímero reciclado debe existir solo un tipo de polímero como base pues de no ser así se expone a que el polímero resultante pierda o se alteren propiedades de cualquier índole.

Este proceso de clasificación y separación se ejecuta de manera manual mediante mano de obra que identifica y clasifica cada polímero mediante una cinta transportadora que los conduce hacia las zonas de clasificación manual en donde se separan los polietilenos teniendo como base su forma, apariencia y codificación, este proceso también se puede realizar de forma mecanizada mediante pesos específicos o disolución en solventes pero estos resultan costosos y con márgenes de error apreciables.

➤ Limpieza

Una vez que se identifican y se clasifican los polietilenos pasan a una etapa de limpieza en donde se remueven las impurezas que han adquirido por su uso, desecho y transporte, este proceso primero se centra en el destapado manual de tapas que acompañan al polietileno, de igual manera se remueven las etiquetas.

El proceso de lavado tiene como objetivo que se remueva todo tipo de polvos, pegamentos y aceites, se puede ejecutar por un lavado manual o por un lavado mecanizado por medio de hidrociclones que acumulen los desechos y limpien el material. Ambos procesos deben ser cuidadosamente realizados para garantizar la limpieza total del material.

Este proceso no puede ser realizado con detergentes o limpiadores químicos debido a que toda el agua que se utiliza para limpiar los polímeros debe ser devuelta a su cauce natural en óptimas condiciones, al adicionar detergentes o químicos será mucho más difícil su tratamiento o no se podrá devolver el agua a su efluente en las mismas condiciones en las que se utilizó.

➤ Trituración

Una vez que el material polimérico se encuentra limpio continúa a una etapa de molienda o trituración, esta etapa tiene como finalidad la confección de flakes u hojuela de polietileno de tereftalato, para esto el material es triturado en un molino de polímeros con cuchillas que pican el material hasta conseguir un tamaño de partícula aproximado a 1 pulgada y de la manera más uniforme que sea posible.

➤ Pre Lavado, Enjuague y Secado

Con estos procesos se busca que se elimine cualquier remanente de impurezas que aun persistan en el material o hayan sido adquiridos en el proceso de trituración, al igual que en el primer lavado no se pueden adicionar detergentes o agentes químicos para su limpieza y puede ser realizado de la forma manual o mecanizada antes descrita en la etapa de limpieza del material.

El proceso de secado de las hojuelas del material se realiza mediante de la utilización de maquinaria de acción centrifuga que escurren las hojuelas liberándolas de humedad y las seca por medio corrientes de aire caliente. Después de esto se depositan en contenedores asépticos para su última etapa de transformación.

➤ Extrusión

Las hojuelas de polietileno de tereftalato en un estado aséptico son dispuestas en una extrusora, esta máquina cuenta con un tornillo mecánico de elevada temperatura que funde y homogeniza el material y al mismo tiempo mediante

un proceso de fusión, bombeo y presión moldea el polímero en forma de hilo que al salir de la extrusora es cortado y granulado para dar origen a los pellets o grano de PET.

➤ Comercialización

El material final es pesado y empaquetado en sacos para su posterior venta a empresas que nuevamente lo extruyen para formar materiales de cualquier uso.

Este es el funcionamiento de una planta de reciclaje de PET, generalmente estas fábricas solo procesan el material y dan origen a los pellets pues para darle diferente forma y destinarlo a un uso específico es necesario diferentes tipos de extrusoras.

➤ Diagrama de Procesos de Reciclaje Mecánico de PET

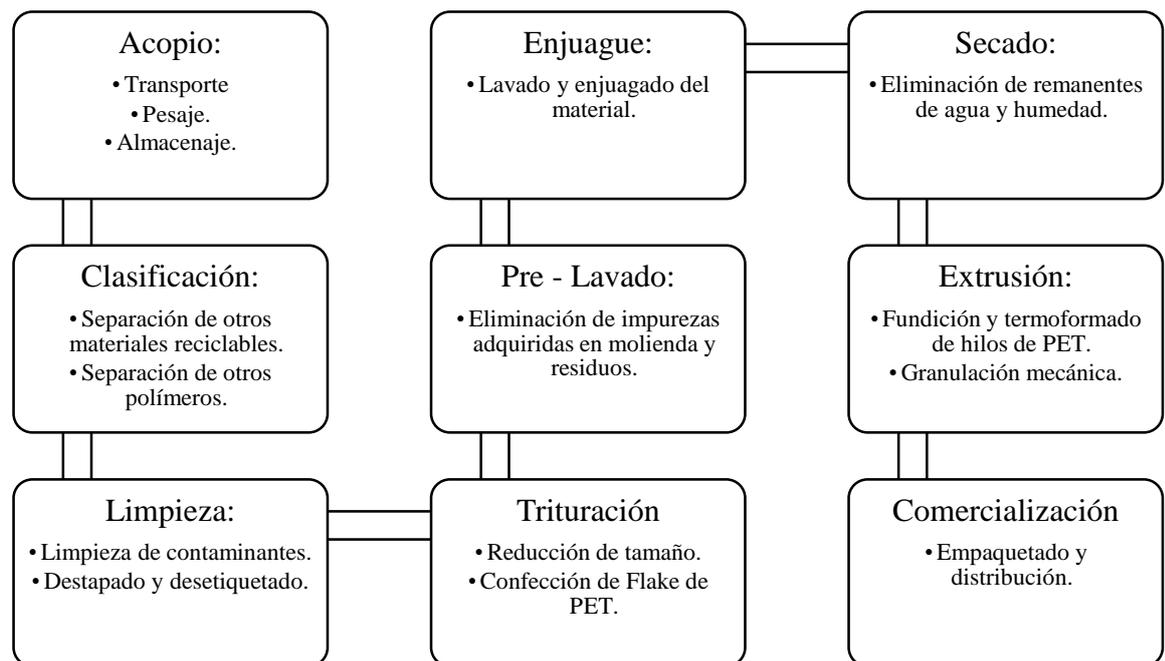


Figura 3.5 Diagrama Producción PET

➤ Obtención de PET

Por fines prácticos el PET que se utiliza en la formación de las muestras para las pruebas de resistencia a la compresión simple se adquiere en la empresa Inneplast, este material polimérico al ser higroscópico puede absorber la humedad del ambiente por lo cual es introducido en un secador térmico que eleva la temperatura por encima de los 100° centígrados para evaporar cualquier humedad que puede generar porosidad o aglutinamiento en el momento de la fundición del polímero con el agregado.

3.2.3 Fabricación de Muestras

El siguiente proceso se realizó en base a ensayos experimentales a fin de perfeccionar la elaboración de las muestras de una forma certera y garantizada, para esto se determinó las herramientas y procesos necesarios por la confección sistemática de cada muestra.

➤ Materiales y Herramientas

Los materiales así como las herramientas para la elaboración de las muestras son fundamental mente los descritos a continuación pero también existen herramientas que actuaron de manera indirecta como un extractor de aire o un ventilador, estos elementos no pueden ser citados pero también ayudan en este proceso ya sea a la salud o a la estabilidad física.

- Polietileno de Tereftalato.
- Arena de diferente granulometría.
- Balanza digital con precisión de 0.1 gramos.
- Fundas plásticas con cierre.
- Bandejas hondas y planas metálicas.
- Vaso de precipitación.
- Horno industrial de ladrillos refractarios.

- Pirómetro digital.
- Molde metálico de diámetro 8cm y altura 15cm.
- Prensa manual.
- Entenalla metálica.
- Pinzas metálicas.
- Guantes de asbesto.
- Mascarillas.
- Aceite de desmolde.

➤ Pesaje de Materiales

El primero de los pasos a seguir para la elaboración de las muestras es el pesaje de los componentes que se van a mezclar, para esto se toma como referencia la tabla que muestra los valores en gramos de cada componente que cada muestra debe contener.

Por ejemplo, para la muestra 1 se necesita 423 gramos de polietileno de tereftalato (90%) y 47 gramos de arena con granulometría fina de 0.3 milímetros (10%), se pesa cada uno de los componentes en una balanza digital de 0.1 gramos de precisión y se los deposita en una funda plástica con cierre a fin de que ningún grano se pierda en este proceso.



Figura 3.6 Pesaje de Materiales



Figura 3.7 Pesaje de Muestras

Este mismo proceso de pesaje y empaque se realiza secuencialmente para todas las muestras respetando el valor que se especifica en la tabla del diseño de muestras. Se agrega una etiqueta con la nomenclatura de la muestra y su contenido además de otras especificaciones.

En esta etapa se recomienda que debido a pérdidas que sufre el material durante el proceso es necesario añadir cerca del 10% extra de material cuando el caso lo amerite.

➤ Calentamiento de Materiales

Una vez que se han pesado los componentes de una muestra, estos deben ser depositados en bandejas metálicas que soporte temperaturas por encima de los 300° centígrados, en una bandeja el arena y en otra el PET, e introducidos en un horno precalentado a 120° grados centígrados y que cuente con un termostato por el lapso de 1 hora.



Figura 3.8 Horno Industrial de Fundición

Este proceso se realiza con el fin de eliminar cualquier tipo de humedad que ambos materiales hayan adquirido a través del ambiente, esta humedad puede crear poros o resquebrajamiento en el producto final.

Durante este procedimiento se recomienda una verificación de los materiales cada 15 minutos pues tampoco se debe elevar la temperatura excesivamente para conseguir un proceso más rápido o mantener los materiales por tiempos prolongados en el horno por precaución.

➤ Mezclado

Después del calentamiento de los componentes se habrá eliminado la humedad que contenían y se procederá a mezclarlos, siempre según las especificaciones de su diseño, para esto se utilizara un método manual de movimientos circulares con una paleta o cualquier herramienta de ese uso, este proceso debe realizar hasta alcanzar una masa homogenizada contenida en un recipiente hondo en donde podamos observar la distribución de los dos componentes.



Figura 3.9 Mezcla PET - Arena

Dependiendo de la granulometría este proceso puede ser más lento o menos eficaz pero se puede lograr, por ejemplo, en una granulometría gruesa es mucho más fácil pues su densidad y tamaño es más amplio mientras que en una granulometría fina se tiene que realizar con esfuerzo debido a su menor tamaño en comparación a los granos de PET, en estos casos será necesario el mezclado durante la fundición.

➤ Primera Fundición

El proceso de fundición tiene lugar una vez que se consolida la muestra mezclada y en las proporciones establecidas específicamente, para esto es necesario el uso de guantes de asbesto que son capaces de resistir temperaturas cercanas a los 320° centígrados, también se debe usar mascarillas y de ser

posible un extractor de aire y humo debido a los vapores que se desprenden debido a la fundición de los materiales.

Este proceso requiere de mucho cuidado y precaución, primero se deposita el material mezclado en un recipiente de metal templado resistente el cual se introduce en el horno, una vez dentro, se eleva la temperatura del horno a los 270° centígrados y cada 5 minutos se sube 10° centígrados hasta alcanzar los 320° centígrados necesarios para conseguir la temperatura de transición vítrea que permite al polietileno polimerizarse y encapsular a cada grano de arena. Este proceso se realiza en un tiempo aproximado de 27 minutos y en el proceso se debe mover o mezclar los componentes con ayuda de pinzas y guantes para facilitar la polimerización y fundición, también se debe realizar esto para evitar pérdidas debido al adhesión de mezcla en las paredes del recipiente.

Debido al extremo cuidado que se debe tener durante este procedimiento no se pudo tener ilustraciones que ejemplifiquen el proceso pero se debe recalcar que los vapores que se desprenden por la fundición son muy dañinos y es preferible no respirarlos. Dentro de este proceso también se debe denotar que el molde metálico debe precalentarse a 270° centígrados en otro horno.

Teóricamente la temperatura de fusión o transición vítrea del polietileno de Tereftalato se encuentra alrededor de los 260° centígrados a 273° centígrados pero al estar el volumen de PET contenido en un recipiente en el cual el calor se aplica con mayor eficacia en las zonas exteriores que en las interiores se debe controlar con un pirómetro digital la temperatura interior y proceder a la mezcla cada que sea necesario, esto ayuda a polimerizar y esparcir el calor, para que esto se logre se experimentó con varias temperaturas y tiempos de exposición llegando a ser los 320° centígrados la temperatura óptima para que el calor pueda llegar a todas las zonas del material y se logre una polimerización satisfactoria.

➤ Moldeado y Segunda Fundición

Una vez que se ha alcanzado una polimerización satisfactoria en la cual se han encerrado y mezclados bien los componentes se procede a vaciarlos en un molde metálico previamente calentado a 270° centígrados y rociado con un agente de desmolde para evitar que se adhiera a las paredes del molde.

Este proceso se debe ejecutar con sumo cuidado, con ayuda de pinzas y guantes se sujeta el recipiente que contiene la mezcla y se procede a vaciarlo en el molde con ayuda de espátulas para asegurar que el material no sufra pérdidas por adherencia en las paredes.

Cuando el material se encuentra ya depositado en el molde, se debe introducir nuevamente el molde en el horno a 320° centígrados por un tiempo de 3 minutos con el fin de que se polimerice y mezcle bien el material, de no hacerse esto se puede crear estratos o grietas que comprometan la integridad física y propiedades estructurales del material.

Luego de esta segunda fundición corta del material, se procede a retirarlo del horno y sellarlo a presión por medio de un corcho y una prensa a fin de que el material se compacte y solidifique de manera correcta.



Figura 3.10 Moldeado y Segunda Fundición

Después de este proceso se recomienda enfriar mediante paños húmedos de agua en el molde hasta que alcance una temperatura en la que se pueda tocar

sin causarse quemaduras, también es necesario utilizar mascarillas pues el vapor que emana el proceso de fundición es muy perjudicial para la salud.

➤ Desmolde

Cuando el molde ha alcanzado una temperatura menor y se puede manipular, se procede a su desarme para extraer la muestra ya confeccionada.

Se debe tener especial cuidado pues algunas piezas pueden estar aún calientes o algún remanente de plástico puede estar todavía en estado viscoso y fácilmente puede adherirse y producir quemaduras.

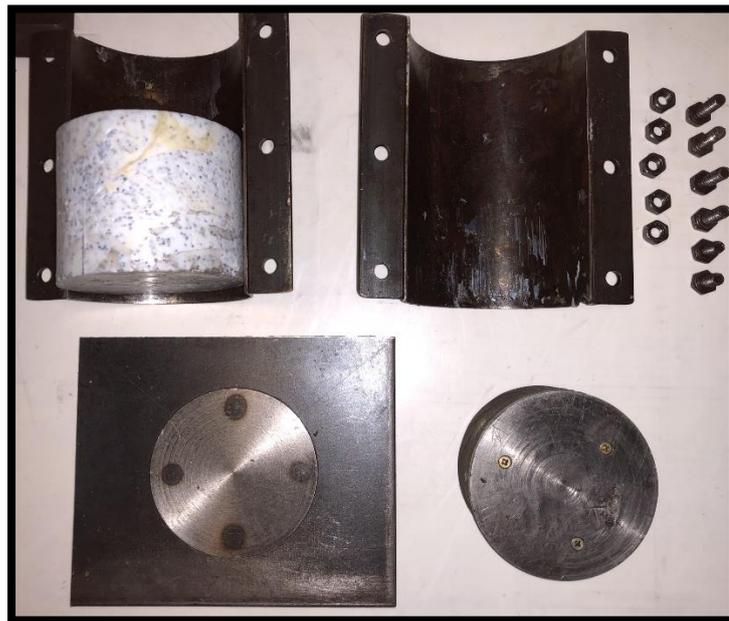


Figura 3.11 Desmolde y Extracción

Una vez desarmado se extrae la muestra y se continúa a la siguiente etapa, antes de eso es necesario una revisión física de la muestra con el fin de identificar grietas o fisuras profundas que comprometan la estructura de la muestra. También se podrán diferenciar manchas de un color café u amarillento, esto se

debe a la evaporación y contacto del agente de desmolde con la mezcla del material en estado viscoso.

➤ Enfriamiento en Etapas

La siguiente etapa tiene como fundamento la termodinámica que ejerce en las muestras, durante el proceso de fundición se alcanzan temperaturas por encima de los 300° centígrados y al ser expuestas al ambiente se presenta un efecto denominado “choque térmico” que se produce por el enfriamiento muy rápido de las muestras o su exposición a la temperatura ambiente.

Este proceso produce que las muestras puedan llegar a romperse o fisurarse debido a este efecto termodinámico pues en el interior de la muestra todavía existen temperaturas elevadas, la manera de evitar o contrarrestar esto es por medio de una disminución programada y sistemática de su temperatura.

Esta disminución sistemática de la temperatura es la que se ha denominado “enfriamiento en etapas”, para este proceso se requiere que la muestra se enfríe en tres etapas, al salir del horno el molde libera la muestra, que se encuentra a 320° centígrados, la cual de manera inmediata es introducida en otro horno a 250° centígrados, después de 1 hora es introducida en un horno a 150° centígrados. Cuando este tiempo finalice es necesario que la muestra se introduzca en otro horno a 50° centígrados en la cual se le deja reposar con el horno apagado por un lapso de 2 horas.



Figura 3.12 Enfriamiento en Etapas

Este proceso puede resultar largo pero garantiza un enfriamiento pausado y equilibrado que garantiza que la muestra no se fisure o rompa por el cambio brusco de temperatura, se debe tener cronometrado los tiempos y los hornos deben estar preparados a fin de que disminuyan eficazmente la temperatura de la muestra.

3.3 Descripción de Métodos de Experimentación

La resistencia a la compresión simple es el esfuerzo máximo que puede soportar un material, en este caso las muestras cilíndricas, a una fuerza de aplastamiento. Dependiendo del material que componga las muestras se puede decir que este ensayo de compresión proporciona la cantidad de esfuerzo necesario para deformar o romper un material y se calcula al dividir la carga máxima que soporta para el área transversal de la muestra cilíndrica.

3.3.1 Ejecución Experimental en las Muestras

Para ejecutar el ensayo de compresión simple es necesario la utilización de una prensa hidráulica Humboldt con capacidad de ejercer una carga de aplastamiento de hasta 50000 kilogramos de fuerza.

Con la ayuda de balanzas digitales se toma cada una de las muestras y se pesan para obtener un dato significativo, de igual manera se miden las dimensiones de cada una de las muestras.

Se procede a poner cada una de las muestras en la prensa hidráulica y ejercer la fuerza necesaria para romper o resquebrajar la muestra, el panel digital de la prensa remarcará el valor de la fuerza en kilogramos.



Figura 3.13 P. Resistencia Compresión Simple

Con este valor se procede a realizar los cálculos de carga máxima y sección transversal mediante las normas ASTM. C42-68 para corrección de la resistencia a la compresión simple.

3.3.2 Fichas de Resultados

Una vez realizados los análisis y cálculos de cada una de las muestras al ser sometidas al ensayo de compresión simple se prosigue a elaborar una ficha que describe sus características, composición, cálculos y observaciones.

Estas fichas y sus correspondientes observaciones están contenidas en un anexo con su determinada nomenclatura, composición y cálculos del ensayo realizado.

Cabe recalcar que los cálculos fueron realizados mediante medidas exactas y 3 decimales de exactitud, las observaciones se tomaron in situ y su nomenclatura corresponde a su composición principalmente.

3.4 Interpretación de Resultados

Cuando se ha finalizado las pruebas de compresión simple y se han calculado los datos correspondientes a cada muestra se debe interpretar los resultados en base a los datos y observaciones que se han notado durante este proceso.

Para esto se basa en una tabla que expone los resultados y considera solo los 3 resultados más óptimos o en mejores condiciones que califican para ser analizados a detalle y comprobar su uso o desecho.

3.4.1 Tablas de Resultados

Tabla 3.10 Tabla de Muestras - Resultados

Tabla de Muestras - Relación PET/Arena				
		Granulometría de Arena		
		Arena Fina Tamiz: Nro. 50 Tamaño: 0,3 mm.	Arena Fina Tamiz: Nro. 40 Tamaño: 0,425 mm.	Arena Gruesa Tamiz: Nro. 30 Tamaño: 0,6 mm.
Porcentaje de Arena	10% de Arena	Muestra: Nro. 1 Resistencia a la Compresión Simple: - 767,044 Kg/cm ² Observación: - Fisuras muy profundas.	Muestra: Nro. 4 Resistencia a la Compresión Simple: - 671,481 kg/cm ² Observación: - Resquebrajamiento mínimo notable.	Muestra: Nro. 7 Resistencia a la Compresión Simple: - 483,830 kg/cm ² Observación: - Fracturas excesivas y fisurado profundo.
	20% de Arena	Muestra: Nro. 2 Resistencia a la Compresión Simple: - 707,340 kg/cm ² Observación: - Rotura Brusca con estallido.	Muestra: Nro. 5 Resistencia a la Compresión Simple: - 365,763 kg/cm ² Observación: - Rotura brusca con estallido y fisurado profundo.	Muestra: Nro. 8 Resistencia a la Compresión Simple: - 670,506 kg/cm ² Observación: - Fisuras muy leves sin rotura.
	30% de Arena	Muestra: Nro. 3 Resistencia a la Compresión Simple: - 655,367 kg/cm ² Observación: - Resquebrajamiento mínimo con leves fisuras.	Muestra: Nro. 6 Resistencia a la Compresión Simple: - 600,711 kg/cm ² Observación: - Rotura brusca por la mitad sin estallido.	Muestra: Nro. 9 Resistencia a la Compresión Simple: - 549,044 kg/cm ² Observación: - Rotura mediana con fisuras leves.

Tabla 3.11 Tabla de Muestra Nro. 10 - Resultados

Muestra: Nro. 10
Resistencia la Compresión Simple: - 771,985 kg/cm ² Observación: - Rotura muy brusca con fisurado profundo.

 Muestras Seleccionadas

A lo largo del proceso en el que se realizó las pruebas de compresión simple se observaron muchos riesgos y falencias en las propiedades de las muestras pero también se obtuvo gran información acerca de su comportamiento al momento de soportar una carga aplastante.

Para la selección de la muestras óptimas se tiene en cuenta ante todo la forma en la que llega a su punto de rotura, si llega fisurándose poco a poco y levemente se considera apta o si por el contrario sufre una rotura brusca con un estallido, esta se desecha pues para ser utilizado en fortificación minera es necesario que de alguna manera sufra una rotura por etapas leves y no bruscamente pues se comprometería toda la estructura de fortificación evitando el remplazo de un pilar fracturado.

También se tiene en cuenta detalles de estructura muy importantes como el grado de fracturas que obtiene al momento de su rotura, es decir, si sus fisuras son profundas o superficiales pues esto decidirá si en determinado momento resulta peligroso cambiar un pilar debido a la probabilidad que las fracturas debiliten el pilar y este se rompa.

Por último se analiza la fuerza que es capaz de resistir y si esta es suficiente para garantizar un correcto soporte, en este caso se denota que casi todas las muestras poseen una resistencia a la compresión muy alta pero aquí es donde intervienen los dos detalles anteriormente mencionados.

En este estudio se determinó que existen 3 muestras que cumplen los parámetros de manera satisfactoria con ventajas y desventajas por lo cual se procede a un análisis más profundo para recomendar la muestra que garantice un correcto desempeño en su uso para fortificaciones mineras.

3.4.2 Resultados

Los resultados que se obtuvieron a raíz de las pruebas realizadas en las muestras nos dieron matices muy importantes a considerar pero especialmente se observó resultados sobresalientes en muestras de tres tipos y composición diferente, estas muestras han sido seleccionadas como pruebas concluyentes de los diferentes tipos de características que se pueden obtener modificando su composición pero manteniendo una resistencia estructural satisfactoria y una consistencia notable.

MUESTRA: Nro. 3

- Resistencia a la Compresión Simple: 655,367 kg/cm²
- Observación: Resquebrajamiento mínimo con leves fisuras.

MUESTRA: Nro. 4

- Resistencia a la Compresión Simple: 671,481 kg/cm²
- Observación: Resquebrajamiento mínimo poco notable.

MUESTRA: Nro. 8

- Resistencia a la Compresión Simple: 670,506 kg/cm²
- Observación: Fisuras muy leves sin rotura.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

A lo largo de este estudio se ha estudiado muchas propiedades de los polímeros lo cual ha proporcionado la información necesaria para elaborar muestras que han revelado características estructurales muy eficientes de las cuales podemos concluir lo siguiente de cada una de ellas:

- Muestra Nro. 3: Con una resistencia a la compresión simple calculada en 671,481 kg/cm² demuestra ser muy competente a fuerzas de aplastamiento aunque presenta un resquebrajamiento mínimo con fisuras poco notables debido a que a que el agregado de arena actúa de manera muy eficiente, el tamaño de la arena juega un papel muy importante pues al ser de un tamaño menos 0,3 milímetros en un 30% de la mezcla se logra esparcir y homogenizar en el polímero fundido, su fusión permite que las roturas no sean bruscas lo cual permite una estabilidad estructural sobresaliente. En esta muestra se puede resaltar que existe una relación de mezcla y fusión efectivo a un grado muy alto lo cual aparte de brindar dureza también se consigue estabilidad.
- Muestra Nro. 4: Esta muestra consta de una resistencia a la compresión simple de 671,481 kg/cm² se observa fisuras superficiales y resquebrajamientos poco notables, su mezcla en proporción 10% arena de 0.425 milímetros y 90% PET logran una consistencia muy estable debido a la mediana granulometría de sus agregados, estos granos logran brindar dureza y estabilidad a la muestra lo cual produce un efecto de rotura leve sin estallido, esto es importante debido a que los estallidos dejan sin ningún tipo de estabilidad en las muestras, al no producirse este efecto se puede garantizar una resistencia al aplastamiento mínimo después de una rotura.
- Muestra Nro. 8: Esta muestra posee una composición de 80% PET y 20% de arena con un tamaño de 0,6 milímetros lo cual le permite obtener una resistencia a la compresión simple de 670,506 kg/cm² que se expresa con fisuras muy leves y superficiales sin roturas bruscas o pronunciadas, brinda resistencia y estabilidad más allá de lo que se expresa en la prueba, además, se

observa una homogenización amplia a lo largo de la superficie de la muestra e internamente se corrobora lo mismo, su estado de fusión es óptimo con los granos de arena bien distribuidos en la mezcla aunque con zonas mínimas de espaciamento.

Los resultados son concluyentes en los tres tipos de muestras seleccionados y se determina que pueden actuar de manera eficiente en el entorno seleccionado con la garantía de su resistencia a la compresión simple superior a materiales como hormigón fundido de construcción civil o maderas tratadas que cuentan con un rango de 150 kg/cm² a 200 kg/cm². Por ejemplo, un eucalipto tratado posee una resistencia a la compresión simple de 100 kg/cm² pero una de las muestras seleccionadas supera con creces esa resistencia, hasta seis veces más.

Recomendaciones

Aunque la resistencia a la compresión simple que proporciona el polímero en combinación con un agregado es sobresaliente, aún faltan muchos estudios acerca de otro tipo de fuerzas que puedan actuar en estos materiales y saber cómo responden ante tales esfuerzos.

Por ejemplo, sin ser concluyente se puede decir que la resistencia a la flexión que soportan estos materiales es muy baja pero esto puede modificarse a través de innovación en su diseño, sin ir más allá, se puede decir que al agregar un material flexible en la composición se aumentará su resistencia a la misma, se puede agregar desde varillas a mallas metálicas pues uno de los principales beneficios del uso de polímero es la adaptabilidad con la que cuentan. Además, estos polímeros poseen una inflamabilidad notable que puede ser contrarrestada mediante la adición de retardantes de flama que logren hacer del polímero un material ignífugo.

El diseño y posterior fabricación de las muestras representó muchas complicaciones que pueden ser obviadas mediante la mecanización de los procesos que intervienen, es decir, mediante la utilización de extrusoras con moldes predefinidos que acepten el agregado al polímero y lo fundan óptimamente creando pilares a partir de moldes, esto evita el uso de hornos para la fusión de los materiales y por ende evita el fenómeno termodinámico conocido choque térmico que debilita a las estructuras si no se enfrían correctamente, también reducen la intervención humana en el proceso y garantizan la producción tecnificada de estos pilares, para esto se necesita una fuerte inversión en maquinaria y el poder adaptarla para el uso combinado del polímero y el agregado en un mismo proceso.

El proceso de pruebas nos demostró que el agregado junto al polímero crea consistencia y estabilidad es por eso que se recomienda su uso en determinadas proporciones que no resten las propiedades del polímero pero que al mismo tiempo el agregado pueda brindar la estabilidad ante roturas significativas ya que el polímero por si solo presenta roturas muy bruscas.

BIBLIOGRAFÍA

- Casanova, M., Vera, W., Leighton, W., & Salazar, O. (2004). *Guía de Edafología*. Santiago: Universidad de Chile.
- Chacón, E., & Lema, G. (2011). *Estudio Comparativo de Elementos Fabricados de Hormigón con Material Reciclado PET y Hormigón Convencional*. Quito: ESPOL.
- Gnauk, & Frundt. (1989). *Iniciación a la Química de los Plásticos*. Barcelona: Hanser.
- Gómez, R., & Gil Bercero, J. (1997). *Los Plásticos y el Tratamiento de sus Residuos*. Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Gorka, C. G. (2009). *Proyecto de Diseño e Implementación de Planta para Reciclado Mecánico de PET*. En *Memoria de la actividad y de sus instalaciones*. (págs. 45-98). Madrid: ECO.
- Hachi, J., & Rodríguez, J. (2010). *Estudio de Factibilidad para Reciclar Envases Plásticos de PET en la ciudad de Guayaquil*. Guayaquil: UPS.
- Jordán López, A. (2006). *Manual de Edafología*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Lokensgard, & Richardson. (1999). *Industria del Plástico*. Paraninfo.
- López., C. (2016). *Reciclado de Plástico PET para Obtención de Fibra Textil*. Santa Cruz: Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional.
- Modernos, R. d. (1990). *Ciencia y Tecnología de los Materiales Plásticos*. Madrid: CSIC.
- Quintero, L. (2007). *Diseño de una Planta de Reciclado de Tereftalato de Polietileno*. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- Quito, A., & Villafuerte, E. (2011). *Planta de Reciclado Polietilentereftalato*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.

Sánchez, M., & Paredes, P. (2013). Estudio de Viabilidad Técnica de la Implementación de PET como Material para Estabilización de Taludes. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.

Sistema de Indentificación Americano, S. (2008). Sistema de Identificación de Plásticos. Washington DC.

Unión Internacional de Ciencias del Suelo, I. (1998). Sistema Internacional de Clasificación de Suelos. WRB.

ANEXOS

Anexo Nro. 1 Muestra (90% PET – 10% Arena Nro. 50)

MUESTRA N°1				
Composición		Dimensiones		Características
PET	423 gr. (90%)	Altura (h)	8,1 cm.	Homogenización normal.
		Diámetro (d)	7,8 cm.	
Arena Fina Nro. 50	47 gr. (10%)	Radio (r)	3,9 cm.	Fisuras Superficiales.
		Peso Aproximado	482,28 gr.	
Cálculos				
Relación altura/diámetro (R)		1,038		$R = \frac{h}{d}$
Factor de Corrección de la Resistencia del Cilindro (k)		0,915		Norma ASTM.C42 – 68
Área de la circunferencia superior (A)		47,784	cm ²	$A = r^2 * \pi$
Volumen (V)		387,047	cm ³	$V = A * h$
Valor de la Prueba de Compresión Simple (V.P.C.S.)		40057	Kg.	Fuerza aplicada a la superficie superior del cilindro
Resistencia a la Compresión Simple Aproximada (R.C.S.Aprox.)		838,300	Kg/cm ²	$R.C.S.Aprox. = \frac{V.P.C.S.}{A}$
Resistencia a la Compresión Simple Ajustada (R.C.S.Ajust.)		767,044	Kg/cm ²	$R.C.S.Ajust. = R.C.S.Aprox.*k$
Gráficos				
				
Gráfico Muestra Nro.1				
Observaciones				
Buena resistencia a la compresión, no presenta roturas bruscas pero se producen fisuras muy profundas.				

Anexo Nro. 2 Muestra (80% PET – 20% Arena Nro. 50)

MUESTRA N°2					
Composición		Dimensiones			Características
PET	376 gr. (80%)	Altura (h)	7,8	cm.	Homogenización normal. Sin fisuras, manchas de contaminates.
		Diámetro (d)	7,9	cm.	
Arena Fina Nro. 50	94 gr. (20%)	Radio (r)	3,95	cm.	
		Peso Aproximado	474,07	gr.	

Cálculos

Relación altura/diámetro (R)	0,987		$R = \frac{h}{d}$
Factor de Corrección de la Resistencia del Cilindro (k)	0,905		Norma ASTM.C42 – 68
Área de la circunferencia superior (A)	49,017	cm ²	$A = r^2 * \pi$
Volumen (V)	382,330	cm ³	$V = A * h$
Valor de la Prueba de Compresión Simple (V.P.C.S.)	38311	Kg.	Fuerza aplicada a la superficie superior del cilindro
Resistencia a la Compresión Simple Aproximada (R.C.S.Aprox.)	781,591	Kg/cm ²	$R. C. S. Aprox. = \frac{V.P.C.S.}{A}$
Resistencia a la Compresión Simple Ajustada (R.C.S.Ajust.)	707,340	Kg/cm ²	$R. C. S. Ajust. = R. C. S. Aprox. * k$

Gráficos



Gráfico Muestra Nro.2

Observaciones

Buena resistencia a la compresión pero presenta roturas bruscas y fisuras muy profundas, poca consistencia.

Anexo Nro. 3 Muestra (70% PET – 30% Arena Nro. 50)

MUESTRA N°3				
Composición		Dimensiones		Características
PET	329 gr. (70%)	Altura (h)	7,9 cm.	Homogenización sobresaliente. Con pequeñas fisuras, sin manchas de contaminates.
Arena Fina Nro. 50	141 gr. (30%)	Diámetro (d)	7,9 cm.	
		Radio (r)	3,95 cm.	
		Peso Aproximado	459,31 gr.	
Cálculos				
Relación altura/diámetro (R)		1,000		$R = \frac{h}{d}$
Factor de Corrección de la Resistencia del Cilindro (k)		0,910		Norma ASTM.C42 – 68
Área de la circunferencia superior (A)		49,017	cm ²	$A = r^2 * \pi$
Volumen (V)		387,232	cm ³	$V = A * h$
Valor de la Prueba de Compresión Simple (V.P.C.S.)		35301	Kg.	Fuerza aplicada a la superficie superior del cilindro
Resistencia a la Compresión Simple Aproximada (R.C.S.Aprox.)		720,183	Kg/cm ²	$R.C.S.Aprox. = \frac{V.P.C.S.}{A}$
Resistencia a la Compresión Simple Ajustada (R.C.S.Ajust.)		655,367	Kg/cm ²	$R.C.S.Ajust. = R.C.S.Aprox.*k$

Gráficos

Gráfico Muestra Nro.3

Observaciones

Impresionante resistencia a la compresión, no presenta roturas bruscas pero se resquebrajan mínimos pedazos.

Anexo Nro. 4 Muestra (90% PET – 10% Arena Nro. 40)

MUESTRA N°4				
Composición		Dimensiones		Características
PET	423 gr. (90%)	Altura (h)	8,1 cm.	Homogenización normal. Fisuras poco visibles, pocas manchas de contaminates.
Arena Fina Nro. 40	47 gr. (10%)	Diámetro (d)	7,9 cm.	
		Radio (r)	3,95 cm.	
		Peso Aproximado	487,45 gr.	
Cálculos				
Relación altura/diámetro (R)		1,025		$R = \frac{h}{d}$
Factor de Corrección de la Resistencia del Cilindro (k)		0,910		Norma ASTM. C42 – 68
Área de la circunferencia superior (A)		49,017	cm ²	$A = r^2 * \pi$
Volumen (V)		397,035	cm ³	$V = A * h$
Valor de la Prueba de Compresión Simple (V.P.C.S.)		36169	Kg.	Fuerza aplicada a la superficie superior del cilindro
Resistencia a la Compresión Simple Aproximada (R.C.S.Aprox.)		737,891	Kg/cm ²	$R. C. S. Aprox. = \frac{V. P. C. S.}{A}$
Resistencia a la Compresión Simple Ajustada (R.C.S.Ajust.)		671,481	Kg/cm ²	$R. C. S. Ajust. = R. C. S. Aprox. * k$
Gráficos				
				
Observaciones				
Sobresaliente resistencia a la compresión, no presenta roturas bruscas pero se resquebrajan pedazos.				

Gráfico Muestra Nro.4

Anexo Nro. 5 Muestra (80% PET – 20% Arena Nro. 40)

MUESTRA N°5				
Composición		Dimensiones		Características
PET	376 gr. (80%)	Altura (h)	7,8 cm.	Homogenización normal asistida. Leves fisuras, manchas de contaminates pronunciadas.
Arena Fina Nro. 40	94 gr. (20%)	Diámetro (d)	7,8 cm.	
		Radio (r)	3,9 cm.	
		Peso Aproximado	479,87 gr.	
Cálculos				
Relación altura/diámetro (R)		1,000		$R = \frac{h}{d}$
Factor de Corrección de la Resistencia del Cilindro (k)		0,910		Norma ASTM. C42 – 68
Área de la circunferencia superior (A)		47,784	cm ²	$A = r^2 * \pi$
Volumen (V)		372,712	cm ³	$V = A * h$
Valor de la Prueba de Compresión Simple (V.P.C.S.)		19206	Kg.	<i>Fuerza aplicada a la superficie superior del cilindro</i>
Resistencia a la Compresión Simple Aproximada (R.C.S.Aprox.)		401,937	Kg/cm ²	$R. C. S. Aprox. = \frac{V. P. C. S.}{A}$
Resistencia a la Compresión Simple Ajustada (R.C.S.Ajust.)		365,763	Kg/cm ²	$R. C. S. Ajust. = R. C. S. Aprox. * k$
Gráficos				
				
Gráfico Muestra Nro.5				
Observaciones				
Regular resistencia a la compresión, presenta roturas con estallido mediano y fisuras medianamente profundas, consistencia media.				

Anexo Nro. 6 Muestra (70% PET – 30% Arena Nro. 40)

MUESTRA N°6				
Composición		Dimensiones		Características
PET	329 gr. (70%)	Altura (h)	7,8 cm.	Homogenización buena. Con pequeñas fisuras y manchas de contaminates.
Arena Fina Nro. 40	141 gr. (30%)	Diámetro (d)	8 cm.	
		Radio (r)	4 cm.	
		Peso Aproximado	453,87 gr.	
Cálculos				
Relación altura/diámetro (R)	0,975		$R = \frac{h}{d}$	
Factor de Corrección de la Resistencia del Cilindro (k)	0,905		Norma ASTM. C42 – 68	
Área de la circunferencia superior (A)	50,265	cm ²	$A = r^2 * \pi$	
Volumen (V)	392,071	cm ³	$V = A * h$	
Valor de la Prueba de Compresión Simple (V.P.C.S.)	33368	Kg.	<i>Fuerza aplicada a la superficie superior del cilindro</i>	
Resistencia a la Compresión Simple Aproximada (R.C.S.Aprox.)	663,835	Kg/cm ²	$R.C.S.Aprox. = \frac{V.P.C.S.}{A}$	
Resistencia a la Compresión Simple Ajustada (R.C.S.Ajust.)	600,771	Kg/cm ²	$R.C.S.Ajust. = R.C.S.Aprox.*k$	
Gráficos				
				
Gráfico Muestra Nro.6				
Observaciones				
Buena resistencia a la compresión, presenta rotura brusca por la mitad pero sin estallido.				

Anexo Nro. 7 Muestra (90% PET – 10% Arena Nro. 30)

MUESTRA N°7				
Composición		Dimensiones		Características
PET	423 gr. (90%)	Altura (h)	8,1 cm.	Homogenización normal poco visible. Fisuras moderadamente visibles con pocas manchas de contaminates.
Arena Gruesa Nro. 30	47 gr. (10%)	Diámetro (d)	7,9 cm.	
		Radio (r)	3,95 cm.	
		Peso Aproximado	485,68 gr.	
Cálculos				
Relación altura/diámetro (R)		1,025		$R = \frac{h}{d}$
Factor de Corrección de la Resistencia del Cilindro (k)		0,920		Norma ASTM. C42 – 68
Área de la circunferencia superior (A)		49,017	cm ²	$A = r^2 * \pi$
Volumen (V)		397,035	cm ³	$V = A * h$
Valor de la Prueba de Compresión Simple (V.P.C.S.)		25778	Kg.	Fuerza aplicada a la superficie superior del cilindro
Resistencia a la Compresión Simple Aproximada (R.C.S.Aprox.)		525,902	Kg/cm ²	$R. C. S. Aprox. = \frac{V. P. C. S.}{A}$
Resistencia a la Compresión Simple Ajustada (R.C.S.Ajust.)		483,830	Kg/cm ²	$R. C. S. Ajust. = R. C. S. Aprox. * k$
Gráficos				
				
Gráfico Muestra Nro.7				
Observaciones				
Moderada resistencia a la compresión, no presenta roturas bruscas pero se fractura excesivamente perdiendo estabilidad.				

Anexo Nro. 8 Muestra (80% PET – 20% Arena Nro. 30)

MUESTRA N°8				
Composición		Dimensiones		Características
PET	376 gr. (80%)	Altura (h)	7,8 cm.	Homogenización buena. Muy pocas fisuras, sin manchas de contaminantes.
		Diámetro (d)	7,9 cm.	
Arena Gruesa Nro. 30	94 gr. (20%)	Radio (r)	3,95 cm.	
		Peso Aproximado	459,59 gr.	
Cálculos				
Relación altura/diámetro (R)		0,987		$R = \frac{h}{d}$
Factor de Corrección de la Resistencia del Cilindro (k)		0,905		Norma ASTM. C42 – 68
Área de la circunferencia superior (A)		49,017	cm ²	$A = r^2 * \pi$
Volumen (V)		382,330	cm ³	$V = A * h$
Valor de la Prueba de Compresión Simple (V.P.C.S.)		36316	Kg.	Fuerza aplicada a la superficie superior del cilindro
Resistencia a la Compresión Simple Aproximada (R.C.S.Aprox.)		740,890	Kg/cm ²	$R. C. S. Aprox. = \frac{V. P. C. S.}{A}$
Resistencia a la Compresión Simple Ajustada (R.C.S.Ajust.)		670,506	Kg/cm ²	$R. C. S. Ajust. = R. C. S. Aprox. * k$
Gráficos				
				
Gráfico Muestra Nro.8				
Observaciones				
Impresionante resistencia a la compresión, no presenta roturas de ningún tipo, fisuras muy leves, consistencia alta.				

Anexo Nro. 9 Muestra (70% PET – 30% Arena Nro. 30)

MUESTRA N°9				
Composición		Dimensiones		Características
PET	329 gr. (70%)	Altura (h)	7,8 cm.	Homogenización buena. Con fisuras leves y manchas de contaminates.
Arena Gruesa Nro. 30	141 gr. (30%)	Diámetro (d)	7,8 cm.	
		Radio (r)	3,9 cm.	
		Peso Aproximado	458,69 gr.	
Cálculos				
Relación altura/diámetro (R)		1,000		$R = \frac{h}{d}$
Factor de Corrección de la Resistencia del Cilindro (k)		0,910		Norma ASTM.C42 – 68
Área de la circunferencia superior (A)		47,784	cm ²	$A = r^2 * \pi$
Volumen (V)		372,712	cm ³	$V = A * h$
Valor de la Prueba de Compresión Simple (V.P.C.S.)		28830	Kg.	Fuerza aplicada a la superficie superior del cilindro
Resistencia a la Compresión Simple Aproximada (R.C.S.Aprox.)		603,345	Kg/cm ²	$R.C.S.Aprox. = \frac{V.P.C.S.}{A}$
Resistencia a la Compresión Simple Ajustada (R.C.S.Ajust.)		549,044	Kg/cm ²	$R.C.S.Ajust. = R.C.S.Aprox.* k$
Gráficos				
				
Gráfico Muestra Nro.9				
Observaciones				
Buena resistencia a la compresión, presenta rotura mediana, resquebrajamiento moderado.				

Anexo Nro. 10 Muestra (100% PET)

MUESTRA N°10				
Composición		Dimensiones		Características
PET	470 gr. (100%)	Altura (h)	8,1 cm.	Composición completamente de PET. Color blanco lechoso.
		Diámetro (d)	8 cm.	
		Radio (r)	4 cm.	
		Peso Aproximado	491,35 gr.	
Cálculos				
Relación altura/diámetro (R)		1,013		$R = \frac{h}{d}$
Factor de Corrección de la Resistencia del Cilindro (k)		0,910		Norma ASTM.C42 – 68
Área de la circunferencia superior (A)		50,265	cm ²	$A = r^2 * \pi$
Volumen (V)		407,150	cm ³	$V = A * h$
Valor de la Prueba de Compresión Simple (V.P.C.S.)		42642	Kg.	Fuerza aplicada a la superficie superior del cilindro
Resistencia a la Compresión Simple Aproximada (R.C.S.Aprox.)		848,336	Kg/cm ²	$R.C.S.Aprox. = \frac{V.P.C.S.}{A}$
Resistencia a la Compresión Simple Ajustada (R.C.S.Ajust.)		771,985	Kg/cm ²	$R.C.S.Ajust. = R.C.S.Aprox.* k$
Gráficos				
				
Gráfico Muestra Nro.10				
Observaciones				
Buena resistencia a la compresión pero presenta una rotura muy brusca con estallido, resquebrajamiento excesivo.				