

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ADOBE
REFORZADO CON FIBRAS DE TEREFALATO DE
POLIETILENO (PET)**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO CIVIL

Realizado por: Fabienne Arcius Jules
Tutor: Ing. Civil Wilson González
Fecha: Caracas, junio 2019

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL
ADOBE REFORZADO CON FIBRAS DE TEREFALATO
DE POLIETILENO (PET)**

Este jurado, una vez realizado el examen del presente
trabajo ha evaluado su contenido con el resultado:

VEINTE (20)

JURADO EXAMINADOR

Firma: 
Nombre: Roque Garcia Ruiz

Firma: 
Nombre: Carlos A. Ceballos

Firma: 
Nombre: Wilson Gonzalez

Realizado por: Fabienne Arcius Jules

Tutor: Ing. Civil Wilson González

Fecha: Caracas, junio 2019



Resumen

El adobe es uno de los materiales de construcción más antiguo que existe, pero sin embargo ha quedado en el olvido con la llegada de materiales como el cemento que en su momento revolucionó la forma de construir bloques de mortero, adoquines o bloques modificados con temperatura, en general materiales que pudieron ser industrializados. Por esta razón en la actualidad el adobe es catalogado como un material a ser utilizado en zonas donde residen grupos de personas de escasos recursos por su bajo costo y disponibilidad de los insumos para fabricarlo en cercanías inmediatas; ya que es desarrollado con suelos arcillosos que se mejoran con dosificación de arena en algunos casos y se refuerza mediante pasto seco.

Por otra parte, el Tereftalato de Polietileno conocido como PET, que es uno de los materiales que puede ser visto a diario en forma de botellas de refresco o de agua. Ahora bien, este material que puede ser reciclado y transformado, presenta dificultad en su degradación biológica a largo plazo; por lo que su alto nivel de invasión del medio ambiente por ser residuo de consumo masivo está causando un daño indescriptible al planeta pues en muchos lugares -incluyendo Venezuela- no se cuenta con la cultura del reciclaje por lo que se desechan de la forma inadecuada.

Este trabajo tiene la finalidad de aprovechar las propiedades del adobe y del PET e iniciar de cierta forma una cultura del reciclaje empezado de manera exploratoria con una forma de aprovechar el tereftalato de polietileno en cintas de 5 mm de anchura cortadas con un largo de 11 mm como sustituto de la fibra vegetal. El estudio consistió en el análisis del comportamiento mecánico a compresión de bloques de adobe contentivo de fibras PET en sustitución de fibra vegetal.

Adicionalmente, fue desarrollada, también de manera exploratoria, la evaluación de la influencia de área de la sección en la resistencia de bloques de este material; esto fue llevado a cabo dado que pudo ser verificado durante la investigación documental que las resistencias a compresión de bloques de adobe con distintas áreas de sección son comparadas de forma indistinta; lo que llevaría a pensar que el factor geométrico no influye en los resultados de tensiones a compresión.

Dedicatoria

*Este trabajo va dedicado primeramente
a Dios Todopoderoso que me ha
sostenido a lo largo de mi vida y a mi
familia por apoyarme.*

Agradecimientos

Quiero agradecer primeramente a Dios por sostenerme durante toda la carrera.

Al Laboratorio de mecánica de suelos, específicamente a

- Al Profesor Hugo Pérez Ayala por ayudarme con los ensayos
- Al Sr. Villegas por apoyarme durante la realización de este trabajo

Del Laboratorio de Materiales y Tecnología del Concreto

- Al Sr. Luis por estar en mis momentos de quiebre.
- A Juan Da Silva por quedarse incluso después de su hora de trabajo para ayudarme a maniobrar la máquina para ensayar.
- A Jeannic B. Rossi, llamada JB por donar la madera para los moldes.

Al Sr. Jesús del Laboratorio de Manufactura y al Laboratorio de Materiales II por prestarme sus valiosas planchas de acero para poder realizar los ensayos.

A Asdrúbal Alvarado y a su hermano Juan Carlos Alvarado por ayudarme a hacer los moldes.

A Jonathan Raga, Ennid Porto y a su esposo Manuel Aldana por ayudarme con la máquina cortadora de fibras PET.

A Marcos Martínez por ayudarme durante todo el proceso: transporte de materiales, amasado, fabricación de los bloques y asistencia en ensayos.

A Servicios Generales encabezado por Ing. Bonadio por los permisos otorgados.

A Joel Jules y Robed Jules por donar la arena utilizada.

A José Salazar por ayúdame a canalizar mis ideas.

A los profesores Ing. Guillermo Bonilla y Ing. Yelitza Sirit por ayudarme a realizar con excelencia este trabajo.

Y finalmente a mi familia por apoyarme en todos los aspectos posibles durante toda la carrera. Los amo.

Índice

| | |
|--|-----|
| Resumen | i |
| Dedicatoria | ii |
| Agradecimientos | iii |
| Capítulo 1: Descripción de la Investigación | 1 |
| 1.1. Planteamiento del problema | 1 |
| 1.2. Objetivos de la investigación | 2 |
| 1.2.1. Objetivo general | 2 |
| 1.2.2. Objetivos específicos..... | 2 |
| 1.3. Antecedentes | 3 |
| 1.4. Justificación | 5 |
| 1.5. Alcance y Limitaciones | 6 |
| Capítulo 2: Marco Teórico | 7 |
| 2.1. Bases Legales | 7 |
| 2.2. Bases Teóricas | 7 |
| 2.2.1. Tereftalato de Polietileno (PET)..... | 7 |
| 2.2.2. El Adobe | 8 |
| 2.2.3. Curva de Tensión- Deformación..... | 9 |
| Capítulo 3: Marco Metodológico | 11 |
| 3.1. Tipo de la investigación | 11 |
| 3.2. Población y Muestra | 11 |
| 3.3. Recolección de datos | 11 |
| 3.4. Equipos de aplicación de carga | 11 |
| 3.5. Instrumentos de medición | 11 |
| 3.6. Variables de los ensayos | 11 |
| 3.6.1. Variables dependientes | 11 |
| 3.6.2. Variables independientes | 12 |
| 3.6.3. Elementos a mantener constantes | 12 |
| 3.7. Materiales utilizados | 12 |
| 3.8. Diseño Experimental | 14 |
| 3.9. Fase de Ejecución | 14 |
| 3.9.1. Fase 1. Documentación..... | 15 |

| | | |
|---------------------|---|-----------|
| 3.9.3. | Fase 3. Mezcla y elaboración de los bloques. | 15 |
| 3.9.4. | Fase 4. Ensayo y Análisis..... | 17 |
| 3.10. | Procedimiento de ensayos | 17 |
| Capítulo 4: | Resultados Y Análisis | 18 |
| 4.1 | Propiedades mecánicas de bloques macizos de adobe reforzado con fibra vegetal..... | 18 |
| 4.2 | Propiedades mecánicas de bloques macizos de adobe reforzado con fibra PET. | 21 |
| 4.3 | Análisis de las propiedades mecánicas de bloques macizos de adobe ... | 24 |
| Capítulo 5: | Conclusiones | 25 |
| Capítulo 6: | Recomendaciones | 26 |
| Bibliografía | | 27 |
| Anexos | | 29 |
| Anexo 1. | Tabla de la granulometría del suelo | 29 |
| Anexo 2. | Límite De Atterberg | 29 |
| Anexo 3. | Ensayo Hidrometría | 31 |
| Anexo 4. | Curvas Tensión-Deformación | 35 |

Índice de figuras

| | | |
|-------------------|---|-----------|
| Figura 1. | <i>Curva típica de Tensión Deformación</i> | 10 |
| Figura 2 | <i>Granulométrica del suelo</i> | 12 |
| Figura 3. | <i>Curva tensión alargamiento de la fibra PET</i> | 13 |
| Figura 4. | <i>Fuentes consultadas</i> | 15 |
| Figura 5. | <i>Tamizado, fabricación de cortadora de PET y preparación de sitio de mezclado.</i> | 15 |
| Figura 6. | <i>Amasado y fabricación de bloques.</i> | 15 |
| Figura 7. | <i>Ensayo</i> | 17 |
| Figura 8. | <i>Tensión deformación de los bloques con fibra Vegetal curvas medias.</i> | 18 |
| Figura 9. | <i>Comportamiento estadístico de la resistencia de bloques con fibra vegetal según la distribución T-Student.</i> | 19 |
| Figura 10. | <i>Área – Resistencia bloques con fibra Vegetal</i> | 20 |

| | |
|--|----|
| Figura 11. Relación Módulo de Elasticidad vs Relación L1/L2 para bloques con fibra Vegetal..... | 20 |
| Figura 12. Tensión deformación de los bloques con fibra PET curvas medias | 21 |
| Figura 13. Comportamiento estadístico de la resistencia de bloques con fibra PET según la distribución T-Student..... | 22 |
| Figura 14. Área – Resistencia bloques con fibra PET | 23 |
| Figura 15. Relación Módulo de Elasticidad vs Relación L1/L2 para bloques con fibra PET | 23 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Límites de Atterberg..... | 13 |
| Tabla 2. Dimensiones y cantidades de muestras | 14 |
| Tabla 3. Características de un bloque | 16 |
| Tabla 4. Cantidades de material para un bloque | 16 |
| Tabla 5. Resistencia promedio de bloques con fibra vegetal..... | 19 |
| Tabla 6. Resistencia de Bloques reforzado con PET..... | 22 |

Capítulo 1: Descripción de la Investigación

1.1. Planteamiento del problema

La necesidad de innovar en el área de la construcción lleva a la búsqueda de nuevos materiales en su mayoría poco convencionales para lograr edificaciones que responden correctamente a las normativas vigentes e incluso pueden llegar a modificar las existentes o simplemente crear una normativa nueva. Según Park et al. (2004) innovar es incorporar ideas nuevas capaces de generar cambios. La intención de esta investigación es que esos cambios no tienen que ser con la inclusión de una alta tecnología, sino que pueden provenir de la reutilización de materiales antiguos y que en algún momento fueron desplazados o desechados por ser considerados obsoletos, poco prácticos o sencillamente innecesarios.

En este sentido, el adobe, que resulta de mezclar amasando de un suelo arcilloso, agua, arena- si se requiere- y fibra vegetal, es uno de esos materiales que fue desplazado en el tiempo con la llegada de materiales obtenidos mediante procesos industriales. Al respecto, cabe destacar que la ejecución de este producto tan básico ha estado presente desde hace miles de años, pero permaneció opacado por otros materiales de construcción sobre todo en países desarrollados y sólo ha quedado para en zonas rurales de países en desarrollo.

Por otra parte, el Tereftalato de Polietileno, mejor conocido como PET por sus siglas en inglés (polyethylene terephthalate) es un tipo de plástico utilizado para la elaboración de botellas, films y textiles. Según estudios realizado por Padiál (2016), el PET es considerando uno de los materiales fáciles de reutilizar, de reciclar, pero también es uno de los que causa mayor daño ecológico. Éste se acumula en gran cantidad como basura ya que su degradación en el medio ambiente puede durar entre 200 a 300 años.

A lo anterior, Venezuela no cuenta con una cultura de reciclaje por lo que el presente sería una buena oportunidad para impulsarla para darle fin a la acumulación de plástico en quebradas, ríos y mares.

Como fue dicho en esta investigación se planea juntar uno de los materiales más antiguos del planeta como el adobe con un material de degradación lenta como el PET con el objeto de evaluar la posibilidad de sustituir la fibra vegetal por fibras PET. Planea además evaluar la incidencia de la geometría de las secciones en los valores de resistencia obtenidos de ensayos en laboratorio.

Con base en lo anterior surge la siguiente interrogante: Tomando en cuenta las propiedades mecánicas, ¿Será verdaderamente factible sustituir como fibra de refuerzo la tradicional fibra vegetal por cintas de PET?

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo general

Analizar las propiedades mecánicas del adobe reforzado con fibras de Tereftalato de Polietileno (PET).

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar propiedades mecánicas de bloques macizos de adobe reforzado con fibra vegetal
- Determinar propiedades mecánicas de bloques macizos de adobe reforzado con fibra PET.
- Analizar las propiedades mecánicas de bloques macizos de adobe

1.3. Antecedentes

Autores: J. Alejandro Ruiz S. y Francisco Vidal S. (2015)

Título: “Caracterización Mecánica De Piezas De Adobe Fabricado En La Región De Tuxtla Gutiérrez”. Trabajo realizado para la revista ESPACIO I+D. Universidad Autónoma de Chiapas, México y Universidad de Granada, España.

Se analizaron las propiedades mecánicas del adobe tradicional con fibra vegetal en la región de Tuxtla Gutiérrez en México puesto que en esa región existen edificios históricos construidos con adobe y que el material continúa utilizándose. Se estudiaron la resistencia a compresión y resistencia a la flexión de piezas individuales de adobe y también realizaron pruebas de compresión en pilas. Se concluyó con base en los resultados obtenidos comparados con las normas peruana y ecuatoriana que el adobe fabricado en esa región posee características mecánicas adecuadas para un buen comportamiento mecánico. Incito además a la redacción de un documento formal con los lineamientos para la construcción con este material.

Autor: José A. López O. (2013)

Título: “Suelos Arcillosos Reforzados Con Materiales De Plástico Reciclado (PET)”. Trabajo especial de grado. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Colombia.

Este trabajo se centra en el análisis de las características mecánicas de suelo reforzado con fibras de PET de 3 y 5 cm de longitud y con una anchura hasta ahora desconocida. Esas fibras fueron agregadas variando su cantidad en función de porcentajes del peso del suelo. Aunque este trabajo no trata del adobe directamente, los materiales utilizados son los materiales claves en la fabricación del adobe que trata el presente trabajo. Se llegó a la conclusión de que las fibras PET mejoran las propiedades del suelo.

Autores: Sandra M. Llumitasig C. y Ana Lissette Siza S. (2017)

Título: “Estudio de la resistencia a compresión del adobe artesanal estabilizado con paja, estiércol, savia de penca de tuna, sangre de toro y análisis de su comportamiento sísmico usando un modelo a escala”.

Trabajo especial de grado. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador

Se determinó la resistencia a compresión de un barro aplicándole diferentes estabilizantes. Se concluyó que el barro humedecido con días de antelación facilita el amasado ya que activa la mayor cantidad de partículas de arcilla, antes de hacer el mortero de barro. Concluyó además que con la adición de los estabilizantes su resistencia a la compresión aumenta.

Autor: Andrea Vásquez G. (2018)

Título: “Refuerzo estructural con PET reutilizado. Aplicación en adobe”

Trabajo de investigación. Universidad Politécnica de Madrid, España

Se realizó ensayos de tracción, compresión y pull-out del adobe reforzado perimetralmente con tiras de PET. También se realizó una simulación numérica mediante elementos finitos. Se concluyó que el Polietileno Tereftalato (PET) por su alta resistencia mejora el comportamiento mecánico del adobe. Se concluyó además que las viviendas de adobe con refuerzo de PET sometidas a agentes externos como por el ejemplo las acciones sísmicas resisten el doble de lo que resistirían si éstas estuvieran sin el refuerzo PET.

Autor: Roel E. Mamani C. (2009)

Título: “Prototipo de vivienda con adobe mejorado en el distrito de Chupa – Azángaro”

Trabajo especial de grado. Universidad Nacional del Altiplano, Perú

Como parte de la evaluación del mejor prototipo de vivienda de adobe se evaluó la posibilidad de una mezcla de adobe con PET. Se determinó la resistencia de la mezcla además de otras características que se buscaban. En cuanto a resistencia y a calidad, se concluyó que el adobe mejorado con PET sobrepasa el adobe tradicional incluso al disminuir su volumen. Se recomendó la utilización de un material para mejorar la adherencia del PET al adobe y, para tales fines en ese trabajo se optó por utilizar el cemento.

Autor: Nelson Ortiz (2017)

Título: “Plan De Proyecto para la Instalación y puesta en marcha de una planta recicladora de Polietileno Tereftalato en la parroquia Coche, Distrito Capital”. Trabajo especial de grado. UCAB

Señaló que el PET presenta excelentes propiedades mecánicas. Según su investigación, El PET tiene un módulo de flexión $E_b = 1450 \text{ Kg/cm}^2$, una DUREZA de entre 85 – 87 Shore D y posee una baja tenacidad (15% de alargamiento a la fractura) pero se puede mejorar con el soplado durante el proceso de producción de envases sin perder resistencia mecánica necesaria para espesores tan bajos. Además, señalo que posee una alta sensibilidad a las entallas y defectos superficiales

Autor: William Reyes (2008)

Título: “Estudio de factibilidad técnico-económico para la creación de una planta de reciclado mecánico tradicional de PET en Venezuela”. Trabajo especial de grado. UCAB

Este trabajo se desarrolló para determinar la factibilidad económica para la realización de una planta de reciclado de PET en Venezuela. Se estudió el mercado a nivel nacional e internacional y se realizó un estudio técnico, financiero y económico. El autor señaló que, según datos extraídos de un análisis en Venezuela realizado por la Organización mundial de la Salud en el año 2000, la cantidad de treinta y seis mil ocho cientos noventa toneladas (36.890 TM) de PET llega a la Bonanza, uno de los principales rellenos sanitarios del país. Llegó a la conclusión de que la planta tendría un costo de la inversión de un millón ochenta cinco mil setenta con cincuenta tres céntimos de dólares (\$ 1.085.070,53) considerando financiamiento y por supuesto tasas de interés. Consideró además que el proyecto es perfectamente factible recalcando que el mayor desafío es la educación del consumidor para lograr que el sistema de recolección del PET funcione.

1.4. Justificación

La justificación de este trabajo es darle un nuevo uso a uno de los materiales más contaminante por ser de alto nivel de uso como envases de agua mineral, bebidas gaseosas y aceites de cocina como lo es el PET.

1.5. Alcance y Limitaciones

Este estudio se centra en la determinación de propiedades mecánicas del adobe reforzado con PET.

Fue desarrollado con bloques de mezcla de suelo arcilloso, arena y agua, reforzado con fibra vegetal a manera de patrón o testigos y bloques de mezcla de suelo arcilloso arena y agua, reforzado con fibra PET a manera de variables en estudio.

Capítulo 2: Marco Teórico

2.1. Bases Legales

En Venezuela no existe una normativa vigente que trata sobre el adobe. Este trabajo se apoya sobre la norma peruana vigente “E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada” para posteriormente hacer los ajustes necesarios para la realización de una norma venezolana.

La norma peruana E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada describe las pruebas que se deben realizar para evaluar el adobe en sitio:

- Anexo N°1, página 19 de la norma, “Prueba de la Cinta de barro”.
- Anexo N°2, página 20 de la norma, “Prueba de la Presencia de arcilla”.
- Anexo N°4, página 21 de la norma, “Prueba de “Control de fi suras” o “Dosificación suelo - arena gruesa”

Las normas utilizadas para la caracterización del suelo:

- CONVENIN 255-98. Agregados. Determinación de la Composición Granulométrica.
- COVENIN 1125-77. Suelos. Método de Ensayo para la Determinación de los Límites Líquidos y Plásticos.
- ASTM C 136-05. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Tereftalato de Polietileno (PET)

El Tereftalato de Polietileno, mejor conocido como PET por sus siglas en inglés (polyethylene terephthalate) es un material sintético cuya materia prima es el petróleo. Según lo descrito por Canciani (2006) en su investigación denominada “Estudio de Factibilidad para la conformación de una Empresa de Reciclaje de Polietileno en

Venezuela”. Según González y Rodas (2015), su descubrimiento remonta a los años 1941 en los laboratorios de una empresa textil británica como resultado de la búsqueda de sustituir al algodón. Se convirtió en el material para envasar más utilizado de la época.

En la actualidad, sigue siendo uno de los materiales más utilizados como envases. Se sabe que es uno de los materiales fáciles de reutilizar y de reciclar por sus características como su durabilidad, su baja densidad. Pero según datos de la ONU (Organización de las Naciones Unidas) es uno de los materiales que causa mayor daño ecológico por la gran cantidad de éste que se acumula como basura, pues su degradación es lenta.

2.2.2.El Adobe

El adobe es un bloque de tierra preparado sin cocer y secado al aire libre compuesto por arena, limo, arcilla, fibra vegetal, y agua. La norma E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada en su artículo 3.2 lo define como “Unidad de tierra cruda, que puede estar mezclada con paja u arena gruesa para mejorar su resistencia y durabilidad.” Por lo general se le coloca fibras orgánicas como la paja o cualquier otra fibra vegetal disponible en el sitio. Según Houben y Guillaud (1994), el adobe es el material más antiguo del mundo capaz de permitir las construcciones duraderas.

Según Pereira y Castro (2011) el adobe alcanza su resistencia al secarse por su contenido de arcilla. A este punto es importante resaltar que la relación arcilla-arena es muy importante. Según un estudio de resistencia a compresión simple del adobe realizado en Cuba por Saroza et al. (2008) *“... si no hay suficiente arcilla en la mezcla no se conseguirá la cohesión necesaria de todas las partículas para soportar las acciones a las que estará sometida y se desmorona. Por el contrario, si no hay suficiente arena el ladrillo se fisura por retracción de la arcilla durante el proceso de secado. Si el contenido de arena que presenta el suelo se encuentra por debajo de los parámetros requeridos para su uso como material de construcción se puede*

recurrir a la adicción de arena para mejorar sus propiedades". Según siguen indicando, no existe un criterio exacto de como proponer una composición para el diseño de la mezcla por lo que se han establecido un rango como resultado de diferentes criterios de entre 20 a 50% de arcilla y de entre 50 a 80% de arena y que la posible adicción de arena se debe hacer con sumo cuidado pues no solo reduce la retracción sino que también aumenta la porosidad disminuyendo así la cohesión y por lo tanto se pierden propiedades mecánicas de la mezcla. Además, se indicó que la fibra vegetal también es importante ya que limita las variaciones de volumen que se producen en el adobe durante el proceso de retracción que ocurre en la etapa de secado. En cuanto a la cantidad de agua, señalo que el suelo ideal para hacer el adobe es el que tiene bajo índice de plasticidad ya que se requerirá menor cantidad de agua para el amasado. En el caso contrario, caso en el que el índice de plasticidad sea alto, se necesitará mayor cantidad de agua por lo tanto se tendrán mayores retracciones. Se consideró entonces un límite líquido entre 20 y 40 y un límite plástico inferiores a 20.

Es importante no confundir adobe con bahareque pues el bahareque es la aplicación de la misma mezcla, pero "lanzada" verticalmente sobre compuesto de cañas o palos entretejidos hasta formar el muro.

2.2.3. Curva de Tensión- Deformación

La curva de tensión deformación es importante para determinar las propiedades mecánicas de un material. Ésta relaciona la tensión que según Popov (2000), es el parámetro más significativo que la fuerza aplicada ya que su efecto sobre un material depende del área de la sección transversal del miembro; y la deformación, parámetro que se obtiene directamente del cociente de la lectura del alargamiento entre la altura del miembro.

Es oportuno señalar que la obtención de la curva es netamente experimental. El material a evaluar se somete a una fuerza exterior axial, éste se deforma en

proporción directa con la carga y su altura, e inversamente proporcional al área de su sección transversal.

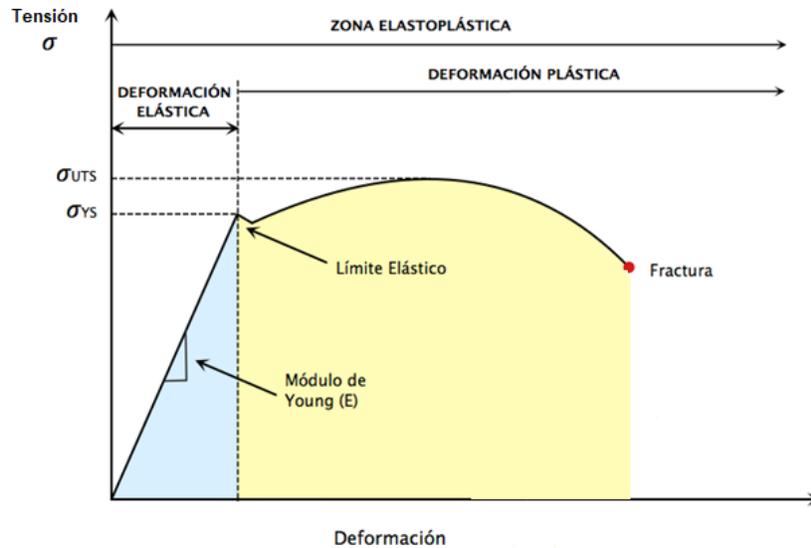


Figura 1. Curva típica de Tensión Deformación

Fuente: Valdés et al. (2014)

Según el Park y Paulay (1988) la curva permite clasificar los materiales en dos (2) categorías:

- Material dúctil.

Los diagramas de materiales dúctiles se caracterizan por ser capaces de resistir grandes deformaciones antes de la rotura.

- Material frágil

Los diagramas de materiales frágiles se caracterizan por un alargamiento bajo cuando llegan al punto de rotura.

Además, la curva de tensión deformación permite obtener el módulo de elasticidad también conocido como módulo de Young. El módulo de elasticidad es la pendiente de la línea recta que se forma la zona elástica de la curva. Es el parámetro que caracteriza el comportamiento elástico de un material.

Capítulo 3: Marco Metodológico

3.1. Tipo de la investigación

El tipo de investigación que corresponde a este estudio es de tipo experimental de campo descriptivo y exploratorio, pues se basa en la observación y descripción del comportamiento del adobe reforzado con PET como un material estructural poco estudiado.

Las tablas e imágenes que no contengan información de fuente, fueron desarrollados por el autor.

3.2. Población y Muestra

La población estaba conformada por 2 familias de bloques. Una de las familias eran bloques con fibra vegetal y la otra familia era bloques con fibras PET. Cada familia constaba de 18 bloques de 50x30x10 cm que fueron picados. En el presente la muestra coincide con la población de 54 bloques. Y está constituida por 27 bloques de diferentes tamaños para cada tipo de familia.

3.3. Recolección de datos

Los datos experimentales fueron recabados mediante grabaciones.

3.4. Equipos de aplicación de carga

Prensa Universal IBERTEST del Laboratorio de Materiales de Construcción y Tecnología del Concreto de la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB).

3.5. Instrumentos de medición

- Comparador de carátula

3.6. Variables de los ensayos

3.6.1. Variables dependientes

- Carga de falla (Kgf)
- Resistencia de probetas (kgf/cm²)
- Deformación. (Adimensional)

3.6.2. Variables independientes

- Carga aplicada al miembro (kgf).
- Resistencia del adobe.

3.6.3. Elementos a mantener constantes

- Velocidad de la aplicación de la carga.
- La relación de suelo/agua/arena.
- Dosificación fibra vegeta
- Dosificación fibra PET

3.7. Materiales utilizados

A. Suelo

- Granulometría

El ensayo de granulometría se desarrolló de acuerdo de la norma CONVENIN 255-98. Agregados. Determinación de la Composición Granulométrica.”

A continuación, los resultados del ensayo:

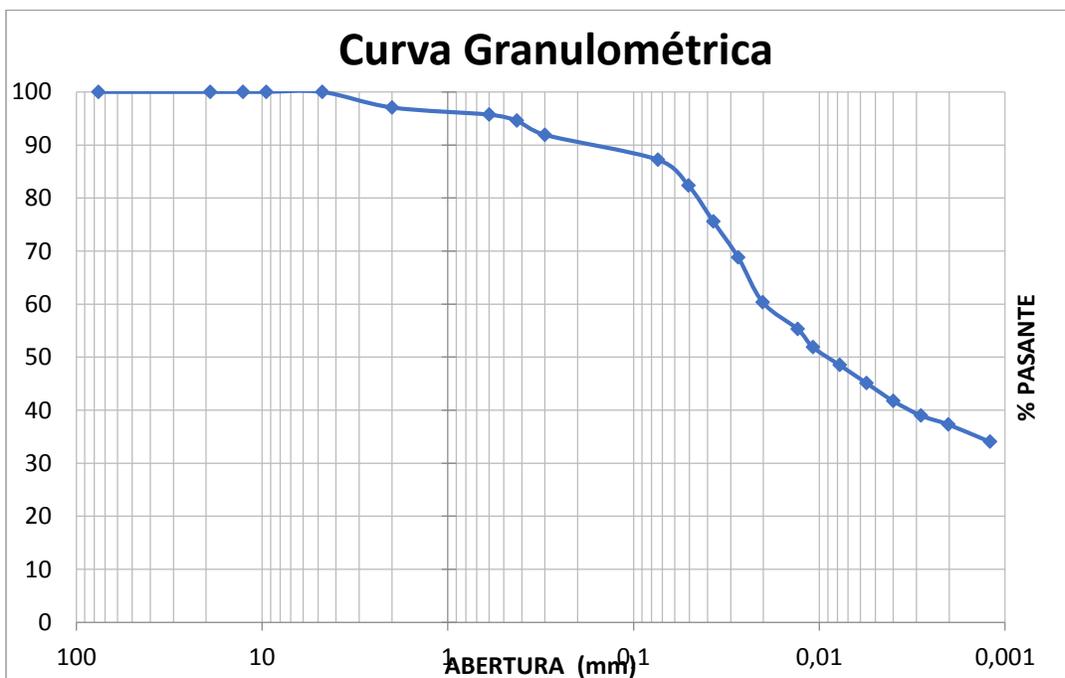


Figura 2 Granulométrica del suelo

Se aprecia en la curva que más del 80% de la muestra contiene arcilla y limo de los cuales 37% es arcilla y 49,93% es limo.

- Límites de Atterberg

| | |
|-----------------------|--------|
| Límite líquido | 48,22% |
| Límite plástico | 25,99% |
| Índice de plasticidad | 22,23% |

Tabla 1. Límites de Atterberg

Según el Sistema unificado de clasificación de suelos (USCS) este suelo es una arcilla de baja a mediana plasticidad (CL).

B. Fibra PET

Las fibras PET fueron obtenidas de botellas de refresco. Cortadas con una anchura de 5mm y con una longitud de 11cm.

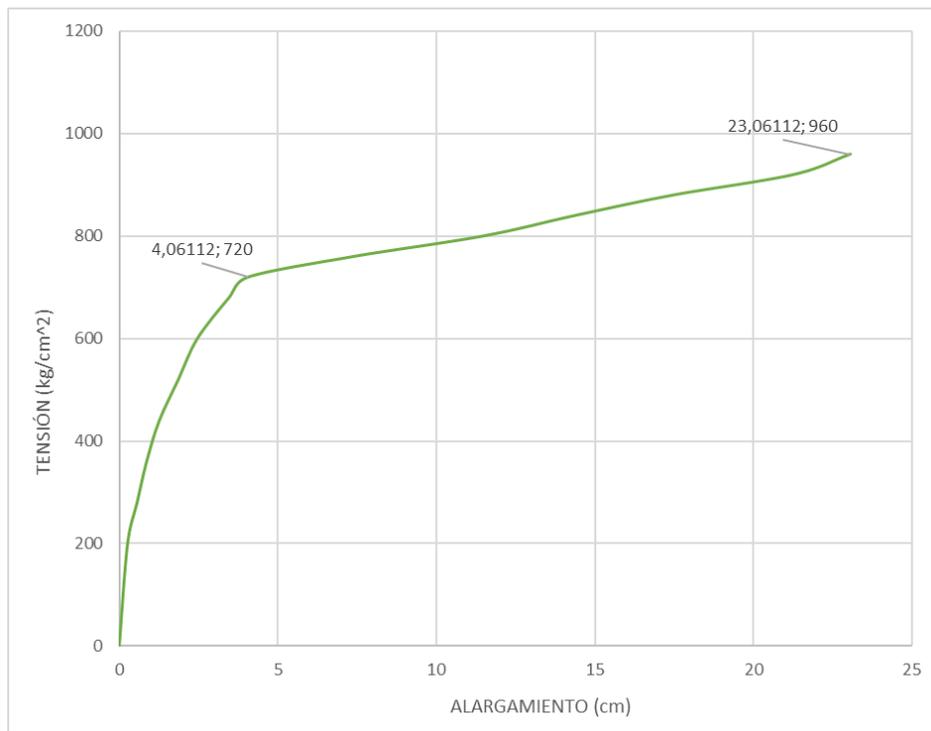


Figura 3. Curva tensión alargamiento de la fibra PET

Fuente: Matheus y Medina (2019)

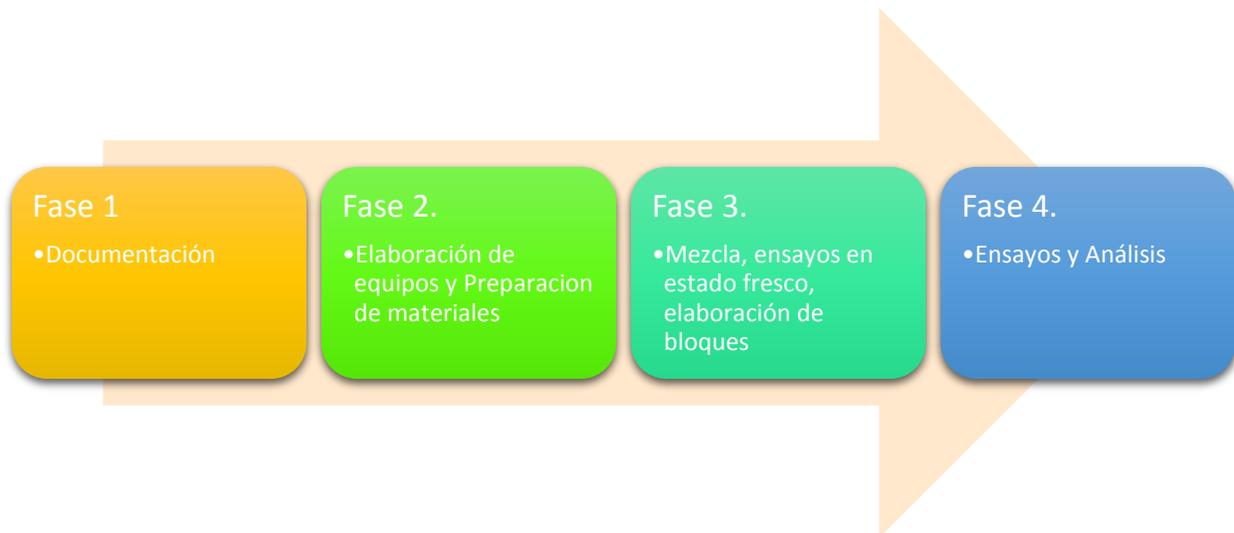
3.8. Diseño Experimental

Se ensayaron a compresión los bloques de diferentes dimensiones con cantidades iguales para cada familia.

| Dimensiones(cm) | | | Cantidad de muestra | |
|-----------------|----|---|---------------------|-----------|
| | | | Fibra vegetal | Fibra PET |
| 20 | 20 | 9 | 4 | 4 |
| 10 | 10 | 9 | 6 | 6 |
| 10 | 8 | 9 | 5 | 5 |
| 14 | 10 | 9 | 3 | 3 |
| 29 | 16 | 9 | 5 | 5 |
| 29 | 12 | 9 | 4 | 4 |

Tabla 2. Dimensiones y cantidades de muestras

3.9. Fase de Ejecución



3.9.1. Fase 1. Documentación

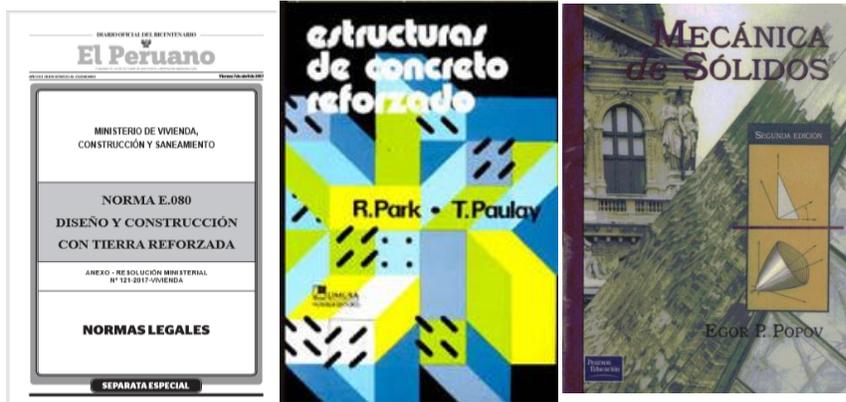


Figura 4. Fuentes consultadas

3.9.2. Fase 2. Elaboración de equipos y preparación de materiales



Figura 5. Tamizado, fabricación de cortadora de PET y preparación de sitio de mezclado.

3.9.3. Fase 3. Mezcla y elaboración de los bloques.



Figura 6. Amasado y fabricación de bloques.

Para la elaboración de los bloques de ha realizaron distintas mezclas de prueba solo con el suelo variando la cantidad de agua. Con base en los resultados observados luego de días de secados se decidió agregar arena a la mezcla. Se consideraron las recomendaciones de investigaciones anteriores.

A continuación, las características de los bloques fabricados que luego fueron picados.

| BLOQUE | | |
|-------------------|----------|-------|
| Dimensiones | 50X30X10 | |
| volumen | m3 | 0,015 |
| Densidad | Kg/m3 | 1600 |
| Peso de un bloque | Kg | 23,99 |

Tabla 3. Características de un bloque

Para la elaboración de la mezcla para un bloque, estas son las cantidades de suelo y de arena. Por cuestión de ahorro de material se elaboraron con una cantidad de arena de 50 %.

| Para 1 bloque | |
|------------------------|-------|
| Masa suelo (kg) | 5,93 |
| Masa arena (kg) | 18,07 |
| Cantidad de agua (Its) | 7,5 |
| Cantidad de fibras (g) | 150 |

Tabla 4. Cantidades de material para un bloque

Las cantidades de fibras son guales para las dos (2) familias.

3.9.4. Fase 4. Ensayo y Análisis



Figura 7. Ensayo

3.10. Procedimiento de ensayos

Se evaluó el comportamiento tensión- deformación de los diferentes tamaños de bloques y de las diferentes familias sometiéndolos a compresión y considerando en la medida de lo posible no variar la velocidad de carga.

Capítulo 4: Resultados Y Análisis

4.1 Propiedades mecánicas de bloques macizos de adobe reforzado con fibra vegetal.

4.1.1 Comportamiento mecánico

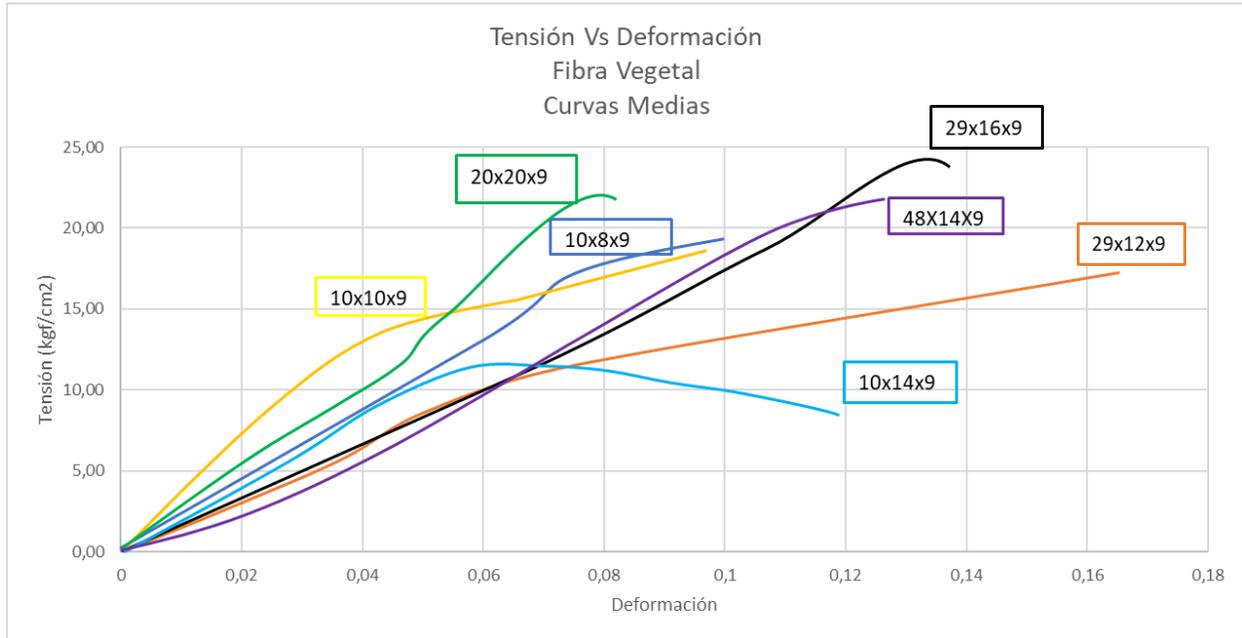


Figura 8. Tensión deformación de los bloques con fibra Vegetal curvas medias.

En la figura 8 se observan las curvas medias de Tensión-Deformación de los bloques. En los anexos aparecen las curvas de cada probeta ensayada. Ver anexo 4.

Los bloques de 20x20x9 tiene mayor módulo de elasticidad seguido de los de 10x10x9 y los bloques de 48x14x9 tiene menor módulo de elasticidad. Los bloques de 29x12x9 tienen mayor ductilidad y los bloques 20x20x9 y 10x10x9 tienen menor ductilidad.

4.1.2 Resistencia

| L1 (cm) | L2 (cm) | L1/L2 | Área (cm ²) | Resistencia Promedio (kgf/cm ²) | T student | Li (kgf/cm ²) | Ls (kgf/cm ²) |
|---------|---------|-------|-------------------------|---|-----------|---------------------------|---------------------------|
| 10 | 10 | 1,00 | 100 | 17 | 2,02 | 15 | 19 |
| 20 | 20 | 1,00 | 400 | 19 | 2,35 | 17 | 22 |
| 10 | 8 | 1,25 | 80 | 15 | 2,13 | 12 | 17 |
| 14 | 10 | 1,40 | 140 | 17 | 2,92 | 12 | 22 |
| 29 | 16 | 1,81 | 464 | 25 | 2,02 | 24 | 26 |
| 29 | 12 | 2,42 | 348 | 19 | 2,35 | 17 | 20 |
| 48 | 14 | 3,43 | 672 | 23 | 2,35 | 19 | 26 |

Tabla 5. Resistencia promedio de bloques con fibra vegetal.

En la tabla L1 Y L2 son las dimensiones mayores y menores respectivamente de la sección transversal de los bloques.

Li y Ls son los limites inferiores y superiores obtenidos para una confianza estadística del 90 % según la distribución T de Student.

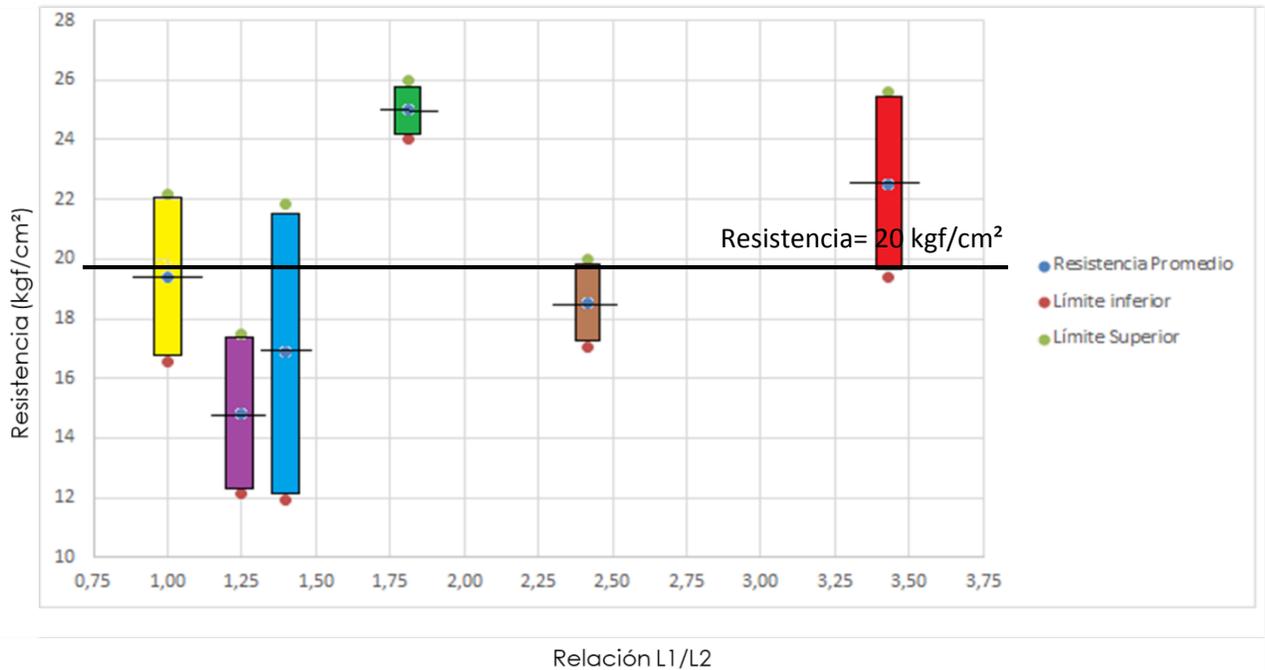


Figura 9. Comportamiento estadístico de la resistencia de bloques con fibra vegetal según la distribución T-Student.

Según la distribución de los datos graficados, se pudiera decir que la resistencia media de los bloques de reforzado con Fibra vegetal es de 20 kg/cm².

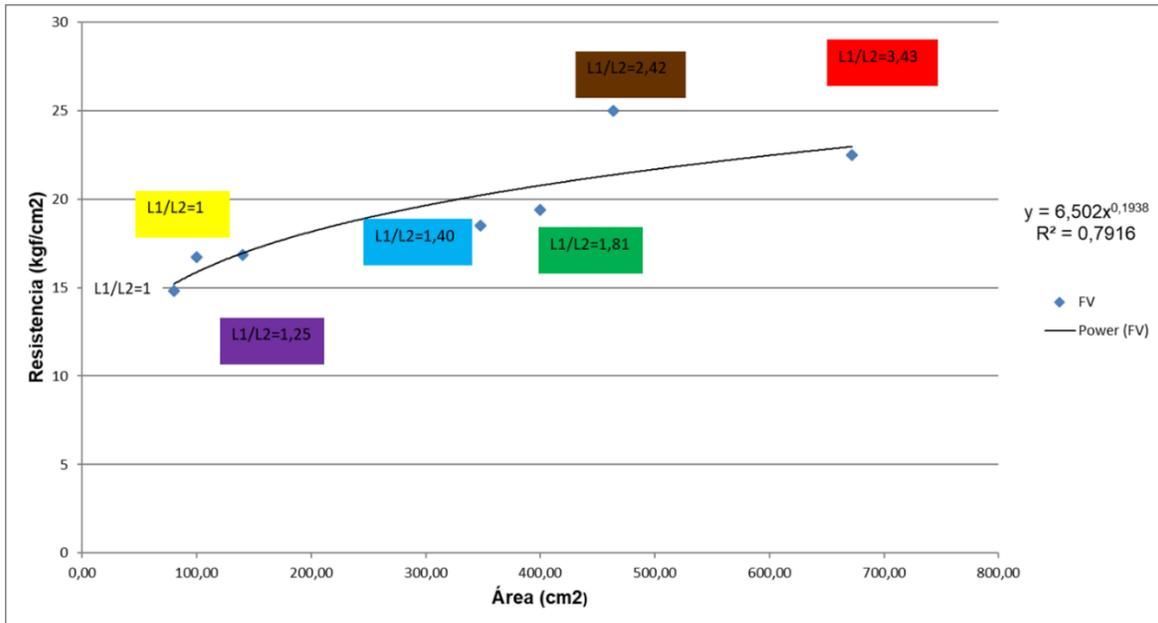


Figura 10. Área – Resistencia bloques con fibra Vegetal

La figura muestra la variación de la resistencia en función del área. Se observa que la resistencia aumenta conforme aumenta el área.

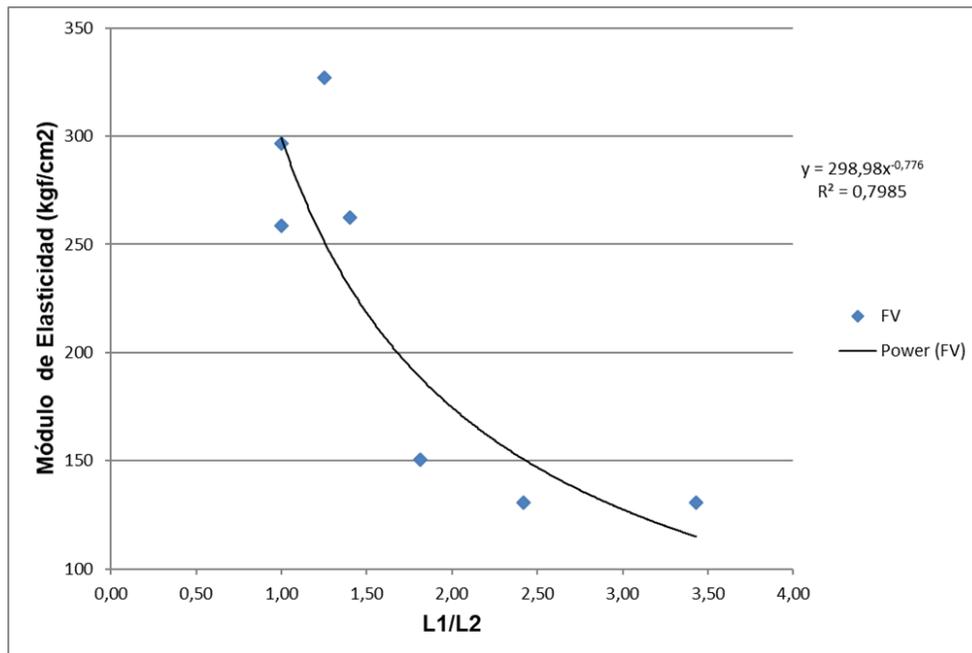


Figura 11. Relación Módulo de Elasticidad vs Relación L1/L2 para bloques con fibra Vegetal

La figura 11 relaciona el módulo de elasticidad con la relación L1/L2 donde L1 es el lado mayor de la sección del bloque que recibe la carga y L2 el lado menor. Según lo esperado, el módulo de elasticidad disminuye con el aumento de la relación L1/L2.

4.2 Propiedades mecánicas de bloques macizos de adobe reforzado con fibra PET.

4.2.1 Comportamiento mecánico

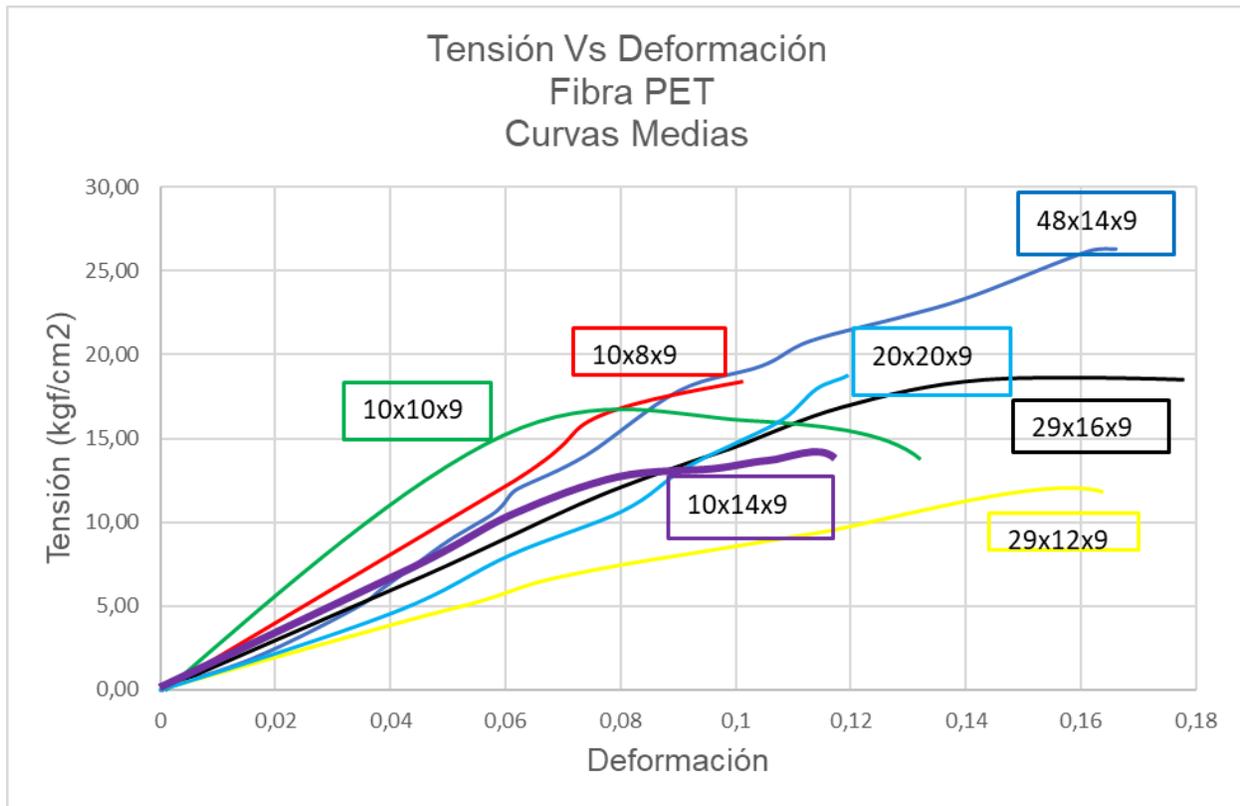


Figura 12. Tensión deformación de los bloques con fibra PET curvas medias

Se visualizan las curvas medias de Tensión-Deformación de los bloques reforzados con fibras PET.

Los bloques 10x10x9 tienen el mayor módulo de elasticidad seguido por los bloques de 10x8x9. Los bloques de 29x12x9 son los que tienen menor módulo. Los bloques de 29x16x9 presentan mayor ductilidad y los de 10x8x9 son dúctiles.

4.2.2 Resistencia

| L1 (cm) | L2 (cm) | L1/L2 | Área (cm ²) | Resistencia Promedio (kgf/cm ²) | T student | Li (kgf/cm ²) | Ls (kgf/cm ²) |
|---------|---------|-------|-------------------------|---|-----------|---------------------------|---------------------------|
| 10 | 10 | 1,00 | 100 | 16 | 2,02 | 13 | 18 |
| 20 | 20 | 1,00 | 400 | 19 | 2,35 | 16 | 22 |
| 10 | 8 | 1,25 | 80 | 16 | 2,13 | 14 | 19 |
| 14 | 10 | 1,40 | 140 | 14 | 2,92 | 9 | 19 |
| 29 | 16 | 1,81 | 464 | 21 | 2,02 | 20 | 23 |
| 29 | 12 | 2,42 | 348 | 18 | 2,35 | 16 | 20 |
| 48 | 14 | 3,43 | 672 | 26 | 2,35 | 23 | 29 |

Tabla 6. Resistencia de Bloques reforzado con PET

En la tabla L1 Y L2 son las dimensiones mayores y menores respectivamente de la sección transversal de los bloques.

Li y Ls son los limites inferiores y superiores obtenidos para una confianza estadística del 90 % según la distribución T de Student.

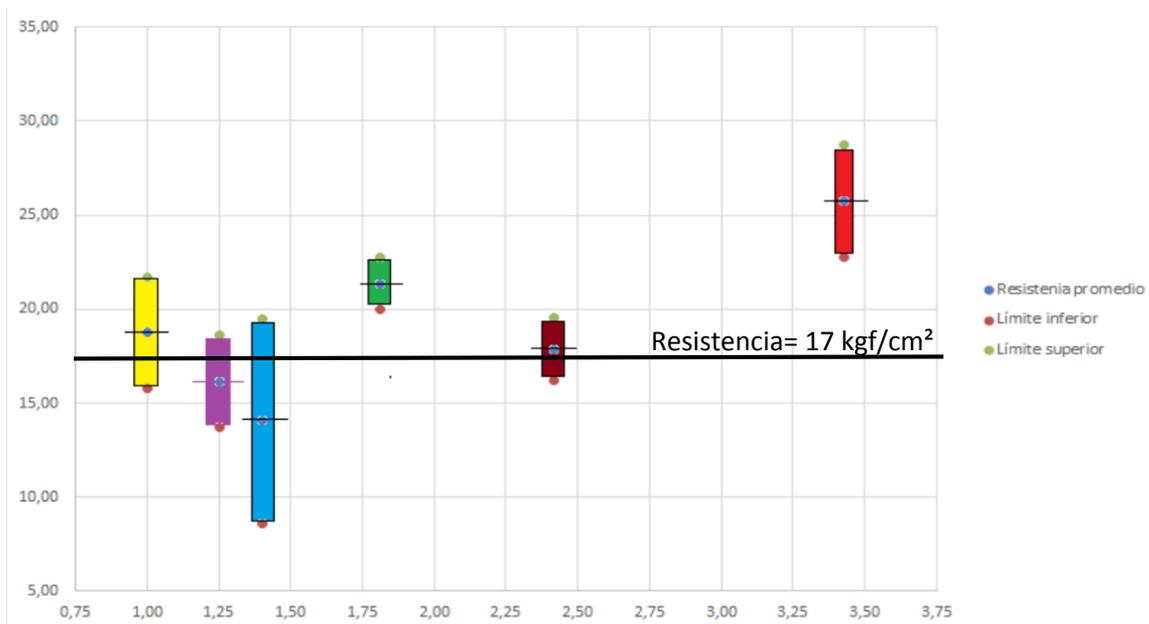


Figura 13. Comportamiento estadístico de la resistencia de bloques con fibra PET según la distribución T-Student.

Según la información que se aprecia en la figura 13, se pudiera decir que la resistencia de los bloques reforzados con PET es 17 kgf/cm².

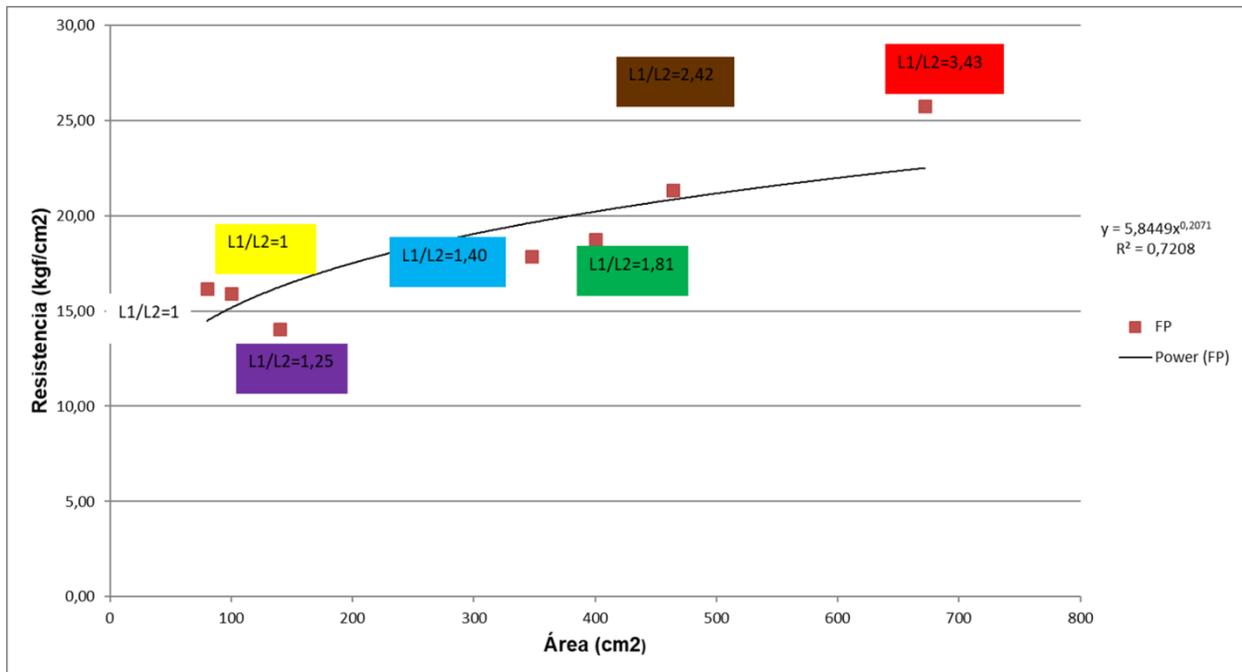


Figura 14. Área – Resistencia bloques con fibra PET

La figura 14 es la representación graficada de la resistencia en función del área. Según lo que se visualiza, a mayor área mayor es la resistencia.

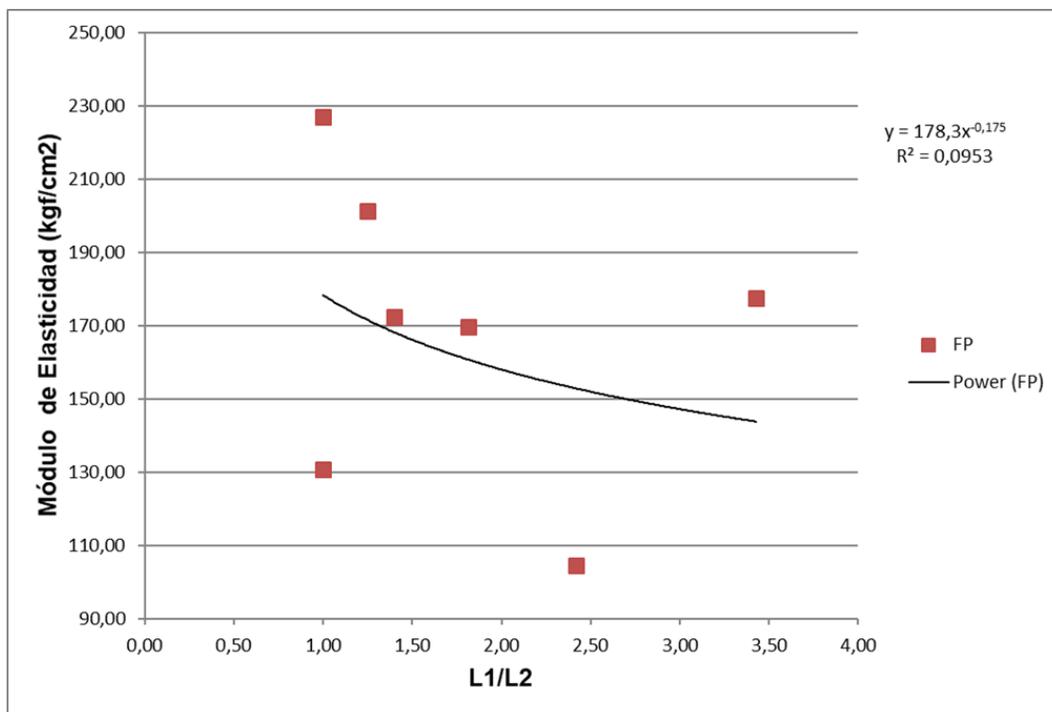


Figura 15. Relación Módulo de Elasticidad vs Relación L1/L2 para bloques con fibra PET

Se observa una distribución de módulo de elasticidad en función de la relación L1/L2 que no sigue una tendencia definida. Siguiendo la mayoría de los puntos graficados, se puede deducir que el módulo de elasticidad disminuye al aumentar la relación L1/L2.

4.3 Análisis de las propiedades mecánicas de bloques macizos de adobe

Al comparar las dos (2) familias de bloques se observa que:

- Los comportamientos mecánicos graficados son parecidos. Las curvas siguen la tendencia esperada de una típica curva de Tensión- Deformación. En ambas familias se repite que los bloques de 10x10 tienen mayor módulo de elasticidad. La ductilidad por otra parte es mayor en algunos casos de bloques de PET.
- La resistencia promedio de las dos (2) familias según la distribución de T- Student para una confianza del 90% son muy cercanas siendo éstas 17kg/cm² para los bloques con fibra PET y 20 Kg/cm² para los bloques con fibra vegetal.
- La variación de la resistencia con respecto al área de la sección transversal es igual para las dos (2) familias. La resistencia aumenta conforme aumenta el área de la sección transversal.
- Los módulos de elasticidad de los bloques reforzado con fibra vegetal son mayores que los de los bloques de reforzados con PET La incidencia geométrica en el módulo de elasticidad de los bloques de fibra vegetal para la relación a L1= L2 es menos dispersa que en los bloques reforzados con PET.

Capítulo 5: Conclusiones

Basado en los resultados obtenidos se concluye que:

- Para una misma cantidad en masa de fibra vegetal y fibra PET, los bloques con fibras Vegetal tienen mayores módulos de elasticidad que los bloques con fibra PET. La ductilidad por su parte varia.
- No se puede comparar la resistencia de bloques de la misma familia de diferentes secciones por la variabilidad tan grande que existe en los resultados en algunos casos. Pero Sin embargo por lo que se pudo deducir con la información recolectada experimentalmente, para bloques elaborados con la misma cantidad en masa de fibra vegetal y PET, los bloques con fibra vegetal resisten más.
- El área de la sección transversal influye en la resistencia en ambos casos, siendo una resistencia mayor para un área mayor.
- La incidencia geometría representada por la relación $L1/L2$ sobre el modulo de elasticidad es importante pues ponen en evidencia que para una relación $L1=L2$ los módulos son mayores en ambos casos.

Capítulo 6: Recomendaciones

Se recomienda:

- Hacer mayor número de ensayos para determinar la resistencia a la compresión de los bloques.
- Cambiar la anchura de las fibras PET por una más pequeña para que ésta se comporte mejor como la fibra vegetal pues se asocia la pérdida de propiedades mecánicas de los bloques reforzados con PET a las posibles fisuras que estas presentaban.
- Cambiar los tamaños de los bloques.
- Hacer ensayos a compresión de bloques con adicción de PET en diferentes formas.
- Determinar la resistencia a corte de una pila de bloques con fibra vegetal y con fibra PET.
- Determinar la resistencia a la flexión de bloques de adobe reforzado con fibra vegetal y también el caso de boques reforzado con PET.
- Determinar la resistencia a la flexión de una pila de bloques para las dos (2) familias de bloques.

Bibliografía

Ortiz, N. (2017) “Plan de proyecto para la instalación y puesta en marcha de una planta recicladora de polietileno tereftalato en la parroquia coche, distrito capital” trabajo especial de grado. Universidad Católica Andrés Bello.

Ruiz J. y Vidal F. (2015) “Caracterización Mecánica De Piezas De Adobe Fabricado En La Región De Tuxtla Gutiérrez”. Trabajo realizado para la revista ESPACIO I+D. Universidad Autónoma de Chiapas, México y Universidad de Granada, España.

López J. (2013) “Suelos Arcillosos Reforzados Con Materiales De Plástico Reciclado (PET)”. Trabajo especial de grado. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Colombia

Llunitasig S. y Siza A. (2017) “Estudio de la resistencia a compresión del adobe artesanal estabilizado con paja, estiércol, savia de penca de tuna, sangre de toro y análisis de su comportamiento sísmico usando un modelo a escala”. Trabajo especial de grado. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador

Vásquez, A. (2018) “Refuerzo estructural con PET reutilizado. Aplicación en adobe” Trabajo de investigación. Universidad Politécnica de Madrid, España

Mamani R. (2009) “Prototipo de vivienda con adobe mejorado en el distrito de Chupa – Azángaro” Trabajo especial de grado. Universidad Nacional del Altiplano, Perú

Reyes W. (2008) “Estudio de factibilidad técnico-económico para la creación de una planta de reciclado mecánico tradicional de PET en Venezuela”. Trabajo especial de grado. UCAB

E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada

CONVENIN 255-98. Agregados. Determinación de la Composición Granulométrica.

COVENIN 1125-77. Suelos. Método de Ensayo para la Determinación de los Límites Líquidos y Plásticos.

ASTM C 136-05. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.

Park, R. y Paulay, T. Estructuras de Concreto Reforzado. Departamento de ingeniería civil universidad de Canterbury. Editorial limusa. Mexico, 1983.

Houben, H. and Guillaud, H. (1994). Earth Construction – A Comprehensive Guide.

ITDG Publishing, London, UK

Saroza Horta, B. “Identificación de la composición óptima del adobe como material de construcción de una escuela en Cuba”. N° 282. Mater. Construcc. ISSN: 0465-2746. Madrid, España. 2005.

Valdés et al. (2014) “Determinación de las Curvas Tensión-Deformación sobre Cargas Axiales de una Tropical”. Trabajo de investigación.

Popov E. “Mecánica de Sólidos”. Segunda edición. Editorial Pearson Educación, México, 2000.

Matheus L. Y Medina S. (2019) “Análisis de la incidencia de exorefuerzo en manto PET sobre el comportamiento de probetas normalizadas de concreto sometidas a tensiones de compresión”. Trabajo especial de grado. UCAB.

Park M., y Nepal M.P., y Dulaimi M.F. (2004), "Dynamic modeling for construction innovation". Journal of Management in Engineering,

Padial (2016), "¿Cuánto tarda en degradarse una botella de plástico?". Trabajo de investigación.

Canciani M. (2006) “Estudio de Factibilidad para la conformación de una Empresa de Reciclaje de Polietileno en Venezuela”. Trabajo de especialización postgrado. Universidad Simón Bolívar.

González, C. y Rodas L. (2015) “Ecoladrillos, estudios y propuesta de tabiques para medio local”. Universidad de cuenca, Ecuador.

Pereira, L.A. y Castro, J.P (2011) “Physical and mechanical behaviour of recycled PET fibre reinforced mortar, Elsevier.”

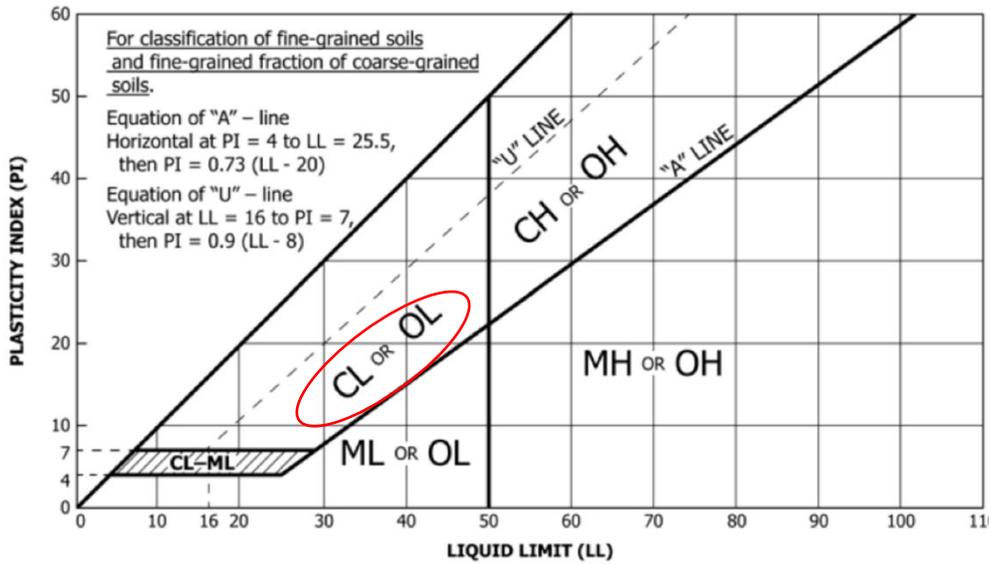
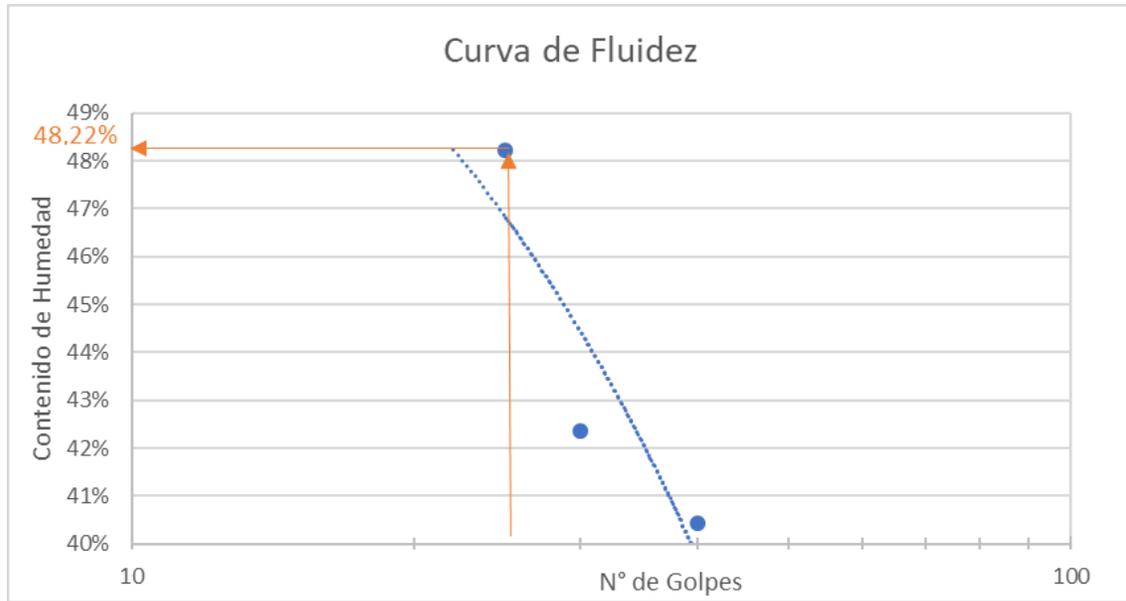
Anexos

Anexo 1. Tabla de la granulometría del suelo

| Tamiz | Abertura (mm) | Retenido acum. (gr) | Retenido (gr) | % Retenido | %Retenido acum. | % Pasante |
|--------------------------|---------------|---------------------|---------------|------------|-----------------|-----------|
| # 4 | 4,750 | | 0,00 | 0,00% | 0,00% | 100,00% |
| #10 | 2,000 | 29,70 | 29,70 | 2,94% | 2,94% | 97,06% |
| #20 | 0,850 | 73,00 | 43,30 | 4,29% | 7,23% | 92,77% |
| #40 | 0,425 | 127,60 | 54,60 | 5,41% | 12,63% | 87,37% |
| # 80 | 0,180 | 209,40 | 81,80 | 8,10% | 20,73% | 79,27% |
| # 200 | 0,075 | 339,00 | 129,60 | 12,83% | 33,56% | 66,44% |
| fondo/pasante #200 | | | 671,10 | 66,44% | 100,00% | 0,00% |
| | | | | 1010,1 | | |
| Total masa de la muestra | | 1010,1 | gr | | | |

Anexo 2. Límite De Atterberg

| LIMITE LIQUIDO | | | | | |
|--------------------------------|-----|--------|--------|--------|--|
| Muestra | N° | 1 | 2 | 3 | |
| Golpes | N° | 40 | 30 | 25 | |
| Recipiente | N° | 03 | 56 | 199 | |
| Masa Recipiente | (g) | 29,70 | 28,11 | 26,90 | |
| Masa Recipiente + Suelo Húmedo | (g) | 56,10 | 58,70 | 56,10 | |
| Masa Recipiente + Suelo Seco | (g) | 48,50 | 49,60 | 46,60 | |
| Masa de agua | (g) | 7,60 | 9,10 | 9,50 | |
| Masa Suelo seco | (g) | 18,80 | 21,49 | 19,70 | |
| Contenido de Humedad | | 40,43% | 42,35% | 48,22% | |
| LIMITE PLASTICO | | | | | |
| Muestra | N° | 1 | 2 | 3 | |
| Recipiente | N° | 01 | 02 | 04 | |
| Masa Recipiente | (g) | 31,6 | 31,4 | 32,6 | |
| Masa Recipiente + Suelo Húmedo | (g) | 40,10 | 44,60 | 50,10 | |
| Masa Recipiente + Suelo Seco | (g) | 38,60 | 41,80 | 46,10 | |
| Masa de agua | (g) | 1,50 | 2,80 | 4,00 | |
| Masa Suelo seco | (g) | 7,00 | 10,40 | 13,50 | |
| Contenido de Humedad | | 0,21 | 0,27 | 0,30 | |



| | |
|-----------------------|--------|
| Límite líquido | 48,22% |
| Límite plástico | 25,99% |
| Índice de plasticidad | 22,23% |

CL ARCILLA DE BAJA A MEDIANA PLASTICIDAD

Anexo 3. Ensayo Hidrometría

ENSAYO HIDROMETRÍA
HIDRÓMETRO 152-H ASTM
DATOS INICIALES

Fabienne Arcius
junio de 2019

Peso Seco de la muestra de suelo. (gramos)
Gravedad Específica de la muestra de Suelo.
Corrección por Menisco
Corrección Zero por Desfloculante
Corrección por Gravedad Específica

Cm
 Cd
 a

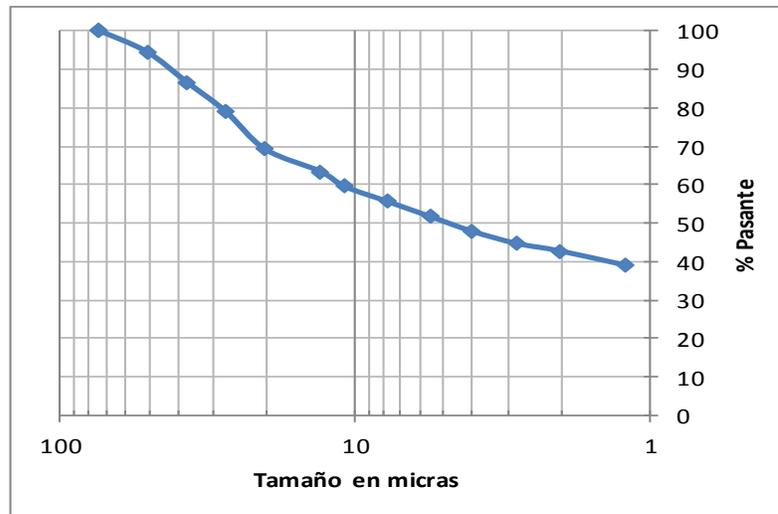
| |
|-------------|
| 50 |
| 2,7 |
| 1 |
| 4 |
| 0,970588235 |

Desfloculante: Metafosfato de Sodio. (Solución de 40 gramos/litro para 1/8 por ensayo))

Material Pasnate Tamiz N° **200** **Apertura** **74** micras

| horas | tiempo minutos | Temperatura T °C | Lectura R | Diámetro micras | Pasante % | inicio |
|-------|----------------|------------------|-----------|-----------------|-----------|-------------|
| | 0,01 | 25 | | 74 | 100 | 8:00 a. m. |
| | | valor calculado | | 74 | 100,00 | |
| 30s | 0,5 | 25 | 50 | 50,6 | 94,43 | |
| | 1 | 25 | 46 | 37,26 | 86,7 | |
| | 2 | 25 | 42 | 27,34 | 78,9 | |
| | 4 | 25 | 37 | 20,17 | 69,2 | |
| | 10 | 25 | 34 | 13,1 | 63,37 | |
| | 15 | 25 | 32 | 10,83 | 59,5 | |
| | 30 | 25 | 30 | 7,77 | 55,6 | |
| 1 | 60 | 25 | 28 | 5,58 | 51,7 | 9:00 a. m. |
| 2 | 120 | 25 | 26 | 4,00 | 47,8 | 10:00 a. m. |
| 4 | 240 | 26 | 24 | 2,84 | 44,7 | 12 m |
| 8 | 480 | 26 | 23 | 2,02 | 42,8 | 4:00 p. m. |
| 24 | 1440 | 24 | 21 | 1,2 | 39,03 | 8:00 a. m. |

% de tamaño equivalente arcilla en muestra pasa tamiz N°200 **42,7**



AUTOR H. I. Pérez Ayala FECHA 29 de junio de 2016

NOTAS GENERALES

Limo + Arcilla + Coloides = Partículas con Diámetro Equivalente menor a 75 micras

Limo = Partículas entre 75 y 4 micras de Diámetro Equivalente Esférico.

Arcilla + Coloides = Partículas menores de 4 a 2 micras de Diámetro Equivalente Esférico

Diámetro Equivalente = Partículas Esféricas Equivalentes (Ley de Stokes)

Ley de Stokes limitar para diámetros Equivalentes comprendidos entre 60 y 0,2 micras

Relación entre Diámetro de Partículas Esféricas y en forma de Discos =

$D = 0,752 D' \text{ Raiz}(D/H)$ Donde: D = Diámetro Esfera

Por L. W. Squires (MIT) D' = Diametro del Disco H = Espesor del Disco

Una Partícula de Limo tiene una velocidad media de asentamiento de 1 cm/minuto y las Partículas de Arcilla 0,02 cm/minuto. Esto depende de la Temperatura de la Solución (Agua) y la Gravedad específica de las partículas.

Usar agua desmineralizada (Destilada) en la ejecución del ensayo.

Tamaños de las partículas y tipos de suelo según la ASTM

| | | Tamiz Pasa | Tamíz Retiene | mm | mm |
|---|--------|------------|---------------|--------|--------|
| Peñón | | | 8" | | 203,2 |
| Piedra | | 8" | 3" | 203,2 | 76,2 |
| Grava | Gruesa | 3" | 3/4" | 76,2 | 19,08 |
| | finas | 3/4" | N° 4 | 19,05 | 4,76 |
| Arena | Gruesa | N° 4 | N° 10 | 4,76 | 2 |
| | Media | N° 10 | N° 40 | 2 | 0,42 |
| | Fina | N° 40 | N° 200 | 0,42 | 0,074 |
| Limo | | N° 200 | | 0,074 | 0,002 |
| Arcilla (diámetro esférico equivalente) | | | | 0,002 | 0,0001 |
| Coloide | | | | <0,001 | |

1 micra = 0,001 mm

CÁLCULOS EN HIDROMETRÍA

Peso Seco de la muestra de suelo. (gramos)

Gravedad Específica de la muestra de Suelo.

Corrección por Gs diferente de 2,65.

$$a = (1,65/2,65) \times (Gs/(Gs-1))$$

Lectura directa en vastago del Hidrómetro en agua desmineralizada.

Lectura directa del Hidrómetro en vastago en agua desmineralizada con desfloculante.

Corrección de lecturas por presencia de desfloculante en solución agua-suelo.

$$Cd = B - A$$

Lectura de altura del menisco en vastago del Hidrómetro en agua desmineralizada con desfloculante

Lectura directa del Hidrómetro en parte superior del menis en agua desmineralizada con desfl y suelo.

Lectura de la temperatura del agua en el momento de lectura del Hidrómetro en °C

Tiempo transcurrido para cada lectura del Hidrómetro en minutos

Lectura del Hidrómetro con corrección por menisco

$$R' = R + Cm$$

Lectura del Hidrómetro con corrección por menisco, temp y desfl

$$R'' = R' - Cd + - Ct$$

Viscosidad Dinámica del agua para T = 16 a 26 °C

$$\eta = (164,6 - 4 \times T + 0,04 \times T^2) \times 10^{-4}$$

gr/cm-seg

Viscosidad Dinámica del agua para T = 27 a 30 °C

$$\eta = (164,22 - 4 \times T + 0,04 \times T^2) \times 10^{-4}$$

gr/cm³

Peso Específico del agua para T = 16 a 30 °C

$$\gamma_w = 1.00033 - 5 \times 10^{-6} \times (T^2 + T)$$

Peso Específico del agua a 20 °C

$$\gamma_{w20} = 1.00033 - 5 \times 10^{-6} \times (T^2 + T)$$

Peso Específico del agua a Temperatura de la lectura

$$\gamma_{wT} = 1.00033 - 5 \times 10^{-6} \times (T^2 + T)$$

Coefficiente de dilatación térmica del Hidrómetro

$$\alpha = 2,5 \times 10^{-5}$$

Corrección por Temperatura

$$C_T = ((\gamma_{w20} - \gamma_{wT} - \alpha \times (T-20)) \times (2,65/1,65)) \times 10^{-3}$$

Longitud efectiva del Hidrómetro 152-H en cm

$$L = 16,294964 - 0,164 R'$$

Velocidad $V = L/t$

Term 1 = Raiz $((30 \eta) / (980,7 \gamma_w))$

Term 2 = Raiz $(1 / (Gs - 1))$

Velocidad según la Ley de Stokes

$$V = ((980,7 \times (Gs-1) \times \gamma_w) / (30 \eta)) \times D^2$$

Term 3 = Raiz (V)

$$\% \text{ PAS} = R'' \times (a/Ws)$$

Factor k = Term 1 x Term 2

En tablas $k = \text{Raiz } (30 \eta / (980,7 (Gs-1) \times \gamma_w))$

Diámetro según la Ley de Stokes

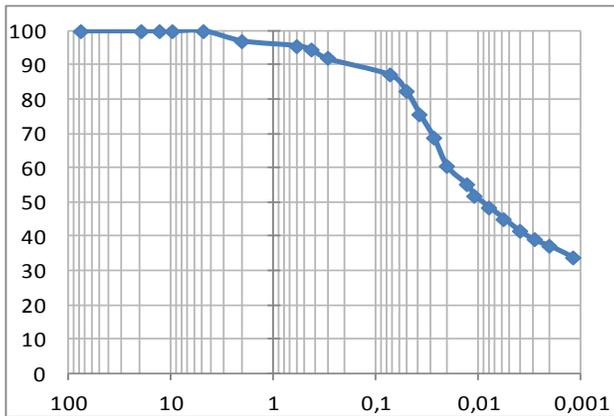
$$D(\text{mm}) = \text{Term 1} \times \text{Term 2} \times \text{Term 3}$$

Porcentaje de material con diámetro equivalente a esférico al momento de la lectura del Hidrómetro

Diámetro de las partículas equivalente a esféricas en suspensión al momento de la lectura del Hidrómetro.

GRANULOMETRÍA COMPLETA

| | | | | |
|--|----------------|------------------|------------------|-------------------------|
| PESO TOTAL DE LA MUESTRA | | 1010,1 | gramos | #REF! |
| % PASANTE TAMIZ N° 200 | | 87,22 | % | |
| Factor | 0,872 | TAMIZ | RETENIDO | DIÁMETRO PASANTE |
| | | | Acumulado | |
| | | N° | gramos | mm |
| Grava | Gruesa | 3 | 0 | 76,2 |
| | fina | 3/4 | 0 | 19,05 |
| | | 1/2 | 0 | 12,7 |
| | | 3/8 | 0 | 9,51 |
| Arena | Gruesa | 4 | 0 | 4,75 |
| | Media | 10 | 29,7 | 2 |
| | | 30 | 43,3 | 0,6 |
| | | 40 | 54,6 | 0,425 |
| | Fina | 80 | 81,8 | 0,3 |
| PASA TAMIZ N° 200 | 671,6 | 200 | 129,1 | 0,074 |
| Limo + | Totales | Retenidos | 338,5 | 0,05064 |
| Arcilla (diámetro esférico equivalente) | | | | 82,4 |
| | | | | 0,03726 |
| | | | | 75,6 |
| | | | | 0,02734 |
| | | | | 68,8 |
| | | | | 0,02017 |
| | | | | 60,4 |
| | | | | 0,01306 |
| | | | | 55,3 |
| | | | | 0,01083 |
| | | | | 51,9 |
| | | | | 0,00777 |
| | | | | 48,5 |
| | | | | 0,00558 |
| | | | | 45,1 |
| | | | | 0,00400 |
| | | | | 41,7 |
| | | | | 0,00284 |
| | | | | 39,0 |
| | | | | 0,00202 |
| | | | | 37,3 |
| | | | | 0,00121 |
| | | | | 34,0 |



mm

En Muestra Completa

% Tamaño Equivalente Arcilla 0,002 mm

| | | | | | |
|---------------|---------------|--------------|--------------|---------------|---|
| | | | | 37,3 | % |
| Arenas | Gruesa | Media | fina | Limo | |
| | 2,94 | 2,47 | 7,38 | 49,93 | % |
| | | | Total | 100,00 | % |

Ejecutado por: Fabienne Arcius

Correo Electrónico: fabijules@gmail.com

Corregido y Dirigido por: Profesor Hugo Ignacio Pérez Ayala

Anexo 4. Curvas Tensión-Deformación

