

**ALTERNATIVA DE USO DE MATERIALES GEOSINTETICOS ELABORADOS
CON ARENA Y PLÁSTICO PET RECICLADO PARA LA FABRICACIÓN DE
ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES EN LA CONSTRUCCIÓN.**

**ANGELICA MARIA APONTE LARGO
TANIA JULIANA SALCEDO BONILLA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2019

**ALTERNATIVA DE USO DE MATERIALES GEOSINTETICOS ELABORADOS
CON ARENA Y PLÁSTICO PET RECICLADO PARA LA FABRICACIÓN DE
ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES EN LA CONSTRUCCIÓN.**

**ANGELICA MARIA APONTE LARGO
TANIA JULIANA SALCEDO BONILLA**

Proyecto de grado para optar al titulo de Ingeniero Civil

**Director:
LUIS ALBERTO CAPACHO SILVA
MSc. en Informática**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2019

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. MARCO TEÓRICO	19
1.1 PLÁSTICO PET	19
1.1.1. Definición.	19
1.1.2. Propiedades del plástico PET.	20
1.1.3. Ventajas del PET.	20
1.1.4. Contexto Ambiental.....	21
1.2. ARENA.....	21
1.2.1 Componentes y características.....	22
1.2.2 Tipos de arenas usadas para el desarrollo del trabajo de investigación	22
1.2.2.1. Arena gruesa	22
1.2.2.2. Arena fina.....	22
1.3 MATERIAL COMPUESTO:	23
2. FASE EXPERIMENTAL	24
2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA ARENA FINA	24
2.1.1 Granulometría de la arena fina	25
2.1.2. Peso específico de la arena.....	25
2.1.3. Ensayo de proctor modificado.....	26
2.2 CARACTERIZACIÓN DE LA ARENA TRITURADA LAVADA.....	27
2.2.1. Granulometría de la arena triturada lavada.....	28
2.2.2. Peso específico de la arena.....	29
2.3 CARACTERIZACIÓN DEL POLIETILENO DE TEREFTALATO (PET)	30
2.3.1. Granulometria del polietileno de tereftalato (PET)	30
2.3.2. Peso específico del PET	30
2.4 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA.....	31

3. ENSAYOS DE LABORATORIO AL MATERIAL COMPUESTO.....	32
3.1 COMPRESIÓN INCONFINADA.....	32
3.1.1 Calculo del número de golpes.....	32
3.1.2 Probetas del material compuesto con arena fina tratadas térmicamente	34
3.1.3 Probetas de arena triturada lavada y PET tratadas térmicamente.....	37
3.1.4 Velocidad de carga	39
3.2 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM).....	40
3.3 MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA DENSIDAD. POROSIDAD Y ABSORCIÓN ASTM C642.....	42
3.4 IMPEDANCIA ACÚSTICA.....	43
3.5 MODULO DE ELASTICIDAD	46
3.6 TRACCIÓN INDIRECTA.....	47
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	48
4.1 COMPRESIÓN INCONFINADA.....	48
4.1.1 Probetas de arena fina y PET tratadas térmicamente.	48
4.1.2 Probetas de arena triturada lavada y PET tratadas térmicamente.....	54
4.2 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM).....	61
4.2.1 Arena fina con el 30% de PET.	61
4.2.2 Arena triturada lavada con el 30% de PET.	63
4.3 METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DENSIDAD. POROSIDAD Y ABSORCION ASTM C642.....	64
4.3.1 Arena fina con el 30% de plástico PET	64
4.3.2 Arena triturada lavada con el 30% de plastico PET.	66
4.4 IMPEDANCIA ACUSTICA.....	67
4.5 MODULO DE ELASTICIDAD	68
4.5.1 Modulo de elasticidad para arena fina.	68
4.5.2 Modulo de elasticidad para arena triturada lavada.	70
4.6 TRACCIÓN INDIRECTA.....	72
4.6.1 Arena fina con 30% de plástico PET	72
4.6.2 Arena triturada lavada con 30% de plástico PET	72

5. PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN CAMPO.....	73
6. CONCLUSIONES	76
BIBLIOGRAFÍA.....	78
ANEXOS	80

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Composición química del plástico PET.....	19
Figura 2. Proceso de Condensación de etilenglicol y el ácido tereftálico.....	20
Figura 3. Arena Fina	25
Figura 4. Arena Triturada Lavada.	28
Figura 5. Molde para la elaboración de las probetas.	32
Figura 6. Probetas de 30% de PET con arena fina, después del tratamiento t.....	36
Figura 7. Probetas de 30% de PET con arena triturada lavada, después del tratamiento térmico.	38
Figura 8. MTS 810 Material Test System.....	40
Figura 9. Quorum 150ES.	41
Figura 10. Microscopio Electrónico de Barrido FEG.	42
Figura 11. Tubo de impedancia de Kundt.	43
Figura 12. Osciloscopio y Transmisor de Frecuencias.	44
Figura 13. Arena fina con el 30% de plástico PET.....	61
Figura 14. Zona puntual de la muestra.	62
Figura 15. Arena triturada lavada con el 30% de plástico PET.....	63
Figura 16. Zona puntual de la muestra	63
Figura 17. Ladrillo macizo.	73
Figura 18. Ensayo de compresión a estampa para ladrillo macizo.	74

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Curva de Compactación	27
Gráfica 2. Curva de Compactación	29
Gráfica 3. Esfuerzos Máximos Vs Intervalos de tiempo para 30% de PET.....	49
Gráfica 4. Esfuerzos Máximos Vs Porcentajes de PET de arena fina, para 4 horas en el horno.....	51
Gráfica 5. Tiempo Vs Esfuerzo máximo promedio.....	54
Gráfica 6. Esfuerzos Máximos Vs Intervalos de tiempo para 30% de PET.....	55
Gráfica 7. Esfuerzos Máximos Vs Porcentajes de PET de arena triturada lavada.....	57
Gráfica 8. Tiempo Vs Esfuerzo máximo promedio.....	60
Gráfica 9. Elementos que conforman la muestra.	62
Gráfica 10. Elementos que conforman la muestra.	64
Gráfica 11. Coeficiente de absorción.	67
Gráfica 12. Módulo de Elasticidad Probeta 1.....	68
Gráfica 13. Módulo de Elasticidad Probeta 2.....	69
Gráfica 14. Módulo de Elasticidad Probeta 3.....	69
Gráfica 15. Módulo de Elasticidad Probeta 1.....	70
Gráfica 16. Módulo de Elasticidad Probeta 2.....	71
Gráfica 17. Módulo de Elasticidad Probeta 3.....	71

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Granulometría Arena Fina.....	25
Tabla 2. Peso Específico de la Arena Fina	26
Tabla 3. Parámetros para el Ensayo de Proctor Modificado.....	26
Tabla 4. Granulometría de arena triturada lavada	28
Tabla 5. Peso Específico de la Arena Triturada lavada	29
Tabla 6. Granulometría de PET	30
Tabla 7. Peso específico del PET	31
Tabla 8. Cantidad de arena fina para el 30%.....	35
Tabla 9. Cantidad de PET para el 30%.....	36
Tabla 10. Cantidad de arena fina para el 35%, 40%, 45%, 50% y 55%	37
Tabla 11. Cantidad de PET para el 35%, 40%, 45%, 50% Y 55%.....	37
Tabla 12. Cantidad de arena triturada para el 30%	38
Tabla 13. Cantidad de PET para el 30%.....	38
Tabla 14. Cantidad de arena triturada para el 35%, 40%, 45%, 50% y 55%.	39
Tabla 15. Cantidad de PET para el 35%, 40%, 45%, 50% Y 55%.....	39
Tabla 16. Dimensiones de las probetas cilíndricas.	45
Tabla 17. Esfuerzos Máximos de probetas con 30% de PET a 4 horas.	48
Tabla 18. Temperatura de las probetas.	49
Tabla 19. Esfuerzos Máximos de probetas con diferentes % de PET a 4 horas. ..	50
Tabla 20. Esfuerzos Máximos de probetas con 25% de PET a 6 horas y 8 horas.	52
Tabla 21. Esfuerzos Máximos de probetas con 35% de PET a 6 horas y 8 horas.	52
Tabla 22. Esfuerzos Máximos de probetas Vs % de PET con diferentes intervalos de tiempo.	53
Tabla 23. Esfuerzos Máximos de probetas con 30% de PET a 4 horas.	55

Tabla 24. Temperaturas diferentes intervalos de tiempo de la arena triturada lavada.	56
Tabla 25. Esfuerzos Máximos de probetas con diferentes % de PET a 4 horas. ...	57
Tabla 26. Esfuerzos Máximos de probetas con 25% de PET a 6, 8 Y 10 horas. ...	58
Tabla 27. Esfuerzos Máximos de probetas con 35% de PET a 6 y 10 horas.	59
Tabla 28. Esfuerzos Máximos de probetas Vs % de PET con diferentes intervalos de tiempo.	59
Tabla 29. Porcentajes que conforman la muestra.....	62
Tabla 30. Porcentajes que conforman la muestra.....	64
Tabla 31. Porcentaje de absorción y porosidad de arena fina con el 30% de plástico PET.....	64
Tabla 32. Densidad de arena fina y el 30% de plástico PET.	65
Tabla 33. Porcentaje de absorción y porosidad de arena triturada lavada con el 30% de plástico PET.....	66
Tabla 34. Densidad de arena triturada lavada y el 30% de plástico PET.	66
Tabla 35. Módulo de Elasticidad Promedio para arena fina.....	70
Tabla 36. Módulo de Elasticidad Promedio para arena triturada lavada 30%.....	72
Tabla 37. Tracción Indirecta de arena fina.....	72
Tabla 38. Tracción Indirecta de arena triturada lavada.....	72
Tabla 39. Dimensiones de los ladrillos macizos.....	73
Tabla 40. Análisis comparativo de esfuerzos a estampa y sogas.....	74

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A: Ensayos preliminares de la arena fina.....	80
Anexo B: Ensayos preliminares de la arena triturada lavada.....	88
Anexo C: Ensayos preliminares del polietileno de tereftalato (PET).	94
Anexo D: Probetas de arena fina y plástico pet tratadas térmicamente.....	96
Anexo E: Probetas de Arena fina y Plástico PET tratadas térmicamente a 2 horas en el horno.....	98
Anexo F: Método para determinar del 30% al 55% de pet en la masa de la arena fina.	99
Anexo G: Probetas de Arena triturada lavada y Plástico PET tratadas térmicamente a 2 horas en el horno.	106
Anexo H: Método para determinar del 30% al 55% de pet en la masa de la arena triturada lavada.	107
Anexo I: Método para obtener el tiempo óptimo de las probetas de arena fina y plástico pet reciclado.	114
Anexo J: Probetas con el 25% de plástico PET y arena fina a 2 y 4 horas en el horno.....	116
Anexo K: Método para obtener el tiempo óptimo de las probetas de arena fina y plástico PET reciclado.	117
Anexo L: Probetas con el 25% de plástico PET y arena triturada lavada a 2 y 4 horas en el horno.	119
Anexo M: Ensayo de Microscopia (SEM) para las probetas de 35% de PET con arena fina y 35% de PET arena triturada lavada.	120
Anexo N: Método de prueba estándar para densidad. porosidad y absorción ASTM C642.	124

Anexo O: Método para hallar el coeficiente de absorción de acuerdo al Ensayo de Impedancia Acústica.....	132
Anexo P: Método para hallar la carga de Tracción Indirecta	139

RESUMEN

Titulo: Alternativa de uso de materiales geosintéticos elaborados con arena y plástico PET reciclado para la fabricación de elementos no estructurales en la construcción.*

Autores: Angelica Maria Aponte Largo, Tania Juliana Salcedo Bonilla**

Palabras Clave: Polietileno de Tereftalato (PET), arena fina, arena triturada lavada, compresión, capacidad de carga, tiempo, temperatura, durabilidad, probetas, módulo de elasticidad, tracción indirecta

Este documento expone el desarrollo y resultados obtenidos del diseño de mezcla de dos tipos de arena (arena fina y arena triturada lavada) cada una de ellas con material PET reciclado evaluando sus propiedades mecánicas. Se utilizan probetas las cuales son tratadas térmicamente. Por medio de este trabajo de investigación se quiere dar como alternativa la implementación del plástico PET reciclado en elementos no estructurales con el fin de aportar de forma positiva al medio ambiente con su reutilización. El ensayo de compresión inconfiada nos da como resultado la capacidad de carga de dichas probetas obteniendo así la probeta óptima para cada tipo de arena mezclada con plástico PET reciclado, este ensayo se realiza a probetas las cuales son compactadas y después se someten a distintas temperaturas durante diferentes intervalos de tiempo según el porcentaje de PET. Procedemos a realizar diferentes ensayos de laboratorio al diseño de mezcla óptimo de cada arena tales como ensayo de durabilidad (Método de prueba estándar para densidad, porosidad y absorción), impedancia acústica, módulo de elasticidad y tracción indirecta para conocer el comportamiento de cada diseño de mezcla.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil. Director: Luis Alberto Capacho Silva

ABSTRACT

Title: Alternative use of geosynthetic materials made with sand and recycled PET plastic for the manufacture of non-structural elements in construction *

Authors: Angelica Maria Aponte Largo, Tania Juliana Salcedo Bonilla **

Keywords: Terephthalate polyethylene (PET), fine sand, washed crushed sand, compression load capacity, time, temperature, durability, specimens, modulus of elasticity, indirect traction.

This document presents the development and results obtained from the design of a mixture of two types of sand (fine sand and washed crushed sand), each with recycled PET material, evaluating its mechanical properties. Test tubes are used which are heat treated. Through this research work we want to give as an alternative the implementation of recycled PET plastic in non-structural elements in order to contribute positively to the environment with its reuse. The unconfined compression test results in the load capacity of said specimens obtaining the optimum specimen for each type of sand mixed with recycled PET plastic, this test is carried out on test pieces which are compacted and then subjected to different temperatures during different time intervals according to the percentage of PET. We proceed to perform different laboratory tests to the optimal mix design of each sand such as durability test (Standard test method for density, porosity and absorption), acoustic impedance, modulus of elasticity and indirect traction to know the behavior of each design mixture.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecanicas, Escuela de Ingeniería Civil. Director: Luis Alberto Capacho Silva

INTRODUCCIÓN

Estudios plantean la utilización de uno de los “agentes contaminantes más abundantes en el país como lo es el material reciclado plástico PET; este desecho aumenta en relación con el consumo de la población. El ciclo de vida de estos desechos no termina cuando llega a manos de los usuarios, el consumo es solo la mitad del camino; por el bien del planeta, de nuestra salud y de la economía mundial debemos aprender a reducir y sacar provecho de los residuos que se generan”¹

Con este fin, el énfasis principal de la investigación propuesta es estudiar las propiedades mecánicas de una nueva generación de arena plástico con propósitos ecológicos basado en un material geo sintético. El producto fabricado podría ser revolucionario en aplicaciones tales como:

- Fabricación de materiales de construcción, como baldosas de plástico reciclado y ladrillos con una mayor resistencia a la tracción y a la compresión; resultados de la investigación de Naji Khoury.²

El progreso de la tecnología y los métodos de reciclaje ayudan a reducir gran cantidad de residuos plásticos, sabiendo la importancia de reciclar debido a que:

- Reduce la contaminación ambiental
- Ahorra materias primas reemplazándolas por materiales reciclados para la fabricación de nuevos productos.

¹ NAVARRO, J. A. Utilización de material reciclado plástico en la elaboración de una baldosa. Bucaramanga, Colombia. 2015

² NAJI KHOURY, C. K. “Soil fused with Recycled plastic bottles for various GeoEngineering applications”. San Diego : Universidad de California. 2015

- Disminuye costos en la producción del material.³

A partir de lo anterior se plantea en el presente trabajo de investigación, determinar la cantidad relativa de cada tipo de arena con material PET reciclado obteniendo la mayor resistencia a compresión hallado por un tiempo y temperatura óptima. Se realiza por medio de diferentes ensayos, pero principalmente teniendo como parámetro importante la capacidad de carga obtenida por el ensayo de compresión incofinada para hallar la probeta óptima. Gracias a la disponibilidad del horno y las maquinas en la Universidad Industrial de Santander se desarrolló el proyecto el cual nos arroja el comportamiento de la variación de porcentajes de material PET reciclado y arena fina o arena triturada.

³ TEXTOS CIENTÍFICOS. Polimeros [en línea] disponible en:
<https://www.textoscientificos.com/polimeros/pet>

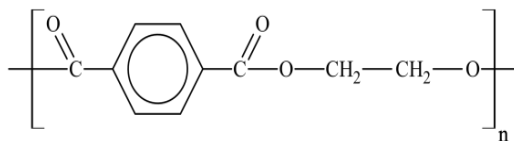
1. MARCO TEÓRICO

1.1 PLÁSTICO PET

1.1.1. Definición. El tereftalato de polietileno. politereftalato de etileno. polietilentereftalato o polietileno tereftalato (más conocido por sus siglas en inglés PET polyethylene terephthalate) es un tipo de plástico muy usado en envases de bebidas y textiles.

Es un polímero plástico lineal con alto grado de cristalinidad y termoplástico en su comportamiento lo cual lo hace apto para ser transformado mediante procesos de extrusión, inyección, inyección-soplado y termo-formado. Es resistente al desgaste. dimensionalmente estable. resistente a los químicos y tiene buenas propiedades dieléctricas.

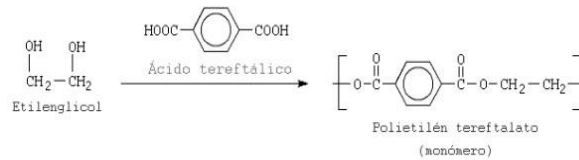
Figura 1. Composición química del plástico PET.



El PET tiene una temperatura de transición vítrea baja (temperatura a la cual un polímero amorfo se ablanda). Esto ocasiona que los productos fabricados con dicho material no puedan calentarse por encima de dicha temperatura (por ejemplo, las botellas fabricadas con PET no pueden calentarse para su esterilización y posterior reutilización).

El PET se obtiene mediante la condensación del etilenglicol y el ácido tereftálico, el cual asume el papel primario en las fibras y materiales de moldeo.

Figura 2. Proceso de Condensación de etilenglicol y el ácido tereftálico.



1.1.2. Propiedades del plástico PET. Dentro de las propiedades más importantes del PET. se encuentran:

- Transparencia y brillo con efecto lupa.
- Excelentes propiedades mecánicas.
- Barrera de los gases.
- Biorientable-cristalizable.
- De bajo costo.
- 100% reciclable
- Liviano.

1.1.3. Ventajas del PET. Las ventajas con las que cuenta el PET que son potenciales para el desarrollo del proyecto son:

- **Reciclado:**

El PET puede ser reciclado dando lugar al material conocido como RPET. Lamentablemente el RPET no puede emplearse para producir envases para la industria alimenticia debido a que las temperaturas implicadas en el proceso no son lo suficientemente altas como para asegurar la esterilización del producto.

- **Plasticidad:**

Capacidad de moldearse al aumentar la temperatura.

- **Generación de materiales compuestos:** combina con otros materiales con el objetivo de obtener la mejor combinación de propiedades que un solo material no puede satisfacer.
- **Cristalización:**
Permite lograr resistencia térmica para utilizar bandejas termoformadas en hornos a elevadas temperaturas de cocción.
- **Esterilización:**
El PET resiste esterilización química con óxido de etileno y radiación gamma.

1.1.4. Contexto Ambiental. Su utilización masiva en todo tipo de productos y su lenta degradación. Se estima que tarda unos 180 años en descomponerse, aunque este periodo varía en función del tipo de plástico.

Perjudica el medio ambiente, ya que en su elaboración se utilizan metales pesados y sustancias irritantes que se expulsan al medio ambiente. Es por ello por lo que es necesario el reciclaje de plástico sea de PET o cualquier otro tipo.

1.2. ARENA

La arena es un tipo de agregado fino o árido que se utiliza para fabricar hormigón, concreto y mortero; se compone de partículas de rocas trituradas que pueden ser muy pequeñas y finas o un poco más grandes dependiendo del uso para el que sea destinada.

Las partículas de arena normalmente están formadas por partículas equivalentes a los tamices N° 4 y N° 200. Una partícula individual dentro de este rango es llamada grano o clasto de arena.

1.2.1 Componentes y características. El principal componente más común de la arena es la sílice, generalmente en forma de cuarzo. Sin embargo, la composición varía de acuerdo con las características locales de las rocas del área de procedencia. En algunos lugares hay arena que contiene hierro, feldespato o incluso yeso.

Según el tipo de roca de la que procede, la arena puede variar mucho en apariencia. Por ejemplo, la arena volcánica es de color negro mientras que la arena de las playas con arrecifes de coral suele ser blanca.

Generalmente la arena tiene un origen natural: se le extrae de canteras aluviales, ríos, lagos o depósitos volcánicos, pero también se puede obtener en forma artificial mediante la trituración de rocas por medios mecánicos. Ambos métodos de extracción de arena dan como resultado un producto limpio, compacto, durable y resistente.

1.2.2 Tipos de arenas usadas para el desarrollo del trabajo de investigación

1.2.2.1. Arena gruesa La arena se utiliza en la industria de la construcción para fabricar pisos o como parte de la cimentación ya que tiene la cualidad de reducir las fisuras que aparecen en la mezcla al endurecerse.

1.2.2.2. Arena fina. La arena fina se usa comúnmente en productos como adhesivos y lechadas para colocar baldosas cerámicas y piedra natural. También se usa para hacer la argamasa para ladrillos de terminaciones, como en el exterior de una casa, donde se necesita una arena más fina para dar un mejor acabado. Se conoce como arena para construcción de materiales no estructurales.

1.3 MATERIAL COMPUESTO:

Este material compuesto a base de plástico PET reciclado y arena que se obtiene mediante un proceso térmico se desarrolló en la universidad de Oklahoma donde se dan a conocer las propiedades de resistencia a la compresión no confinada, dando como una nueva alternativa un material geo-sintético para la construcción.

Este material geo-sintético nos proporciona beneficios ecológicos y económicos a la sociedad, las propiedades del compuesto dependen de la presión, tipo de plástico reciclado y granulados, como revelan numerosos estudios (Schmidt. 1993).

2. FASE EXPERIMENTAL

En la fase experimental se inició con la caracterización de los materiales que se necesitaron en las diferentes mezclas tales como la arena fina, arena triturada lavada, plástico PET reciclado. Posteriormente se determinaron los parámetros de dosificación del material cementante (PET) debido a que este da cohesión al material compuesto. La dosis establecida varía entre 30% y el 55% del volumen de acuerdo con el material a utilizar.

Para finalizar se caracterizaron mecánicamente las probetas de diseño sometiénolas a algunos ensayos compresión inconfiada, impedancia acústica, densidad, porosidad, absorción y tracción indirecta con el fin de conocer las propiedades de las diferentes mezclas tratadas térmicamente.

2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA ARENA FINA

Las normas y especificaciones aplicadas para el desarrollo de la caracterización de los materiales son las propuestas por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), tales como granulometría, peso específico y ensayo de Proctor modificado.

La arena utilizada proviene de la empresa TRANSMATERIALES S.A. actualmente se abastece de la fuente minera de Cúcuta, Norte de Santander para la sustracción de los materiales tales como arena fina de río, arena gruesa y triturada.

Figura 3. Arena Fina



2.1.1 Granulometría de la arena fina Para el análisis granulométrico se utilizaron 1550.1 gramos de material. Los resultados obtenidos en el estudio se presentan a continuación.

Tabla 1. Granulometría Arena Fina

Malla No	Peso Retenido	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa
4	10.9	0.876	0.876	99.124
8	13	1.045	1.921	98.076
16	29.6	2.380	4.301	95.699
30	145.7	11.717	16.018	83.982
50	686.3	55.19	71.208	28.792
100	296	23.8	95.008	4.992
Fondo	62	4.98	99.988	0
Total	1243.3	99.988		

- GRAVAS = 0.876%
- ARENAS = 95%
- FINOS = 0%

SUCS= Arena pobremente graduada.

2.1.2. Peso específico de la arena Para determinar la gravedad específica del arena se utilizaron 500 gramos de material que pasa el tamiz No 4 (4.75 mm). El

procedimiento que se siguió fue basado mediante el método B que describe la norma INV E 128-13.

Tabla 2. Peso Específico de la Arena Fina

Peso del frasco + Agua hasta la marca en el aire	653.1	Gramos
Peso de la muestra en condición S.S.S en el aire	500	Gramos
Peso de la muestra. Frasco y Agua agregada hasta la marca en el aire	945.6	Gramos
Peso de la muestra secada al horno	469.2	Gramos
Gravedad específica de los Sólidos	2.410	

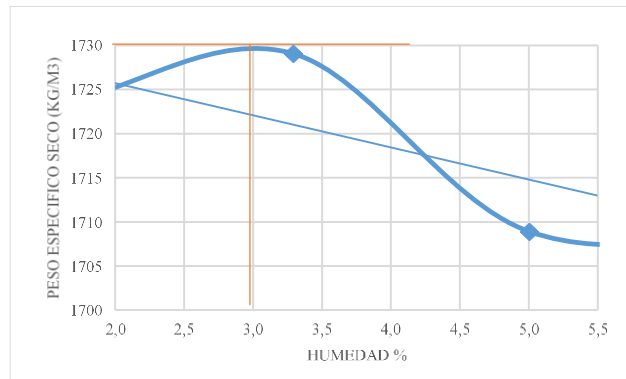
2.1.3. Ensayo de proctor modificado El método utilizado para el ensayo fue el A, propuesto por el Instituto Nacional de Vías (INV E 142-13) para ensayos modificados de compactación. Esto debido a las especificaciones que el método indica y al ensayo de laboratorio anteriormente realizado como granulometría. El ensayo describe las dimensiones del molde, el número de capas y golpes, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3. Parámetros para el Ensayo de Proctor Modificado.

Número de Capas	5
Número de Golpes por Capa	25
Diámetro del Molde (cm)	10.16
Altura del Molde (cm)	11.50
Volumen del Molde (cm ³)	932.34

Se halló la energía de compactación la cual es aproximadamente de 2700 kN-m/m³, y teniendo en cuenta los parámetros anteriormente descritos (**Tabla No 3**) se utilizó un martillo de 44.48 N (10 lbf), el cual tiene una caída libre sobre el material de 457.2 mm (18").

Gráfica 1. Curva de Compactación



Densidad Seca Máxima = 1729.1 Kg/m³

Humedad Óptima = 3%

Se presentan los respectivos cálculos de los ensayos preliminares de la arena fina en el **Anexo A.**

2.2 CARACTERIZACIÓN DE LA ARENA TRITURADA LAVADA

Las normas y especificaciones aplicadas para el desarrollo de la caracterización de los materiales son las propuestas por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), tales como granulometría, peso específico y ensayo de Proctor modificado.

Figura 4. Arena Triturada Lavada.



2.2.1. Granulometría de la arena triturada lavada Para el análisis granulométrico se utilizaron 1738.1 gramos de material. Los resultados obtenidos en el estudio se presentan a continuación.

Tabla 4. Granulometría de arena triturada lavada

Malla No	Peso Retenido	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa
4	97.9	6.88	6.88	93.12
8	282.8	19.89	26.77	73.23
16	194.5	13.68	40.45	59.55
30	176.3	12.4	52.85	47.15
50	244.3	17.19	70.04	29.96
100	332.4	23.38	93.42	6.58
Fondo	93.1	6.55	99.97	0
Total	1421.3	99.97		

- GRAVAS = 6.88 %
- ARENAS = 93.42%
- FINOS = 0%

SUCS=Arena pobremente graduada.

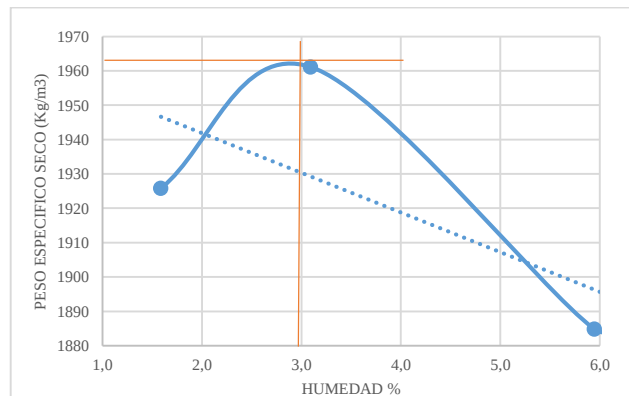
2.2.2. Peso específico de la arena Para determinar el peso específico de la arena triturada lavada, se realizó el mismo procedimiento utilizado en la arena fina.

Tabla 5. Peso Específico de la Arena Triturada lavada

Peso del frasco + Agua hasta la marca en el aire	653.1	Gramos
Peso de la muestra en condición S.S.S en el aire	500	Gramos
Peso de la muestra. Frasco y Agua agregada hasta la marca en el aire	957.3	Gramos
Peso de la muestra secada al horno	488.8	Gramos
Gravedad específica de los Sólidos	2.55	

2.2.3. Ensayo de proctor modificado Para este ensayo se utilizó la misma energía de compactación y parámetros que para la arena fina.

Gráfica 2. Curva de Compactación



Densidad Seca Máxima = 1961.2 Kg/m³

Humedad Óptima = 3%

Se presentan los respectivos cálculos de los ensayos preliminares de la arena triturada lavada en el **Anexo B.**

2.3 CARACTERIZACIÓN DEL POLIETILENO DE TEREFTALATO (PET)

El material PET reciclado se obtuvo de la empresa Replasander Ltda la cual se encarga de distribuirlo triturado, de estas fuentes se obtuvieron las respectivas muestras para los ensayos de laboratorio.

2.3.1. Granulometría del polietileno de tereftalato (PET) Para el análisis granulométrico se utilizaron 5000 gramos de material. Los resultados obtenidos en el estudio se presentan a continuación.

Tabla 6. Granulometría de PET

Malla No	Peso Retenido	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa
4	304.6	60.96	60.69	39.04
10	181.6	36.34	97.30	2.7
20	11.6	2.32	99.62	0.38
40	1.9	0.38	100	0
Total	499.7	100		

De acuerdo con estos porcentajes las partículas de plástico PET poseen un tamaño que oscila entre el tamiz No. 40 (0.42 mm) y el tamiz No. 4 (4.75 mm). Se puede observar que el mayor porcentaje de plástico PET posee un tamaño de 4.75mm.

2.3.2. Peso específico del PET Para determinar la gravedad específica de la arena. se utilizaron 100 gramos de material que pasa el tamiz No 4 (4.75 mm).

Tabla 7. Peso específico del PET

Peso del frasco + Agua hasta la marca en el aire	653.3	Gramos
Peso de la muestra en condición S.S.S en el aire	100	Gramos
Peso de la muestra. Frasco y Agua agregada hasta la marca en el aire	677.3	Gramos
Peso de la muestra secada al horno	91.5	Gramos
Gravedad específica de los Sólidos	1.316	

Se presentan los respectivos cálculos de los ensayos preliminares del plástico del polietileno de tereftalato (PET) en el **Anexo C.**

2.4 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA

El agua utilizada en el desarrollo de este proyecto proviene del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, el cual es de alta calidad por lo que no fue necesario la realización de ensayos químicos debido a que las impurezas presentes no afectarían de forma significativa los resultados.

3. ENSAYOS DE LABORATORIO AL MATERIAL COMPUESTO

3.1 COMPRESIÓN INCONFINADA

Se realizó este ensayo con el fin de determinar el valor de resistencia a la compresión de cada tipo de arena con plástico PET reciclado variando los porcentajes por medio de tratamiento térmico con el fin de encontrar la capacidad de carga máxima hallando así el diseño de mezcla óptimo para cada tipo de arena (fina y triturada lavada).

Para este ensayo se realizaron probetas las cuales fueron elaboradas por tres moldes metálicos los cuales se fabricaron para el desarrollo de este proyecto. Estos cumplen con las características de dimensión 1-2, lo que indica que la altura de la probeta es el doble del diámetro. También se fabricó un anillo adicional con una sobre altura debido a que el PET reduce su volumen al calentarse.

Figura 5. Molde para la elaboración de las probetas.



3.1.1 Calculo del número de golpes El molde utilizado para la elaboración de las probetas que se sometieron a compresión dimensionalmente es diferente al de

referencia de Proctor modificado por lo que los parámetros para calcular la energía de compactación varían. Por esto recalculamos el número de golpes requeridos para cada una de las 5 capas de cada probeta.

La energía de compactación que se obtuvo del ensayo de Proctor Modificado, utilizando el método A. es de 61.3 lbf cm/cm³, resultado para 5 capas cada una con 25 golpes, con una caída y peso de martillo respectivamente de 457.2 mm (18") y 44.48 N (10 lbf).

$$\text{Energía de Compactación} = \frac{(A)(B)(C)(D)}{(E)} \quad (1)$$

A: Peso del Martillo

B: Caída del martillo

C: Número de capas

D: Número de Golpes

E: Volumen del Molde de Proctor Modificado

Tomando como referencia la misma energía de compactación de Proctor Modificado, el mismo número de capas, cambiando el martillo por uno de 5.84 lbf con una caída libre de 56 cm y modificando el volumen del molde de acuerdo con las dimensiones de este, el número de golpes que se necesita por capa se calcula de la siguiente forma:

Diámetro del Molde = 5.08 cm

Altura del Molde = 10.5 cm

Número de Capas = 5

Peso del Martillo = 5.84 lbf

Caída del Martillo = 56 cm

Energía de Compactación = 61.30 lbf cm/cm³

$$V.molde = \pi * r^2 * H = \pi * 2.54^2 [cm^2] * 10.5 [cm] \quad (2)$$

$$V.molde = 206.17 \text{ cm}^3$$

$$61.30 \frac{\text{lbfcm}}{\text{cm}^3} = \frac{(5.84 \text{ lbf})(56 \text{ cm})(5)(D)}{(206.17 \text{ cm}^3)} \quad (3)$$

NÚMERO DE GOLPES POR CAPA
8

3.1.2 Probetas del material compuesto con arena fina tratadas térmicamente

Para la elaboración de estas probetas se establecieron los porcentajes de plástico PET reciclado desde el 5%, tomando este como porcentaje mínimo para el inicio del proyecto. Se observó que las probetas de 5%, 10%, 15% y 20% no presentaban la suficiente adherencia entre la arena fina y el plástico PET reciclado, la cual daba como resultado probetas que no eran aptas para el ensayo de compresión inconfiada. Para las probetas de 25% se observó que si había adherencia entre los materiales y eran aptas para el ensayo de compresión inconfiada, pero requerían de un tiempo significativo en el horno por lo que las descartamos para hallar el tiempo óptimo de las probetas. **Nota: Véase Anexo D.**

Para la elaboración de las probetas de los diferentes porcentajes utilizados en el proyecto de investigación se hizo la sustitución de la arena fina por plástico PET reciclado por medio de volúmenes, teniendo en cuenta las densidades de cada

material. Para la elaboración de las probetas de 30%, 35%, 40%, 45%, 50% y 55% se evidencia estos cálculos en el **Anexo E**.

Para la elaboración de todas las probetas de arena fina y plástico PET reciclado, se halló la humedad natural de la arena. esto con el fin de agregar agua para alcanzar la humedad óptima del moldeo.

Se conoce como una característica de la arena su capacidad de transmitir calor o como un aislante térmico, por lo tanto, se buscó determinar el tiempo óptimo en el horno para cada porcentaje de PET y al finalizar el tiempo establecido se tomó la temperatura que alcanzo cada probeta, esto se hizo con el fin de presentar estos resultados en cada diseño de mezcla.

PARA EL 30% DE PET

Para este diseño de mezcla se establecieron intervalos de tiempo en el horno desde 2, 4, 6 y 8 horas, para un total de 12 muestras para este porcentaje de PET, en las que se realizaron tres probetas por cada intervalo de hora. Se evidencio que las probetas de 2 horas no adquirieron la adhesión necesaria entre la mezcla por lo que no tomamos en cuenta este tiempo para determinar el tiempo que obtenga la mayor capacidad de carga. **(Ver Anexo F)**.

Tabla 8. Cantidad de arena fina para el 30%

ARENA FINA (30%)		
Masa de arena Fina	500	Gramos
Densidad de la arena Fina	2.41	gr/cm3
30% de masa a reemplazar	150	Gramos
Volumen de la masa de reemplazo (30%)	62.25	cm3
Masa de arena para la mezcla	325	Gramos

Tabla 9. Cantidad de PET para el 30%

POLIETILENO DE TEREF TALATO (PET)		
Densidad del PET	1.316	Gr/cm3
Volumen del PET	62.25	Cm3
Masa de PET para la mezcla	81.91	Gramos

Figura 6. Probetas de 30% de PET con arena fina, después del tratamiento t



PARA EL 35%, 40%, 45%, 50% Y 55% DE PET

Masa de arena Fina [gr]	A
Densidad de la arena Fina [gr/cm3]	B
30% de masa a reemplazar [gr]	C
Volumen de la masa de reemplazo (%) [cm3]	D
Masa de arena para la mezcla [gr]	E
Densidad del PET [gr/cm3]	F
Volumen del PET [cm3]	G
Masa de PET para la mezcla [gr]	H

Tabla 10. Cantidad de arena fina para el 35%, 40%, 45%, 50% y 55%

	35%	40%	45%	50%	55%
A	500	500	500	500	500
B	2,41	2,42	2,43	2,44	2,45
C	175	200	225	250	225
D	72,63	83	93,37	103,75	114,13
E	325	300	275	250	225

Tabla 11. Cantidad de PET para el 35%, 40%, 45%, 50% Y 55%

	35%	40%	45%	50%	55%
F	1,32	1,316	1,316	1,316	1,316
G	72.63	83	93,37	103,75	114,13
H	95.56	109,2	122,86	136,51	150,16

3.1.3 Probetas de arena triturada lavada y PET tratadas térmicamente Para la elaboración de estas probetas se establecieron los porcentajes de plástico PET reciclado desde el 30% hasta el porcentaje de material con la mayor capacidad de carga, se tomó este dato como referencia de los resultados de la arena fina de acuerdo con lo que se evidenció en las probetas de porcentajes 5%, 10%, 15%, 20% y 25% en las que no presentaba cohesión entre los materiales.

Para la elaboración de las probetas de los diferentes porcentajes utilizados en el proyecto de investigación se hizo la sustitución de la arena triturada lavada por plástico PET reciclado por medio de volúmenes, teniendo en cuenta las densidades de cada material. Para la elaboración de las probetas de 30%, 35%, 40%, 45%, 50% y 55% se evidencia estos cálculos en el **Anexo G.**

PARA EL 30% DE PET

Para este diseño de mezcla se establecieron intervalos de tiempo en el horno desde 4,6 y 8 horas. se realizaron tres probetas por cada intervalo de hora. Se evidencio que las probetas de 2 horas no adquirieron la adhesión necesaria entre la mezcla

de arena fina y el plástico PET por lo que no tomamos en cuenta este tiempo para determinar el tiempo que obtenga la mayor capacidad de carga. **Ver Anexo H.**

Tabla 12. Cantidad de arena triturada para el 30%

ARENA TRITURADA LAVADA (30%)		
Masa de arena Triturada	500	Gramos
Densidad de la arena Triturada	2.55	gr/cm3
30% de masa a reemplazar	150	Gramos
Volumen de la masa de reemplazo (30%)	58.74	cm3
Masa de arena para la mezcla	350	Gramos

Tabla 13. Cantidad de PET para el 30%

POLIETILENO DE TEREFTALATO (PET)		
Densidad del PET	1.316	Gr/cm3
Volumen del PET	58.74	Cm3
Masa de PET para la mezcla	77.29	Gramos

Figura 7. Probetas de 30% de PET con arena triturada lavada, después del tratamiento térmico.



PARA EL 35%, 40%, 45%, 50% Y 55% DE PET

Masa de arena Fina [gr]	A
Densidad de la arena Fina [gr/cm ³]	B
30% de masa a reemplazar [gr]	C
Volumen de la masa de reemplazo (30%) [cm ³]	D
Masa de arena para la mezcla [gr]	E
Densidad del PET [gr/cm ³]	F
Volumen del PET [cm ³]	G
Masa de PET para la mezcla [gr]	H

Tabla 14. Cantidad de arena triturada para el 35%, 40%, 45%, 50% y 55%.

	35%	40%	45%	50%	55%
A	500	500	500	500	500
B	2,55	2,55	2,55	2,55	2,55
C	175	200	225	250	275
D	68,53	78,32	88,11	97,9	107,7
E	325	300	275	250	225

Tabla 15. Cantidad de PET para el 35%, 40%, 45%, 50% Y 55%.

	35%	40%	45%	50%	55%
F	1,316	1,316	1,316	1,316	1,316
G	68,53	78,32	88,11	97,9	107,7
H	90,2	103,05	141,7	128,82	115,93

3.1.4 Velocidad de carga Para el ensayo de compresión se aplica una carga por la MTS 810 Material Test System la cual se programó para producir una deformación axial con una velocidad de 0.5 y 2.5% por minuto, parámetro que se encuentra en la norma. La altura de las probetas es aproximadamente 10 cm. lo que nos da la velocidad de carga a 0.05 mm/min.

Figura 8. MTS 810 Material Test System.



3.2 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM)

Este ensayo se realizó con el objetivo de obtener imágenes microscópicas del material y su composición química, determinando como el PET se adhiere a cada tipo de arena después de ser tratada térmicamente la mezcla y los elementos que conforman cada tipo de mezcla.

Para el laboratorio de SEM, se necesitaron 4 muestras (dos de cada tipo de arena con dos diferentes porcentajes de PET) se ponen las muestras sobre una base metálica con cinta adhesiva de carbón, después se generó un alto vacío para realizar un recubrimiento con oro todo esto por medio del equipo Quorum 150ES.

Figura 9. Quorum 150ES.



Terminando esto se pasaron las muestras con el cubrimiento de oro al Microscopio Electrónico de Barrido FEG (Field Emission Gun), donde se tomaron imágenes que se proporcionaron por medio de la energía que se genera del choque entre electrones, debido a un haz que emite el microscopio hacia la muestra conductora. Esto se realizó a un voltaje de aceleración de 25kV por medio del detector de electrones retrodispersados BSE (Back Scattered Electrón Detector (BSED) tipo SSD).

Este ensayo de Microscopia electrónica de barrido (SEM) se le realizó a la probeta óptima que da como resultado el desarrollo de este análisis, se evidencia en el **Anexo M.**

Figura 10. Microscopio Electrónico de Barrido FEG.



3.3 MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA DENSIDAD. POROSIDAD Y ABSORCIÓN ASTM C642.

Este ensayo de laboratorio se realiza a los diseños de mezcla óptima de cada tipo de arena de acuerdo con los resultados del ensayo de compresión inconfiada, esto con el fin de caracterizar los diseños de mezcla que soportaron la mayor capacidad de carga.

Las probetas después de pasar por el tratamiento térmico dan como determinación que están totalmente secas ya que se necesitan en este estado para registrar la masa seca de las probetas. Después de determinar la masa se sumerge en agua a 21 °C en un tiempo menor que 48 h. Se seca la superficie y se determina la masa en intervalos de 24 h de las probetas estar en el horno a una temperatura de 110 +- 5 °C, de manera que no exista diferencia significativa en las masas. Se registra con esto la masa saturada después de la inmersión.

Debido a que realizamos este ensayo según la ASTM C642 Tipo II con estos datos es posible calcular el porcentaje de absorción y porcentaje de porosidad (debido a

esto. los resultados son los mismos para ambos porcentajes). Este cálculo se obtiene por medio de ecuación:

$$(\%P) = \frac{B - A}{A} * 100 \quad (4)$$

Donde:

A: Masa seca al horno

B: Masa saturada después de la inmersión

El Método de prueba estándar para densidad porosidad y absorción ATM C642 se le realizó a la probeta óptima que da como resultado el desarrollo de esta investigación, se evidencia en los análisis de resultados y en el **Anexo N.**

3.4 IMPEDANCIA ACÚSTICA

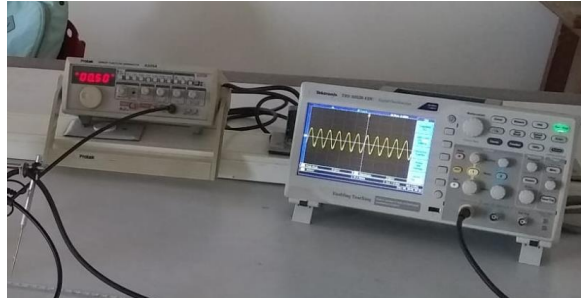
Con el fin de determinar el coeficiente de absorción acústica de las muestras elaboradas con arena y PET, se utilizó el tubo de impedancia de Kundt que se muestra en la figura.

Figura 11. Tubo de impedancia de Kundt.



El sistema consta de un parlante ubicado en un extremo el cual está conectado a un generador de frecuencias y a su vez conectado a un osciloscopio por medio del que se observan gráficamente las ondas producidas al interior y captadas por un micrófono móvil como se muestra la figura.

Figura 12. Osciloscopio y Transmisor de Frecuencias.



Del espectro evidenciado por medio del osciloscopio se determinaron los máximos y mínimos de amplitud producidos en la onda estacionaria generada para cada posición del micrófono, ubicada su distancia mediante la utilización de un flexómetro. Las frecuencias utilizadas en el ensayo fueron de 250, 500, 750, 1000 y 1500 Hz.

Se determinó la frecuencia máxima que se podría utilizar por medio de la siguiente Ecuación y la viabilidad del experimento considerando la longitud del tubo (1.2m) según lo especificado en la ASTM C384.

$$f < 0.586 * \frac{c}{d} \quad (4)$$

Donde:

F: frecuencia máxima

C: velocidad del sonido considerada como 343 m/s

d: diámetro del tubo.

Tabla 16. Dimensiones de las probetas cilíndricas.

Muestra	Diámetro	Espesor
Arena Fina	10.16	2
Arena triturada lavada	10.16	2

Se obtuvo que la frecuencia máxima que se puede utilizar es de 1978.32 Hz para ambas arenas.

La longitud mínima del tubo viene dada por la ecuación.

$$f > \frac{0.75c}{L - d} \quad (5)$$

Donde:

L: Longitud del tubo

Los valores obtenidos en el osciloscopio permiten calcular el coeficiente de absorción acústica a partir de la ecuación.

$$SWR = \frac{P_{max}}{P_{min}} \quad (6)$$

Donde:

SWR: Relación entre máximos y mínimos en una onda estacionaria.

$$\alpha n = \left(\frac{SWR - 1}{SWR + 1} \right)^2 \quad (7)$$

Donde:

αn : Coeficiente de absorción.

El ensayo de Impedancia Acústica se le realizó a la probeta óptima que da como resultado el desarrollo de esta investigación, se evidencia en los análisis de resultados.

3.5 MODULO DE ELASTICIDAD

El módulo de elasticidad longitudinal es un parámetro que caracteriza el comportamiento de los materiales elásticos e inelástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza. Nuestro material presenta un comportamiento elástico hasta que alcanza cierta deformación, ya que el esfuerzo aumenta hace que supere sus fuerzas internas de cohesión y adherencia, por esto el material se micro fisura y finalmente falla.

Se define que el módulo de elasticidad de un material es la relación entre el esfuerzo al que está sometido el material y su deformación unitaria. Representa la rigidez del material ante una carga impuesta sobre el mismo, de acuerdo con esto se toma la gráfica de Esfuerzo vs Deformación unitaria de cada tipo de arena con el porcentaje de plástico PET reciclado óptimo y hallamos la pendiente a la curva.

Esta pendiente se da de acuerdo con la siguiente formula:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} \quad (8)$$

Donde

E = Modulo de elasticidad o pendiente

$\Delta\sigma$ = Variación del Esfuerzo

$\Delta\epsilon$ = Variación de la Deformación Unitaria

Hallamos esta pendiente para las tres probetas que se realizaron para cada tipo de arena con el 30% de plástico PET esto con el fin de comparar estos resultados y encontrar el valor promedio del módulo de elasticidad.

El Módulo de Elasticidad se le realizó a la probeta óptima que da como resultado el desarrollo de esta investigación.

3.6 TRACCIÓN INDIRECTA

Se aplica carga al cilindro en forma continua evitando impacto, a velocidad constante de 0.011 mm/s.

Para el cálculo del esfuerzo de tracción indirecta del cilindro se calcula mediante la ecuación:

$$T = \frac{2P}{\pi Ld} \quad (9)$$

Donde:

T: Esfuerzo de tracción indirecta Kgf/cm².

P: Carga máxima indicada por la máquina de ensayo. KN.

L: Longitud del cilindro. m.

d: Diámetro del cilindro. m.

El ensayo de Tracción Indirecta se le realizó a la probeta óptima que da como resultado el desarrollo de esta investigación, se evidencia en los análisis de resultados y en el **Anexo O.**

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 COMPRESIÓN INCONFINADA

Los resultados del ensayo de compresión confinada para cada una de las probetas con los diferentes porcentajes de PET se obtuvieron los siguientes datos:

4.1.1 Probetas de arena fina y PET tratadas térmicamente.

PARA EL 30 % PET

Se elaboraron 3 probetas para cada intervalo de tiempo con el fin de obtener resultados más precisos. Para hallar el tiempo óptimo se establecieron los tiempos de 4, 6 y 8 horas. Se evidenció que las probetas de 2 horas no adquirieron la adhesión necesaria entre la mezcla de arena fina y el plástico PET por lo que no tomamos en cuenta este tiempo, dando los siguientes resultados:

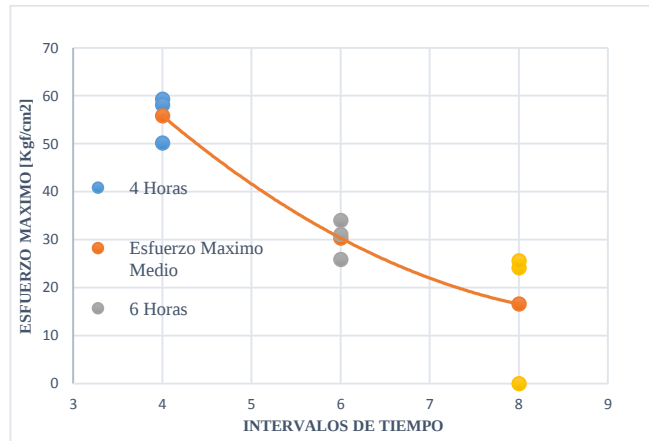
Tabla 17. Esfuerzos Máximos de probetas con 30% de PET a 4 horas.

PROBETAS DE 30%	ESFUERZO MÁXIMO (σ_c)	PROMEDIO ESFUERZOS MÁXIMOS
	[Kgf/cm ²]	[Kgf/cm ²]
4 HORAS	59.27	55.84
	58.08	
	50.17	
6 HORAS	31.09	30.34
	25.89	
	34.05	
8 HORAS	24.13	16.58
	25.60	

* Se realizó el ensayo a 3 probetas, pero al realizarles el ensayo a compresión confinada dicha probeta no resistió el peso de la máquina.

Los resultados de compresión inconfiada obtenidos los representamos en la siguiente gráfica, la cual nos permite observar el comportamiento de las probetas y la capacidad de carga con diferentes intervalos de tiempo.

Gráfica 3. Esfuerzos Máximos Vs Intervalos de tiempo para 30% de PET.



La temperatura de las probetas al terminar cada intervalo de tiempo en el horno se muestra a continuación:

Tabla 18. Temperatura de las probetas.

PROBETAS DE 30%	TEMPERATURA	PROMEDIO DE TEMPERATURA
	°C	°C
4 HORAS	248	249.33
	255	
	245	
6 HORAS	267	258
	251	
	256	
8 HORAS	253	256
	259	

Se obtiene que el tiempo óptimo que logra la mayor capacidad de carga para el 30% de plástico PET fue de 4 horas (debido a que tomamos intervalos de tiempo de 2

horas, elaboramos probetas de 3 y 5 horas para obtener resultados más precisos en el hallazgo del tiempo óptimo. (**Ver anexo H**). Se evidencia que alcanza un promedio de temperatura de 249.33 °C.

PARA LAS PROBETAS DE 35 % AL 55% DE PET

Para las probetas del 35% al 55% de PET se elaboraron tres probetas con un tiempo de 4 horas ya que tomamos como referencia el tiempo óptimo obtenido en las probetas del 30% de plástico PET.

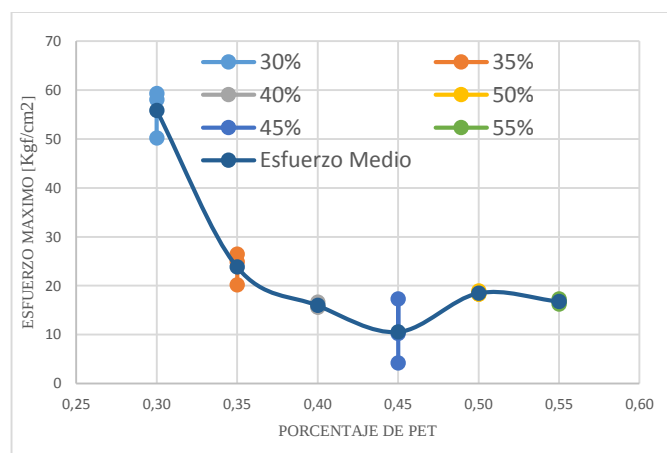
Al obtener estos resultados se buscó hacer un análisis comparativo de los esfuerzos máximos de los diferentes porcentajes de PET (35%. 40%. 45%. 50% y 55%), con el fin de hallar la capacidad máxima de carga con el mismo intervalo de tiempo en este caso 4 horas.

Tabla 19. Esfuerzos Máximos de probetas con diferentes % de PET a 4 horas.

PORCENTAJE DE PET	ESFUERZO MAXIMO (σ_c)	PROMEDIO ESFUERZOS MAXIMOS
	[Kgf/cm ²]	[Kgf/cm ²]
30%	59.27	55.84
	58.08	
	50.17	
35%	20.19	23.83
	26.44	
	24.84	
40%	16.65	15.96
	15.68	
	15.56	
45%	10.22	10.55
	17.25	
	4.17	
50%	18.24	18.47

PORCENTAJE DE PET	ESFUERZO MAXIMO (σ_c)	PROMEDIO ESFUERZOS MAXIMOS
	[Kgf/cm ²]	[Kgf/cm ²]
	18.93	
	18.28	
55%	17.31	16.77
	16.21	
	16.78	

Gráfica 4. Esfuerzos Máximos Vs Porcentajes de PET de arena fina, para 4 horas en el horno.



De acuerdo con los resultados obtenidos determinamos que el diseño de mezcla óptimo es de 30% de PET a un tiempo de 4 horas, pero para tener un resultado más exacto variamos los intervalos de tiempo para los diseños de mezcla de 25% y 35%, esto se hizo con el fin de conocer la capacidad de carga de estos diseños variando el tiempo que habíamos tomado de referencia y comparar estos resultados con el diseño de mezcla óptimo.

PARA EL 25 % PET

Para realizar el análisis comparativo se establecieron los tiempos de 6 y 8 horas (no se tuvo en cuenta el tiempo de 2 y 4 horas ya que las probetas no presentaban una buena adherencia entre los materiales y no era apta para el ensayo de compresión inconfiada **Ver anexo I)** dando los siguientes resultados:

Tabla 20. Esfuerzos Máximos de probetas con 25% de PET a 6 horas y 8 horas.

PROBETAS DE 25%	ESFUERZO MAXIMO (σ_c)	PROMEDIO ESFUERZOS MAXIMOS
	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]
6 HORAS*	9.69	4.31
	3.25	
8 HORAS*	5.44	4.28
	7.38	

*Se realizó el ensayo a 3 probetas, pero al realizarles el ensayo a compresión inconfiada dicha probeta no resistió el peso de la máquina.

PARA EL 35 % PET

Para realizar el análisis comparativo se establecieron los tiempos de 6 y 8 horas ya que a 4 horas ya obtuvimos los resultados anteriormente dando los siguientes resultados

Tabla 21. Esfuerzos Máximos de probetas con 35% de PET a 6 horas y 8 horas.

PROBETAS DE 35%	ESFUERZO MAXIMO (σ_c)	PROMEDIO ESFUERZOS MAXIMOS
	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]
6 HORAS	15.72	14.39
	14.39	
	13.07	

PROBETAS DE 35%	ESFUERZO MAXIMO (σ_c)	PROMEDIO ESFUERZOS MAXIMOS
	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]
8 HORAS	12.44	18.65
	30.19	
	13.29	

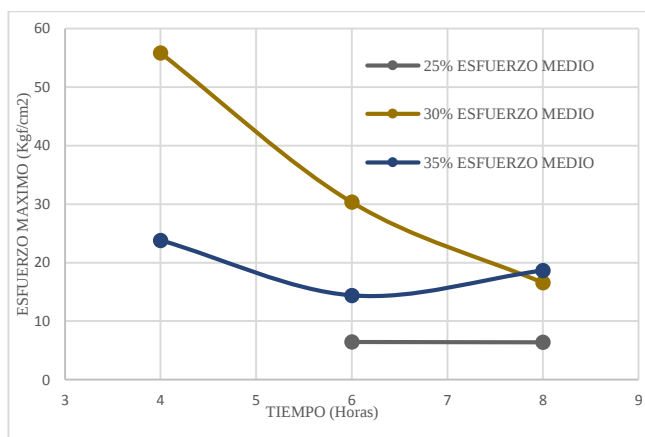
Al obtener estos resultados realizamos un análisis comparativo entre los porcentajes de 25%, 30% y 35% con diferentes intervalos de tiempo los cuales presentamos en la siguiente tabla.

Tabla 22. Esfuerzos Máximos de probetas Vs % de PET con diferentes intervalos de tiempo.

% DE PET	TIEMPO	ESFUERZO MAXIMO (σ_c)	PROMEDIO ESFUERZOS MAXIMOS
		[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]
25%	6 HORAS*	9.69	6.47
		3.25	
	8 HORAS*	5.44	6.42
		7.38	
30%	4 HORAS	59.27	55.84
		58.08	
		50.17	
	6 HORAS	31.09	30.34
		25.89	
		34.05	
	8 HORAS	24.13	16.58
		25.60	
35%	4 HORAS	20.19	23.83
		26.44	
		24.84	
	6 HORAS	15.72	14.39
		14.39	
		13.07	

% DE PET	TIEMPO	ESFUERZO MAXIMO (σ_c)	PROMEDIO ESFUERZOS MAXIMOS
		[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]
	8 HORAS	12.44	18.65
		30.19	
		13.29	

Gráfica 5. Tiempo Vs Esfuerzo máximo promedio.



De acuerdo con los resultados podemos concluir que el diseño de mezcla óptimo entre material PET reciclado y arena fina es del 30% a un tiempo de 4 horas.

4.1.2 Probetas de arena triturada lavada y PET tratadas térmicamente.

PARA EL 30 % PET

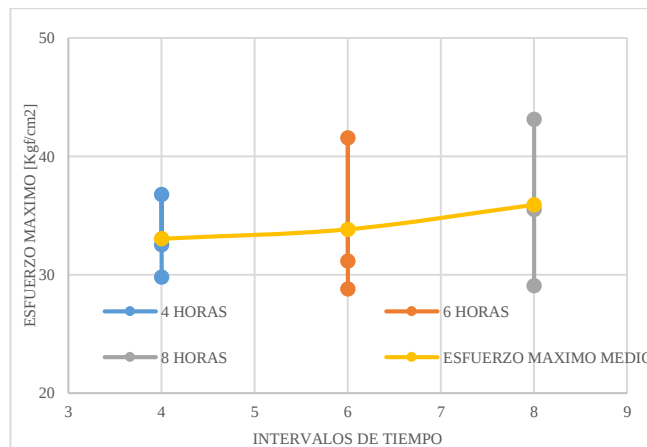
Se elaboraron 3 probetas para cada intervalo de tiempo con el fin de obtener resultados más precisos. Para hallar el tiempo óptimo se establecieron los tiempos de 4, 6 y 8 horas, (no se tuvo en cuenta el tiempo de 2 horas ya que las probetas no presentaban una buena adherencia entre los materiales y no era apta para el ensayo de compresión inconfiada)

Tabla 23. Esfuerzos Máximos de probetas con 30% de PET a 4 horas.

PROBETAS DE 30%	ESFUERZO MAXIMO (σ_c)	PROMEDIO ESFUERZOS MAXIMOS
	[Kgf/cm ²]	[Kgf/cm ²]
4 HORAS	29.80	33.05
	39.79	
	32.55	
6 HORAS	28.81	33.84
	41.56	
	31.14	
8 HORAS	43.12	35.91
	35.52	
	29.09	

Los resultados de compresión inconfiada obtenidos los representamos en la siguiente gráfica. la cual nos permite observar el comportamiento de las probetas y la capacidad de carga con diferentes intervalos de tiempo.

Gráfica 6. Esfuerzos Máximos Vs Intervalos de tiempo para 30% de PET.



La temperatura de las probetas al terminar cada intervalo de tiempo en el horno se muestra a continuación:

Tabla 24. Temperaturas diferentes intervalos de tiempo de la arena triturada lavada.

PROBETAS DE 30%	TEMPERATURA	PROMEDIO DE TEMPERATURA
	°C	°C
4 HORAS	253	256.66
	261	
	256	
6 HORAS	262	259
	259	
	256	
8 HORAS	265	261.66
	262	
	258	

Se obtiene que el tiempo optimo que logra la mayor capacidad de carga para el 30% de plástico PET fue de 8 horas (debido a que tomamos intervalos de tiempo de 2 horas, elaboramos probetas de 7 y 9 horas para obtener resultados más precisos en el hallazgo del tiempo óptimo. **Ver anexo W)** alcanzando un promedio de temperatura de 261.66 °C (**Ver Tabla No 23**).

PARA LAS PROBETAS DEL 35 % AL 55% DE PET

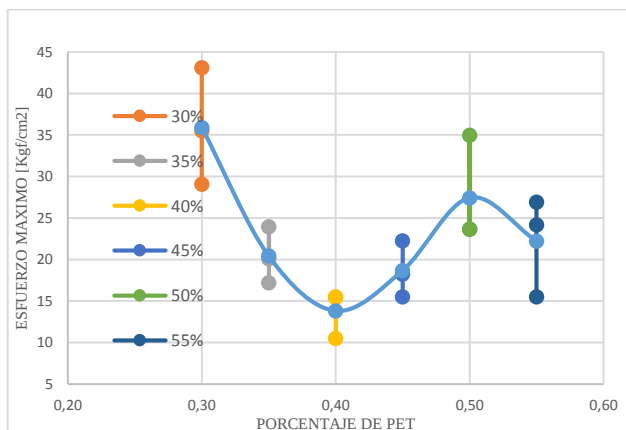
Para la elaboración de las probetas del 35% al 55% de PET se elaboraron tres probetas con un tiempo de 8 horas ya que tomamos como referencia el tiempo optimo en las probetas de 30% en las probetas del plástico PET.

Al obtener estos resultados se buscó hacer un análisis comparativo de los esfuerzos máximos de los diferentes porcentajes de PET (35%, 40%, 45%, 50% y 55%), con el fin de hallar la capacidad máxima de carga con el mismo intervalo de tiempo en este caso 8 horas.

Tabla 25. Esfuerzos Máximos de probetas con diferentes % de PET a 4 horas.

PORCENTAJE DE PET	ESFUERZO MAXIMO (σ_c)	PROMEDIO ESFUERZOS MAXIMOS
	[Kgf/cm ²]	[Kgf/cm ²]
30%	43.12	35.91
	35.52	
	29.09	
35%	17.22	20.43
	23.97	
	20.11	
40%	10.52	13.83
	15.43	
	15.53	
45%	22.27	18.68
	18.26	
	15.50	
50%	23.69	27.44
	34.97	
	23.65	
55%	26.94	22.22
	24.19	
	15.53	

Gráfica 7. Esfuerzos Máximos Vs Porcentajes de PET de arena triturada lavada.



De acuerdo con los resultados obtenidos determinamos que el diseño de mezcla óptimo es de 30% de PET a un tiempo de 8 horas, pero para tener un resultado más exacto variamos los intervalos de tiempo para los diseños de mezcla de 25% y 35%, esto se hizo con el fin de conocer la capacidad de carga de estos diseños variando el tiempo que habíamos tomado de referencia y comparar estos resultados con el diseño de mezcla óptimo.

PARA EL 25 % PET

Para realizar el análisis comparativo se establecieron los tiempos de 6, 8 y 10 horas (no se tuvo en cuenta el tiempo de 2 y 4 horas ya que las probetas no presentaban una buena adherencia entre los materiales y no era apta para el ensayo de compresión inconfiada **Ver anexo X)** dando los siguientes resultados:

Tabla 26. Esfuerzos Máximos de probetas con 25% de PET a 6, 8 Y 10 horas.

PROBETAS DE 25%	ESFUERZO MAXIMO (σ_c)	PROMEDIO ESFUERZOS MAXIMOS
	[Kgf/cm ²]	[Kgf/cm ²]
6 HORAS	13.89	12.35
	11.24	
	11.92	
8 HORAS	1.31	4.28
	5.33	
	4.75	
10 HORAS	9.73	8.14
	6.54	

PARA EL 35 % PET

Para realizar el análisis comparativo se establecieron los tiempos de 6 y 10 horas ya que a 4 horas ya obtuvimos los resultados anteriormente.

Tabla 27. Esfuerzos Máximos de probetas con 35% de PET a 6 y 10 horas.

PROBETAS DE 35%	ESFUERZO MAXIMO (σ_c)	PROMEDIO ESFUERZOS MAXIMOS
	[Kgf/cm ²]	[Kgf/cm ²]
6 HORAS	26.44	18.97
	26.74	
	3.74	
10 HORAS*	16.03	16.49
	16.95	

Al obtener estos resultados realizamos un análisis comparativo entre los porcentajes de 25%, 30% y 35% con diferentes intervalos de tiempo los cuales presentamos en la siguiente tabla

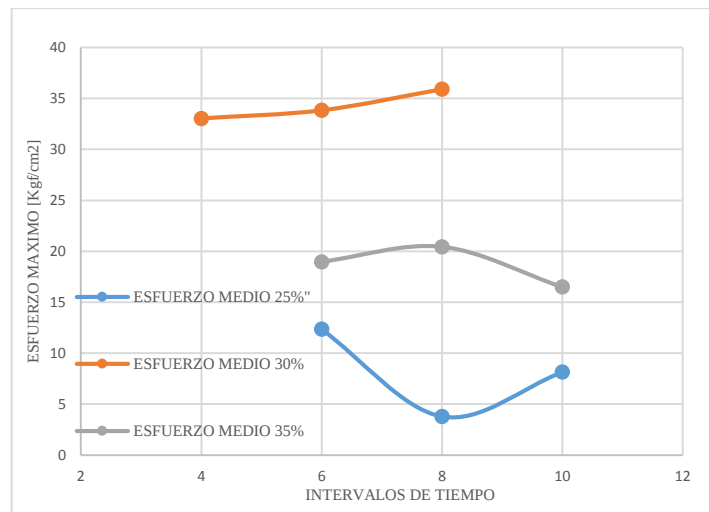
Tabla 28. Esfuerzos Máximos de probetas Vs % de PET con diferentes intervalos de tiempo.

% DE PET	TIEMPO	ESFUERZO MAXIMO (σ_c)	PROMEDIO ESFUERZOS MAXIMOS
		[Kgf/cm ²]	[Kgf/cm ²]
25%	6 HORAS	13.89	12.35
		11.24	
		11.92	
	8 HORAS	1.31	3.79
		5.33	
		4.75	
	10 HORAS	9.73	8.14
		6.54	
30%	4 HORAS	29.80	33.05
		39.79	
		32.55	
	6 HORAS	28.81	33.84
		41.56	
		31.14	

% DE PET	TIEMPO	ESFUERZO MAXIMO (σ_c)	PROMEDIO ESFUERZOS MAXIMOS
		[Kgf/cm ²]	[Kgf/cm ²]
	8 HORAS	43.12	35.91
		35.52	
		29.09	
35%	6 HORAS	26.44	18.97
		26.74	
		3.74	
	8 HORAS	17.22	20,4333
		23.97	
		20.11	
	10 HORAS*	16.03	16.49
		16.95	

*Se realizó el ensayo a 3 probetas, pero al realizarles el ensayo a compresión inconfiada dicha probeta no resistió el peso de la máquina.

Gráfica 8. Tiempo Vs Esfuerzo máximo promedio.



De acuerdo con los resultados podemos concluir que el diseño de mezcla óptimo entre material PET reciclado y arena triturada lavada es del 30% a un tiempo de 8 horas.

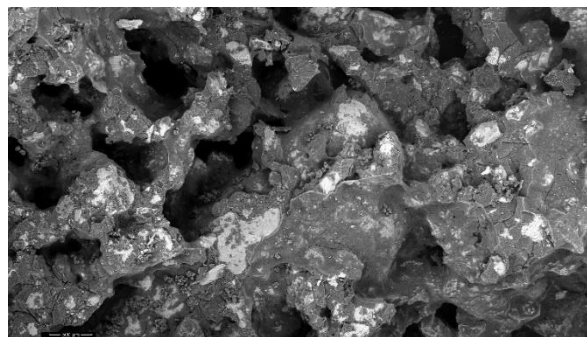
4.2 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM)

Se realizaron mosaicos para cada muestra se utilizaron entre 4 y 6 imágenes para ello. Estas imágenes que se obtuvieron evidencian que la mezcla del plástico PET y cada tipo de arena hacen que esta sea más porosa. Se presenta que el plástico PET al ser sometido al tratamiento térmico crea una capa de color negro alrededor de la arena esto debido a su cambio de estado.

Se realizaron mosaicos también para las probetas con el 35% de plástico PET con arena fina y 35% de PET con arena triturada lavada para ver la diferencia en su composición y en su comportamiento. **Ver anexo M.**

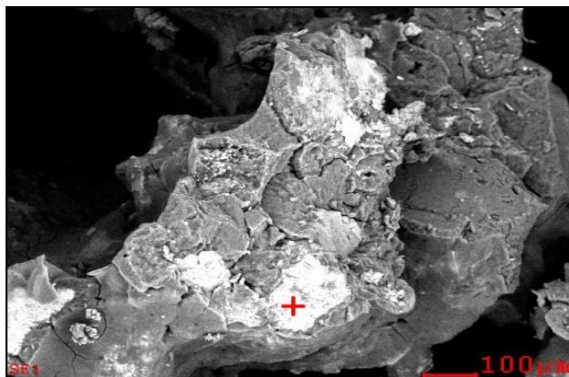
4.2.1 Arena fina con el 30% de PET.

Figura 13. Arena fina con el 30% de plástico PET.



Se encontró que los elementos en esta mezcla son principalmente Silicio y Carbono. esto en una zona puntual de la muestra.

Figura 14. Zona puntual de la muestra.



Gráfica 9. Elementos que conforman la muestra.

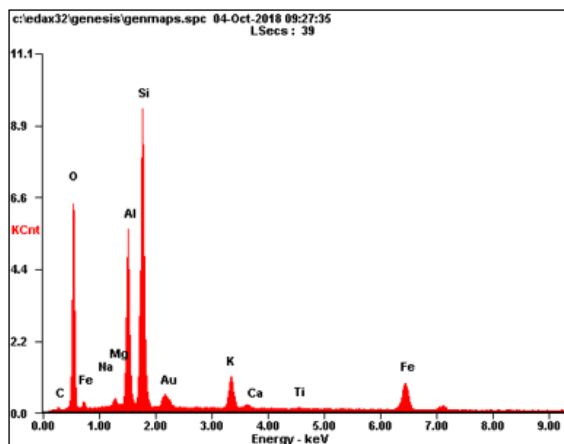
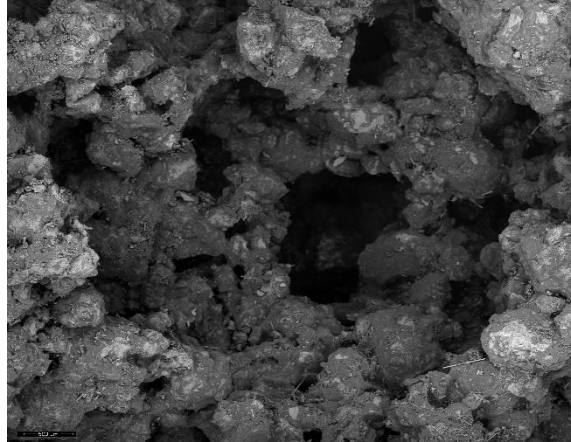


Tabla 29. Porcentajes que conforman la muestra.

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>C</i>	02.01	03.72
<i>O</i>	41.14	57.33
<i>Na</i>	00.00	00.00
<i>Mg</i>	00.70	00.64
<i>Al</i>	13.75	11.36
<i>Si</i>	27.37	21.72
<i>Au</i>	04.74	00.54
<i>K</i>	03.28	01.87
<i>Ca</i>	00.08	00.05
<i>Ti</i>	00.14	00.07
<i>Fe</i>	06.80	02.71
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

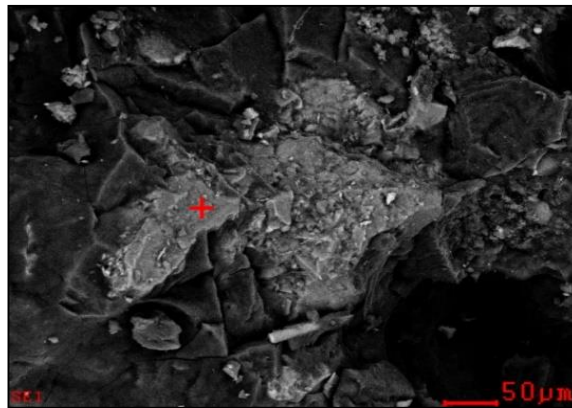
4.2.2 Arena triturada lavada con el 30% de PET.

Figura 15. Arena triturada lavada con el 30% de plástico PET.



Se encontró que los elementos en esta mezcla son principalmente Silicio esto en una zona puntual de la muestra.

Figura 16. Zona puntual de la muestra



Gráfica 10. Elementos que conforman la muestra.

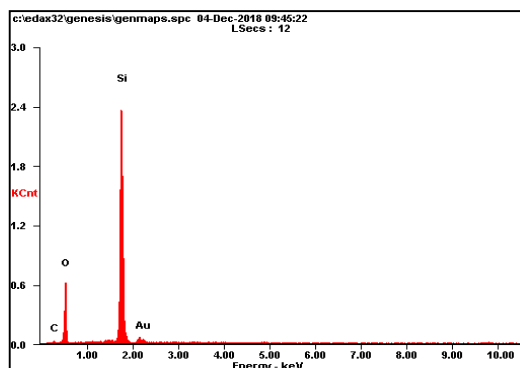


Tabla 30. Porcentajes que conforman la muestra

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	05.20	09.04
<i>OK</i>	43.33	56.52
<i>SiK</i>	45.49	33.81
<i>AuM</i>	05.98	00.63
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

4.3 METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DENSIDAD. POROSIDAD Y ABSORCION ASTM C642.

4.3.1 Arena fina con el 30% de plástico PET

- % POROSIDAD Y ABSORCION

Tabla 31. Porcentaje de absorción y porosidad de arena fina con el 30% de plástico PET.

PROBETA	MASA SECA AL HORNO	MASA SATURADA	% POROSIDAD Y ABSORCION
P1	343	351	2.33

PROBETA	MASA SECA AL HORNO	MASA SATURADA	% POROSIDAD Y ABSORCION
P2	330	339	2.73
P3	338	351	3.85

De acuerdo a los porcentajes de absorción obtenidos se clasifica un porcentaje de porosidad y absorción bajo ya que lo comparamos con lo establecido por Sanders (1995) donde especifica para arena fina que su porcentaje de porosidad está en un rango de 20 a 50%.

- **DENSIDAD**

Para hallar la densidad de las probetas se necesitaron los siguientes parámetros dados por el tipo de molde que se utilizó para las probetas. (Estos parámetros se muestran en la **Tabla No 3**). Con estos parámetros hallamos la densidad de 6 probetas para lograr un punto de comparación significativo.

Tabla 32. Densidad de arena fina y el 30% de plástico PET.

	1	2	3	4	5	6
PESO MOLDE [gr]	2086	2015	2018	1979	2021	2020
PESO MOLDE + ARENA HUMEDO [gr]	24491	2373	2369	2358	2383,7	2386,6
PESO DEL ARENA HUMEDO [gr]	363,1	358,5	351,3	379	362,7	366,6
DENSIDAD HUMEDO [gr/cm3]	1,71	1,68	1,65	1,78	1,70	1,72
DENSIDAD SECA [gr/cm3]	1,66	1,64	1,60	1,73	1,65	1,67
PROMEDIO HUMEDAD %	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00

De acuerdo con estos resultados concluimos que la densidad es óptima ya que la densidad promedio de la arena fina está en los parámetros de 1,5 gr/cm³ y 1,55 gr/cm³.

4.3.2 Arena triturada lavada con el 30% de plástico PET.

Tabla 33. Porcentaje de absorción y porosidad de arena triturada lavada con el 30% de plástico PET.

PROBETA	MASA SECA AL HORNO	MASA SATURADA	% POROSIDAD Y ABSORCION
P1	324	331	2.16
P2	298	313	5.03
P3	315	332	5.40

De acuerdo a los porcentajes de absorción obtenidos se clasifica un porcentaje de porosidad y absorción bajo ya que lo comparamos con lo establecido por Sanders (1995) donde especifica para arena gruesa que su porcentaje de porosidad está en un rango de 21 a 50%.

- DENSIDAD**

Teniendo en cuenta los datos de la arena fina, hallamos la densidad de 6 probetas para lograr un punto de comparación significativo.

Tabla 34. Densidad de arena triturada lavada y el 30% de plástico PET.

	1	2	3	4	5	6
PESO MOLDE [gr]	2089	2003	2016	1979	2030	2015
PESO MOLDE + ARENA HUMEDO [gr]	2443	2349	2378	2352	2411	2382
PESO DEL ARENA HUMEDO [gr]	354	346	362	373	381	367

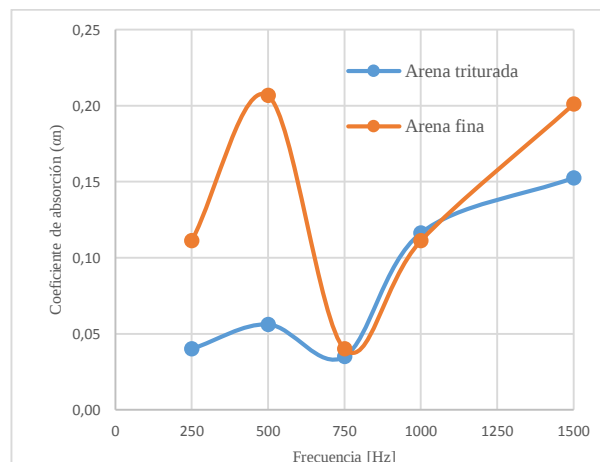
	1	2	3	4	5	6
DENSIDAD HUMEDO [gr/cm ³]	1.66	1.63	1.70	1.75	1.79	1.72
DENSIDAD SECA [gr/cm ³]	1.61	1.58	1.65	1.70	1.74	1.67
PROMEDIO HUMEDAD %	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00

De acuerdo con estos resultados concluimos que la densidad es optima ya que la densidad promedio de la arena fina está en los parámetros de 1,55 gr/cm³ y 1,60 gr/cm³. **Ver anexo N.**

4.4 IMPEDANCIA ACUSTICA.

Con los datos de amplitud obtenidos de la prueba de impedancia acústica en condiciones ambientales se calculó el coeficiente de absorción para 5 frecuencias dentro del rango de audición y los parámetros permitidos por la dimensión del tubo el valor de (α) varía para cada frecuencia lo cual impide calcular un valor único para cada material. Los datos calculados se exponen a continuación.

Gráfica 11. Coeficiente de absorción.



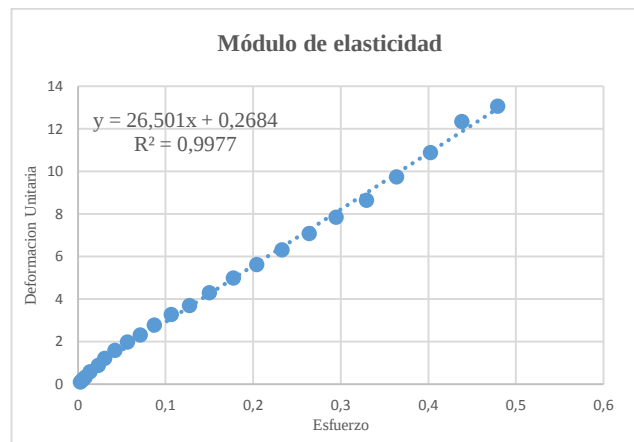
Ver anexo O.

4.5 MODULO DE ELASTICIDAD

4.5.1 Modulo de elasticidad para arena fina.

- PROBETA 1 – 4 HORAS

Gráfica 12. Módulo de Elasticidad Probeta 1.

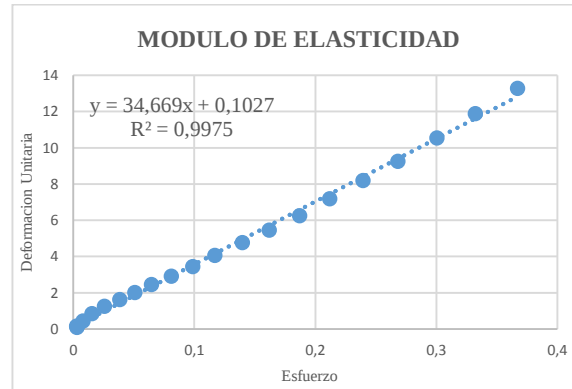


Módulo de elasticidad

26.501 Kg/cm².

- **PROBETA 2 – 4 HORAS**

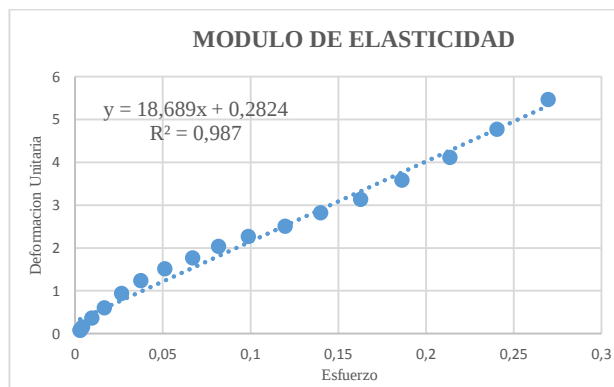
Gráfica 13. Módulo de Elasticidad Probeta 2.



Módulo de elasticidad 34.669 Kg/cm².

- **PROBETA 3 – 4 HORAS**

Gráfica 14. Módulo de Elasticidad Probeta 3.



Módulo de elasticidad 18.689 Kg/cm².

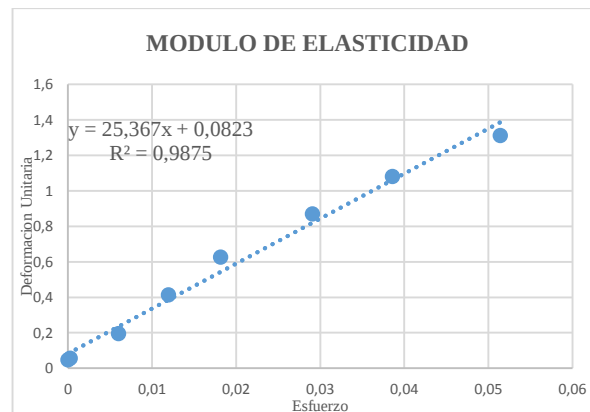
Tabla 35. Módulo de Elasticidad Promedio para arena fina.

Probeta	Módulo de Elasticidad [Kgf/cm ²]
1	26.501
2	34.669
3	18.689
Módulo de Elasticidad Promedio	26.6196667

4.5.2 Modulo de elasticidad para arena triturada lavada.

- **PROBETA 1 – 8 HORAS**

Gráfica 15. Módulo de Elasticidad Probeta 1.

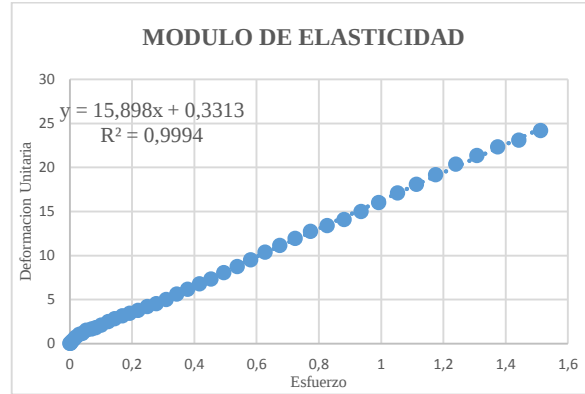


Módulo de elasticidad

23.367 Kgf/cm².

- **PROBETA 2 – 8 HORAS**

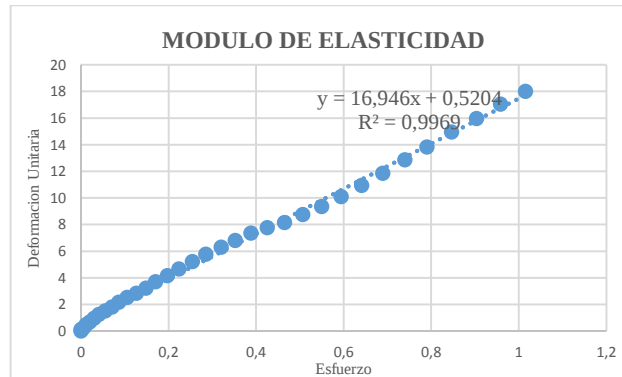
Gráfica 16. Módulo de Elasticidad Probeta 2.



Módulo de elasticidad 15.898 Kg/cm².

- **PROBETA 3 – 8 HORAS**

Gráfica 17. Módulo de Elasticidad Probeta 3.



Módulo de elasticidad 16.946 Kg/cm².

Tabla 36. Módulo de Elasticidad Promedio para arena triturada lavada 30%.

Probeta	Módulo de Elasticidad [Kgf/cm²]
1	23.367
2	15.898
3	16.946
Módulo de Elasticidad Promedio	18.737

4.6 TRACCIÓN INDIRECTA

4.6.1 Arena fina con 30% de plástico PET

Tabla 37. Tracción Indirecta de arena fina.

P (KN)	L(m)	d(m)	T(Kgf/cm²)
6	0.11	0.0508	6.97
7.3	0.11	0.0508	8.48
5.2	0.11	0.0508	6.04

4.6.2 Arena triturada lavada con 30% de plástico PET

Tabla 38. Tracción Indirecta de arena triturada lavada.

P (KN)	L(m)	d(m)	T(Kgf/cm²)
5.2	0.1	0.0508	6.64
2.1	0.107	0.0508	2.51
4.9	0.11	0.0508	5.69

Ver anexo P.

5. PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN CAMPO

Se realizó un análisis comparativo entre el diseño de mezcla óptimo de cada tipo de arena con plástico PET reciclado y ladrillos macizos, mediante el ensayo a compresión realizado a 3 ladrillos macizos a estampa.

Figura 17. Ladrillo macizo.



Tabla 39. Dimensiones de los ladrillos macizos.

Ladrillo	L(cm)	h(cm)	b(cm)
1	24.5	5.5	10.5
2	24.5	5.5	11
3	25	5	11

- **ENSAYO DE COMPRESION A ESTAMPA**

Figura 18. Ensayo de compresión a estampa para ladrillo macizo.



Tabla 40. Análisis comparativo de esfuerzos a estampa y soga.

		ESFUERZO MAXIMO (σ_c)	PROMEDIO ESFUERZOS MAXIMOS
		[Kgf/cm ²]	[Kgf/cm ²]
ESTAMPA*	L1	16.49	17.09
	L2	17.70	
PROBETAS 30% ARENA FINA		59.27	55.84
		58.08	
		50.17	
PROBETAS 30% ARENA TRITURADA LAVADA		43.12	35.91
		35.52	
		29.09	

*Se realizó el ensayo de compresión a estampa para 3 Ladrillos macizos pero el resultado de L3 difería en gran proporción respecto a los demás, debido a esto no lo consideramos para el análisis comparativo.

De acuerdo con los resultados obtenidos se evidencio que los diseños de mezcla óptimos tienen una mayor capacidad de carga a compresión que los ladrillos macizos.

6. CONCLUSIONES

Del análisis realizado al comportamiento de los diferentes diseños de mezcla, se obtiene la mayor resistencia a compresión para cada tipo de arena con el 30% de material PET reciclado con diferentes intervalos de tiempo, 4 horas para arena fina y 8 horas para arena triturada lavada.

De acuerdo con estos resultados se puede decir que la temperatura es uno de los principales factores en afectar al material compuesto, esto se observa debido a los diferentes resultados del ensayo a compresión, con igual porcentaje de plástico PET reciclable a diferentes intervalos de tiempo en el horno.

Al realizar el análisis comparativo entre los diseños de mezcla óptimos y el ladrillo macizo, se puede evidenciar que sus resistencias difieren en gran proporción, debido a que el resultado obtenido por la mezcla óptima se encuentra muy por encima de la resistencia arrojada por el ladrillo macizo. Razón por la cual se llega a pensar que dicho diseño podría ser considerado como material de construcción.

Los resultados de cada uno de los ensayos que componen la caracterización mecánica de las probetas óptimas, da lugar a un análisis independiente para cada uno de estos; ya que en algunos el diseño de mezcla es favorable como en el ensayo de Impedancia Acústica, donde se obtuvo un coeficiente de absorción similar al de algunos materiales de construcción muy comunes, así mismo en el ensayo de Modulo de Elasticidad se presenta un buen comportamiento del material, lo cual se evidencia en las gráficas consignadas en el análisis de resultados de dicho ensayo. Pero en otros ensayos como en el de Tracción Indirecta se demostró que el resultado no es favorable, lo que permitió conocer los aspectos fuertes del

material y los puntos en los que se podría mejorar para así obtener una mezcla optima en todos sus sentidos.

BIBLIOGRAFÍA

FERREX. Abastecedora de materiales de construcción. [en línea] disponible en: <http://www.materialesparaconstruccion.com.mx/agregados/arena/>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS, ICONTEC () Ingeniería civil y arquitectura. Método para muestreo y ensayos de unidades de mampostería. Norma Técnica Colombiana 4017. 2005

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS, ICONTEC Norma Sismo resistente colombiana, (NSR-10). Capítulo D: Mampostería Estructural.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS, ICONTEC. Concretos. Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos. Norma Técnica Colombiana 77. 2007

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS, ICONTEC. Ingeniería civil y arquitectura. Unidades de mampostería para mampostería no estructural 4205-2. 2005

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, INVIAS Método para determinar la humedad óptima y la densidad seca máxima de la arena 142-E. 2013

NAJI KHOURY, C. K. *“Soil fused with Recycled plastic bottles for various GeoEngineering applications”*. San Diego: Universidad de California. 2015

NAVARRO, J. A. Utilización de material reciclado plástico en la elaboración de una baldosa. Bucaramanga, Colombia. 2015

REVISTA SEMANA Las fibras de plástico invaden el agua potable. [en línea] disponible en: <http://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/plastico-invade-el-aguapotable-alrededor-del-mundo-y-el-peligro-para-la-salud/38584>.

REVISTA SEMANA SOSTENIBLE “PET un plástico amigable pero no inofensivo”,. [en línea] disponible en: <http://sostenibilidad.semana.com/negocios-verdes/articulo/plastico-petun-amigable-pero-no-inofensivo/36282>.

TEXTOS CIENTÍFICOS. PET [en línea] disponible en: <https://www.textoscientificos.com/polimeros/pet>

ANEXOS

Anexo A: Ensayos preliminares de la arena fina.

NTC 237 - MÉTODO PARA DETERMINAR EL PESO ESPECÍFICO DE LA ARENA.

Procedimiento:

- Se midió el peso del balón aforado con agua hasta la marca.
- Se secó una muestra de material en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$. hasta alcanzar una masa constante. Seguido de ello se pesó 500 gramos de este material para la determinación de la gravedad específica.
- Por medio de un embudo se introdujeron los sólidos de arena en el balón aforado sin ningún líquido adentro.
- Se agregó agua y se agitó tratando de formar una lechada; se terminó de añadir agua hasta la marca. lavando las partículas de material que quedaron adheridas en el cuello del balón aforado.
- Se procedió a medir la masa del frasco con arena y agua hasta la marca. empleando siempre la misma balanza.
- Se extrajo la totalidad de la arena del balón aforado. y se secó en el horno a una temperatura $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta alcanzar una masa constante; luego se midió la masa seca de los sólidos.

DATOS OBTENIDOS:

Peso del Frasco + Agua hasta la marca (A) = 653.1 gr

Peso de la Muestra (B) = 500 gr

Muestra + Frasco + Agua hasta la marca (C) = 945.6 gr

Peso de la Muestra Seca al Horno (D) = 469.2 gr

CÁLCULO DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS (ARENA)

$$GER = \frac{B}{A + B - C} = \frac{500 \text{ gr}}{653.1 \text{ gr} + 500 \text{ gr} - 945.6 \text{ gr}}$$

$$GER = 2.409$$

INVIAS 142- MÉTODO PARA DETERMINAR LA HUMEDAD ÓPTIMA Y LA DENSIDAD SECA MÁXIMA DE LA ARENA.

Procedimiento:

- Definido el método A para la realización de este ensayo. se procede a seleccionar el material a utilizar. que es el que pasó el tamiz de abertura de 4.75 mm (No. 4). La arena manipulada no fue anteriormente compactada. esto con el fin de no alterar nuestros resultados.
- Se prepararon cuatro muestras. con diferentes humedades. con el fin de encontrar la óptima.
- A la primera muestra se le adicionó agua en pocas cantidades hasta conseguir una humedad visualmente determinada. Esto se consiguió apretando la arena con el fin de que se formara un terrón que al liberarse la presión de la mano no se separara. La cantidad de agua necesaria para conseguir esa humedad para 2500 gramos de arena fueron 30 ml.
- Se tomó la lectura de la masa del molde más la base.

- Se preparó el molde con la base y el collar de extensión. ajustándolo con las respectivas roscas.
- Luego se realizó la compactación. lo mejor distribuido posible en 5 capas. cada una con 25 golpes.
- La quinta capa sobrepasó el molde. con el fin de que se enrasará la superficie lo más horizontal posible incluyendo el anillo de extensión debido a la pérdida de volumen del material
- Se determinó y anoto la masa del molde más la base y la arena compactado.
- Se extrajo la probeta y se tomó una parte de ella para determinar la humedad con la que fue compactada. registrando la masa de arena húmedo y buscando su masa constante por medio del horno.
- De igual forma. pero modificando la humedad. es decir. se aumentó la cantidad de agua a adicionar al material. 50 ml con respecto a la probeta anterior. se realizaron 3 probetas más.
- Al realizarse la última probeta se aseguró que los pesos unitarios húmedos formaran una curva. es decir, se presentará un pico en la gráfica.
- De acuerdo con esto se deben tener en cuenta los siguientes parámetros de acuerdo con el molde con el que se llevó a cabo este ensayo.

TIPO DE ENSAYO	MODIFICADO
NUMERO DE CAPAS	5
NUMEROS DE GOLPE POR CARA	25
MOLDE No	24
DIAMETRO MOLDE (cm)	10.16
ALTURA DEL MOLDE (cm)	11.5
VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	932.343942
PESO DEL MARTILLO	10
CAIDA DEL MARTILLO	45.72
E	61.30

DATOS OBTENIDOS:

PROBETA	1	2	3	4
PESO MOLDE [gr]	4279.1	4279.4	4280	4280
PESO MOLDE + ARENA HUMEDO [gr]	5912.6	5944.5	5953	5984.6
PESO DEL ARENA HUMEDO [gr]	1633.5	1665.1	1673	1704.6
DENSIDAD HUMEDO [gr/cm ³]	1.7520	1.7859	1.7944	1.8283
DENSIDAD SECA [gr/cm ³]	1.5195	1.7859	1.7376	1.7430

CÁLCULO DE LA DENSIDAD HÚMEDA

$$Densidad Humeda = \frac{Peso\ del\ Suelo\ Humedo}{Volumen\ del\ molde}$$

- Probeta 1

$$Densidad Humeda = \frac{1633.5\ gr}{932.34\ cm^3}$$
$$Densidad Humeda = 1.752 \frac{gr}{cm^3}$$

- Probeta 2

$$Densidad Humeda = \frac{1665.1\ gr}{932.34\ cm^3}$$
$$Densidad Humeda = 1.786 \frac{gr}{cm^3}$$

- Probeta 3

$$Densidad Humeda = \frac{1673\ gr}{932.34\ cm^3}$$
$$Densidad Humeda = 1.738 \frac{gr}{cm^3}$$

- Probeta 4

$$Densidad Humeda = \frac{1704.6 \text{ gr}}{932.34 \text{ cm}^3}$$

$$Densidad Humeda = 1.743 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

DATOS DE HUMEDAD OBTENIDOS EN CADA PROBETA:

# DE TARA	1	2	3	4	5	6	7	8
PESO TARA [gr]	5.9	4.3	8.3	5.6	8.4	5.2	5.5	5.4
PESO TARA + ARENA HUMEDO	20.5	20.3	20.8	21.4	22.8	20.2	21	22
PESO TARA + ARENA SECO	20.3	20	20.4	20.9	22.1	19.5	20	20.9
PESO AGUA	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	0.7	1	1.1
PESO SOLIDO	14.4	15.7	12.1	15.3	13.7	14.3	14.5	15.5
HUMEDAD	1.389	1.911	3.306	3.268	5.109	4.895	6.897	7.097
PROMEDIO HUMEDAD %	1.650		3.287		5.002		6.997	

CÁLCULO DE LA HUMEDAD

$$\% Humedad = \frac{\text{Peso del Agua}}{\text{Peso del Solido}} * 100\%$$

- Probeta 1

Para Tara 1

$$\% Humedad T1 = \frac{0.2}{14.4} * 100\% = 1.389 \%$$

Para Tara 2

$$\% \text{ Humedad } T2 = \frac{0.3}{15.7} * 100\% = 1.911 \%$$

Humedad para la Probeta 1

$$\% \text{ Humedad} = \frac{1.389 + 1.911}{2} = 1.650 \%$$

- Probeta 2

Para Tara 1

$$\% \text{ Humedad } T1 = \frac{0.4}{12.1} * 100\% = 3.306 \%$$

Para Tara 2

$$\% \text{ Humedad } T2 = \frac{0.5}{15.3} * 100\% = 3.268 \%$$

Humedad para la Probeta 2

$$\% \text{ Humedad} = \frac{3.306 + 3.268}{2} = 3.287 \%$$

- Probeta 3

Para Tara 1

$$\% \text{ Humedad } T1 = \frac{0.7}{13.7} * 100\% = 5.109\%$$

Para Tara 2

$$\% \text{ Humedad } T2 = \frac{0.7}{14.3} * 100\% = 4.895 \%$$

Humedad para la Probeta 3

$$\% Humedad = \frac{5.109 + 4.895}{2} = 5.002 \%$$

- Probeta 4

Para Tara 1

$$\% Humedad T1 = \frac{1}{14.5} * 100\% = 6.897 \%$$

Para Tara 2

$$\% Humedad T2 = \frac{1.1}{15.5} * 100\% = 7.097\%$$

Humedad para la Probeta 4

$$\% Humedad = \frac{6.897 + 7.097}{2} = 6.997 \%$$

CÁLCULO DE LA DENSIDAD SECA

$$Densidad Seca = \frac{Densidad Humedad}{1 + \frac{Humedad de la probeta}{100}}$$

- Probeta 1

$$Densidad Seca = \frac{1.752}{1 + \frac{1.650}{100}} = 1.724 \text{ gr/cm}^3$$

- Probeta 2

$$Densidad\ Seca = \frac{1.786}{1 + \frac{3.287}{100}} = 1.729\ gr/cm^3$$

- Probeta 3

$$Densidad\ Seca = \frac{1.794}{1 + \frac{5.002}{100}} = 1.708\ gr/cm^3$$

- Probeta 4

$$Densidad\ Seca = \frac{1.828}{1 + \frac{6.997}{100}} = 1.709\ gr/cm^3$$

Anexo B: Ensayos preliminares de la arena triturada lavada.

Para realizar los ensayos preliminares de la arena triturada lavada se utilizaron los mismos métodos para determinar el peso específico de la arena (NTC-176) y para determinar la humedad óptima y la densidad seca máxima de la arena (INVIAS-142)

TIPO DE ENSAYO	MODIFICADO
NUMERO DE CAPAS	5
NUMEROS DE GOLPE POR CARA	25
MOLDE No	24
DIAMETRO MOLDE (cm)	10.16
ALTURA DEL MOLDE (cm)	11.5
VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	932.343942
PESO DEL MARTILLO	10
CAIDA DEL MARTILLO	45.72
E	61.30

DATOS OBTENIDOS:

PROBETA	1	2	3	4
PESO MOLDE [gr]	4279.6	4279.6	4279.4	4280.2
PESO MOLDE + ARENA HUMEDO [gr]	6103.6	6164.6	6141.2	6156.1
PESO DEL ARENA HUMEDO [gr]	1824	1885	1861.8	1875.9
DENSIDAD HUMEDO [gr/cm ³]	1.9564	2.0218	1.9969	2.0120
DENSIDAD SECA [gr/cm ³]	1.8301	2.0218	1.9969	2.0120

CÁLCULO DE LA DENSIDAD HÚMEDA

$$Densidad Humeda = \frac{Peso\ del\ Suelo\ Humedo}{Volumen\ del\ molde}$$

- Probeta 1

$$Densidad Humeda = \frac{1824\text{gr}}{932.34\text{ cm}^3}$$

$$Densidad Humeda = 1.956 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

- Probeta 2

$$Densidad Humeda = \frac{1885\text{ gr}}{932.34\text{ cm}^3}$$

$$Densidad Humeda = 2.022 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

- Probeta 3

$$Densidad Humeda = \frac{1861.8\text{ gr}}{932.34\text{ cm}^3}$$

$$Densidad Humeda = 1.997 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

- Probeta 4

$$Densidad Humeda = \frac{1875.9\text{ gr}}{932.34\text{ cm}^3}$$

$$Densidad Humeda = 1.892 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

DATOS DE HUMEDAD OBTENIDOS EN CADA PROBETA:

# DE TARA	1	2	3	4	5	6	7	8
PESO TARA [gr]	4.3	5.5	8.3	5.6	8.4	5.2	5.6	5.5
PESO TARA + ARENA HUMEDO	21.4	20.1	22	18.6	21.2	19.3	19.8	21.6
PESO TARA + ARENA SECO	21.1	19.9	21.6	18.2	20.4	18.6	18.9	20.7
PESO AGUA	0.3	0.2	0.4	0.4	0.8	0.7	0.9	0.9
PESO SOLIDO	16.8	14.4	13.3	12.6	12	13.4	13.3	15.2
HUMEDAD	1.786	1.389	3.008	3.175	6.667	5.224	6.767	5.921
PROMEDIO HUMEDAD %	1.587		3.091		5.945		6.344	

CÁLCULO DE LA HUMEDAD

$$\% Humedad = \frac{\text{Peso del Agua}}{\text{Peso del Solido}} * 100\%$$

- Probeta 1

Para Tara 1

$$\% Humedad T1 = \frac{0.3}{16.8} * 100\% = 1.786 \%$$

Para Tara 2

$$\% Humedad T2 = \frac{0.2}{14.4} * 100\% = 1.389 \%$$

Humedad para la Probeta 1

$$\% Humedad = \frac{1.786 + 1.389}{2} = 1.587 \%$$

- Probeta 2

Para Tara 1

$$\% \text{ Humedad } T1 = \frac{0.4}{13.3} * 100\% = 3.008 \%$$

Para Tara 2

$$\% \text{ Humedad } T2 = \frac{0.4}{12.6} * 100\% = 3.175\%$$

Humedad para la Probeta 2

$$\% \text{ Humedad} = \frac{3.008 + 3.175}{2} = 3.091 \%$$

- Probeta 3

Para Tara 1

$$\% \text{ Humedad } T1 = \frac{0.8}{12} * 100\% = 6.667\%$$

Para Tara 2

$$\% \text{ Humedad } T2 = \frac{0.7}{13.4} * 100\% = 5.224 \%$$

Humedad para la Probeta 3

$$\% \text{ Humedad} = \frac{6.667 + 5.224}{2} = 5.945 \%$$

- Probeta 4

Para Tara 1

$$\% \text{ Humedad } T1 = \frac{0.9}{13.3} * 100\% = 6.767 \%$$

Para Tara 2

$$\% \text{ Humedad } T2 = \frac{0.9}{15.2} * 100\% = 5.921\%$$

Humedad para la Probeta 4

$$\% \text{ Humedad} = \frac{6.767 + 5.921}{2} = 6.344 \%$$

CÁLCULO DE LA DENSIDAD SECA

$$\text{Densidad Seca} = \frac{\text{Densidad Humedad}}{1 + \frac{\text{Humedad de la probeta}}{100}}$$

- Probeta 1

$$\text{Densidad Seca} = \frac{1.9564}{1 + \frac{1.587}{100}} = 1.926 \text{ gr/cm}^3$$

- Probeta 2

$$\text{Densidad Seca} = \frac{2.0218}{1 + \frac{3.091}{100}} = 1.961 \text{ gr/cm}^3$$

- Probeta 3

$$\text{Densidad Seca} = \frac{1.997}{1 + \frac{5.945}{100}} = 1.885 \text{ gr/cm}^3$$

- Probeta 4

$$Densidad\ Seca = \frac{2.012}{1 + \frac{6.344}{100}} = 1.892 gr/cm^3$$

Anexo C: Ensayos preliminares del polietileno de tereftalato (PET).

MÉTODO PARA DETERMINAR EL PESO ESPECÍFICO DEL POLIETILENO DE TEREFTALATO (PET) Y ARENA FINA.

Procedimiento:

- Se midió el peso del balón aforado con agua hasta la marca.
- Se pesó 100 gramos de este material para la determinación de la gravedad específica (Ver Imagen No 4).
- Por medio de un embudo se introdujeron los sólidos de PET en el balón aforado sin ningún líquido adentro.
- Luego se agregó agua y se agito; seguido de ello se terminó de añadir agua hasta la marca, lavando las partículas de material que quedaron adheridas en el cuello del balón aforado (Ver Imagen No 5).
- Se procedió a medir la masa del frasco con PET y agua hasta la marca, empleando siempre la misma balanza.
- Se extrajo la totalidad del arena del balón aforado, y se secó dejándolo varios días al aire libre; luego se midió la masa seca de los sólidos.

DATOS OBTENIDOS:

Peso del Frasco + Agua hasta la marca (A) = 653.3 gr

Peso de la Muestra (B) = 100 gr

Muestra + Frasco + Agua hasta la marca (C) = 677.3 gr

Peso de la Muestra Seca (D) = 91.5 gr

**CÁLCULO DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL POLIETILENO DE
TEREFTALATO (PET)**

$$\text{GER} = \frac{B}{A + B - C} = \frac{100 \text{ gr}}{653.3 \text{ gr} - 677.3 \text{ gr} + 100 \text{ gr}}$$

$$\text{GER} = 1.316$$

Anexo D: Probetas de arena fina y plástico pet tratadas térmicamente.

Para la elaboración de estas probetas se establecieron los porcentajes de plástico PET reciclado.

Imagen No 1. Arena fina y 5% de Plástico PET reciclado.



Imagen No 2. Arena fina y 10% de Plástico PET reciclado



Imagen No 3. Arena fina y 15% de Plástico PET reciclado



Imagen No 4. Arena fina y 20% de Plástico PET reciclado



Imagen No 5. Arena fina y 25% de Plástico PET reciclado



Para las probetas de 25% se observó que si había adherencia entre los materiales y eran aptas para el ensayo de compresión inconfiada pero requerían de un tiempo significativo en el horno. por lo que las descartamos para hallar el tiempo óptimo de las probetas.

Anexo E: Probetas de Arena fina y Plástico PET tratadas térmicamente a 2 horas en el horno.

Imagen No 6. Arena fina y 30% de Plástico PET reciclado



Anexo F: Método para determinar del 30% al 55% de pet en la masa de la arena fina.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL 30% DE PET EN LA ARENA.

Puesto que el volumen del molde es de 212.82 cm³, y la densidad de la arena fina es de 2.41 gr/cm³, calculamos la masa necesaria para suplir ese volumen.

Masa de Arena= Densidad*Volumen

Masa de Arena=2.41 gr/cm³*212.82 cm³

Masa de Arena=512.89 gr

Teniendo en cuenta las pérdidas y que la última capa compactada debe sobrepasar al anillo de extensión (con el fin de enrasar la superficie), utilizamos 500 gramos de arena fina, de los cuales restamos el 30% del material el cual será reemplazado, obteniendo una masa de:

Masa de Arena=500 gr-0.30*500 gr

Masa=350gr

El volumen que ocupó el 30% de arena que se disminuyó fue el volumen que se reemplazó por plástico triturado.

Volumen de Arena 30%=Masa/Densidad

Volumen de Arena 30%= (500 gr*0.30) / (2.41 gr/cm³)

Volumen de Arena 30%=62.25 cm³

Con la densidad del Polietileno de Tereftalato igual a 1.316 gr/cm³ y el volumen a suplir igual a 62.25 cm³ calculamos la cantidad de masa de PET utilizado.

Masa de PET= Densidad*Volumen

Masa de PET=1.316 gr/cm³ *62.25 cm³

Masa de PET= 81.91 gr

MÉTODO PARA DETERMINAR EL 35% DE PET EN LA ARENA

Puesto que el volumen del molde es de 212.82 cm³, y la densidad de la arena fina es de 2.41 gr/cm³, calculamos la masa necesaria para suplir ese volumen.

Masa de Arena= Densidad*Volumen

Masa de Arena=2.41 gr/cm³*212.82 cm³

Masa de Arena=512.89 gr

Teniendo en cuenta las pérdidas y que la última capa compactada debe sobrepasar al anillo de extensión (con el fin de enrasar la superficie), utilizamos 500 gramos de arena fina, de los cuales restamos el 35% del material el cual será reemplazado, obteniendo una masa de:

Masa de Arena=500 gr-0.35*500 gr

Masa=325gr

El volumen que ocupó el 35% de arena que se disminuyó fue el volumen que se reemplazó por plástico triturado.

Volumen de Arena 35%=Masa/Densidad

Volumen de Arena 35%= (500 gr*0.35) / (2.41 gr/cm³)

Volumen de Arena 30%=72.625 cm³

Con la densidad del Polietileno de Tereftalato igual a 1.316 gr/cm³ y el volumen a suplir igual a 72.625 cm³ calculamos la cantidad de masa de PET utilizado.

Masa de PET= Densidad*Volumen

Masa de PET=1.316 gr/cm³ *72.625 cm³

Masa de PET= 95.56 gr

MÉTODO PARA DETERMINAR EL 40% DE PET EN LA ARENA

Puesto que el volumen del molde es de 212.82 cm³, y la densidad de la arena fina es de 2.41 gr/cm³, calculamos la masa necesaria para suplir ese volumen.

Masa de Arena= Densidad*Volumen

Masa de Arena=2.41 gr/cm³*212.82 cm³

Masa de Arena=512.89 gr

Teniendo en cuenta las pérdidas y que la última capa compactada debe sobrepasar al anillo de extensión (con el fin de enrasar la superficie), utilizamos 500 gramos de arena fina, de los cuales restamos el 40% del material el cual será reemplazado, obteniendo una masa de:

Masa de Arena=500 gr-0.40*500 gr

Masa=300gr

El volumen que ocupó el 40% de arena que se disminuyó fue el volumen que se reemplazó por plástico triturado.

Volumen de Arena 40%=Masa/Densidad

Volumen de Arena 40%= (500 gr*0.40) / (2.41 gr/cm³)

Volumen de Arena 40%= 83cm³

Con la densidad del Polietileno de Tereftalato igual a 1.316 gr/cm³ y el volumen a suplir igual a 83 cm³ calculamos la cantidad de masa de PET utilizado.

Masa de PET= Densidad*Volumen

Masa de PET=1.316 gr/cm³ *83 cm³

Masa de PET= 109.21 gr

MÉTODO PARA DETERMINAR EL 45% DE PET EN LA ARENA

Puesto que el volumen del molde es de 212.82 cm³, y la densidad de la arena fina es de 2.41 gr/cm³, calculamos la masa necesaria para suplir ese volumen.

Masa de Arena= Densidad*Volumen

Masa de Arena=2.41 gr/cm³*212.82 cm³

Masa de Arena=512.89 gr

Teniendo en cuenta las pérdidas y que la última capa compactada debe sobrepasar al anillo de extensión (con el fin de enrasar la superficie), utilizamos 500 gramos de arena fina, de los cuales restamos el 45% del material el cual será reemplazado, obteniendo una masa de:

Masa de Arena=500 gr-0.45*500 gr

Masa= 275gr

El volumen que ocupó el 45% de arena que se disminuyó fue el volumen que se reemplazó por plástico triturado.

Volumen de Arena 45%=Masa/Densidad

Volumen de Arena 45%= (500 gr*0.45) / (2.41 gr/cm³)

Volumen de Arena 45%= 93.375cm³

Con la densidad del Polietileno de Tereftalato igual a 1.316 gr/cm³ y el volumen a suplir igual a 93.375 cm³ calculamos la cantidad de masa de PET utilizado.

Masa de PET= Densidad*Volumen

Masa de PET=1.316 gr/cm³ *93.375 cm³

Masa de PET= 122.86 gr

MÉTODO PARA DETERMINAR EL 50% DE PET EN LA ARENA.

Puesto que el volumen del molde es de 212.82 cm³, y la densidad de la arena fina es de 2.41 gr/cm³, calculamos la masa necesaria para suplir ese volumen.

Masa de Arena= Densidad*Volumen

Masa de Arena=2.41 gr/cm³*212.82 cm³

Masa de Arena=512.89 gr

Teniendo en cuenta las pérdidas y que la última capa compactada debe sobrepasar al anillo de extensión (con el fin de enrasar la superficie), utilizamos 500 gramos de arena fina, de los cuales restamos el 50% del material el cual será reemplazado, obteniendo una masa de:

Masa de Arena=500 gr-0.50*500 gr

Masa= 250gr

El volumen que ocupó el 50% de arena que se disminuyó fue el volumen que se reemplazó por plástico triturado.

Volumen de Arena 50%=Masa/Densidad

Volumen de Arena 50%= (500 gr*0.50) / (2.41 gr/cm³)

Volumen de Arena 50%= 103.75cm³

Con la densidad del Polietileno de Tereftalato igual a 1.316 gr/cm³ y el volumen a suplir igual a 103.75cm³ calculamos la cantidad de masa de PET utilizado.

Masa de PET= Densidad*Volumen

Masa de PET=1.316 gr/cm³ *103.75cm³

Masa de PET= 136.51 gr

MÉTODO PARA DETERMINAR EL 55% DE PET EN LA ARENA

Puesto que el volumen del molde es de 212.82 cm³, y la densidad de la arena fina es de 2.41 gr/cm³, calculamos la masa necesaria para suplir ese volumen.

Masa de Arena= Densidad*Volumen

Masa de Arena=2.41 gr/cm³*212.82 cm³

Masa de Arena=512.89 gr

Teniendo en cuenta las pérdidas y que la última capa compactada debe sobrepasar al anillo de extensión (con el fin de enrasar la superficie), utilizamos 500 gramos de arena fina, de los cuales restamos el 55%

del material el cual será reemplazado, obteniendo una masa de:

Masa de Arena=500 gr-0.55*500 gr

Masa= 225gr

El volumen que ocupó el 55% de arena que se disminuyó fue el volumen que se reemplazó por plástico triturado.

Volumen de Arena 55%=Masa/Densidad

Volumen de Arena 55%= (500 gr*0.55) / (2.41 gr/cm³)

Volumen de Arena 55%= 114.125cm³

Con la densidad del Polietileno de Tereftalato igual a 1.316 gr/cm³ y el volumen a suplir igual a 114.125cm³ calculamos la cantidad de masa de PET utilizado.

Masa de PET= Densidad*Volumen

Masa de PET=1.316 gr/cm³ * 114.125cm³

Masa de PET= 150.16 gr

Anexo G: Probetas de Arena triturada lavada y Plástico PET tratadas térmicamente a 2 horas en el horno.

Imagen No 7. Arena triturada lavada y 30% de Plástico PET reciclado.



Anexo H: Método para determinar del 30% al 55% de pet en la masa de la arena triturada lavada.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL 30% DE PET EN LA ARENA.

Puesto que el volumen del molde es de 212.82 cm³, y la densidad de la arena fina es de 2.55 gr/cm³, calculamos la masa necesaria para suplir ese volumen.

Masa de Arena= Densidad*Volumen

Masa de Arena=2.55 gr/cm³*212.82 cm³

Masa de Arena=542.69 gr

Teniendo en cuenta las pérdidas y que la última capa compactada debe sobrepasar al anillo de extensión (con el fin de enrasar la superficie), utilizamos 500 gramos de arena triturada lavada, de los cuales restamos el 30% del material el cual será reemplazado, obteniendo una masa de:

Masa de Arena=500 gr-0.30*500 gr

Masa= 350gr

El volumen que ocupó el 30% de arena que se disminuyó fue el volumen que se reemplazó por plástico triturado.

Volumen de Arena 30%=Masa/Densidad

Volumen de Arena 30%= (500 gr*0.30) / (2.55 gr/cm³)

Volumen de Arena 30%= 58.74 cm³

Con la densidad del Polietileno de Tereftalato igual a 1.316 gr/cm³ y el volumen a suplir igual a 58.74 cm³ calculamos la cantidad de masa de PET utilizado.

Masa de PET= Densidad*Volumen

Masa de PET=1.316 gr/cm³ * 58.74 cm³

Masa de PET= 77.29 gr

MÉTODO PARA DETERMINAR EL 35% DE PET EN LA ARENA.

Puesto que el volumen del molde es de 212.82 cm³, y la densidad de la arena fina es de 2.55 gr/cm³, calculamos la masa necesaria para suplir ese volumen.

Masa de Arena= Densidad*Volumen

Masa de Arena=2.55 gr/cm³*212.82 cm³

Masa de Arena=542.69 gr

Teniendo en cuenta las pérdidas y que la última capa compactada debe sobrepasar al anillo de extensión (con el fin de enrasar la superficie), utilizamos 500 gramos de arena triturada lavada, de los cuales restamos el 35% del material el cual será reemplazado, obteniendo una masa de:

Masa de Arena=500 gr-0.35*500 gr

Masa= 325gr

El volumen que ocupó el 35% de arena que se disminuyó fue el volumen que se reemplazó por plástico triturado.

Volumen de Arena 35%=Masa/Densidad

Volumen de Arena 35%= (500 gr*0.35) / (2.55 gr/cm³)

Volumen de Arena 35%= 68.53 cm³

Con la densidad del Polietileno de Tereftalato igual a 1.316 gr/cm³ y el volumen a suplir igual a 68.53 cm³ calculamos la cantidad de masa de PET utilizado.

Masa de PET= Densidad*Volumen

Masa de PET=1.316 gr/cm³ * 68.53 cm³

Masa de PET= 90.17gr

MÉTODO PARA DETERMINAR EL 40% DE PET EN LA ARENA.

Puesto que el volumen del molde es de 212.82 cm³, y la densidad de la arena fina es de 2.55 gr/cm³, calculamos la masa necesaria para suplir ese volumen.

Masa de Arena= Densidad*Volumen

Masa de Arena=2.55 gr/cm³*212.82 cm³

Masa de Arena=542.69 gr

Teniendo en cuenta las pérdidas y que la última capa compactada debe sobrepasar al anillo de extensión (con el fin de enrasar la superficie), utilizamos 500 gramos de arena triturada lavada, de los cuales restamos el 40% del material el cual será reemplazado, obteniendo una masa de:

Masa de Arena=500 gr-0.40*500 gr

Masa= 300gr

El volumen que ocupó el 40% de arena que se disminuyó fue el volumen que se reemplazó por plástico triturado.

Volumen de Arena 40%=Masa/Densidad

Volumen de Arena 40%= (500 gr*0.40) / (2.55 gr/cm³)

Volumen de Arena 40%= 78.32 cm³

Con la densidad del Polietileno de Tereftalato igual a 1.316 gr/cm³ y el volumen a suplir igual a 78.32 cm³ calculamos la cantidad de masa de PET utilizado.

Masa de PET= Densidad*Volumen

Masa de PET=1.316 gr/cm³ * 78.32 cm³

Masa de PET= 103.05gr

MÉTODO PARA DETERMINAR EL 45% DE PET EN LA ARENA.

Puesto que el volumen del molde es de 212.82 cm³, y la densidad de la arena fina es de 2.55 gr/cm³, calculamos la masa necesaria para suplir ese volumen.

Masa de Arena= Densidad*Volumen

Masa de Arena=2.55 gr/cm³*212.82 cm³

Masa de Arena=542.69 gr

Teniendo en cuenta las pérdidas y que la última capa compactada debe sobrepasar al anillo de extensión (con el fin de enrasar la superficie), utilizamos 500 gramos de arena triturada lavada, de los cuales restamos el 45% del material el cual será reemplazado, obteniendo una masa de:

Masa de Arena=500 gr-0.45*500 gr

Masa= 275gr

El volumen que ocupó el 45% de arena que se disminuyó fue el volumen que se reemplazó por plástico triturado.

Volumen de Arena 45%=Masa/Densidad

Volumen de Arena 45%= (500 gr*0.45) / (2.55 gr/cm³)

Volumen de Arena 45%= 88.11 cm³

Con la densidad del Polietileno de Tereftalato igual a 1.316 gr/cm³ y el volumen a suplir igual a 88.11 cm³ calculamos la cantidad de masa de PET utilizado.

Masa de PET= Densidad*Volumen

Masa de PET=1.316 gr/cm³ * 88.11 cm³

Masa de PET= 115.93gr

MÉTODO PARA DETERMINAR EL 50% DE PET EN LA ARENA.

Puesto que el volumen del molde es de 212.82 cm³, y la densidad de la arena fina es de 2.55 gr/cm³, calculamos la masa necesaria para suplir ese volumen.

Masa de Arena= Densidad*Volumen

Masa de Arena=2.55 gr/cm³*212.82 cm³

Masa de Arena=542.69 gr

Teniendo en cuenta las pérdidas y que la última capa compactada debe sobrepasar al anillo de extensión (con el fin de enrasar la superficie), utilizamos 500 gramos de arena triturada lavada, de los cuales restamos el 50% del material el cual será reemplazado, obteniendo una masa de:

Masa de Arena=500 gr-0.50*500 gr

Masa= 250gr

El volumen que ocupó el 50% de arena que se disminuyó fue el volumen que se reemplazó por plástico triturado.

Volumen de Arena 50%=Masa/Densidad

Volumen de Arena 50%= (500 gr*0.50) / (2.55 gr/cm³)

Volumen de Arena 50%= 97.9 cm³

Con la densidad del Polietileno de Tereftalato igual a 1.316 gr/cm³ y el volumen a suplir igual a 97.9 cm³ calculamos la cantidad de masa de PET utilizado.

Masa de PET= Densidad*Volumen

Masa de PET=1.316 gr/cm³ * 97.9 cm³

Masa de PET= 128.82gr

MÉTODO PARA DETERMINAR EL 55% DE PET EN LA ARENA.

Puesto que el volumen del molde es de 212.82 cm³, y la densidad de la arena fina es de 2.55 gr/cm³, calculamos la masa necesaria para suplir ese volumen.

Masa de Arena= Densidad*Volumen

Masa de Arena=2.55 gr/cm³*212.82 cm³

Masa de Arena=542.69 gr

Teniendo en cuenta las pérdidas y que la última capa compactada debe sobrepasar al anillo de extensión (con el fin de enrasar la superficie), utilizamos 500 gramos de arena triturada lavada, de los cuales restamos el 55% del material el cual será reemplazado, obteniendo una masa de:

Masa de Arena=500 gr-0.55*500 gr

Masa= 225gr

El volumen que ocupó el 55% de arena que se disminuyó fue el volumen que se reemplazó por plástico triturado.

Volumen de Arena 55%=Masa/Densidad

Volumen de Arena 55%= (500 gr*0.55) / (2.55 gr/cm³)

Volumen de Arena 55%= 107.69 cm³

Con la densidad del Polietileno de Tereftalato igual a 1.316 gr/cm³ y el volumen a suplir igual a 107.69 cm³ calculamos la cantidad de masa de PET utilizado.

Masa de PET= Densidad*Volumen

Masa de PET=1.316 gr/cm³ * 107.69 cm³

Masa de PET= 141.70gr

Anexo I: Método para obtener el tiempo óptimo de las probetas de arena fina y plástico pet reciclado.

RESULTADOS PRECISOS DEL TIEMPO OPTIMO DE LAS PROBETAS DE ARENA FINA Y PLASTICO PET.

- 3 HORAS

Tabla No 1. Esfuerzos de 30% de PET y arena fina a 3 horas.

PROBETAS DE 30%	ESFUERZO MAXIMO (σ_c)	PROMEDIO ESFUERZOS MAXIMOS
	[Kgf/cm ²]	[Kgf/cm ²]
3 HORAS	30.38	24.07
	12.15	
	29.67	

- 5 HORAS

Tabla No 2. Esfuerzos de 30% de PET y arena fina a 5 horas.

PROBETAS DE 30%	ESFUERZO MAXIMO (σ_c)	PROMEDIO ESFUERZOS MAXIMOS
	[Kgf/cm ²]	[Kgf/cm ²]
5 HORAS	50.77	31.32
	28.89	
	14.28	

Tabla No 3. Esfuerzos 30% de PET y arena fina a diferentes intervalos de tiempo.

TIEMPO	ESFUERZO MAXIMO (σ_c)	PROMEDIO ESFUERZO S MAXIMOS
	[Kgf/cm ²]	[Kgf/cm ²]
3 HORAS	30.38	24.07
	12.15	
	29.67	
4 HORAS	59.27	55.84
	58.08	
	50.17	
5 HORAS	50.77	31.32
	28.89	
	14.28	

Anexo J: Probetas con el 25% de plástico PET y arena fina a 2 y 4 horas en el horno.

PROBETAS CON EL 25% DE PLASTICO PET Y ARENA FINA.

- **2 HORAS**

Imagen No 8. Arena Fina y 25% de Plástico PET reciclado a 2 horas.



- **4 HORAS**

Imagen No 9. Arena Fina y 25% de Plástico PET reciclado a 4 horas.



Anexo K: Método para obtener el tiempo óptimo de las probetas de arena fina y plástico PET reciclado.

RESULTADOS PRECISOS DEL TIEMPO OPTIMO DE LAS PROBETAS DE ARENA TRITURADA LAVADA Y PLASTICO PET.

- 7 HORAS

Tabla No 4. Esfuerzos de 30% de PET y arena triturada lavada a 7 horas.

PROBETAS DE 30%	ESFUERZO MAXIMO (σ_c)	PROMEDIO ESFUERZOS MAXIMOS
	[Kgf/cm ²]	[Kgf/cm ²]
7 HORAS	32.40	24.75
	12.07	
	29.78	

- 9 HORAS

Tabla No 5. Esfuerzos de 30% de PET y arena triturada lavada a 9 horas.

PROBETAS DE 30%	ESFUERZO MAXIMO (σ_c)	PROMEDIO ESFUERZOS MAXIMOS
	[Kgf/cm ²]	[Kgf/cm ²]
9 HORAS	21.97	28.78
	37.74	
	26.63	

Tabla No 6. Esfuerzos 30% de PET y arena triturada lavada a diferentes intervalos de tiempo.

TIEMPO	ESFUERZO MAXIMO (σ_c)	PROMEDIO ESFUERZO S MAXIMOS
	[Kgf/cm ²]	[Kgf/cm ²]
7 HORAS	32.40	24.75
	12.07	
	29.78	
8 HORAS	43.12	35.91
	35.52	
	29.08	
9 HORAS	21.97	28.78
	37.74	
	26.63	

Anexo L: Probetas con el 25% de plástico PET y arena triturada lavada a 2 y 4 horas en el horno.

PROBETAS CON EL 25% DE PLASTICO PET Y ARENA TRITURADA LAVADA.

- **2 HORAS**

Imagen No 10. Arena Triturada lavada y 25% de Plástico PET reciclado a 2 horas.



- **4 HORAS**

Imagen No 11. Arena Triturada lavada y 25% de Plástico PET reciclado a 4 horas.

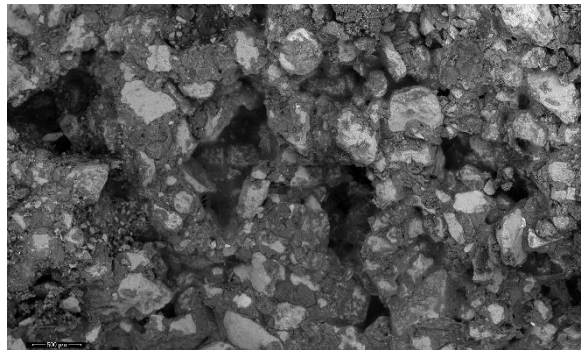


Anexo M: Ensayo de Microscopia (SEM) para las probetas de 35% de PET con arena fina y 35% de PET arena triturada lavada.

MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM)

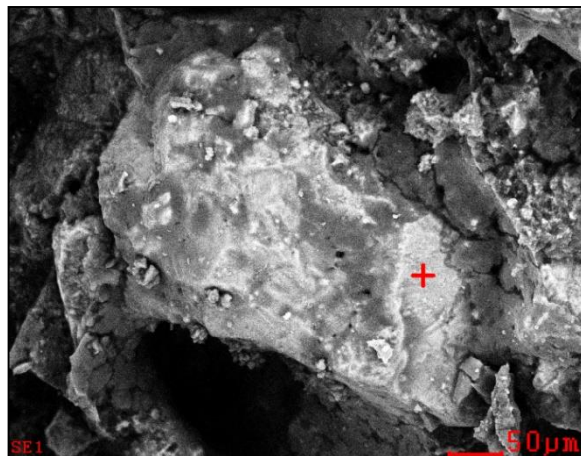
- **ARENA FINA CON EL 35% DE PET.**

Imagen No 12. Arena fina con el 35% de plástico PET.



Se encontró que los elementos en esta mezcla son principalmente Silicio y Carbono. esto en una zona puntual de la muestra.

Imagen No 13. Zona puntual de la muestra.



Grafica No 1. Elementos que conforman la muestra.

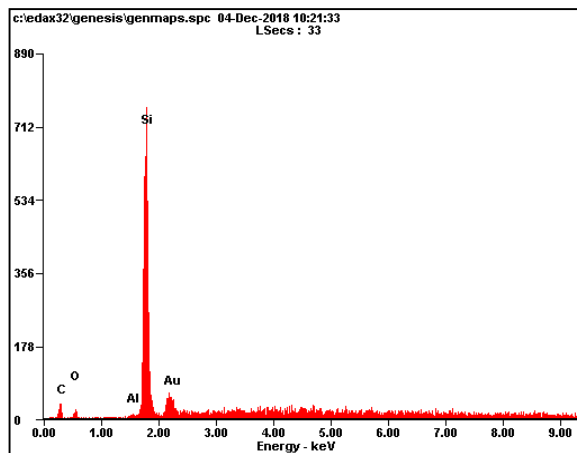


Tabla No 7. Porcentajes que conforman la muestra.

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
CK	23.42	50.20
OK	04.34	06.99
AlK	00.41	00.39
SiK	42.02	38.53
AuL	29.81	03.90
Matrix	Correction	ZAF

- **ARENA TRITURADA LAVADA CON EL 35% DE PET.**

Se encontró que los elementos en esta mezcla son principalmente Hierro y Oxígeno. esto en una zona puntual de la muestra.

Imagen No 14. Arena Triturada lavada con el 35% de plástico PET.

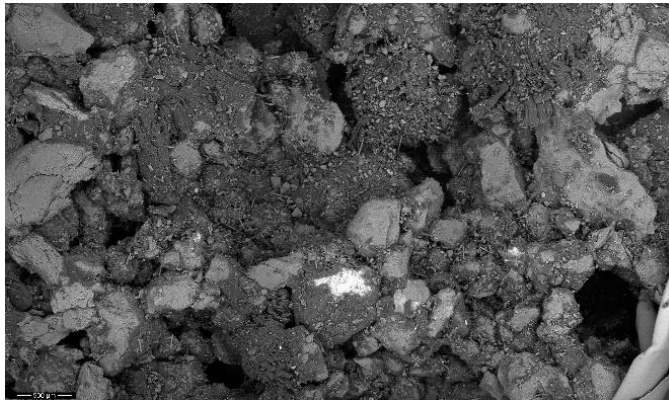
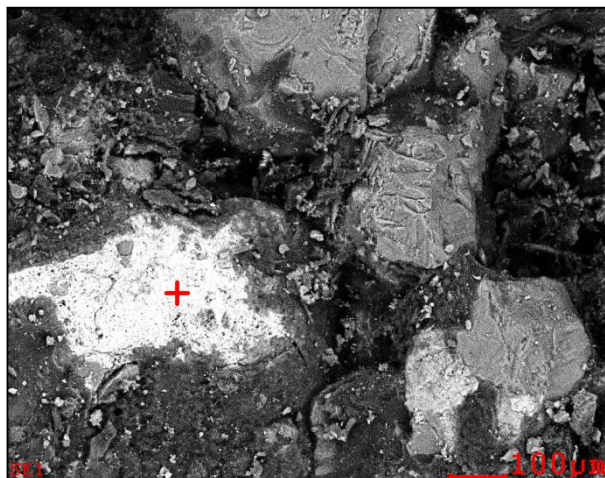


Imagen No 15. Zona puntual de la muestra.



Grafica No 2. Elementos que conforman la muestra.

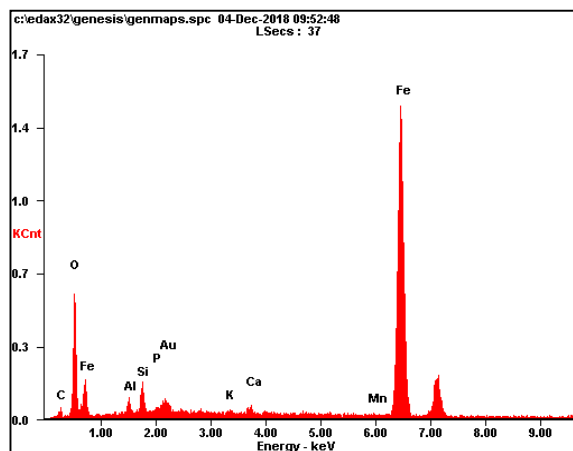


Tabla No 8. Porcentajes que conforman la muestra.

CaK	00.74	00.58
MnK	00.39	00.22
FeK	58.69	32.77
Matrix	Correction	ZAF

Element	Wt%	At%
CK	04.29	11.15
OK	23.77	46.32
AlK	02.37	02.74
SiK	03.94	04.37
PK	00.75	00.75
AuM	04.60	00.73
KK	00.46	00.37

**Anexo N: Método de prueba estándar para densidad, porosidad y absorción
ASTM C642.**

ARENA FINA CON EL 30% DE PLASTICO PET

- **% DE ABSORCION Y POROSIDAD**

$$\%A = \frac{Masa\ Saturada - Masa\ Seca}{Masa\ Seca} * 100$$

PROBETA 1

$$\%A = \frac{351 - 343}{343} * 100 = 2.33$$

PROBETA 2

$$\%A = \frac{339 - 330}{330} * 100 = 2.73$$

PROBETA 3

$$\%A = \frac{351 - 338}{338} * 100 = 3.85$$

- **DENSIDAD**

De acuerdo con los parámetros del molde se obtiene

Tabla No 9. Parámetros obtenidos de acuerdo con molde.

TIPO DE ENSAYO	MODIFICADO
NUMERO DE CAPAS	5
NUMEROS DE GOLPE POR CARA	25
MOLDE No	24
DIAMETRO MOLDE (cm)	5,08
ALTURA DEL MOLDE (cm)	10,5
VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	212,818

DATOS OBTENIDOS:

	1	2	3	4	5	6
PESO MOLDE [gr]	2086	2015	2018	1979	2021	2020
PESO MOLDE + ARENA HUMEDO [gr]	24491	2373	2369	2358	2383,7	2386,6
PESO DEL ARENA HUMEDO [gr]	363,1	358,5	351,3	379	362,7	366,6
DENSIDAD HUMEDO [gr/cm ³]	1,71	1,68	1,65	1,78	1,70	1,72
DENSIDAD SECA [gr/cm ³]	1,66	1,64	1,60	1,73	1,65	1,67
PROMEDIO HUMEDAD %	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00

CÁLCULO DE LA DENSIDAD HÚMEDA

$$Densidad Humeda = \frac{Peso\ del\ Suelo\ Humedo}{Volumen\ del\ molde}$$

- Probeta 1

$$Densidad Humeda = \frac{363.1gr}{212.82\ cm^3}$$

$$Densidad Humeda = 1.71\ \frac{gr}{cm^3}$$

- Probeta 2

$$Densidad Humeda = \frac{358.5 \text{ gr}}{212.82 \text{ cm}^3}$$

$$Densidad Humeda = 1.68 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

- Probeta 3

$$Densidad Humeda = \frac{351.3 \text{ gr}}{212.82 \text{ cm}^3}$$

$$Densidad Humeda = 1.65 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

- Probeta 4

$$Densidad Humeda = \frac{379 \text{ gr}}{212.82 \text{ cm}^3}$$

$$Densidad Humeda = 1.78 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

- Probeta 5

$$Densidad Humeda = \frac{362.7 \text{ gr}}{212.82 \text{ cm}^3}$$

$$Densidad Humeda = 1.70 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

- Probeta 6

$$Densidad Humeda = \frac{366.6 \text{ gr}}{212.82 \text{ cm}^3}$$

$$Densidad Humeda = 1.72 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

CÁLCULO DE LA DENSIDAD SECA

$$Densidad\ Seca = \frac{Densidad\ Humedad}{1 + \frac{Humedad\ de\ la\ probeta}{100}}$$

- Probeta 1

$$Densidad\ Seca = \frac{1.71}{1 + \frac{3}{100}} = 1.66\ gr/cm^3$$

- Probeta 2

$$Densidad\ Seca = \frac{1.68}{1 + \frac{3}{100}} = 1.64\ gr/cm^3$$

- Probeta 3

$$Densidad\ Seca = \frac{1.65}{1 + \frac{3}{100}} = 1.60\ gr/cm^3$$

- Probeta 4

$$Densidad\ Seca = \frac{1.78}{1 + \frac{3}{100}} = 1.73\ gr/cm^3$$

- Probeta 5

$$Densidad\ Seca = \frac{1.70}{1 + \frac{3}{100}} = 1.65\ gr/cm^3$$

- Probeta 6

$$Densidad\ Seca = \frac{1.72}{1 + \frac{3}{100}} = 1.67\ gr/cm^3$$

ARENA LAVADA TRITURADA CON EL 30% DE PLASTICO PET

- **% DE ABSORCION Y POROSIDAD**

$$\%A = \frac{Masa\ Saturada - Masa\ Seca}{Masa\ Seca} * 100$$

PROBETA 1

$$\%A = \frac{331 - 324}{331} * 100 = 2.16$$

PROBETA 2

$$\%A = \frac{313 - 298}{298} * 100 = 5.03$$

PROBETA 3

$$\%A = \frac{332 - 315}{315} * 100 = 5.40$$

- **DENSIDAD**

De acuerdo con los parámetros del molde se obtiene

Tabla No 9. Parámetros obtenidos de acuerdo con molde.

TIPO DE ENSAYO	MODIFICADO
NUMERO DE CAPAS	5
NUMEROS DE GOLPE POR CARA	25
MOLDE No	24
DIAMETRO MOLDE (cm)	5,08
ALTURA DEL MOLDE (cm)	10,5
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	212,818

DATOS OBTENIDOS:

	1	2	3	4	5	6
PESO MOLDE [gr]	2089	2003	2016	1979	2030	2015
PESO MOLDE + ARENA HUMEDO [gr]	2443	2349	2378	2352	2411	2382
PESO DEL ARENA HUMEDO [gr]	354	346	362	373	381	367
DENSIDAD HUMEDO [gr/cm ³]	1.66	1.63	1.70	1.75	1.79	1.72
DENSIDAD SECA [gr/cm ³]	1.61	1.58	1.65	1.70	1.74	1.67
PROMEDIO HUMEDAD %	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00

CÁLCULO DE LA DENSIDAD HÚMEDA

$$Densidad Humeda = \frac{Peso\ del\ Suelo\ Humedo}{Volumen\ del\ molde}$$

- Probeta 1

$$Densidad Humeda = \frac{354gr}{212.82\ cm^3}$$

$$Densidad Humeda = 1.66\ \frac{gr}{cm^3}$$

- Probeta 2

$$Densidad Humeda = \frac{346\ gr}{212.82\ cm^3}$$

$$Densidad Humeda = 1.63\ \frac{gr}{cm^3}$$

- Probeta 3

$$Densidad Humeda = \frac{362\ gr}{212.82cm^3}$$

$$Densidad Humeda = 1.70 \frac{gr}{cm^3}$$

- Probeta 4

$$Densidad Humeda = \frac{373 \text{ gr}}{212.82 \text{ cm}^3}$$

$$Densidad Humeda = 1.75 \frac{gr}{cm^3}$$

- Probeta 5

$$Densidad Humeda = \frac{381 \text{ gr}}{212.82 \text{ cm}^3}$$

$$Densidad Humeda = 1.79 \frac{gr}{cm^3}$$

- Probeta 6

$$Densidad Humeda = \frac{367 \text{ gr}}{212.82 \text{ cm}^3}$$

$$Densidad Humeda = 1.72 \frac{gr}{cm^3}$$

CÁLCULO DE LA DENSIDAD SECA

$$Densidad Seca = \frac{Densidad Humedad}{1 + \frac{Humedad \text{ de la probeta}}{100}}$$

- Probeta 1

$$Densidad Seca = \frac{1.66}{1 + \frac{3}{100}} = 1.61 \text{ gr/cm}^3$$

- Probeta 2

$$Densidad\ Seca = \frac{1.63}{1 + \frac{3}{100}} = 1.58\ gr/cm^3$$

- Probeta 3

$$Densidad\ Seca = \frac{1.70}{1 + \frac{3}{100}} = 1.65\ gr/cm^3$$

- Probeta 4

$$Densidad\ Seca = \frac{1.75}{1 + \frac{3}{100}} = 1.70\ gr/cm^3$$

- Probeta 5

$$Densidad\ Seca = \frac{1.79}{1 + \frac{3}{100}} = 1.74\ gr/cm^3$$

- Probeta 6

$$Densidad\ Seca = \frac{1.72}{1 + \frac{3}{100}} = 1.67\ gr/cm^3$$

**Anexo O: Método para hallar el coeficiente de absorción de acuerdo al
Ensayo de Impedancia Acústica.**

ARENA LAVADA TRITURADA CON EL 30% DE PLASTICO PET

Tabla No 11. Amplitudes de onda para cada frecuencia.

Distancia	VOLTAJE				
	250	500	750	1000	1500
0	200	304	184	232	130
10	200	376	178	424	78
20	240	312	248	344	144
30	240	304	236	416	70
40	200	312	220	368	94
50	160	328	174	344	88
60	160	368	204	472	72
70	160	232	254	304	138
80	160	360	192	424	78
90	160	272	244	424	146
100	160	344	180	440	64
Pmax	240	376	254	472	146
Pmin	160	232	174	232	64

Los valores obtenidos en el osciloscopio permiten calcular el coeficiente de absorción acústica a partir de la ecuación.

$$SWR = \frac{P_{max}}{P_{min}}$$

Donde:

SWR: Relación entre máximos y mínimos en una onda estacionaria.

- **250 Hz**

$$SWR = \frac{240}{160} = 1.50$$

- **500 Hz**

$$SWR = \frac{376}{232} = 1.62$$

- **750 Hz**

$$SWR = \frac{254}{174} = 1.46$$

- **1000 Hz**

$$SWR = \frac{472}{232} = 2.03$$

- **1500 Hz**

$$SWR = \frac{146}{64} = 2.28$$

Obteniendo la relación entre máximos y mínimos en una onda estacionaria hallamos el coeficiente de absorción de cada frecuencia.

$$\propto n = \left(\frac{SWR - 1}{SWR + 1} \right)^2$$

Donde:

αn : Coeficiente de absorción.

- **250 Hz**

$$\alpha n = \left(\frac{1.50 - 1}{1.50 + 1} \right)^2 = 0.04$$

- **500 Hz**

$$\alpha n = \left(\frac{1.62 - 1}{1.62 + 1} \right)^2 = 0.06$$

- **750 Hz**

$$\alpha n = \left(\frac{1.46 - 1}{1.46 + 1} \right)^2 = 0.03$$

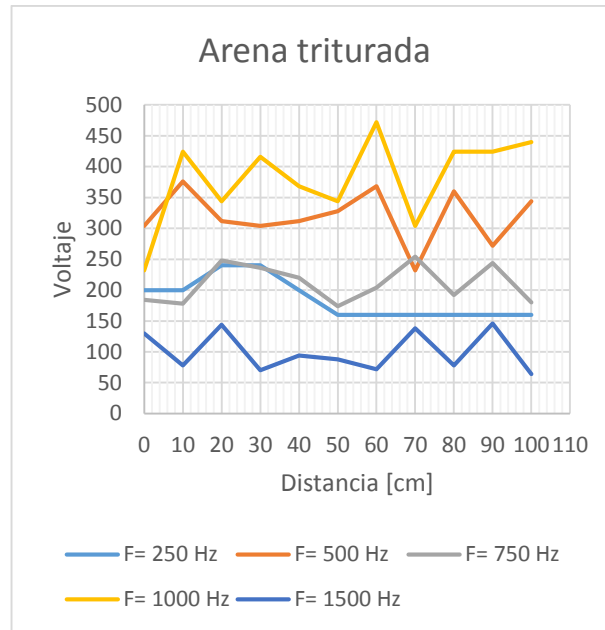
- **1000 Hz**

$$\alpha n = \left(\frac{2.03 - 1}{2.03 + 1} \right)^2 = 0.12$$

- **1500 Hz**

$$\alpha n = \left(\frac{2.28 - 1}{2.28 + 1} \right)^2 = 0.15$$

Grafica No 3. Distancia vs. Voltaje para arena fina



ARENA FINA CON EL 30% DE PLASTICO PET

Tabla No 12. Amplitudes de onda para cada frecuencia.

Distancia	VOLTAJE				
	250	500	750	1000	1500
0	160	120	300	160	152
10	200	320	260	80	88
20	240	160	200	88	168
30	240	200	260	120	80
40	240	160	225	144	96
50	160	160	280	80	112
60	160	160	220	80	64
70	120	200	200	160	160
80	160	200	240	88	80
90	160	160	220	88	160
100	160	240	260	112	80
Pmax	240	320	300	160	168
Pmin	120	120	200	80	64

$$SWR = \frac{P_{max}}{P_{min}}$$

Donde:

SWR: Relación entre máximos y mínimos en una onda estacionaria.

- **250 Hz**

$$SWR = \frac{240}{120} = 2.00$$

- **500 Hz**

$$SWR = \frac{330}{120} = 2,67$$

- **750 Hz**

$$SWR = \frac{300}{200} = 1.50$$

- **1000 Hz**

$$SWR = \frac{160}{80} = 2.00$$

- **1500 Hz**

$$SWR = \frac{168}{64} = 2.63$$

Obteniendo la relación entre máximos y mínimos en una onda estacionaria hallamos el coeficiente de absorción de cada frecuencia.

$$\alpha_n = \left(\frac{SWR - 1}{SWR + 1} \right)^2$$

Donde:

α_n : Coeficiente de absorción.

- **250 Hz**

$$\alpha_n = \left(\frac{2.00 - 1}{2.00 + 1} \right)^2 = 0.11$$

- **500 Hz**

$$\alpha_n = \left(\frac{2.67 - 1}{2.67 + 1} \right)^2 = 0.21$$

- **750 Hz**

$$\alpha_n = \left(\frac{1.50 - 1}{1.50 + 1} \right)^2 = 0.04$$

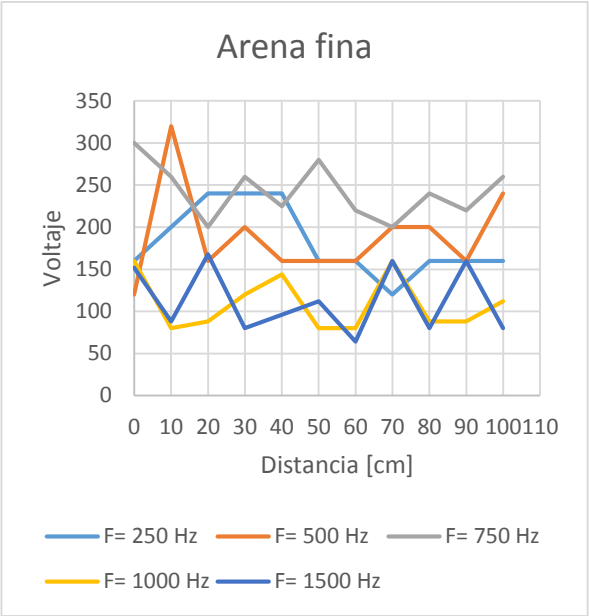
- **1000 Hz**

$$\alpha_n = \left(\frac{2.00 - 1}{2.00 + 1} \right)^2 = 0.11$$

- **1500 Hz**

$$\alpha_n = \left(\frac{2.63 - 1}{2.63 + 1} \right)^2 = 0.20$$

Grafica No 4. Distancia vs. Voltaje para arena triturada lavada



Anexo P: Método para hallar la carga de Tracción Indirecta

TRACCION INDIRECTA DE LA ARENA FINA CON EL 30% DE PET

$$T = \frac{2P}{\pi Ld}$$

- Probeta 1

$$T = \frac{2 * (6)}{\pi * (0.11) * (0.0508)} = 683.55 \text{ Kpa}$$

$$T = \frac{683.55}{98.066} = 5.692 \text{ Kgf/cm}^2$$

- Probeta 2

$$T = \frac{2 * (7.3)}{\pi * (0.11) * (0.0508)} = 831.66 \text{ Kpa}$$

$$T = \frac{831.66}{98.066} = 8.48 \text{ Kgf/cm}^2$$

- Probeta 3

$$T = \frac{2 * (5.2)}{\pi * (0.11) * (0.0508)} = 592.42 \text{ Kpa}$$

$$T = \frac{592.42}{98.066} = 6.041 \text{ Kgf/cm}^2$$

TRACCION INDIRECTA DE LA ARENA
TRITURADA LAVADA CON EL 30% DE PET

$$T = \frac{2P}{\pi Ld}$$

- Probeta 1

$$T = \frac{2 * (5.2)}{\pi * (0.1) * (0.0508)} = 651.66 \text{ Kpa}$$

$$T = \frac{651.66}{98.066} = 6.64 \text{ Kgf/cm}^2$$

- Probeta 2

$$T = \frac{2 * (2.1)}{\pi * (0.107) * (0.0508)} = 245.95 \text{ Kpa}$$

$$T = \frac{245.95}{98.066} = 2.51 \text{ Kgf/cm}^2$$

- Probeta 3

$$T = \frac{2 * (4.9)}{\pi * (0.11) * (0.0508)} = 558.24 \text{ Kpa}$$

$$T = \frac{558.24}{98.066} = 5.69 \text{ Kgf/cm}^2$$