



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA Y  
RESISTENCIA MECÁNICA DE LADRILLOS Y PLACAS  
CONFORMADAS DE CEMENTO Y POLIETILENO  
TERAFTALATO (PET)”**

**MORALES AVILÉS CAROLINA ESTEFANÍA**

**PÉREZ PEÑAFIEL BEATRIZ ESTEFANÍA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TIPO: PROPUESTA EXPERIMENTAL**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERA MECÁNICA**

**RIOBAMBA-ECUADOR**

2018

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

---

2017-05-10

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**MORALES AVILÉS CAROLINA ESTEFANÍA**

Titulado:

**“DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA Y RESISTENCIA  
MECÁNICA DE LADRILLOS Y PLACAS CONFORMADAS DE CEMENTO Y  
POLIETILENO TERAFTALATO (PET)”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERA MECÁNICA**

---

Ing. Carlos José Santillán Mariño  
**DECANO FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Jorge Eduardo Lema Morales  
**DIRECTOR**

---

Ing. Diego Fernando Mayorga Pérez  
**MIEMBRO DE TESIS**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

---

2017-05-10

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**PÉREZ PEÑAFIEL BEATRIZ ESTEFANÍA**

Titulado:

**“DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA Y RESISTENCIA  
MECÁNICA DE LADRILLOS Y PLACAS CONFORMADAS DE CEMENTO Y  
POLIETILENO TERAFTALATO (PET)”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERA MECÁNICA**

---

Ing. Carlos José Santillán Mariño  
**DECANO FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Jorge Eduardo Lema Morales  
**DIRECTOR**

---

Ing. Diego Fernando Mayorga Pérez  
**MIEMBRO DE TESIS**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

---

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: MORALES AVILÉS CAROLINA ESTEFANÍA

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA Y RESISTENCIA MECÁNICA DE LADRILLOS Y PLACAS CONFORMADAS DE CEMENTO Y POLIETILENO TERAFTALATO (PET)”

Fecha de Examinación: 2018-08-07

### RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Guamán Mendoza <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Jorge Lema Morales <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Diego Mayorga Pérez <b>MIEMBRO DE TRIBUNAL</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

### RECOMENDACIONES:

---

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Ángel Guamán Mendoza  
**PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

---

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: PÉREZ PEÑAFIEL BEATRIZ ESTEFANÍA

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA Y RESISTENCIA MECÁNICA DE LADRILLOS Y PLACAS CONFORMADAS DE CEMENTO Y POLIETILENO TERAFTALATO (PET)”

Fecha de Examinación: 2018-08-07

### RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Guamán Mendoza <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Jorge Lema Morales <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Diego Mayorga Pérez <b>MIEMBRO D TRIBUNAL</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

### RECOMENDACIONES:

---

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Ángel Guamán Mendoza  
**PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El Trabajo de Titulación que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**Morales Avilés Carolina Estefanía**

---

**Pérez Peñafiel Beatriz Estefanía**

## **DECLARACION DE AUTENTICIDAD**

Nosotras, Morales Avilés Carolina Estefanía y Pérez Peñafiel Beatriz Estefanía, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

---

**Morales Avilés Carolina Estefanía**

Cédula de Identidad: 180471043-0

---

**Pérez Peñafiel Beatriz Estefanía**

Cédula de Identidad: 180452839-4

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar esta tesis a mis padres Carlos y mi amada madre Janeth, porque ellos han dado razón a mi vida por sus consejos, su apoyo incondicional y su paciencia todo lo que hoy soy es gracias a ellos, a mi hermana Gabriela y a toda mi familia que es lo mejor y más valioso que Dios me ha dado.

A mis amigos quienes compartieron sus conocimientos alegrías y tristezas que durante estos años estuvieron a mi lado apoyándome

*Carolina Morales*

Este trabajo se lo dedico a Dios por todas las bendiciones y alegrías que me ha dado, por la fuerza para continuar y llegar a la meta, por las personas que ha puesto en mi camino y han contribuido de forma positiva en mi vida.

A las personas que me inspiran a ser mejor cada día, mi familia. A mis padres, por su amor, apoyo, comprensión paciencia, sus consejos por siempre ser la luz que me guía a la salida. A mis hermanos, que siempre tuvieron una mano extendida cuando lo necesite.

*Estefanía Pérez*



## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a DIOS por darme sabiduría y estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente

Mi agradecimiento especial a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo " ESPOCH " la cual me abrió sus puertas para formarme profesionalmente.

A mi tutor que gracias a sus conocimientos y ayuda pude concluir con éxito este trabajo, ya que sin su apoyo esto no hubiera sido posible.

Y a todas aquellas personas que siempre estuvieron a mi lado en las buenas y las malas apoyándome.

*Carolina Morales*

Quiero expresar mi gratitud a Dios y la Virgen, quien con su bendición llena siempre mi vida, a mis padres, Edgar y María, que nunca me han dejado sola y siempre me han dado su amor, confianza y apoyo sin pedir nada a cambio, a mis hermanos, por estar siempre presentes. A VPAM por ser un gran amigo, compañero, un apoyo.

A mis amigas y amigos que han hecho memorable esta etapa.

De igual manera mis agradecimientos más sinceros a la Facultad de Mecánica, a mis profesores en especial nuestros tutor y asesor, quienes con su enseñanza y conocimientos nos guiaron para llegar con éxito a la culminación de este trabajo, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

*Estefanía Pérez*

## RESUMEN

A nivel mundial existe una tendencia ambientalista enfocada en la reducción, la reutilización de los desechos plásticos y el reciclaje de los mismos. Esta tendencia poco a poco ha tomado impulso en Latinoamérica orientada a la confección de mampostería con los residuos de PET, debido a la abundancia del mismo, es evidente el bajo impacto ambiental que los ladrillos de cemento y PET tienen, evitando el uso de suelo cultivable, reutilizando desechos sólidos (PET) y sin emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera. Sin embargo, en los países latinoamericanos existe poco conocimiento y conciencia sobre el reciclaje y sus beneficios. El presente trabajo de titulación tiene el propósito de determinar la conductividad térmica y resistencia mecánica de placas y ladrillos conformados de cemento y PET. Los ensayos utilizados son la base para la comparación de los ladrillos y placas prototipo con los ladrillos artesanales de tierra cocida, mostrando de manera más clara las ventajas y desventajas de su uso en la construcción civil. Mediante los experimentación y eliminación se seleccionó la dosificación final se sustituyó en porcentaje de arena por el 40% PET triturado en su fabricación para mejorar sus propiedades físicas, mecánicas y térmicas, dando como resultado valores elevados de resistencia a compresión en tabla de 15,55 MPa y 4,82 MPa en canto, mientras tanto en flexión una resistencia a la rotura de 2,276 MPa, del mismo modo los ensayos térmicos y físicos se determinó que son productos aislantes del calor con un bajo coeficiente de conductividad térmica de 0,32 W/m°C y de bajo porcentaje de absorción. Considerándolos así un producto rentable de producción y que puedan competir fácilmente en el mercado con los ladrillos comunes.

PALABRAS CLAVES: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <LADRILLOS>, <PLACAS>, <POLIETILENO TEREFTALATO (PET)>, <RECICLAJE>, <CONDUCTIVIDAD TÉRMICA>, <RESISTENCIA MECÁNICA>, <ABSORCIÓN EN MAMPOSTERÍA>.

## ABSTRAC

At the global level there is an environmental trend focused on the reduction, reuse of plastic waste and recycling. This trend has gradually gained momentum in Latin America oriented to the manufacture of masonry of PET waste, due to the fact that it is evident the low environmental impact that the bricks of cement and PET have, avoiding the use of arable land, reusing solid waste (PET) and without CO<sub>2</sub> emissions into the atmosphere. However, in Latin American countries there is a little knowledge and awareness about recycling and its benefits. The purpose of the present certification work is to determine the thermal conductivity and mechanical strength of plates and cement shaped bricks and PET. The tests used are the basis for comparison of bricks and prototype planes with artisan clay bricks, showing more clearly the advantages and disadvantages of their use in civil constructions. Through the experimentation and elimination, the final dosage was selected and replaced in percentage of sand by 40% PET crushed in its manufacture to improve its physical, mechanical and thermal properties, resulting in high values of compressive strength in table of 15,55 MPa and 4,82 MPa at the edge, meanwhile in bending a breaking strength of 2,27 MPa, in the same way the way thermal and physical tests were determined to be heat insulating products with a low coefficient of thermal conductivity of 0,32 W/m°C and low absorption percentage. Considering them a profitable product of production and that they can compete easily in the market with the common bricks.

**KEY WORDS:** TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES, BRICKS, PLATES, POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET), RECYCLING, THERMAL CONDUCTIVITY, MECHANICAL RESISTANCE, ABSORPTION IN MASORY.

## INTRODUCCIÓN

En busca de un sustituto del marfil en el año de 1860 la empresa Phelan y Collander (fabricantes de bolas de billar) de Estados Unidos fue quien impulso en forma de concurso, el desarrollo de un material económico y de fácil acceso sin el exterminio de una especie. El concurso no tuvo éxito, sin embargo, John Wesley Hyatt creó el primer plástico natural, celuloide siendo un boom en la empresa cinematográfica.

A inicios del siglo XX, el químico Leo Hendrik Beakeland daba a conocer la bakelita, el primer plástico sintético. El aporte de estos hombres revolucionaria toda la industria hasta el día de hoy con nefastas consecuencias para las actuales y futuras generaciones. A partir de la mitad del siglo XX, la producción de plásticos de distintos tipos toma fuerza.

“En la década de 1960, la producción mundial alcanzaba los 15 millones de toneladas métricas cada año y para el 2014, llegó a más de 300 millones anuales”. (Vásquez, 2016)

El uso de elementos plásticos que se convierten en desechos sólidos actualmente es el principal foco de contaminación a nivel mundial, partiendo desde su elaboración a base de petróleo o papel y el tiempo que se necesita para que estos se degraden de forma natural.

En Ecuador, la cantidad de desechos crece de forma sumamente acelerada día a día por diversas causas, entre las que podemos citar la falta de información para su correcta eliminación, la carencia de sistemas de control y planes de manejo adecuados de este tipo de desechos en casi todo el territorio, provocando daños considerables en varios ecosistemas importantes y el desgaste excesivo e innecesario de recursos como el agua, el suelo y el aire.

Una medida eficaz para combatir los efectos de la contaminación por plásticos, papel, cartón y vidrio es el reciclaje. La cultura del reciclaje es poco conocida y valorada en el Ecuador, por esta razón no se le da la importancia que merece el correcto manejo de residuos sólidos. Poco a poco se han ido implementando campañas de reciclaje en distintas ciudades con el afán de fomentar una conciencia colectiva para proteger el medio ambiente.

Cerca de 678 mil toneladas de residuos sólidos son reciclados en el Ecuador, la mayor parte de este producto es utilizado para la industria nacional y los excedentes tienen

distintos destinos a nivel mundial, (USA, Asia). Los inicios del reciclaje en Ecuador datan de principios de la década de 1970, con una fábrica que utilizó papel reciclado como materia prima, y de este modo continuaron fábricas de plásticos, vidrio, metalúrgicas y siderúrgica.

Se estima que esta actividad genera ingresos económicos a la parte más necesitada de la población, con aproximado de 15000 minadores y recicladores independientes repartidos entre la zona urbana y botaderos del país. ( León Logroño, 2013)

“En todo el país existen aproximadamente 1.200 centros de acopio, 20 compañías legalmente constituidas para reciclar material y 1.000 vehículos que transportan estos materiales. La fortaleza indestructible, que ha hecho del sistema de reciclaje en el Ecuador un verdadero éxito, es precisamente ese efecto multiplicador que hoy en día lleva el sustento diario a 15.000 hogares, es decir aproximadamente a 50.000 personas en su mayoría de escasos recursos económicos, de una manera muy digna.” ( León Logroño, 2013)

## TABLA DE CONTENIDOS

	<b>Páginas</b>
<b>RESUMEN</b>	
<b>SUMMARY</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>CAPÍTULO I</b>	
1.1 <i>Antecedentes</i> .....	1
1.2 <i>Problema</i> .....	2
1.3 <i>Justificación</i> .....	3
1.4 <i>Objetivos</i> .....	4
1.4.1 <i>Objetivo General</i> .....	4
1.4.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	4
<b>CAPITULO II</b>	
<b>2.      MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>5</b>
2.1      Referencias .....	5
2.1.1 <i>Ámbito Local</i> .....	5
2.1.2 <i>Calidad, Factibilidad Y Pertinencia</i> .....	7
2.2 <i>Ámbito Internacional</i> .....	9
2.3      Plástico y PET .....	11
2.3.1 <i>Obtención del PET</i> .....	12
2.3.2 <i>Características del PET</i> .....	12
2.3.3 <i>Propiedades del polietileno –tereftalato (PET)</i> .....	15
2.4      El reciclado del PET .....	15
2.5      El PET y el impacto en el ambiente .....	19
2.6      Tecnologías de reciclado de plásticos (PET) .....	19
2.7      Características de reciclaje en la ciudad de Riobamba .....	21
2.7.1 <i>Disponibilidad de material PET</i> .....	21
2.8      PET como material de construcción .....	23
2.9      Ladrillos .....	25
2.9.1 <i>Fabricación de ladrillos</i> .....	28
2.9.2 <i>Ensayos</i> .....	29

2.10	Ladrillos ecológicos .....	30
2.10.1	<i>Fabricación de diversos tipos de ladrillos</i> .....	31
2.11	Placas (baldosas) .....	32
2.11.1	<i>Tipos de placas</i> .....	32
2.11.2	<i>Fabricación</i> .....	33
2.11.3	<i>Ensayos</i> .....	33
2.12	Morteros .....	34
2.12.1	<i>Características de los Morteros</i> .....	34
2.13	Componentes y características .....	36
2.13.1	<i>Conglomerantes</i> .....	36
2.13.2	<i>Áridos</i> .....	37
2.13.3	<i>Agua</i> .....	37
2.14	Fraguado .....	39
2.15	Dosificación .....	40
2.16	Propiedades Físicas, Mecánicas y Térmicas .....	40
2.16.1	<i>Físicas</i> .....	40
2.16.2	<i>Mecánicas</i> .....	41
2.16.3	<i>Térmicas</i> .....	42
2.17	Modelo matemático de transferencia de calor unidireccional por conducción en placas y ladrillos.....	43

### **CAPITULO III**

<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA DE ENSAYOS .....</b>	<b>45</b>
3.1	Elaboración de Ladrillo prototipo .....	45
3.1.1	<i>Introducción</i> .....	45
3.1.2	<i>Descripción del proceso para la elaboración del ladrillo de plástico PET.</i> 46	
3.2	Normas y metodología para los ensayos de los agregados .....	47
3.2.1	<i>Polietileno Tereftalato (PET)</i> .....	47
3.2.2	<i>Arena</i> .....	51
3.3	Metodología para los Ensayos Mecánicos .....	79
3.3.1	<i>Resistencia a la comprensión</i> .....	79
3.3.2	<i>Resistencia a la flexión</i> .....	80
3.4	Metodología para los ensayos físicos .....	82
3.4.1	<i>Absorción</i> .....	82

3.5	Metodología para los ensayos térmicos .....	83
3.5.1	<i>Determinación de conductividad térmica</i> .....	83

#### **CAPITULO IV**

<b>4.</b>	<b>ANALISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>85</b>
4.1	Ladrillos .....	85
4.1.1	<i>Ensayos mecánicos</i> .....	85
4.1.2	<i>Ensayos Físicos</i> .....	103
4.1.3	<i>Ensayos Térmicos</i> .....	104
4.2	Placas .....	110
4.2.1	<i>Ensayos Mecánicos</i> .....	110
4.2.2	<i>Ensayos Físicos</i> .....	117
4.2.3	<i>Ensayos Térmicos</i> .....	118
4.3	<i>Análisis de Costos de la fabricación de Ladrillos y Placas conformados de Cemento y PET</i> .....	122

#### **CAPITULO V**

<b>5.</b>	<b>INTERPRETACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>126</b>
5.1	Ladrillos .....	126
5.1.1	<i>Ensayos Mecánicos</i> .....	126
5.1.2	<i>Ensayos Físicos</i> .....	129
5.1.3	<i>Ensayo Térmicos</i> .....	130
5.2	Placas .....	131
5.2.1	<i>Ensayos Mecánicos</i> .....	131
5.2.2	<i>Ensayos Físicos</i> .....	131
5.2.3	<i>Ensayo Térmico</i> .....	132

<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>133</b>
---------------------------	------------

<b>RECONENDACIONES</b> .....	<b>136</b>
------------------------------	------------

<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>137</b>
---------------------------	------------

#### **ANEXOS**



## LISTA DE TABLAS

	<b>Páginas</b>
<b>Tabla 1-2:</b> Porcentaje de basura y toneladas por mes según el tipo .....	5
<b>Tabla 2-2:</b> Propiedades del Polietileno Tereftalato (PET).....	15
<b>Tabla 3-2:</b> Ensayos mecánicos en ladrillos.....	29
<b>Tabla 4-2:</b> Ensayos térmicos, definiciones .....	30
<b>Tabla 1-3:</b> Porcentajes de PET utilizados en las probetas .....	46
<b>Tabla 2-3:</b> Resultados Ensayo de Granulometría de PET dimensiones 0,6-0,8 cm .....	48
<b>Tabla 3-4:</b> Resultados Ensayo de Granulometría de PET dimensiones 1,0-1,5cm .....	50
<b>Tabla 4-3:</b> Resultados del Ensayo de Granulometría de Arena.....	52
<b>Tabla 5-3:</b> Dosificación por volumen, relación 1:4.....	57
<b>Tabla 6-3:</b> Dosificación por volumen, relación 1:4 (Continuación).....	58
<b>Tabla 7-3:</b> Dosificación de mortero .....	58
<b>Tabla 8-3:</b> Tipos de Morteros. Cuadro de Morteros (partes para la mezcla).....	59
<b>Tabla 9-3:</b> Datos de las propiedades de la Arena .....	59
<b>Tabla 10-3:</b> Cantidades de material para dosificación de Morteros 5 probetas.....	61
<b>Tabla 11-3:</b> Datos de las proporciones de materiales a usar.....	64
<b>Tabla 12-3:</b> Datos para el reemplazo del porcentaje de PET.....	65
<b>Tabla 13-3:</b> Datos de las proporciones de materiales a usar en 5 probetas .....	66
<b>Tabla 14-3:</b> Datos del porcentaje de CEMENTO/ARENA/PET para 5 probetas .....	66
<b>Tabla 15-3:</b> Datos de las proporciones de materiales a usar.....	69
<b>Tabla 16-3:</b> Datos para el reemplazo del porcentaje de PET.....	69
<b>Tabla 17-3:</b> Datos del porcentaje de CEMENTO/PET para 5 probetas .....	70
<b>Tabla 18-3:</b> Ensayo Resistencia a la Compresión.....	71
<b>Tabla 19-3 (Continuación):</b> Ensayo Resistencia a la Compresión .....	72
<b>Tabla 20-3:</b> Ensayo Resistencia a la Compresión (Cemento + Arena +PET) .....	73
<b>Tabla 21-3 (Continuación):</b> Ensayo Resistencia a la Compresión .....	74
<b>Tabla 22-3:</b> Ensayo Resistencia a la Compresión (Cemento+PET) .....	75
<b>Tabla 23-3 (Continuación):</b> Ensayo Resistencia a la Compresión (Cemento+PET).....	76
<b>Tabla 24-3:</b> Ensayo Resistencia a la Compresión, (Cemento+PET).....	77

<b>Tabla 25-3</b> (Continuación): Ensayo Resistencia a la Compresión (Cemento+PET).....	78
<b>Tabla 1-4:</b> Datos de las Probetas para compresión aplicando la carga en la Tabla .....	86
<b>Tabla 2-4:</b> Datos de Tiempo y Esfuerzo probeta 1 compresión en la tabla del ladrillo	86
<b>Tabla 3-4:</b> Datos de Tiempo y Esfuerzo probeta 2 compresión en la tabla del ladrillo	87
<b>Tabla 4-4:</b> Datos de Tiempo y Esfuerzo probeta 3 compresión en la tabla del ladrillo	88
<b>Tabla 5-4:</b> Datos de Tiempo y Esfuerzo probeta 4 compresión en la tabla del ladrillo	88
<b>Tabla 6-4:</b> Datos de Tiempo y Esfuerzo probeta 5 compresión en la tabla del ladrillo	89
<b>Tabla 7-4:</b> Esfuerzo a compresión promedio en la tabla del ladrillo .....	90
<b>Tabla 8-4:</b> Curva Esfuerzo de Compresión vs. Tiempo, probeta 1 .....	91
<b>Tabla 9-4:</b> Curva Esfuerzo de Compresión vs. Tiempo, probeta 2 .....	91
<b>Tabla 10-4:</b> Curva Esfuerzo de Compresión vs. Tiempo, probeta 3 .....	92
<b>Tabla 11-4:</b> Curva Esfuerzo de Compresión vs. Tiempo, probeta 4 .....	93
<b>Tabla 12-4:</b> Curva Esfuerzo de Compresión vs. Tiempo, probeta 5 .....	93
<b>Tabla 13-4:</b> Datos de las Probetas para compresión aplicando la carga en la Canto.....	94
<b>Tabla 14-4:</b> Esfuerzo máximo .....	95
<b>Tabla 15-4:</b> Datos de las Probetas para Flexión aplicando la carga en la Tabla .....	95
<b>Tabla 16-4:</b> Datos de Carga y Deformación final en la probeta 1 flexión en tabla .....	96
<b>Tabla 17-4:</b> Datos de Carga y Deformación final en la probeta 2 flexión en tabla .....	97
<b>Tabla 18-4:</b> Datos de Carga y Deformación final en la probeta 3 flexión en tabla .....	98
<b>Tabla 19-4:</b> Datos de Carga y Deformación final en la probeta 4 flexión en tabla .....	99
<b>Tabla 20-4:</b> Datos de Carga y Deformación final en la probeta 5 flexión en tabla ..	100
<b>Tabla 21-4:</b> Deformación final de las probetas.....	101
<b>Tabla 22-4:</b> Datos de las probetas para el cálculo de Módulo de Rotura .....	102
<b>Tabla 23-4:</b> Datos de las probetas para el Ensayo de Absorción.....	103
<b>Tabla 24-4:</b> Datos para obtener la Conductividad Térmica en canto .....	105
<b>Tabla 25-4:</b> Datos para obtener la Conductividad Térmica en tabla .....	106
<b>Tabla 26-4:</b> Datos de las Probetas para flexión aplicando la carga en la Tabla .....	110
<b>Tabla 27-4:</b> Datos de Carga y Deformación final en la probeta 1, flexión.....	110
<b>Tabla 28-4:</b> Datos de Carga y Deformación final en la probeta 2, flexión.....	111
<b>Tabla 29-4:</b> Datos de Carga y Deformación final en la probeta 3, flexión.....	112
<b>Tabla 30-4:</b> Datos de Carga y Deformación final en la probeta 4, flexión.....	113
<b>Tabla 31-4:</b> Datos de Carga y Deformación final en la probeta 5, flexión.....	114
<b>Tabla 32-4:</b> Datos de Carga y Deformación final en la probeta 5, flexión.....	115

<b>Tabla 33-4:</b> Datos de las probetas para el cálculo de Módulo de Rotura .....	116
<b>Tabla 34-4:</b> Datos de las probetas para el Ensayo de Absorción.....	117
<b>Tabla 35-4:</b> Datos para obtener la Conductividad Térmica en placas .....	119
<b>Tabla 36-4:</b> Análisis por unidad Ladrillos .....	122
<b>Tabla 37-4:</b> Análisis por unidad Ladrillos (continuación).....	123
<b>Tabla 38-4:</b> Análisis por unidad Placas .....	123
<b>Tabla 39-4:</b> Análisis de costos por metro cuadro Ladrillos y Placas.....	124
<b>Tabla 40-4:</b> Análisis de peso por metro cuadro Ladrillos y Placas .....	125
<b>Tabla 1-5:</b> Análisis por unidad Placas .....	126
<b>Tabla 2-5:</b> Cuadro Comparativo entre los ladrillos tradicionales y prototipo .....	127
<b>Tabla 3-5:</b> Análisis por unidad Placas .....	128
<b>Tabla 4-5:</b> Análisis por unidad Placas .....	129
<b>Tabla 5-5:</b> Cuadro Comparativo de la Conductividad térmica en ladrillos .....	130
<b>Tabla 6-5:</b> Fragmento Tabla A-5 Propiedades de materiales de construcción .....	130
<b>Tabla 7-5:</b> Ensayo de Flexión Placas.....	131
<b>Tabla 8-5:</b> Ensayo de absorción en placas .....	132
<b>Tabla 9-5:</b> Conductividad Térmica en Placas .....	132

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Páginas</b>
<b>Figura 1-2:</b> Esquema del Estudio Socio Económico en la ciudad de Riobamba .....	6
<b>Figura 2-2:</b> Ladrillo de Plástico Reciclado Tipo Lego, México .....	9
<b>Figura 3-2:</b> Ladrillo de Plástico Reciclado Tipo Lego, Colombia .....	9
<b>Figura 4-2:</b> Ecoladrillo de Plástico Reciclado, CEVE .....	10
<b>Figura 5-2:</b> Gráfico Origen del PET .....	12
<b>Figura 6-2:</b> Características del PET .....	13
<b>Figura 7-2:</b> Polietileno Tereftalato (PET) .....	14
<b>Figura 8-2:</b> Empresa Recicladora- Brasil.....	16
<b>Figura 9-2:</b> Logotipo Empresa Graham Reciclaje .....	17
<b>Figura 10-2:</b> Cuadro de funcionamiento de la planta de reciclaje INTERSIA S.A. ....	18
<b>Figura 11-2:</b> Esquema de los Métodos de Reciclaje del PET .....	20
<b>Figura 12-2:</b> Descripción de los procesos de reciclaje del PET, Mecánico y Químico .....	20
<b>Figura 13-2:</b> Compra y venta de papel y cartón en RECICLAR CIA. LTDA.....	22
<b>Figura 14-2:</b> Resina PET-PCR de Enkador se destina a la producción de hilo ecológico.....	23
<b>Figura 15-2:</b> Propiedades físicas y mecánicas de los elementos constructivos con PET.....	24
<b>Figura 16-2:</b> Caras y lados del ladrillo.....	26
<b>Figura 17-2:</b> Esquema de las clases de Ladrillos .....	26
<b>Figura 18-2:</b> Imágenes de clases de ladrillos .....	27
<b>Figura 19-2:</b> Esquema de los Tipos de Ladrillos .....	27
<b>Figura 20-2:</b> Tipo de Ladrillos.....	27
<b>Figura 21-2:</b> Esquema de fabricación de ladrillos artesanales.....	29
<b>Figura 22-2:</b> Tipos de Ladrillos Ecológicos actualmente .....	31
<b>Figura 23-2:</b> Esquema del tipo de Placas .....	32
<b>Figura 24-2:</b> Ensayos en placas .....	33
<b>Figura 25-2:</b> Esquema de las Clases de Morteros .....	35
<b>Figura 26-2:</b> Tipos de Agua y la relación con el fraguado .....	38
<b>Figura 27-2:</b> Factores que afectan el tiempo de fraguado.....	39
<b>Figura 28-2:</b> Propiedades Físicas.....	40
<b>Figura 29-2:</b> Propiedades Mecánicas .....	41

<b>Figura 30-2:</b> Formas de Tráferencia de Calor .....	42
<b>Figura 1-3:</b> Esquema de Fabricación del ladrillo prototipo .....	46
<b>Figura 2-3:</b> Proceso gráfico de la fabricación del ladrillo prototipo .....	47
<b>Figura 3-3:</b> Proceso gráfico de la fabricación del ladrillo prototipo .....	55
<b>Figura 4-3:</b> Recolección y selección de materia prima .....	55
<b>Figura 5-3:</b> Trituración de materia prima, PET triturado dos dimensiones .....	55
<b>Figura 6-3:</b> Mezclas para eliminación, Cemento + Arena + PET (1-1,5 cm) .....	56
<b>Figura 7-3:</b> Mezclas para eliminación, Cemento + PET (0,6-0,8 cm) .....	57
<b>Figura 8-3:</b> Dimensiones ladrillo prototipo Cemento + Arena +PET .....	63
<b>Figura 9-3:</b> Dimensiones ladrillo prototipo Cemento + Arena +PET .....	67
<b>Figura 10-3:</b> Ladrillo prototipo Cemento + Arena +PET .....	79
<b>Figura 11-3:</b> Superficie ladrillo prototipo Cemento + Arena +PET .....	79
<b>Figura 12-3:</b> Ladrillo prototipo Cemento + Arena +PET colocado en la máquina universal Control´s para ensayo de Compresión .....	80
<b>Figura 13-3:</b> Muestras de ladrillo prototipo Cemento + Arena +PET .....	80
<b>Figura 14-3:</b> Preparación del ladrillo prototipo para ensayos de flexión .....	81
<b>Figura 15-3:</b> Distancia entre apoyos para realizar el ensayo de Flexión .....	81
<b>Figura 16-3:</b> Posición inicial del ensayo de flexión en el ladrillo prototipo .....	81
<b>Figura 17-3:</b> Esquema de la GHP y materiales de ensayo. ....	83
<b>Figura 1-4:</b> Geometría del ladrillo de Cemento –PET .....	107
<b>Figura 2-4:</b> Selección de material del ladrillo de Cemento –PET .....	108
<b>Figura 3-4:</b> Coeficiente de Conductividad Térmica del ladrillo de Cemento –PET .....	108
<b>Figura 4-4:</b> Perfil de temperatura del ladrillo de Cemento –PET .....	109
<b>Figura 5-4:</b> Perfil de temperatura del ladrillo de Cemento –PET .....	109
<b>Figura 6-4:</b> Geometría de la placa de Cemento –PET .....	120
<b>Figura 7-4:</b> Selección de material del ladrillo de Cemento –PET .....	121
<b>Figura 8-4:</b> Coeficiente de Conductividad Térmica de la placa de Cemento –PET .....	121
<b>Figura 9-4:</b> Perfil de temperatura de la placa de Cemento –PET .....	122
<b>Figura 10-4:</b> Cálculo del ladrillo por metro cuadrado .....	124

## LISTA DE GRÁFICOS

	<b>Páginas</b>
<b>Gráfico 1-3:</b> Curva Granulométrica del PET (0,6 - 0,8 cm).....	49
<b>Gráfico 2-3:</b> Curva Granulométrica del PET (1,00 - 1,50 cm).....	51
<b>Gráfico 3-3:</b> Curva Granulométrica de la Arena .....	53
<b>Gráfico 1-4:</b> Curva Esfuerzo de Compresión vs. Tiempo probeta 1 .....	87
<b>Gráfico 2-4:</b> Curva Esfuerzo de Compresión vs. Tiempo probeta 2 .....	87
<b>Gráfico 3-4:</b> Curva Esfuerzo de Compresión vs. Tiempo probeta 3 .....	88
<b>Gráfico 4-4:</b> Curva Esfuerzo de Compresión vs. Tiempo probeta 4 .....	89
<b>Gráfico 5-4:</b> Curva Esfuerzo de Compresión vs. Tiempo probeta 5 .....	89
<b>Gráfico 6-4:</b> Curva Esfuerzo de Compresión vs. Tiempo, probeta 1 .....	91
<b>Gráfico 7-4:</b> Curva Esfuerzo de Compresión vs. Tiempo, probeta 2 .....	92
<b>Gráfico 8-4:</b> Curva Esfuerzo de Compresión vs. Tiempo, probeta 3 .....	92
<b>Gráfico 9-4:</b> Curva Esfuerzo de Compresión vs. Tiempo, probeta 4 .....	93
<b>Gráfico 10-4:</b> Curva Esfuerzo de Compresión vs. Tiempo probeta 5 .....	94
<b>Gráfico 11-4:</b> Curva Carga vs. Deformación, probeta 1 en tabla del ladrillo.....	96
<b>Gráfico 12-4:</b> Curva Carga vs. Deformación, probeta 2 en tabla del ladrillo.....	97
<b>Gráfico 13-4:</b> Curva Carga vs. Deformación, probeta 3 en tabla del ladrillo.....	98
<b>Gráfico 14-4:</b> Curva Carga vs. Deformación, probeta 4 en la tabla del ladrillo.....	99
<b>Gráfico 15-4:</b> Curva Carga vs. Deformación, probeta 5 en la tabla del ladrillo.....	100
<b>Gráfico 16-4:</b> Curva Carga vs. Deformación, probeta 1 en la placa prototipo.....	111
<b>Gráfico 17-4:</b> Curva Carga vs. Deformación, probeta 2 en la placa prototipo.....	112
<b>Gráfico 18-4:</b> Curva Carga vs. Deformación, probeta 3 en la placa prototipo.....	113
<b>Gráfico 19-4:</b> Curva Carga vs. Deformación, probeta 4 en la placa prototipo.....	114
<b>Gráfico 20-4:</b> Curva Carga vs. Deformación, probeta 1 en la placa prototipo.....	115
<b>Gráfico 1-5:</b> Cuadro comparativo de la resistencia a la compresión (ladrillo).....	127
<b>Gráfico 2-5:</b> Cuadro comparativo de la resistencia a la compresión (ladrillo).....	128
<b>Gráfico 3-5:</b> Cuadro comparativo de la resistencia a la compresión (ladrillo).....	129

## **INDICE DE ANEXOS**

- Anexo A** Recolección y Selección de Materia Prima (PET)
- Anexo B** Elaboración de Probetas con Distintos Porcentajes de PET Triturado
- Anexo C** Pruebas de Compresión para Eliminación y Selección de la Mezcla Final
- Anexo D** Ensayos de Granulometría Arena
- Anexo E** Ensayos De Granulometría PET
- Anexo F** Elaboración de los Ladrillos y Placas con la Mezcla Final - 40 % PET  
(Dosificación por Peso)
- Anexo G** Ensayos de Compresión y Flexión en Ladrillos, Mezcla Final

# CAPÍTULO I

## 1.1 Antecedentes

En nuestro país se ha dado un incremento notable en los desechos plásticos, debido al crecimiento de la población y el aumento de desechos producidos se han empezado a acumular debido a que el plástico es un material resistente a agentes corrosivos del ambiente no se degrada fácilmente ya que la descomposición de dichos plásticos oscila entre los 600-1000 años, y su generación se incrementa en un 4% cada año.

Los elevados consumos de plásticos provocan que muchos de estos desechos sean arrojados a basureros sin darles el correcto tratamiento generando un desperdicio de materia prima en los últimos años tomado gran fuerza la iniciativa del reciclaje de materiales y existe en el país desde el 2008 una Red Nacional de Recicladores del Ecuador, RENAREC.

La cual está integrada por más de mil 200 recicladores y sus familias, en suma 38 asociaciones de recicladores organizados a nivel nacional, en Riobamba el nombre de la asociación es “MANOS QUE LIMPIAN”, fomentado por el Ilustre Municipio de la Ciudad de Riobamba.

Los plásticos constituyen un promedio de 45% de la basura general a escala mundial. De estos, se destaca el PET (Polietilén Tereftalato), una especie de plástico usado en envases de bebidas y textiles, que contamina ríos, playas, ciudades y otros espacios. En el mundo se emplean 19 millones de toneladas de resina PET virgen, de las cuales solo es reciclado el 25%. (El Telegrafo, 2013)

Ecuador consume en botellas y recipientes PET alrededor de 4.000 toneladas mensuales, es decir, 50.000 toneladas al año, explicó Fernando Carrera, gerente de la Unidad de Negocios Recypet de la empresa Enkador. (El Telegrafo, 2013)

En el país anualmente, se reciclan 670.000 toneladas de materiales reciclables entre los principales se encuentran el papel, cartón, metal, plástico y vidrio. El 53% corresponde a



metales ferrosos como el cobre y tan solo el 20% representa a las resinas plásticas como por ejemplo el polietileno, polipropileno, PET, entre otras.

Debido a la importancia que tiene la reutilización de productos de plástico PET, la universidad ecuatoriana, como la ESPOCH, se ha enfocado al estudio de la factibilidad de la elaboración de este tipo de ladrillos ecológicos, en la tesis de grado publicada en el año 2013.

Con el estudio y la experimentación se propone la incentivando un proyecto pionero en desarrollo de ladrillos donde la materia prima principal está constituida por residuos plásticos reciclados así reducimos la contaminación por estos desechos.

Además, que la elaboración del ladrillo macizo de tierra cocida se realiza a partir de la extracción de la capa de tierra superficial y su posterior cocción en grandes hornos a cielo abierto, produce desertificación del suelo, contaminación atmosférica por el humo generado y tala de árboles para obtener la leña necesaria para el funcionamiento del horno.

## **1.2 Problema**

La elaboración de forma artesanal de ladrillos cocidos de tierra negra y aserrín, causan un gran impacto ambiental debido al desgaste de la capa superficial de la tierra y la erosión del suelo para la obtención de materia prima, la cual está relacionada de manera directa con la deforestación y la contaminación del agua.

La generación de grandes cantidades de desechos plásticos y el mal manejo de los mismos en la ciudad de Riobamba, son problemas que afectan directamente al medio ambiente, a pesar de las campañas y programas de reciclaje que se han puesto en marcha con la municipalidad de la ciudad.

Los costos de fabricación en el cantón Chambo, Provincia de Chimborazo se han visto incrementados por estos motivos lo que ha provocado el decremento de la producción y elevación de costo unitario del producto terminado. Otro gran problema evidente son las bajas temperaturas en la Zona Centro del país, ya sea por las paredes laterales de vivienda o el piso de las mismas, provocan diversos problemas de salud.

### 1.3 Justificación

Debido a las bajas temperaturas que características de zona interandina Ecuatoriana, se han utilizado diferentes materiales en la construcción e industriase para evitar las pérdidas de calor, llamados aislantes térmicos los mismos que se caracterizan por su bajo coeficiente de conductividad térmica, estableciendo una barrera térmica entre el ambiente.

Algunos materiales de construcción, con conductividades térmicas relativamente bajas si las comparamos con un hormigón o con un ladrillo normal, sin embargo no son comparables con los aislantes térmicos propiamente dichos.

Los materiales en general ofrecen resistencia al paso del calor, están presentes en el mercado una gran gama de ellos según las diferentes necesidades. La idea básica es que el aislamiento térmico no es un gasto, sino una inversión, ya que a través del ahorro energético en combustible para la calefacción y, cada vez más, para la refrigeración del edificio o viviendas se economiza.

Actualmente debido al impacto ambiental y el cambio climático ocasionados por la gran generación de desechos sólidos, nos hemos enfocado en la reutilización del plástico PET en la construcción de ladrillos y placas de cemento, utilizando sus propiedades termoaislantes.

En base al análisis del estado del arte se ha procedido a realizar distintas actividades que permiten identificar el problema y buscar las posibles soluciones.

A través de estudios de titulación en la Escuela Politécnica de Chimborazo concluye la posibilidad de crear e implementar empresas destinadas a producir ladrillos ecológicos, para llegar a esta conclusión los autores investigaron acerca de la cantidad de botellas de plástico PET que se desechan a nivel nacional.

En algunos países Latinoamericanos existe experiencia en construcción de máquinas de placas, bloques y ladrillos macizos a partir de la combinación de cemento y plástico PET triturado. En la actualidad, el tamaño de los ladrillos que se encuentran en el mercado está estandarizados con medidas de 28 cm de largo, 14 cm de ancho y 7 cm de espesor (28x14x7 cm).

En el país, hay diversos estudios encaminados a la medición experimental de la conductividad térmica de bloques de concreto combinados con residuos vegetales (bagazo de caña), fibras vegetales y caucho.

En cuanto a la materia prima proveniente del plástico PET, se ha visto ciertas dificultades debido a la falta de maquinaria para trituración del mismo a determinadas medidas. Sin embargo, existen tesis realizadas en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, así como empresas privadas y personas particulares en Ambato, Quito y Guayaquil, que brindan este servicio, lo cual hace factible la obtención de la materia prima para la elaboración de ladrillos y placas.

## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1 Objetivo General***

Determinar la conductividad térmica y resistencia mecánica en ladrillos y placas (baldosas) conformados por cemento y plástico PET

### ***1.4.2 Objetivos Específicos***

Investigar y analizar los antecedentes de la fabricación de ladrillos y placas (baldosas)

Determinar la resistencia mecánica (compresión y flexión) de las probetas elaboradas con distintas proporciones de cemento y plástico PET

Aplicar el software ANSYS para la obtención del perfil de temperatura de los ladrillos y las placas conformado por cemento y plástico PET

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Referencias

##### 2.1.1 *Ámbito Local*

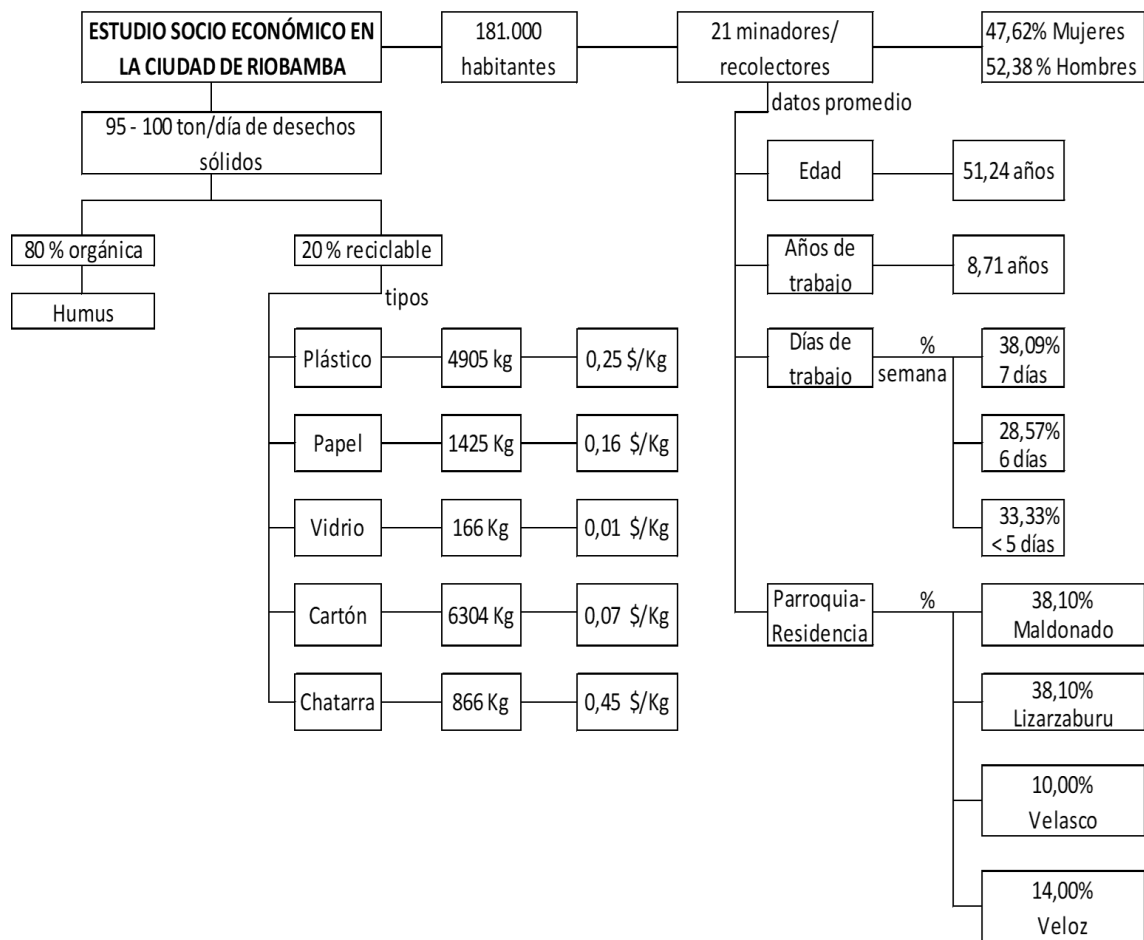
En la ciudad de Riobamba, los residuos son depositados en el basurero municipal, el cual se considera un botadero semi controlado, al no tener un sistema de clasificación de los desechos, por lo que la Municipalidad de la ciudad busca la manera de construir un relleno sanitario que se rija a las normativas ambientales y reduzca el impacto generado en el ecosistema y medio ambiente. (Córdova, y otros, 2013)

**Tabla 1-2:** Porcentaje de basura y toneladas por mes según el tipo

<b>DESECHO</b>	<b>%</b>	<b>CANTIDAD (TON/MES)</b>
Materia Orgánica	65	3315,00
Plástico	12	612,00
Papel y Cartón	10	510,00
Textiles	3	153,00
Metales	3	153,00
Madera	2	102,00
Vidrio	2	102,00
Otros	3	153,00
<b>TOTAL</b>		5100,00

Fuente: ( León Logroño, 2013)

Tomando de manera textual los datos obtenidos por el Ing. Iván López, citados en su trabajo, MECANISMOS DE ASOCIATIVIDAD AMBIENTALMENTE RENTABLES PARA LOS RECICLADORES DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA, en lo referente al estudio Socio-económico en la ciudad de Riobamba en el año 2013.



**Figura 1-2:** Esquema del Estudio Socio Económico en la ciudad de Riobamba

Fuente: ( León Logroño, 2013)

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz, 2017.

De acuerdo al Departamento de Higiene y Salud Pública del Municipio de Riobamba en el año 2016, la cantidad de basura recolectada por día de 150 toneladas, recuperando aproximadamente el 10% mediante su programa de reciclaje de manera conjunta con Asociación Manos que Limpian (ASORMALIM) que agrupa a 115 personas, y a su vez la puesta en marcha de la Campaña “Punto Azul”.

Esta campaña está ubicada en puntos estratégicos de la ciudad como son ESPOCH, UNACH, La Estación, Los Olivos, terminal intercantonal, parques Guayaquil y Ecológico, para la recolección de botellas. (Redacción Regional Centro, 2016) & (GAD Municipal Riobamba, 2016)

## **2.1.2 Calidad, Factibilidad Y Pertinencia**

### **2.1.2.1 Calidad**

La importancia de este trabajo es la forma que se busca para mitigar el impacto ambiental que tiene la elaboración de ladrillos de arcilla cocida, tanto en su producción de gases de invernadero, consumo de energía, erosión del suelo y volúmenes de agua por unidad, al reemplazar este producto por ladrillos ecológicos, como se los denomina actualmente en diversos lugares de la planta, su materia prima se caracteriza por ser materiales reciclados como el plástico PET.

El cual tiene distintas características según su presentación y periodos de vida extremadamente largos (su degradación toma entre 100-600 años al ambiente sin factores químicos).

Al tener como precedente de la municipalidad de la ciudad para contrarrestar el efecto nocivo del exceso de producción de basura diaria, mediante campañas de concientización y el apoyo a los grupos de recicladores y como ya se ha visto en distintos trabajos de titulación de la ESPOCH y UNACH, es una alternativa rentable y amigable con el ambiente al tratar los desechos de manera correcta, generando poco a poco conciencia social sobre este problema.

### **2.1.2.2 Factibilidad**

La construcción es una de las actividades más importantes de la economía del país, a pesar de todos los tras pies que se ha tenido los últimos años, no obstante este sector genera grandes valores tanto en las ramas industriales como comerciales y crea demanda constante de mano de obra.

En Chimborazo, esta actividad tiene un notorio crecimiento en la producción provincial que va desde 4,8% en el 2001 al 11,3% en el 2008, concentra al 4,6 % de la población económicamente activa, de igual forma se evidencia un incremento en el número de compañías que va desde siete en el 2001 a veinte en 2010. (Quevedo, y otros, 2014)

En el año 2010, los resultados arrojados por el Censo de Vivienda y población, mostró un crecimiento en este sector al 6% de la población de Riobamba están dedicada al sector constructivo, por lo cual es una alternativa viable el uso de este tipo de ladrillos y placas, al tomar en cuenta la reducción de gases productos de la combustión debido a la cocción de los ladrillos tradicionales, y sin afectar las áreas agrícolas de la provincia. (SENPLADES, 2014)

Tomando en consideración, que a pesar de los estudios actuales en el país, no existen venta o fabricación de manera masiva ladrillos y placas conformadas por PET y cemento, por ende, hay que tener presente que no hay oferta para los mismos.

### *2.1.2.3 Pertinencia*

Con el transcurso del tiempo se ha hecho más evidente que el reciclaje trae varios beneficios a la sociedad y medio ambiente, al reducir la contaminación y generar ingresos económicos a quienes se dedican a esta actividad. Esto es mucho más evidente e industrializado tanto en los sectores públicos y privados en países desarrollados de Europa, Asia y América; los cuales se dedican netamente a su recolección, clasificación, tratamiento y procesamiento de los desechos sólidos en general dentro del área urbana.

Dados estos antecedentes, el presente tema es aplicable en la ciudad de Riobamba, que posee un sistema de recolección de desechos coordinado y regulado por la municipalidad.

Esta investigación se proyecta a comparar los valores de resistencia mecánica, propiedades físicas y costos finales de los ladrillos y placas (baldosas) de cemento y PET, con los ladrillos de tierra cocida y placas actualmente en el mercado, utilizando distintas proporciones de PET en la dosificación de las mezcla en las variables impuestas.

De este modo, determinar si es factible un sistema de construcción alternativo, amigable con el ambiente de dos maneras, la reducción de gases productos de la combustión y el uso de los envases PET utilizados, a pesar de los estudios previos el presente trabajo no se ve enfocado en la factibilidad de comercialización de los mismos de manera inmediata, está dirigido a la parte técnica e ingenieril referente a la aplicación de tecnologías

amigables con el ambiente y las propiedades de “nuevos materiales”, utilizados en mampostería y suelos.

## 2.2 **Ámbito Internacional**

Los eco ladrillos son una alternativa de construcción amigable con el medio ambiente debido a su composición, la cual sustituye el uso de arcillas por plástico tipo PET reciclado, teniendo en cuenta el tiempo q toma el proceso de descomposición de este tipo de desechos (más de 500 años y aún más si son enterrados), al utilizarlo en estos ladrillos reducimos su impacto directo en el ambiente, basados en la producción y especificaciones previas de este producto en Chile y Argentina, con el afán de introducirlos en el mercado ecuatoriano.

En México, se ha establecido ladrillos en forma de “legos” que se obtienen mediante la extrusión del plástico reciclado, polietileno de alta densidad, mezclado con varios aditivos para evitar la flameabilidad de los mismos, con los cuales se puede construir una casa de 52 m<sup>2</sup> aproximadamente en 15 días. (Pineda C., 2006). Una opción similar se presenta en Colombia a partir del año 2011 con la creación de la empresa “*Conceptos Plásticos*”. (Valencia, 2016)



**Figura 2-2:** Ladrillo de Plástico Reciclado Tipo Lego, México

Fuente: (Pineda C., 2006)



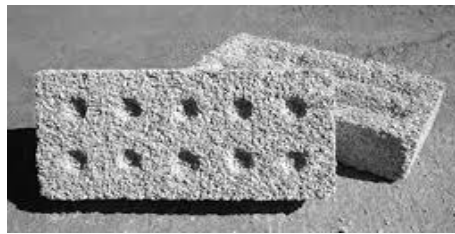
**Figura 3-2:** Ladrillo de Plástico Reciclado Tipo Lego, Colombia

Fuente: (Valencia, 2016)



Pues entre las ventajas técnicas que nos puede aportar un ladrillo PET según el estudio realizado por el CEVE, la más interesante es su nivel de aislante térmico que es cinco veces mayor que la de un ladrillo tradicional. Este aumento sustancial del aislamiento nos puede llevar a reducir el grosor de los muros y pasar de cerramientos de 30 a 15 cm.

Los ladrillos PET a su vez son más livianos que los ladrillos convencionales, mientras un ladrillo convencional pesa algo más de 3,5 kilos el ladrillo PET pesa 1,4 kg. Aunque a esta escala no suponga una grandísima diferencia en el conjunto de un cerramiento y de un edificio puede suponer una reducción significativa en la carga estructural y la posibilidad de utilizar una estructura más ligera. Al utilizar una estructura más ligera también obtenemos edificios más económicos. (Ladrillos y Placas prefabricadas con plásticos reciclados aptos para autoconstrucción, 2008)



**Figura 4-2:** Ecoladrillo de Plástico Reciclado, CEVE

**Fuente:** (Ladrillos y Placas prefabricadas con plásticos reciclados aptos para autoconstrucción, 2008)

Viendo que el ladrillo PET no es solo una solución a un problema medioambiental, sino que también tiene ventajas técnicas significativas, la pregunta es: ¿Cuándo veremos estos nuevos ladrillos PET? En ese punto es justo donde se encuentran ahora, en buscar un desarrollo industrial que permita fabricar estos ladrillos en una cantidad suficiente para poder satisfacer las demandas del sector de la construcción.

Basado en la experiencia de varios profesionales de la construcción, entre ellos Arquitectos e Ingenieros civiles, desde el primero momento en que el cemento tiene contacto con el agua, o simplemente con la humedad, da lugar a reacciones de endurecimiento, que se evidencian inicialmente con el “atiesamiento” del fraguado, dando así lugar a una ganancia de resistencias, al principio de forma rápida y disminuyendo la velocidad a medida que transcurre el tiempo.

Generalmente, la resistencia mecánica de un concreto es de 28 días, no obstante, este tipo de ensayos pueden ser llevados a cabo cada 1, 3, 7, 14, 21, esperando valores proporcionales a los que se espera alcanzar a los 28 días, en cuanto los ensayos a 90 y 360 días deben mostrar una resistencia constante o ligeramente superior. Este tipo de medida de tiempo se da para evitar vacíos laborales o fechas festivas con los ensayos.

### **2.3 Plástico y PET**

El polietileno tereftalato o PET (siglas en inglés); en el año 1941 fue patentado y a partir de 1955 inicia su producción masiva como fábrica de poliéster, se define como un polímero termoplástico, su demanda ha tenido un gran crecimiento en todo el mundo gracias a todos los usos que este posee en sus diversas presentaciones. La característica principal de PET es la manejabilidad que este polímero presenta al ser expuesto al calor, su transformación, reutilización y reciclaje en diversos productos es fácil. (Envases Vallejo S.A., 2016)

Su producción está destinada a envases de gaseosas, agua mineral, cosméticos, aceites, aderezos, etc. Sus usos son tan extensos que se extienden a películas radiográficas y transparentes, cintas de audio y video, telas (fibras textiles), laminados de barrera en productos alimenticios y envases al vacío.

El PET es un material cuya estructura molecular posee la regularidad necesaria en su composición para tener un potencial de cristalización. Por el aspecto de los anillos aromáticos en su cadena, el PET presenta una moderada flexibilidad molecular que se refleja en que su temperatura de transición vítrea se encuentra en torno a los 70-80°C.

Esto hace que su capacidad para cristalizar sea controlada por las condiciones de enfriamiento.

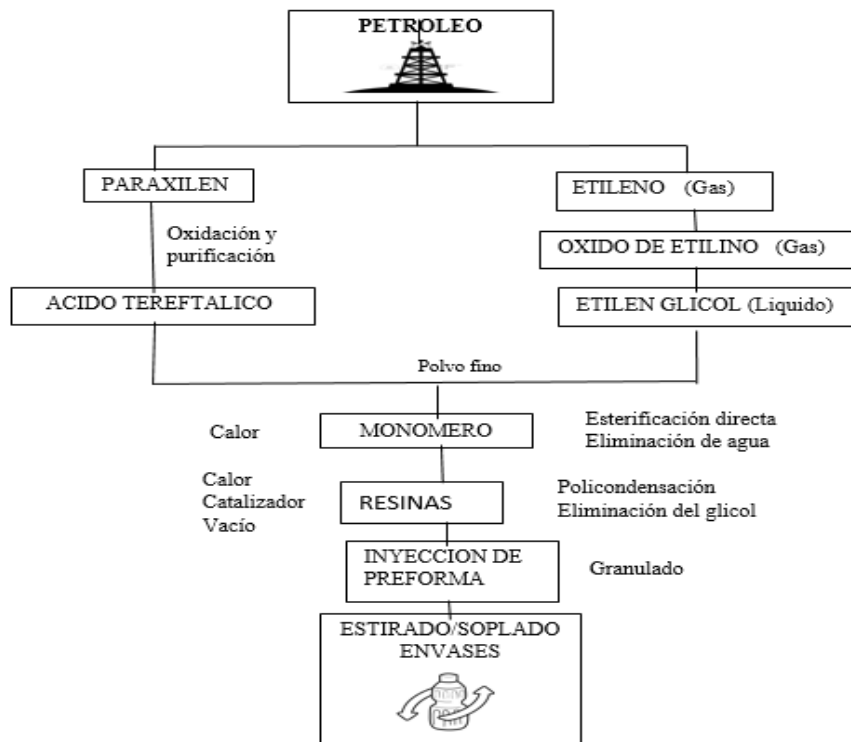
El PET está hecho de petróleo crudo, gas y aire. Un kilo de PET está compuesto por 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire. A partir del petróleo crudo, se extrae el paraxileno y se oxida con el aire para dar ácido tereftálico.

El etileno, que se obtiene a partir de derivados del gas natural, es oxidado con aire para formar etilenglicol. El PET es el material de embalaje de mayor reciclado. Varios

millones de toneladas se reciclan en productos de valor agregado. (Quevedo, y otros, 2014)

### 2.3.1 Obtención del PET

El PET se fabrica a partir de dos materias primas derivadas del petróleo: etileno y paraxileno. Los derivados de estos compuestos (respectivamente, etilen glicol y ácido tereftálico) son puestos a reaccionar a temperatura y presión elevadas para obtener la resina PET en estado amorfo.



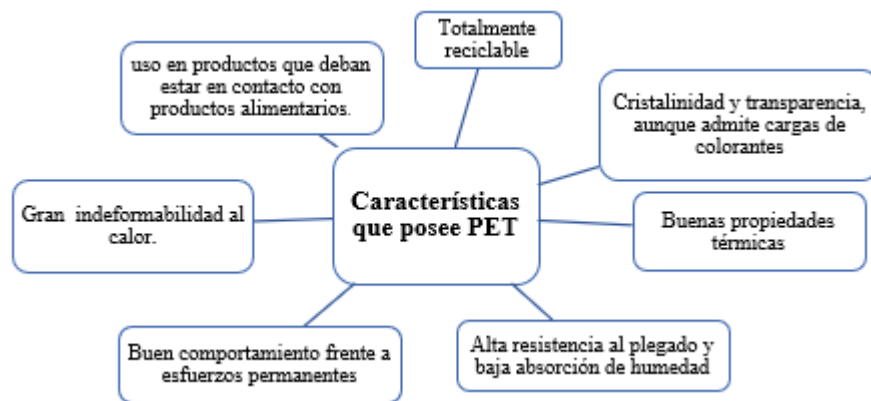
**Figura 5-2:** Gráfico Origen del PET

Fuente: ( Mulato Aguirre)

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

### 2.3.2 Características del PET

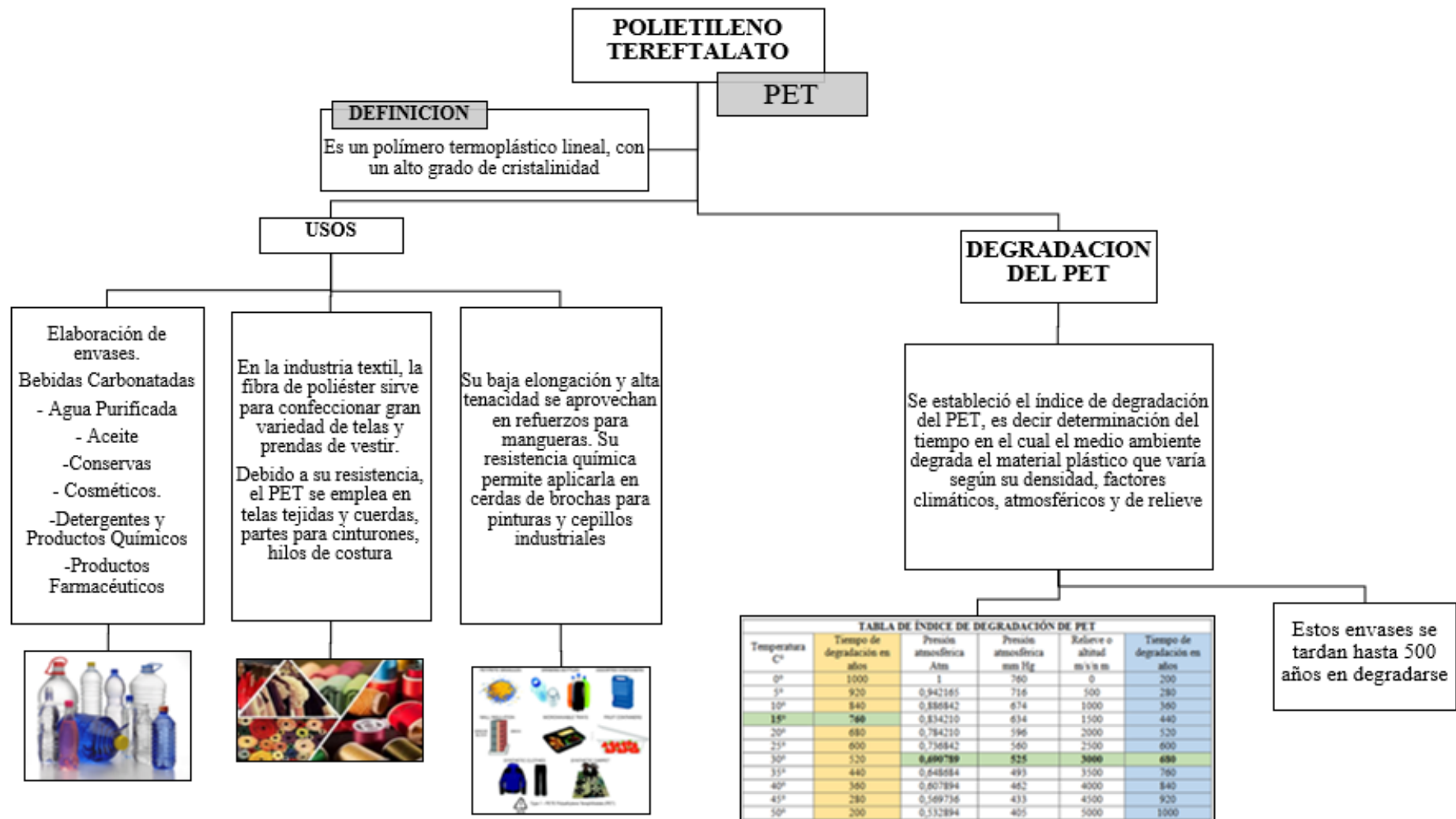
Las características que posee PET al ser este un tipo de plástico muy utilizado en diversas industrias sus propiedades son:



**Figura 6-2:** Características del PET

Fuente: (Cascante, 2012)

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017



**Figura 7-2: Polietileno Tereftalato (PET)**

Fuente: (Valdez López, 2013) (QUIMINET.COM, 2010)

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz, 2017

### 2.3.3 Propiedades del polietileno –tereftalato (PET)

**Tabla 2-2:** Propiedades del Polietileno Tereftalato (PET)

<b>DATOS TÉCNICOS DEL POLIETILENO-TERAFTALTO (PET)</b>		
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>		
Peso específico	139	gr/cm <sup>3</sup>
Resistencia a la tracción fluencia / rotura	900	Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia la flexión	1450	Kg/cm <sup>2</sup>
Alargamiento a la rotura	15	%
Módulo de elasticidad (tracción)	37000	Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia al desgaste por roce	MUY BUENA	
<b>PROPIEDADES TÉRMICAS</b>		
Temperatura de fusión	255	°C
Conductividad térmica	BAJA	
Temperatura de deformabilidad por calor	170	°C
Temperatura de ablandamiento de Vicat	175	°C
Coefficiente de dilatación lineal de 23 a 100°C	0,00008	Mm por °C
<b>PROPIEDADES ELÉCTRICAS</b>		
Absorción de humedad	0,25	%
<b>PROPIEDADES QUÍMICAS</b>		
Resistencia a álcalis a temperatura ambiente	BUENA	
Comportamiento a la combustión	ARDE CON MEDIANA DIFICULTAD	
Propagación de llama	MANTIENE LA LLAMA	
Comportamiento al quemado	GOTEA	

Fuente: (Mariano, 2011)

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

Con los datos técnicos conocidos del PET y la utilización en diversas aplicaciones se puede considerar como elemento adecuado para ser parte la elaboración de ladrillos de baja densidad sin disminuir la resistencia que requiere un elemento destinado la construcción.

## 2.4 El reciclado del PET

A nivel mundial un ejemplo a seguir es Japón, el país más avanzado en este campo, registró una tasa de reciclaje de botellas de PET (volumen total de recolección/volumen de botellas vendidas) de 77,9 %, según datos del Consejo de Reciclaje de Botellas de PET de ese país. (Ortega, 2011)

Por su parte, Europa tiene cifras consolidadas de 48,3%, de acuerdo con la Asociación Europea de Reciclaje de Contenedores de PET (Petcore), y Estados Unidos de 28%, según

la Asociación de Resinas de PET (Petra). Brasil es el líder con una tasa de 55,6%, seguido por Argentina con 34%, según reportes de la Asociación Brasileña de la Industria del PET (Abipet). (Ortega, 2011)

Actualmente México está dentro de los primeros consumidores de refrescos a nivel mundial. Para abastecer esta demanda, la producción nacional en de botellas de PET se estima en 800 Mil Toneladas anuales, la mitad en México y el resto se exporta a otros países, principalmente China de las 800 mil toneladas de PET que se producen, sólo se reciclan poco más de 100 mil toneladas. (NTRzacatecas, 2015)

Según ECOCE (Ecología y Compromiso Empresarial), México es líder mundial en acopio y reciclaje de PET al lograr un 62% de reciclado, superando a países como Estados Unidos (31%), Canadá (en promedio 40%) o Brasil (42%). (Coca-Cola Journey Industria Mexicana, 2016)

Una gran barrera para la industria de reciclaje en América Latina es que no se cuenta con una cultura de reciclaje y separación de materiales no reciclables y reciclables. Aun así las cifras de recuperación de material muestran un gran potencial en la actividad del reciclaje, uno de los países latinoamericanos que más incidencia tiene el reciclaje es Brasil ya que es uno de los mayores recicladores de PET en el mundo y se encarga de consumir internamente todo el material que recupera. (Ortega, 2011)



**Figura 8-2:** Empresa Recicladora- Brasil

**Fuente:** (Herrera, 2014)

En el país en el 2012 se produjeron 1 406 millones de botellas, de las cuales se lograron recuperar 511 millones de los embotelladores y 624 millones de los centros de acopio y recicladores, logrando una recolección total de 1 136 millones de PET. (Ambiente, 2014)

Con la instauración del Impuesto Redimible de \$0,02 (centavos) en botellas plásticas, la recolección de botellas ha crecido notablemente, el sector industrial sustituyó importaciones, generado empleo y mejorado su productividad y competitividad. Asimismo, la calidad de vida de los recicladores ha mejorado sustancialmente. (Ambiente, 2014)

La recaudación está a cargo de recicladores y de empresas encargadas de recuperar el material PET desechado existen varias empresas enfocadas a esta actividad en todo el país como son Graham Reciclaje, Intercia S.A, Reynter, Recimax, Reciplast C.A, Fibras Nacionales , Procesadoras de Neumáticos en Cotopaxi (PRONEUMACOSA), Recicladora Barahona , entre otras .

Cabe resaltar que las que más impacto tienen en el país es GRAHAM RECICLAJE que cuenta con varios centros de acopo en todo el país, posee la Calificación de Gestor Ambiental de Residuos que otorga la Unidad de Gestión de la Calidad Ambiental del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito y la infraestructura operativa y logística pertinente, logrando un excelente posicionamiento en el mercado. (Graham Reciclaje, 2015)

Logrando ofrecer los mejores servicios tanto para recicladores como compradores de material reciclado promoviendo un pago justo por un peso justo con atención personalizada contando con un recurso humano bien capacitado para ofrecer al mercado materiales de calidad, proyectando una imagen de confianza, solidez y excelencia (Graham Reciclaje, 2015)



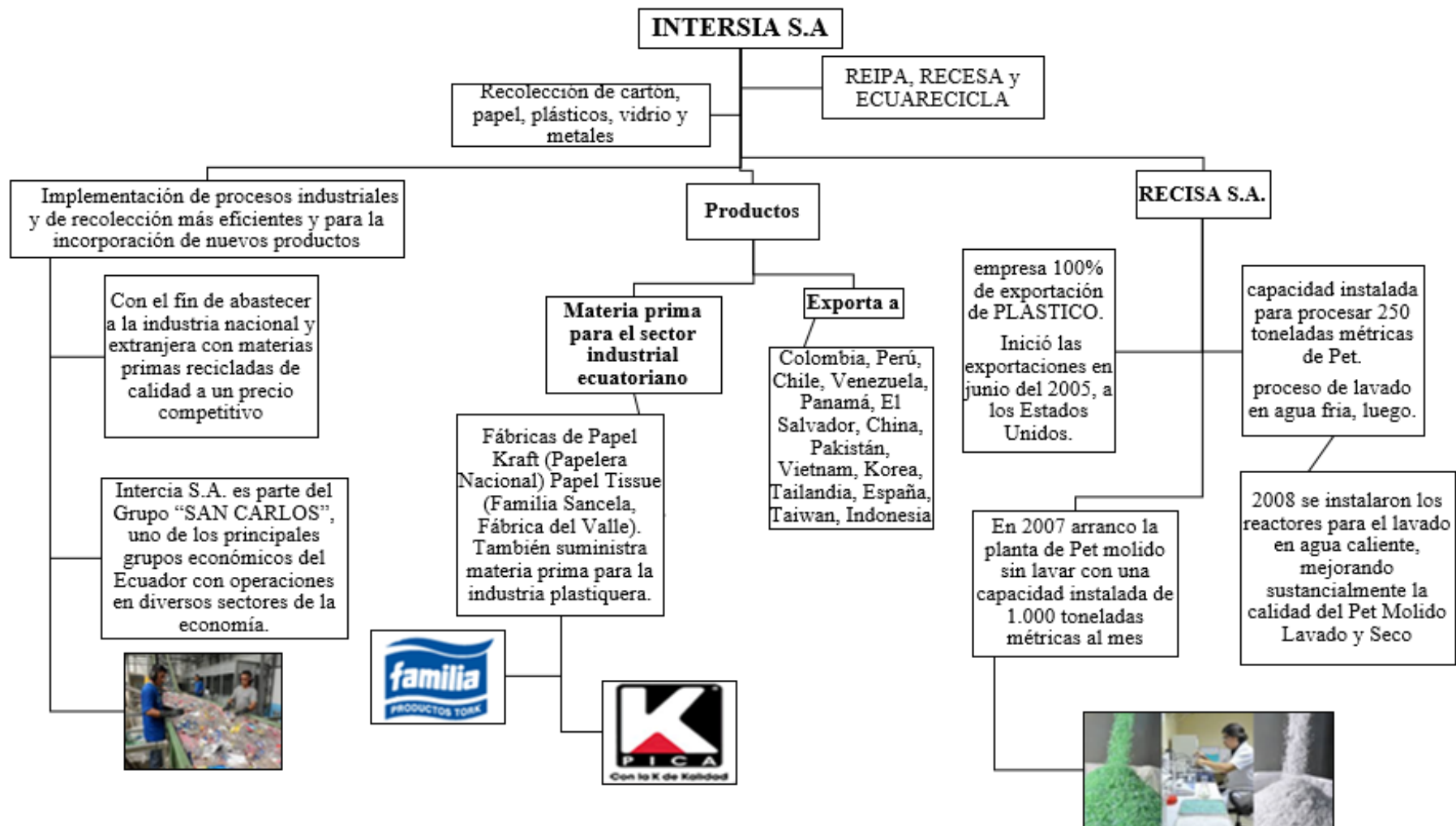
**Figura 9-2:** Logotipo Empresa Graham Reciclaje

Fuente: GRAHAM RECICLAJE .2015.

Diseñado por: MARVISIÓN

Otra de las empresas que tiene mayor crecimiento en el país es INTERCIA S.A.





**Figura 10-2:** Cuadro de funcionamiento de la planta de reciclaje INTERSIA S.A.

Fuente: (INTERCIA S.A, 2015)

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

Se propone que mediante el reciclaje se disminuya la cantidad de desechos que van directo a los botaderos y rellenos sanitarios sino aprovecharlos como materia prima y se busca garantizar un abasto permanente y confiable del material que permita el desarrollo de una industria recicladora para elaboración de otros elementos y darles una vida útil a estos desechos logrando bajar el impacto ambiental que generan estos desechos.

## **2.5 El PET y el impacto en el ambiente**

El reciclaje es un mecanismo para disminuir el impacto del PET en el ambiente. Debe empezar por la concientización de las empresas involucradas, desde las que las producen hasta las que utilizan para embazar sus productos.

Desde la concepción de la fabricación de PET se genera una contaminación ya que en la elaboración se utiliza grandes cantidades de petróleo, se requieren 24 millones de galones para producir tan solo 1.000 millones de botellas. Además durante su producción se usan otras sustancias tóxicas, metales pesados, químicos y pigmentos que quedan en el aire perjudicando silenciosamente la salud de humanos y animales. (Sostenible, 2016)

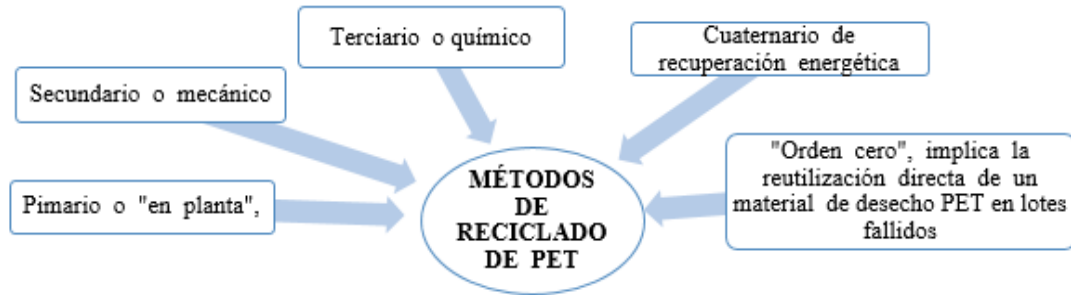
La educación ambiental es un paso muy importante en la concientización ya que la acelerada demanda y producción de envases de PET hace que se incremente la contaminación y el impacto ambiental, ya que estos envases se tardan hasta 500 años en degradarse.

Reciclar PET reducir la demanda de botellas lo que genera un avance ya importante en la reducción de estos residuos para que esto no se convierta en un problemática más grande de la ya existente en el planeta

## **2.6 Tecnologías de reciclado de plásticos (PET)**

El reciclado es una de las alternativas en las que se está innovando con la finalidad de mejorar tanto la eficiencia de los procesos como la calidad del material reciclado a obtener. Es de gran importancia dar a conocer el potencial de los materiales plásticos

como materiales fácilmente reciclables, capaces de transformarse en otros objetos de alta calidad una vez terminada su vida útil. (González, Rosa ; Verdejo, Eva, AIMPLAS, 2016)

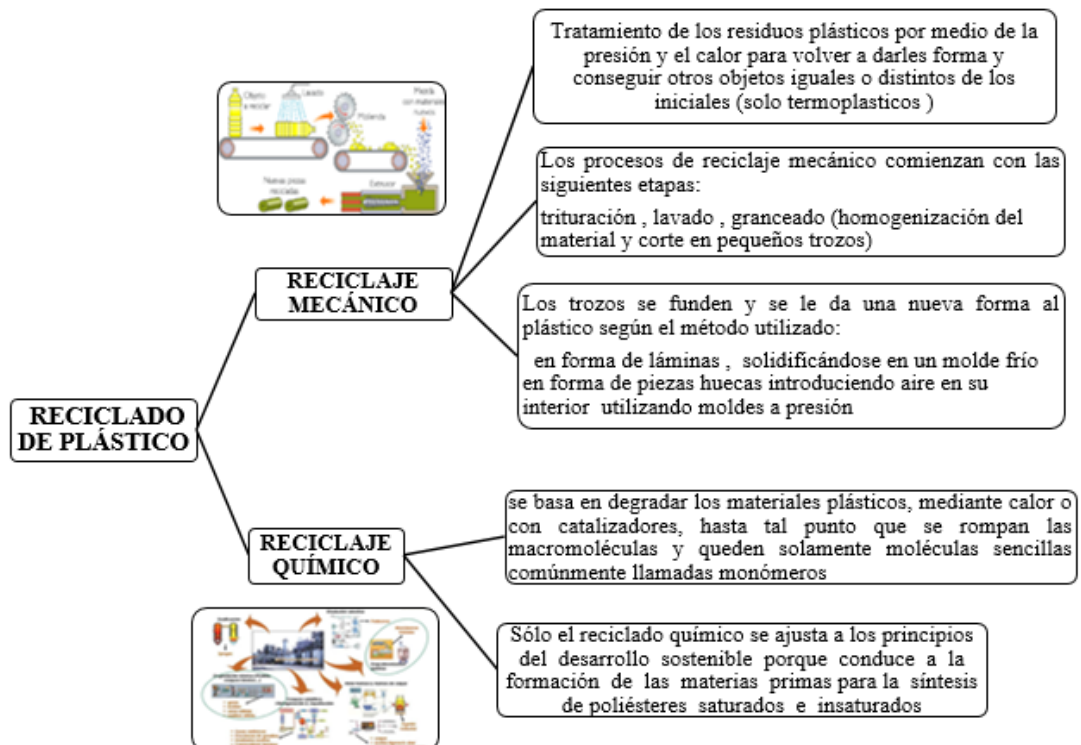


**Figura 11-2:** Esquema de los Métodos de Reciclaje del PET

Fuente: (Alethia Vázquez Morillas, 2016)

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

Existen varias formas de reciclar plásticos, una vez recogido el plástico, se clasifica según el color y tipo de material (PET, PEAD, Mezcla) y se procede a su lavado, compactado y almacenado. Una vez en la planta de reciclaje, el plástico se clasifica según sus características físicas. Existen dos métodos más conocidos para el reciclado de plástico:



**Figura 12-2:** Descripción de los procesos de reciclaje del PET, Mecánico y Químico

Fuente: (González, 2012)

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

El reciclaje químico este método pese a ser el menos utilizada que la mecánica, es la más prometedora, ya que al obtener monómeros básicos se pueden volver a hacer plásticos de la misma calidad que los originales. (González, 2012)

## **2.7 Características de reciclaje en la ciudad de Riobamba**

El sistema de recolección de desechos en la ciudad de Riobamba, las personas dedicadas a actividades de pre-reciclaje, intermediarios y empresas recicladoras que reciben desechos sólidos de papel, plástico y cartón de la ciudad. Existen 21 pre-recicladores y 9 centros de acopio en la ciudad de Riobamba. (Izurieta Recalde, 2015)

La recolección de papel (blanco, periódico y color) la cantidad mensual es de 1425 Kg. El cartón es el segundo material de mayor recolección, con un peso aproximado de 6302 Kg. Con respecto a los materiales que se recolecta: en los que a plástico se refiere (botellas, fundas plásticas) es el material que mayores ingresos económicos la recolección mensual del plástico es de 4905Kg. (Izurieta Recalde, 2015)

El promedio de días que trabaja un minador es de seis y en su mayoría realizan un recorrido matutino (61,90%), el 47.62% en la noche y el restante (9.52%) en la tarde. (Izurieta Recalde, 2015).

Según los minadores clasifican, empacan y transportan y únicamente el 19% de los minadores limpia el material recogido. El 100% de los minadores no utiliza el equipo completo de protección personal tan solo el 9,52% utilizan pero de manera incompleta.

El 66.67% de los minadores poseen un triciclo para poder hacer su recorrido de recolección, el 28,57% utiliza saco para ser depositado todo lo reciclado y solo un minador (4.76%) posee vehículo propio.

### **2.7.1 Disponibilidad de material PET**

El Ecuador, como país en vías de desarrollo, no cuenta en la actualidad con un parque importante de empresas recicladoras ya que no se le ha dado el apoyo suficiente para impulsar estas iniciativas, todavía existen productos que no se reciclan.

En el caso de papel y cartón, una de las empresas pioneras en abrir el mercado de productos elaborados de material reciclable es Industrial la Reforma, luego aparecieron otras como Papelería Nacional, y Ecuapel en la provincia del Guayas en la provincia de Pichincha Incasa y Tecnopapel. Actualmente la empresa que se encarga de recolección y distribución de materia prima de papel es INTERCIA S.A. ( León Logroño, 2013)



**Figura 13-2:** Compra y venta de papel y cartón en RECICLAR CIA. LTDA.

**Fuente:** RECICLAR CIA. LTDA. 2010

Para el plástico, hasta hace unos pocos años atrás no existía ninguna empresa recicladora; en la actualidad existen dos empresas con tecnología de punta para procesar los residuos de plásticos que se recuperan en el país, estas empresas son “PRODUCTOS PARAISO”, en Pichincha y “REIPA” actualmente conocida como RECISA en Guayas. A más de estas dos empresas existen en las ciudades más importantes del país, pequeñas recicladoras de plástico que se dedican a procesarlo artesanalmente (microempresas). ( León Logroño, 2013)

La empresa que más adquiere PET en el Ecuador es ENKADOR(Quito) para la elaboración de pantalones (jeans), mediante la reutilización a través de un hilo, adquiriendo el material a 1 dólar hasta 1,05 dólares el kilo, pero el material es debidamente clasificado, sin etiquetas y tapas, deberá estar limpio no lavado, aquellas botellas que hayan sido utilizadas para almacenar algún tipo de combustible no serán adquiridas por las diferentes empresas, por lo tanto, no reutilizadas. (Angumba Aguilar, 2016)



**Figura 14-2:** Resina PET-PCR de Enkador se destina a la producción de hilo ecológico

**Fuente:** Producción textil con visión mundial. (Revista Vistazo, 2016)

Dentro de este ámbito los recicladores en la localidad de Cuenca diferencian 2 tipos de plástico, el duro (PET) y el suave que son las fundas normales y transparentes y de color, las cuales son también recuperadas, las mismas que se peletizan (cortar y triturar) y comercializadas hacia la ciudad de Guayaquil para ser utilizadas como materia prima para la elaboración de PVC (policloruro de vinilo); el plástico duro también es triturado con una granulometría fina y gruesa para la fabricación de mangueras. (Angumba Aguilar, 2016)

## **2.8 PET como material de construcción**

Los plásticos pueden ser empleados en la fabricación de una gran variedad de productos gracias a sus excelentes propiedades: baja densidad que permite la fabricación de objetos ligeros, fácil moldeo para adquirir formas variadas rígidas o flexibles, gran resistencia a la corrosión y degradación, reducción de conductividad térmica y eléctrica, entre otros. (García, S., Bracho, N., López, W., 2016)

De acuerdo a diversos estudios realizados sobre las propiedades físicas y mecánicas de materiales de construcción reforzados con plásticos reciclados, se ha determinado que la adición de estos residuos le confiere mejoras en ciertas propiedades importantes; por ejemplo: Los ladrillos, bloques y placas elaborados con plásticos reciclados son livianos por el bajo peso específico de la materia prima.

Debido a que estos residuos son malos conductores del calor, proveen una excelente aislación térmica, superior a la de otros cerramientos. Tienen una resistencia menor a la

de otros elementos constructivos tradicionales, pero suficiente para ser utilizados como cerramientos de viviendas con estructura independiente antisísmica. Poseen buena resistencia al fuego y presentan una resistencia acústica superior a los ladrillos y bloques comunes (García, S., Bracho, N., López, W., 2016)

Las propiedades físicas y mecánicas de los elementos constructivos desarrollados fueron establecidas mediante ensayos en los laboratorios de la Universidad Nacional de Córdoba y del INTI México. (Angumba Aguilar, 2016)



**Figura 15-2:** Propiedades físicas y mecánicas de los elementos constructivos con PET

**Fuente:** (Angumba Aguilar, 2016)

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

Entre estas ventajas se puede incluir el menor peso que estas presentan y sobre todo la ausencia de corrosión de este tipo de fibras. Como contrapartida, se encuentra el valor más reducido de sus propiedades mecánicas con respecto a las fibras de acero; por lo que los concretos resultantes experimentaron un aumento menor de las propiedades mecánicas, a favor de las ventajas anteriormente mencionadas.

Los plásticos pueden ser empleados en la fabricación de una gran variedad de productos gracias a sus excelentes propiedades: baja densidad que permite la fabricación de objetos ligeros, fácil moldeo para adquirir formas variadas rígidas o flexibles, gran resistencia a

la corrosión y degradación, reducción de conductividad térmica y eléctrica, entre otros. (García, S., Bracho, N., López, W., 2016)

De acuerdo a diversos estudios realizados sobre las propiedades físicas y mecánicas de materiales de construcción reforzados con plásticos reciclados, se ha determinado que la adición de estos residuos le confiere mejoras en ciertas propiedades importantes; por ejemplo:

Los ladrillos, bloques y placas elaborados con plásticos reciclados son livianos por el bajo peso específico de la materia prima. Debido a que estos residuos son malos conductores del calor, proveen una excelente aislación térmica, superior a la de otros cerramientos.

Tienen una resistencia menor a la de otros elementos constructivos tradicionales, pero suficiente para ser utilizados como cerramientos de viviendas con estructura independiente antisísmica. Poseen buena resistencia al fuego y presentan una resistencia acústica superior a los ladrillos y bloques comunes (García, S., Bracho, N., López, W., 2016)

Las propiedades físicas y mecánicas de los elementos constructivos desarrollados fueron establecidas mediante ensayos en los laboratorios de la Universidad Nacional de Córdoba y del INTI México. (Angumba Aguilar, 2016)

Ladrillos y placas prefabricadas con plásticos reciclados aptos para la autoconstrucción.

## **2.9 Ladrillos**

Desde el inicio, uno de los productos más utilizados por la humanidad son los ladrillos, siendo hasta el día de hoy la mejor opción para construcción de viviendas, a lo largo de los años estos objetos han ido mejorando sus características y componentes, lo que los hace más duraderos y tecnificados. Su función ha sido siempre resguardar a los hombres, edificar templos y monumentos para sus deidades, varios de los cuales aún están de pie el día de hoy.

Los ladrillos son elementos de construcción, generalmente cerámicos en forma rectangular de barro o arcilla para elaboración de muros, hornos, pisos, albañilería en



general, que se obtiene mediante moldeo, secado y cocción a altas temperaturas durante varios días y enfriamiento a lento dentro de los mismos hornos, sus dimensiones facilitan su colocación a los operarios. (Wikipedia)

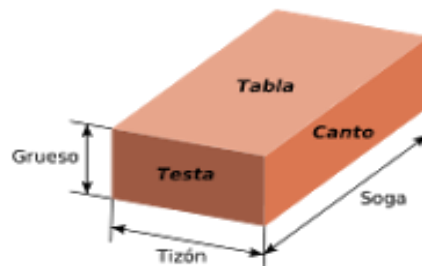
“La invención del ladrillo supuso un gran avance en la historia de la arquitectura mundial siendo ahora un material muy empleado en la construcción tanto estructural como decorativa.” (Arquitectura, 2014)

Los ladrillos tienen tres caras principales:

**Testa:** Los lados cortos.

**Tabla:** Son las caras largas del ladrillo.

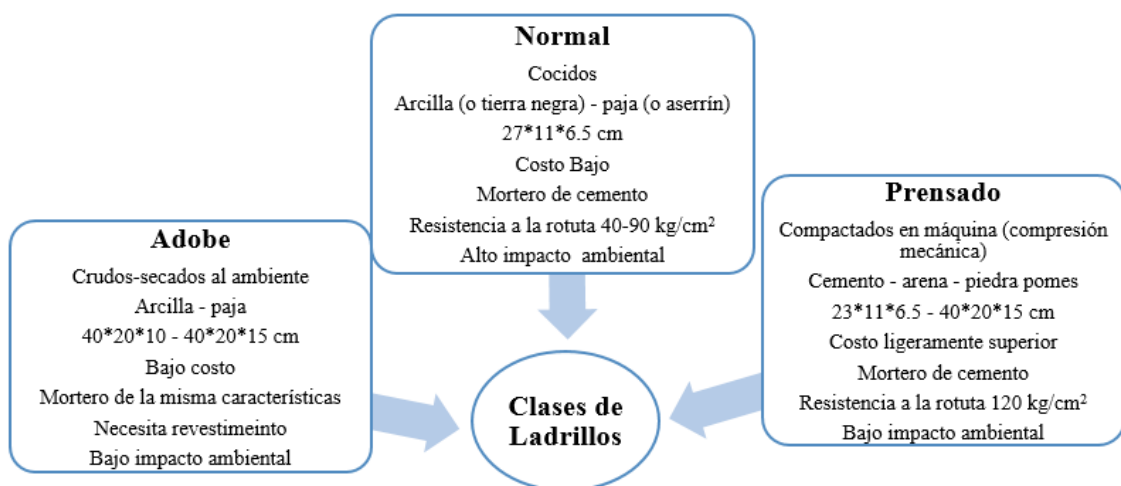
**Canto:** Los lados largos del ladrillo.



**Figura 16-2:** Caras y lados del ladrillo

Fuente: (Arquitectura, 2014)

### Clases de ladrillos



**Figura 17-2:** Esquema de las clases de Ladrillos

Fuente: (Pellini, 2015)

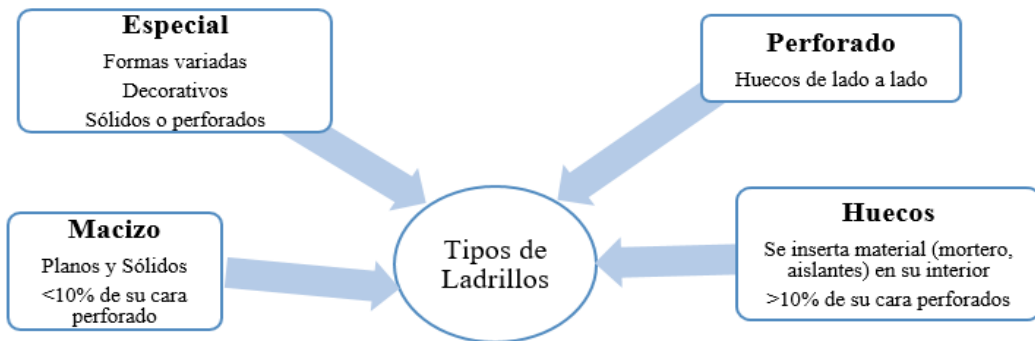
Realizado por: Morales, Carolina. Pérez, Beatriz. 2017



**Figura 18-2:** Imágenes de clases de ladrillos

Fuente: (Pellini, 2015)

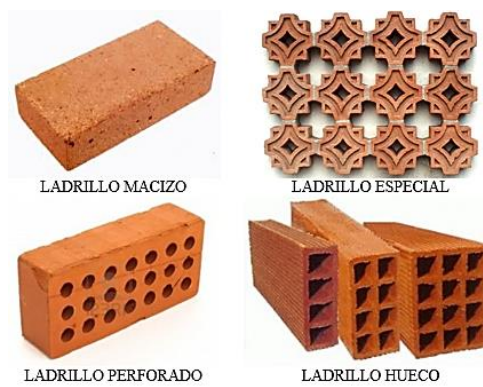
**Tipos de Ladrillos**



**Figura 19-2:** Esquema de los Tipos de Ladrillos

Fuente: (Pellini, 2015)

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018



**Figura 20-2:** Tipo de Ladrillos

Fuente: (Pablo, 2017)

El trabajo de titulación se enfoca en los ladrillos tradicionales macizos, por lo que es necesario mostrar los distintos tipos y clases de ladrillos.

## **2.9.1 Fabricación de ladrillos**

### *2.9.1.1 Ladrillo común*

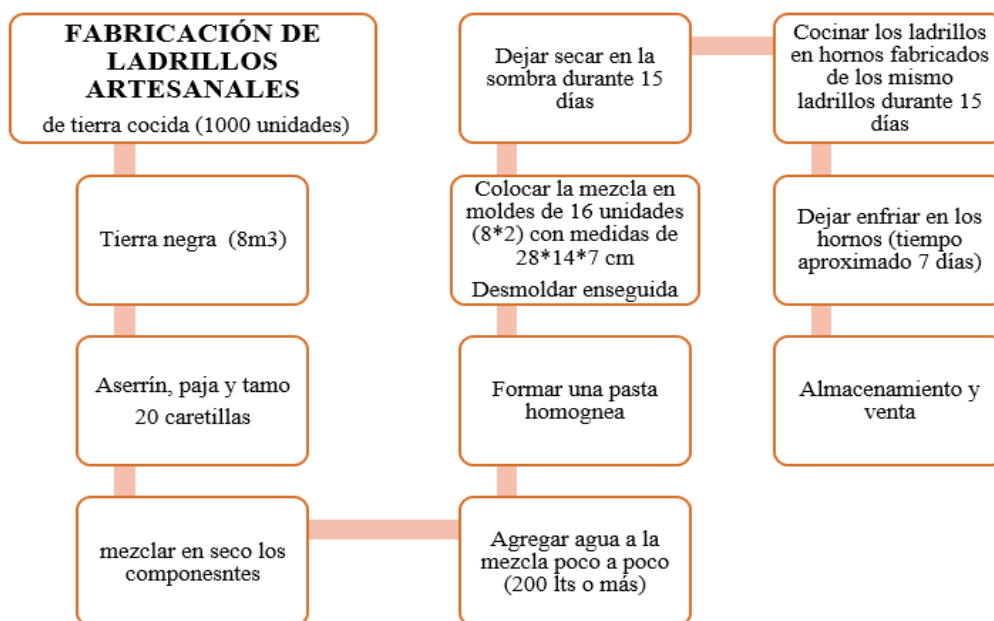
Los ladrillos cocidos son componentes artificiales que se obtienen exponiéndolos a la acción del fuego directo, una vez hechos y secados a la sombra. Su color rojo es debido al óxido de hierro en el suelo que se usa para su fabricación.

La tierra mezcla con aserrín o tamo de trigo, cebada o arroz, (paja y polvo que queda después de la trilla), después de obtener una mezcla homogénea se agrega agua, al ser artesanal se lo realiza a mano entre varias personas, caballos o de manera más automatizada con máquinas. Al tener una pasta de consistencia homogénea, se inicia el moldeo de los mimos, en moldes tipo cajón sin fondo de 8\*2 espacios rectangulares (ladrillos) llamados adoberas, este trabajo se realiza generalmente a mano, rara vez con máquinas apropiadas. Se estima que pueden realizar 2500 ladrillos por día.

Al sacarlos de los moldes, se disponen en hileras, en la sombra, para secarlos durante 3 días antes de llevarlos a hornos improvisados (hechos con los mismos ladrillos crudos) al aire libre en forma de pirámides truncadas con espacio para el combustible, durante 1 o 2 días a fuego vivo, cuando este termina se deja enfriar los ladrillos durante 15 días dentro de los mismos hornos. Este tiempo varía según las condiciones ambientales.

Los moldes por lo general se utilizan de 28\*14\*7 cm, pero las medidas generalmente de los ladrillos al salir del horno son de aproximadamente 26\*11\*6 cm debido a la reducción del material (alrededor del 20% al 30%) al someterlo al calor constante.

La operación de la cocción se hace también en hornos circulares de fuego continuo, sistema Hoffman, los que permiten hacer la cocción sin interrupción, y descargar un compartimento, mientras que los demás funcionan. El tamaño de los ladrillos comunes, que se fabrican en el país, es de 26,5 a 27 cm. de largo por 11 a 13 cm. de ancho 5 a 5,5 cm. de espesor.



**Figura 21-2:** Esquema de fabricación de ladrillos artesanales

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

## 2.9.2 Ensayos

### 2.9.2.1 Mecánicos

**Tabla 3-2:** Ensayos mecánicos en ladrillos

Ensayo	Fórmula	Método	Norma
Compresión	$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (1)$ <p>Donde:  <math>\sigma_c</math> Esfuerzo a compresión  <math>F</math> Fuerza  <math>A</math> Área</p>	Se ejerce un esfuerzo axial (compresión) perpendicular a la cara mayor del ladrillo (Tabla).	INEN 294
Flexión	$R = \frac{300 Gl}{2bd^2} \quad (2)$ <p>Donde:  <math>R</math> Módulo de rotura [MPa]  <math>G</math> Carga de rotura [N]  <math>l</math> Distancia entre apoyos [mm]  <math>b</math> Ancho de cara a cara [mm]  <math>d</math> Promedio de espesor de cara a cara [mm]</p>	Se coloca la cara mayor del ladrillo en los apoyos a 15 cm entre ellos. La carga desciende hasta tener contacto directo con el centro de la luz de cara superior del ladrillo. Las líneas de contacto son paralelas en todo momento, hasta la rotura. La carga debe ser aplicada con velocidad < 1,5 mm por minuto.	INEN 295
Absorción	$Abs\% = \frac{P_2 - P_1}{P_1} * 100 \quad (3)$ <p>Donde:  <math>Abs\%</math> Porcentaje de absorción  <math>P_1</math> Masa de la muestra seca  <math>P_2</math> Masa de la muestra después de 24 horas sumergida</p>	Una vez preparadas las muestras y anotada su masa constante, sumergirlas en agua destilada, a una temperatura de 15 a 30° C durante 24 horas. Al sacar las muestras del agua, secarlas con una toalla húmeda antes de pesarlas. La pesada de cada muestra debe concluirse antes de cinco minutos de sacada del agua.	INEN 296

Fuente: Normas INEN 294, 295, 296, 297

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz 2018.

### 2.9.2.2 Térmicos

**Tabla 4-2:** Ensayos térmicos, definiciones

ENSAYO	Fórmula	Definición	Norma
Conductividad térmica	$Q = Ak \left( -\frac{dT}{dx} \right) \quad (4)$ <p>Dónde:  <math>Q</math> Flujo de calor a lo largo del espesor [W]  <math>A</math> Área de la sección perpendicular al flujo de calor, [m<sup>2</sup>]  <math>\frac{dT}{dx}</math> Gradiente de temperatura entre la placa fría y caliente [K]  <math>dx</math> Espesor de la muestra,  <math>k</math> Coeficiente de conductividad térmica [W m<sup>-1</sup>K]</p>	Cantidad de calor que pasa en una hora por una pieza de superficie y profundidad determinadas, existiendo entre sus caras un gradiente de Temperatura de 1° C.	No aplica

Fuente: (Cengel, y otros, 2012)

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

## 2.10 Ladrillos ecológicos

Tradicionalmente los ladrillos están asociados a grandes fuentes de contaminación, lo que ha llevado a buscar diversas formas para mitigar su impacto, es de donde nace el concepto de LADRILLOS ECOLOGICOS O ECOLADRILLOS, cuya conformación se basa en la sustitución de la materia prima por desechos y residuos sólidos que tardan varios siglos en degradarse, así mismo se evita el uso de hornos, reduciendo la cantidad de CO<sub>2</sub> liberado al ambiente, y reducir el uso de tierra negra (fértil), sin merman las características de los mismos en relación a los tradicionales e impulsando una producción sostenible y amigable con el medio ambiente. (Isan, 2016)

La energía necesaria para la fabricación de ladrillos tradicionales es extremadamente alta con un impacto ambiental devastador. En función a esto, varias han sido las iniciativas y propuestas para contrarrestar todos estos efectos, de manera ecológica con el uso de materiales sostenibles y de fácil obtención, gracias a que son materiales de consumo común y masivo.

El concepto de los ladrillos ecológicos se fundamenta en dos principios básicos de la ecología, la reducción de energía y el reciclaje, es decir, el impacto ambiental debido a

su fabricación es bastante reducido a comparación de los tradicionales, según el material utilizado, proceso de fabricación empleado y las propiedades finales de los mismos.

Obviamente, tendremos ladrillos ecológicos más funcionales y económicos que otros, en base a su funcionalidad y sostenibilidad en distintas propiedades y aspectos.

Se busca obtener la misma o mayor resistencia mecánica que un ladrillo tradicional, por lo que se pueden considerar su uso en la bioconstrucción con las mismas cualidades estéticas, confort y seguridad.

### 2.10.1 Fabricación de diversos tipos de ladrillos

La fabricación de los ladrillos ecológicos tiene el mismo principio que los ladrillos tradicionales, pero sus materiales son sustituidos por residuos sólidos reciclados y evita la cocción de los mismos evitando la emanación de CO<sub>2</sub> al ambiente.

Actualmente hay varios tipos de ladrillos ecológicos, según el residuo usado:

 <p>CENIZAS DE CARBÓN</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Henry Lui 1999</li> <li>• Cenizas generadas por las centrales térmicas</li> </ul>
 <p>LADRILLO NEGRO</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MIT Michael Larcy &amp; Thomas Point</li> <li>• Residuos de las fabricas de papel de la India</li> </ul>
 <p>CANAMO Y PAJA O CÁSCARA</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propiedades aislantes</li> <li>• Grandes resistencias</li> <li>• Fabricación tradicional</li> </ul>
 <p>IRREGULARES</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distintas formas geométricas</li> <li>• Aislante térmico y acústico</li> <li>• No necesita recubrimiento</li> </ul>
 <p>TIERRA O ARENA COMPRIMIDA</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frágiles y costo elevado</li> <li>• Poco aislamiento</li> <li>• Mayor huella de carbono</li> </ul>
 <p>HUMO CONGELADO</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MIT &amp; Lawrence Livermore National Laboratory</li> <li>• Ligero similar a un aerogel</li> <li>• Soporta 160.000 veces su peso</li> <li>• Impresión 3D</li> </ul>
 <p>RESIDUOS DOMESTICOS</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No tienen un creador específico</li> <li>• Ecológicos y económicos</li> </ul>

**Figura 22-2:** Tipos de Ladrillos Ecológicos actualmente

Fuente: (Isan, 2016)

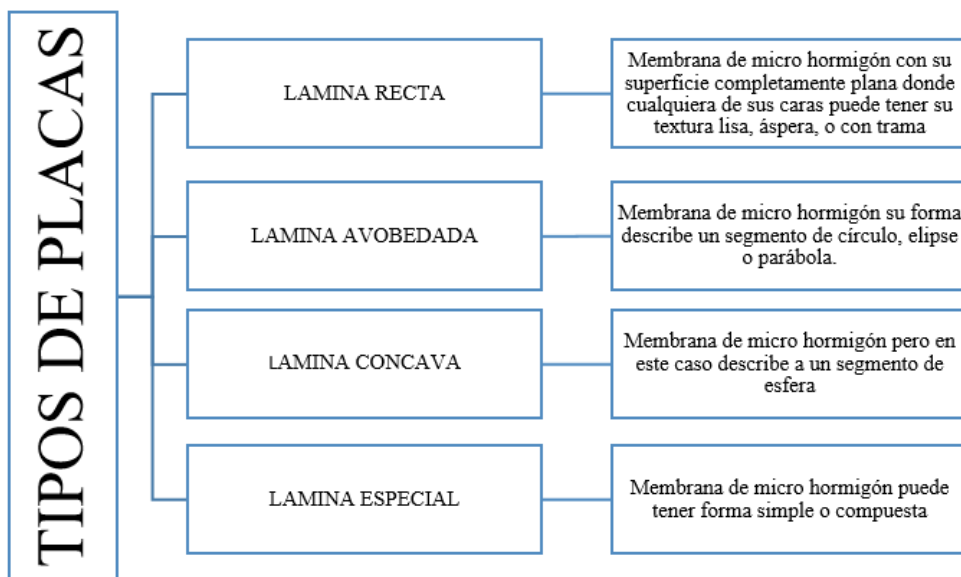
Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

## 2.11 Placas (baldosas)

Una placa debe ser cuadrada o casi cuadrada para asegurarse de que se comporte como una estructura de dos sentidos. Cuando una placa se hace más rectangular que cuadrada, disminuye la acción de dos sentidos y se desarrolla un sistema de un sentido que sigue la dirección más corta porque las franjas más cortas de la placa son más rígidas y sustentan una parte mayor de la carga. (Constructor Civil, 2013)

Las placas son elementos estructurales que geoméricamente se pueden considerar como una superficie bidimensional y que trabajan predominantemente a flexión y cuya superficie media es plana.

### 2.11.1 Tipos de placas



**Figura 23-2:** Esquema del tipo de Placas

**Fuente:** (HORMYPOL)

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

### 2.11.2 Fabricación

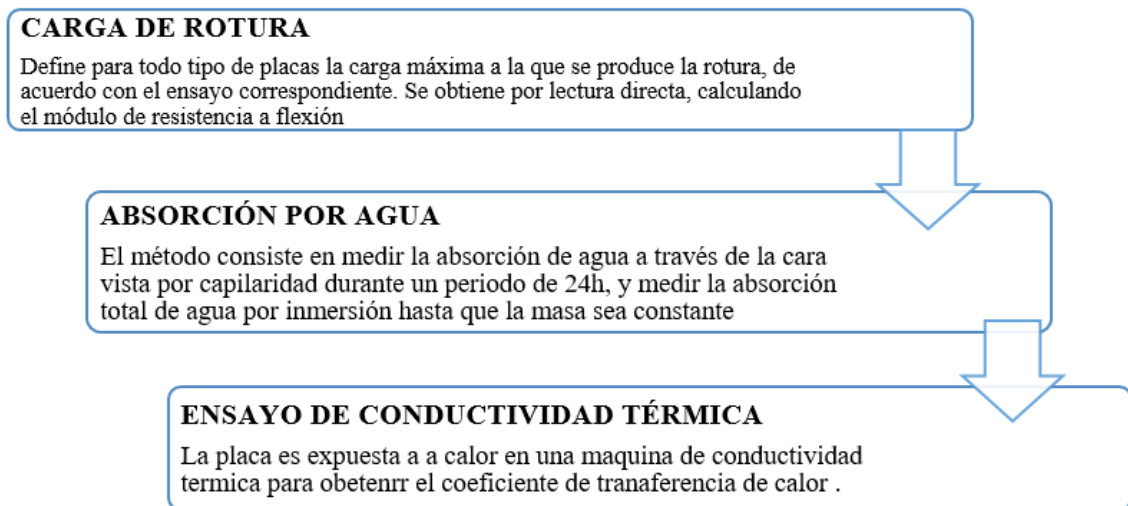
Los materiales constitutivos para la fabricación de placas existentes en el mercado y las más comercializadas son elaborados de cemento y más aglomerantes que conforman una placa sólida y resistente.

Las dimensiones de las placas varían dependiendo su uso y los materiales con que fueron elaboradas buscando componentes de construcción livianos, de buena aislación térmica, y resistencia mecánica suficiente con la finalidad de cumplir requerimientos específicos para ser consideradas apropiadas para su uso en la construcción

Puede acoplarse a cualquier sistema constructivo existente, esto es madera, acero, hormigón, tapia, ladrillo, bloque, adobe, etc.

Las láminas son ideales para obtener elementos de una construcción donde los requerimientos estructurales los puede absorber un sistema muy simple de acero.

### 2.11.3 Ensayos



**Figura 24-2:** Ensayos en placas

Fuente: (Rivera L., 2015)

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017



## 2.12 Morteros

Los morteros se definen como mezclas de uno o más conglomerantes inorgánicos, áridos, agua y a veces adiciones de aditivos. Deducimos por mortero fresco el que se encuentra completamente mezclado y listo para su uso. La propiedad más interesante del mortero es su capacidad para aguantar la compresión. ( Rodríguez Mora, 2006 pág. 8)

### 2.12.1 Características de los Morteros

Contrario a otros materiales constructivos, el mortero tiene la peculiaridad de ser empleado en muy distintas aplicaciones en edificación. ( Rodríguez Mora, 2006)

Estas posibilidades vienen determinadas por los siguientes factores:

*Adaptabilidad formal.* El mortero se puede adaptar a cualquier superficie y volumen, forma. Tampoco requiere tolerancias dimensionales.

*Facilidad de aplicación.* A diferencia de otros materiales utilizados en la construcción, los morteros no requieren especial sofisticación para su puesta en obra. Pueden ser aplicados manualmente o por proyección.

*Prestaciones diseñables.* El mortero ofrece la posibilidad de adaptar sus propiedades a las exigencias que se deseen conforme a la composición y dosificación precisas.

Clases de Morteros

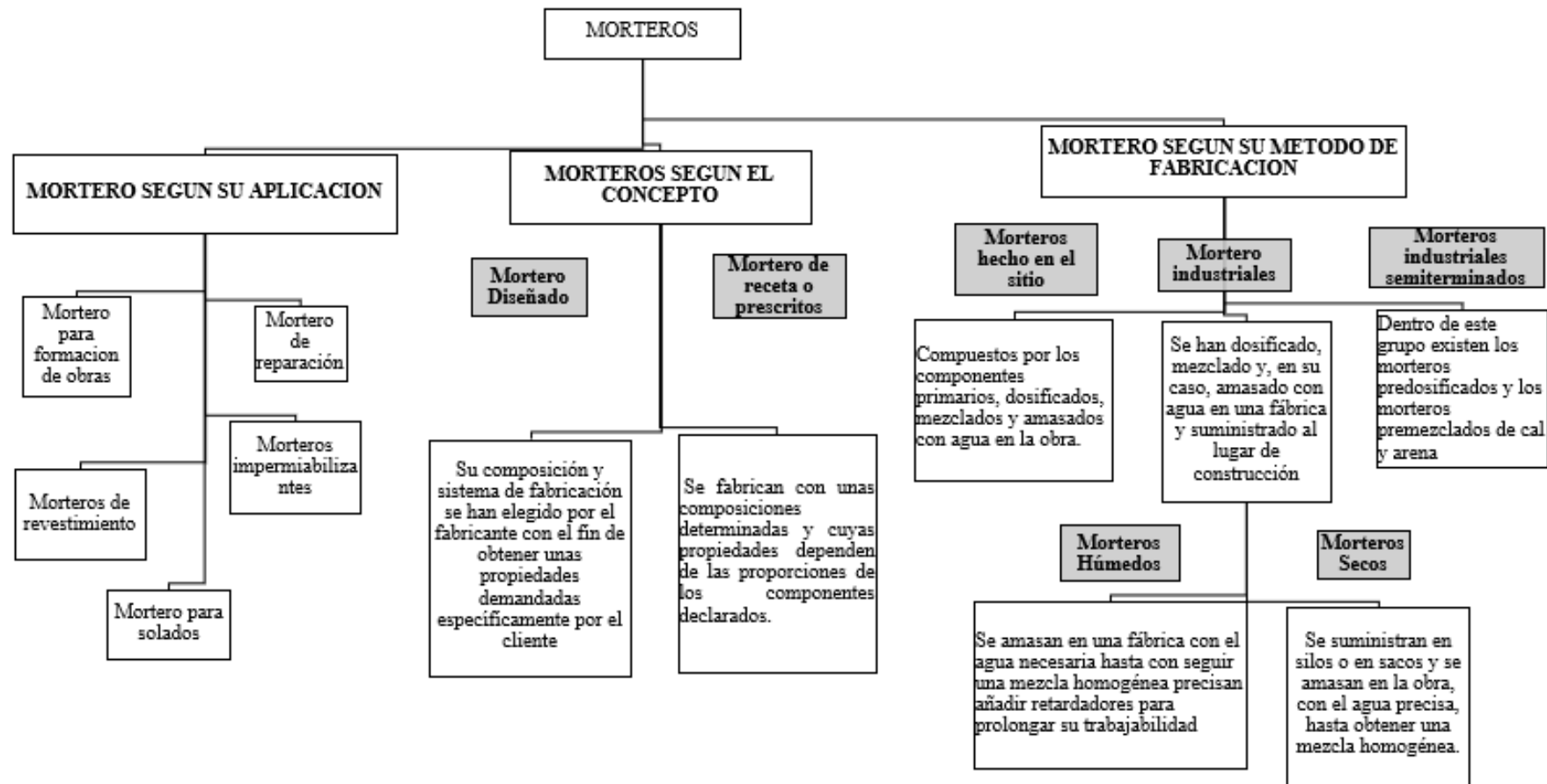


Figura 25-2: Esquema de las Clases de Morteros

Fuente: ( Rodríguez Mora, 2006)

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

## **2.13 Componentes y características**

### ***2.13.1 Conglomerantes***

Entendemos por conglomerante, un material capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto por efecto de transformaciones químicas en su masa, que origina nuevos compuestos ( Rodríguez Mora, 2006)

*Cal Aérea.* Las cales aéreas hidratadas (apagadas) endurecen únicamente con el aire

*Cales Hidráulicas.* Las cales hidráulicas, amasadas con agua forman pastas que fraguan y endurecen a causa de las reacciones de hidrólisis e hidratación de sus constituyentes. ( Rodríguez Mora, 2006 pág. 19)

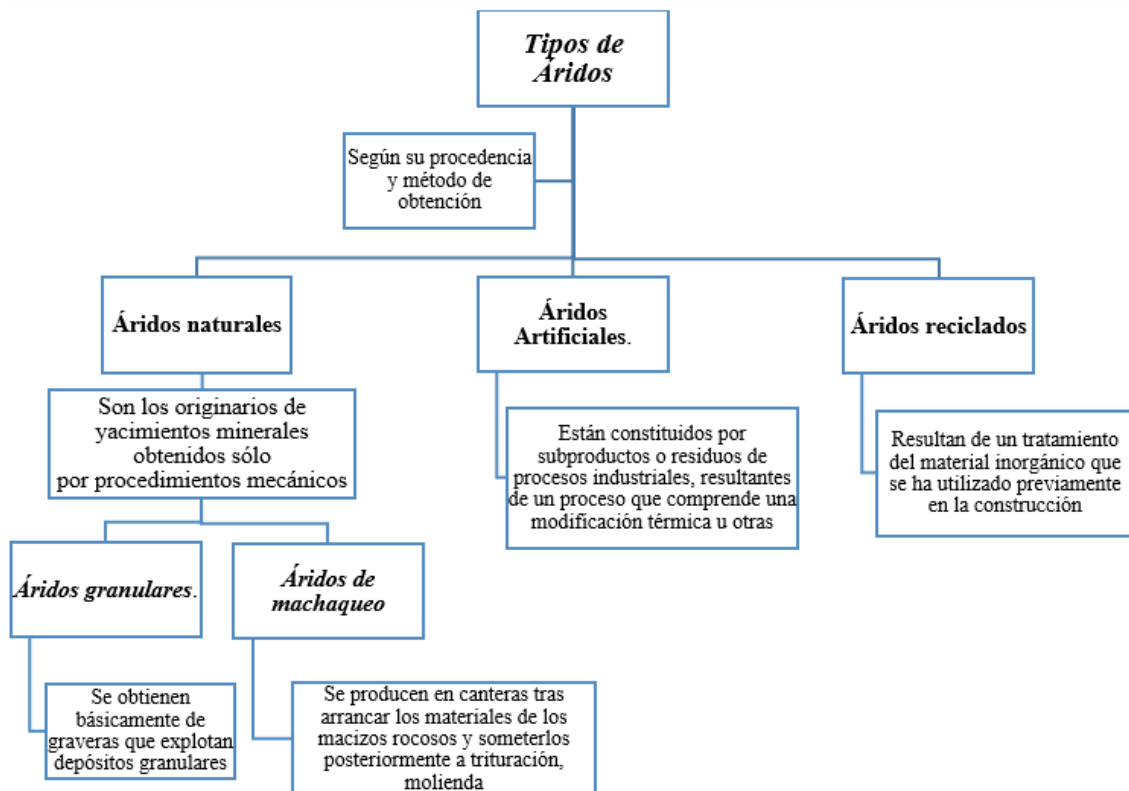
*Cementos.* Son los conglomerantes hidráulicos más empleados en la construcción debido a estar formados básicamente mezclas de caliza, arcilla y yeso que son materiales muy abundantes en la naturaleza. Su precio es relativamente bajo en comparación con otros materiales y tienen unas propiedades muy adecuadas para las especificaciones que deben alcanzar. ( Rodríguez Mora, 2006 pág. 20)

#### *Características del cemento portland*

Se trata de un cemento normal y se obtiene tras mezclar el clinker con el yeso. Se usa generalmente en las obras de ingeniería. Tal cemento consta de una elevada resistencia inicial y es tremendamente recomendable cuando es necesario una resistencia acelerada. En un caso en concreto y en lo que a la construcción se refiere. (UMACOM, 2017)

Dicho cemento va adquiriendo resistencia con más lentitud. Es empleado frecuentemente en alcantarillados, tubos y zonas industriales. Se utiliza habitualmente en grandes obras, presas y túneles. (UMACOM, 2017)

### 2.13.2 Áridos



**Figura 26-2:** Esquema Tipos de Áridos

Fuente: ( Rodríguez Mora, 2006)

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

Aunque las *arenas* no toman parte activa en el fraguado y endurecimiento del mortero, desempeñan un papel técnico muy importante en las características de este material, porque conforman la mayor parte del volumen total del mortero. Por ello, se puede decir que la arena es la esencia del mortero. ( Rodríguez Mora, 2006 pág. 22)

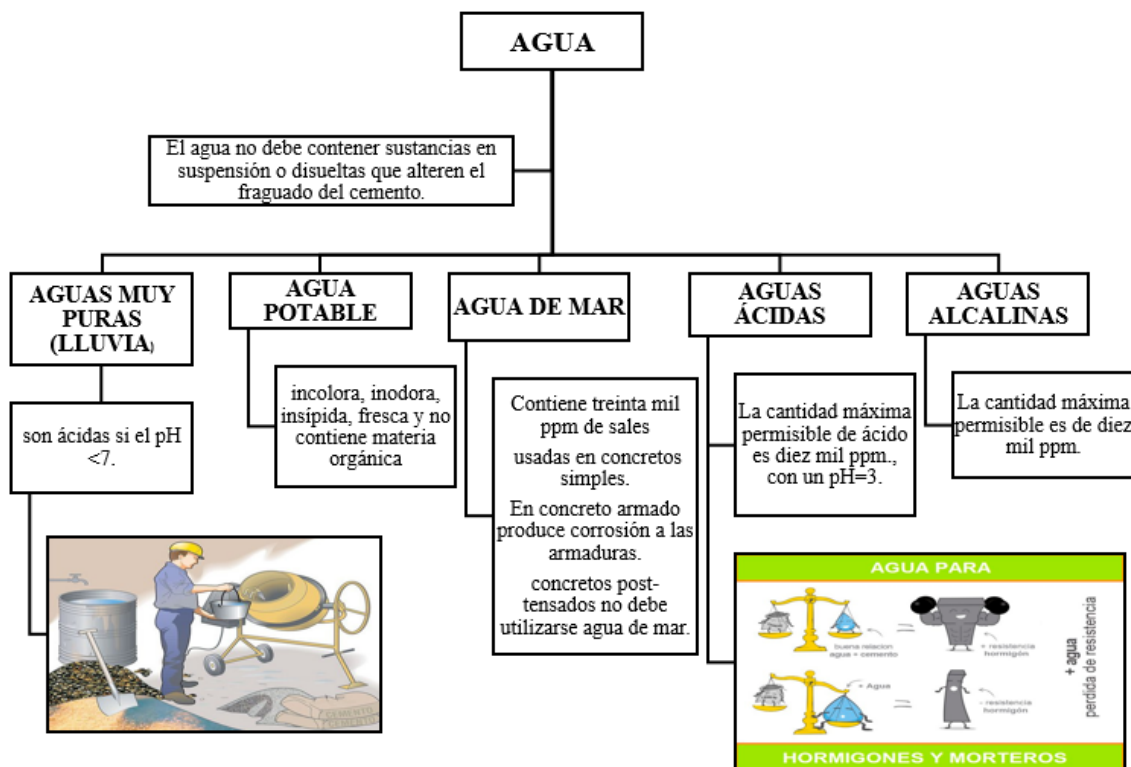
### 2.13.3 Agua

El agua utilizada, tanto en el amasado como durante el curado en obra, debe ser de naturaleza inocua. No contendrá ningún agente en cantidades que alteren las propiedades del mortero, tales como sulfatos, cloruros, etc. ( Rodríguez Mora, 2006 pág. 30)

Los mayores inconvenientes del concreto provenientes del agua ya que la mala relación entre agua y cemento ocasiona que la resistencia sea baja y más que nada la problemática están relacionados con la cantidad y no con calidad.

En general, se pueden emplear todas aquellas aguas cuya experiencia práctica se haya probado favorablemente. En otros casos es necesario proceder a su análisis. Cuando se sospecha de la calidad del agua lo mejor en la mezcla es recomendable hacer ensayos comparativos de cementación, resistencia mecánica y estabilidad del volumen.

### Tipos de Agua y su utilización



**Figura 26-2:** Tipos de Agua y la relación con el fraguado

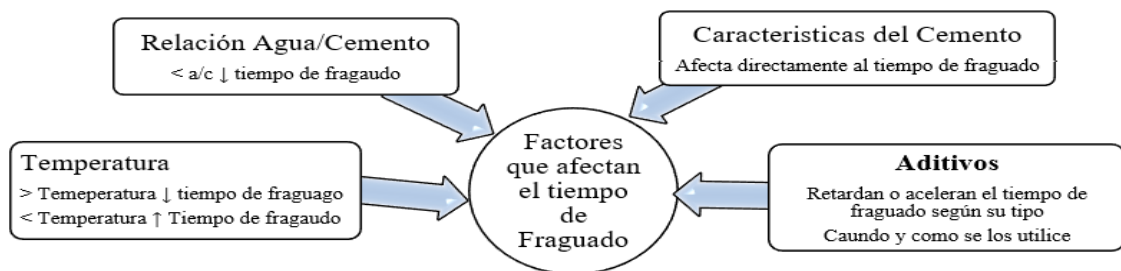
Fuente: ( Rodríguez Mora, 2006)

Realizado por: Morales Carolina. Pérez Beatriz. 2017

## 2.14 Fraguado

Es el proceso en el cual el mortero o el hormigón, pierden plasticidad y van ganando resistencia (endurecimiento). La resistencia final del producto depende de la velocidad y condiciones del mismo, dependiendo de factores como:

Se ha creado distintos tipos de aditivos para mejorar la calidad del producto, estos pueden ser acelerantes, retardantes, impermeabilizantes, entre otros. (Galabec, 2008 pág. 11)



**Figura 27-2:** Factores que afectan el tiempo de fraguado

Fuente: (Galabec, 2008)

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

### *Edad del concreto*

Tiempo que tiene la muestra desde su elaboración que se toma en consideración para medir la resistencia mecánica, esta depende de su dosificación para determinados valores.

Las resistencias son directamente proporcionales hasta los 28 días, donde el valor de la resistencia deberá ser el deseado. Las pruebas pueden realizarse a los 3, 7, 14, 21, 28, 35, 45, 90, 180 y 360 días (a partir de los 28 días la resistencia debe ser constante).

### *Curado del concreto*

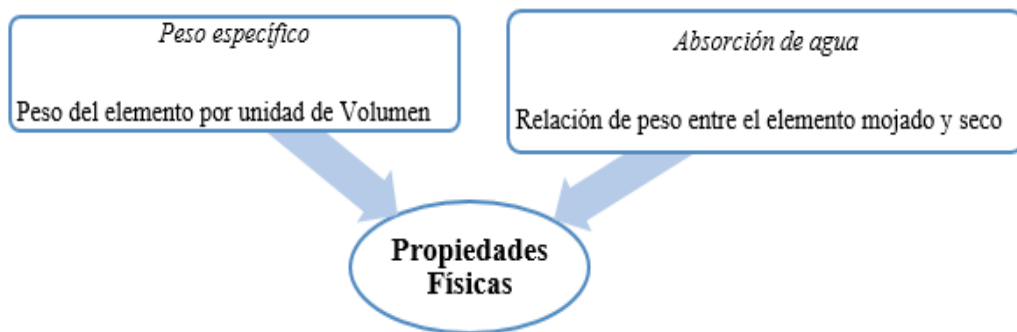
Proceso que se encarga de vigilar la pérdida de agua en la masa a causa de factores externos relacionados al clima en su entorno, con la finalidad de lograr la máxima hidratación del cemento para alcanzar la resistencia final desea.

## 2.15 Dosificación

Es conjunto de pasos que buscan determinar las proporciones adecuadas de los materiales que componen los morteros, en base a parámetros establecidos previamente (peso o volumen), para concretos y hormigones, de este modo maximizar la resistencia y durabilidad necesarias para aplicaciones determinadas minimizando el desperdicio de material, esta expresada en  $\text{Kg}/\text{cm}^2$

## 2.16 Propiedades Físicas, Mecánicas y Térmicas

### 2.16.1 Físicas



**Figura 28-2:** Propiedades Físicas

Fuente: (Angumba Aguilar, 2016)

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

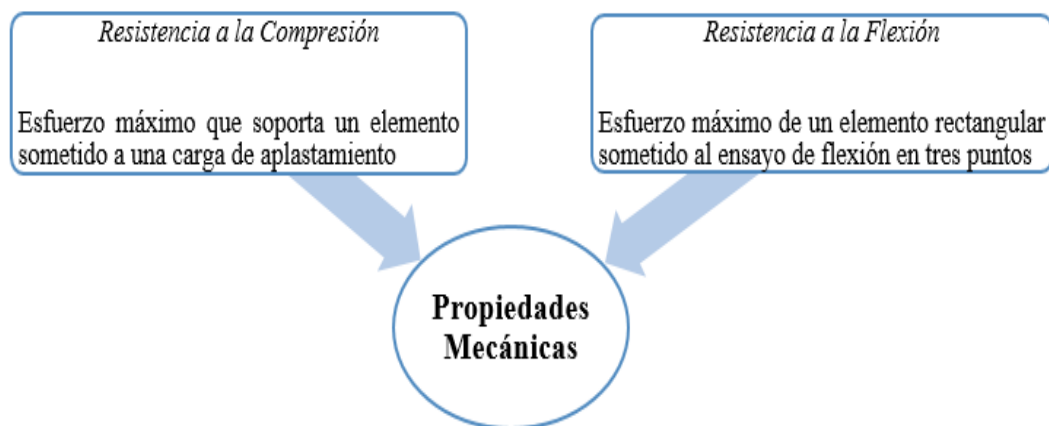
#### 2.16.1.1 Peso específico

Los ladrillos, bloques y placas elaborados con plásticos reciclados son livianos por el bajo peso específico de la materia prima. (Angumba Aguilar, 2016)

### 2.16.1.2 Absorción de agua

Los elementos constructivos con plásticos reciclados tienen una absorción de agua similar a la de otros cerramientos tradicionales. (Angumba Aguilar, 2016)

### 2.16.2 Mecánicas



**Figura 29-2:** Propiedades Mecánicas

Fuente: (Rivera, 2012)

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

#### 2.16.2.1 Resistencia a la compresión

Ladrillos y bloques con plásticos reciclados tienen una resistencia menor a la de otros elementos constructivos tradicionales, pero suficiente para ser utilizados como cerramientos de viviendas con estructura independiente antisísmica. En el caso de las placas, la resistencia es similar a la de placas fabricadas con ladrillos comunes. (Angumba Aguilar, 2016)



### 2.16.2.2 Resistencia a la flexión

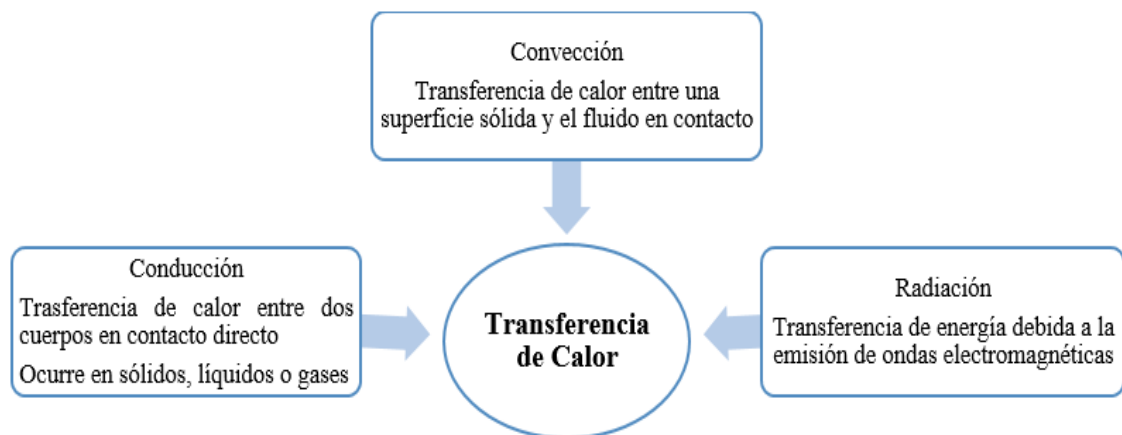
Tanto en placas como ladrillos conformados por elementos reciclados como el plástico y fibras vegetales, el módulo de rotura alcanza valores superiores al ser sometidos a pruebas de flexión transversal en comparación a elementos tradicionales.

### 2.16.3 Térmicas

#### Conductividad térmica ( $k$ )

Constante proporcional del material, la cual es una medida de la capacidad del material para conducir calor. (Cengel, y otros, 2012 pág. 93)

El calor se transfiere mediante tres mecanismos: conducción, convección y radiación.



**Figura 30-2:** Formas de Transferencia de Calor

**Fuente:** (Cengel, y otros, 2012 pág. 93)

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

## 2.17 Modelo matemático de transferencia de calor unidireccional por conducción en placas y ladrillos

La transferencia de calor mediante conducción en una sola dirección se define según Jean Baptiste Fourier como, “*el calor que fluye en una dirección, dentro de un medio sólido homogéneo en tiempo determinado, es el producto entre el área expuesta y la transmisión de calor normal al eje x, el gradiente de temperatura y una propiedad del material conocida como conductividad térmica*”, (Cengel, y otros, 2012) , en base a la Ley de Fourier se obtiene:

$$\nabla T = \frac{\delta T}{\delta x} + \frac{\delta T}{\delta y} + \frac{\delta T}{\delta z} \quad (5)$$

El análisis realizado en el presente trabajo de titulación se considera en una sola dirección, en el *eje x*, aplicando la ecuación (7):

*Dirección x:*

$$q_x \propto A \frac{\delta T}{\delta x} \quad (6)$$

$$q_x = -kA \frac{\delta T}{\delta x}$$

$$q_x = Ak \frac{(T_1 - T_2)}{L} \quad (7)$$

Dónde:

- $q_x$  Calor transmitido en el eje  $x$  [W]
- $A$  Área [m<sup>2</sup>]
- $k$  Coeficiente de conductividad térmica [W/mK]
- $\frac{\delta T}{\delta x}$  Gradiente de temperatura entre las superficies [K/m]
- $L$  Espesor [m]

*Condiciones Estacionarias*

$$Q_{ent}^{\dot{}} = -Q_{sal}^{\dot{}} \quad (8)$$

$$Q_{cond}^{\dot{}} = -kA \frac{dT}{dx}$$

$$\int_{x=0}^L Q_{cond}^{\dot{}} dx = - \int_{T=T_1}^{T_2} kA dT$$

$$Q_{cond}^{\dot{}} = kA \frac{(T_1 - T_2)}{L}$$

$$k = \frac{Q_{cond}^{\dot{}} L}{A (T_1 - T_2)} \quad (9)$$

Aplicando el principio de funcionamiento del equipo para la determinación de la conductividad térmica, se plantea:

$$\dot{W}_e = VI$$

$$Q_{cond}^{\dot{}} = \frac{\dot{W}_e}{2} \quad (10)$$

Dónde:

$\dot{W}_e$  Trabajo eléctrico [W]

$V$  Voltaje [V]

$I$  Corriente Eléctrica [A]

El calor por conducción es la mitad del trabajo eléctrico utilizado debido al principio de simetría, el cual al considerar un sistema totalmente aislado dice que la mitad calor de conducción fluye por cada muestra.

## CAPITULO III

### 3. METODOLOGIA DE ENSAYOS

#### 3.1 Elaboración de Ladrillo prototipo

##### 3.1.1 *Introducción*

La recolección de información necesaria para la determinación experimental de la conductividad térmica y resistencia mecánica en distintos tipos ladrillos y placas, dimensión de las probetas según la normas, la similitud de las características al utilizar diferentes proporciones de los materiales ya definidos para su elaboración, de manera específica en ladrillos de cemento con plástico PET pulverizado, y a su vez costos de fabricación, serán la base para el desarrollo de la presente investigación.

Los resultados a utilizarse durante el desarrollo y evolución del proceso serán obtenidos de forma experimental en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) en cuanto lo referente a ensayos de resistencia mecánica; en lo referente a los ensayos de conductividad térmica, se los realizará en el Laboratorio de Transferencia de Calor de la Escuela Superior Politécnica del Ejército ESPE, ubicada en Sangolquí, del mismo modo cualquier requisito faltante en cada prueba.

El análisis cuantitativo de los resultados se realizará en función de los datos obtenidos, es primordial para la generación de las curvas características de la conductividad térmica y de resistencia mecánica de cada probeta, creando un precedente para su posterior análisis y comparación con curvas proporcionadas de estudios previos con distintos materiales.

Dando como resultado un trabajo experimental que sirva de base para estudiantes y demás interesados tengan una guía para futuras investigaciones con la finalidad de mejorar los resultados.

### 3.1.2 Descripción del proceso para la elaboración del ladrillo de plástico PET

Para la realización de los ladrillos de cemento-PET, se realiza de manera similar a la elaboración de los ladrillos de tierra cocida artesanales, con el uso de un mortero de relación de 1:4 (una unidad de cemento por cada 4 de arena), el plástico triturado PET, será reemplazado en distintos porcentajes del peso o volumen de la arena.

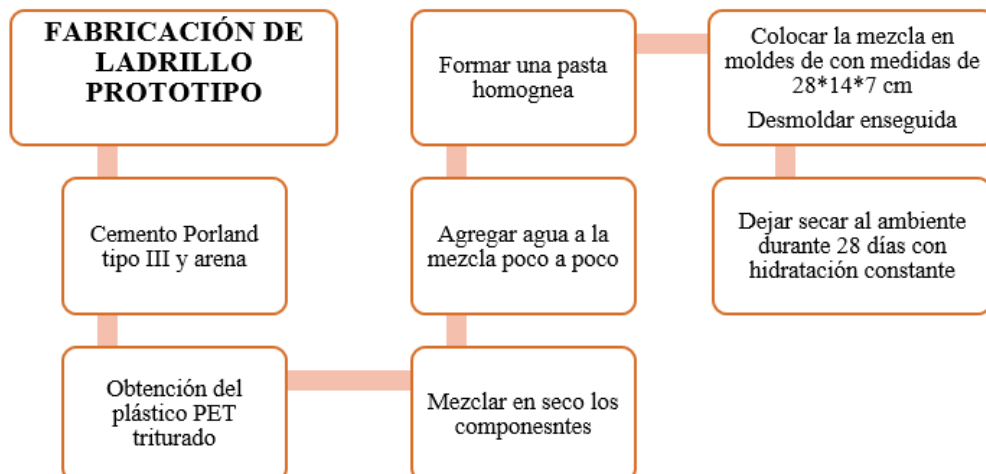
Para lo cual se ha dispuesto dos tipos de muestra detallados en la tabla 1-3.

**Tabla 1-3:** Porcentajes de PET utilizados en las probetas

MUESTRA A CEMENTO – ARENA – PET	MUESTRA B CEMENTO – PET
0% PET	0% PET
12,5% PET	33,33% PET
15% PET	40% PET
40% PET	50% PET
50% PET	75 % PET

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

Para cada proporción se utiliza el mismo procedimiento, detallado en la parte inferior.



**Figura 1-3:** Esquema de Fabricación del ladrillo prototipo

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

*Proceso gráfico:*



**Figura 2-3:** Proceso gráfico de la fabricación del ladrillo prototipo

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

Se realizan tres probetas con cada una de las proporciones dadas, para ser sometidas a ensayos de compresión y determinar la mejor opción de fabricación.

## **3.2 Normas y metodología para los ensayos de los agregados**

### **3.2.1 Polietileno Tereftalato (PET)**

Después de recolectar, identificar, separar y seleccionar la materia prima obtenida, se procedió a procesarla utilizando un molino triturador de PET de malla media (1-1,5 cm) y malla fina (0,6-0,8 cm), donde se trituro de manera separa botellas con tapas y etiquetas y botellas limpias (sin tapas ni etiquetas), toda la materia prima fue lavada para garantizar que no existan rastros de grasa u otro tipo de contaminantes que afecten la adherencia con el mortero, por ende, generen una mala compactación unos con otros.

En el proceso de selección se descartó las botellas de colores oscuros debido a la dificultad que se tiene en esta para establecer su grado de limpieza a simple vista. Se utilizó en este caso solamente botellas transparentes por la facilidad de determinar su grado de limpieza.

El proceso de limpieza y retiro de etiquetas y tapas de las botellas ya que tienen otro tipo de polímero y espesor. Consecutivamente, se procedió a la trituración del PET y se procedió a pesar el material con la finalidad de conocer la cantidad requerida para el proceso.

*Cálculo granulométrico del PET (módulo de finura)*

El material obtenido producto de la trituración de plástico PET tiene ciertas características semejantes al árido mediano y fino los cuales en la norma NTE INEN 872 se especifica los requisitos que debe tener un árido para ser considerado árido fino, es por este criterio que en primera instancia se definió de forma empírica el tamaño adecuado de la trituración, en la máquina se obtuvo dos medidas de plástico triturado.

Más adelante, la materia prima fue sometida a un análisis granulométrico en el laboratorio de suelos de la Universidad Técnica de Ambato el cual arrojó valores del agregado fino y mediano que deberá estar entre los límites, para obtener la granulometría adecuada se recurrió al uso de la norma NTE INEN 696

*Ensayo para determinar la granulometría de PET dimensiones 0,6-0,8 cm*

**Tabla 2-3:** Resultados del Ensayo de Granulometría de PET dimensiones 0,6-0,8 cm

<b>PLASTICO POLIETILENO TERAFTALATO (PET)</b>						
<b>Fino y Mediano (0,6-0,8 cm)</b>						
Peso total de la muestra			75 gramos			
<b>TAMIZ No.</b>	<b>Abertura Mm</b>	<b>Peso Retenido[g]</b>	<b>Porcentaje Retenido</b>	<b>Porcentaje acumulado</b>	<b>Porcentaje que Pasa</b>	<b>Requisitos de % que pasa</b>
3/8"	9,500	0,000	0,000	0,000	100,00	100
N 4	4,800	8,700	11,600	11,600	88,400	95 a 100
PASA N 4						
8	2,360	37,800	50,400	62,000	49,600	80 a 100
16	1,190	25,200	33,600	95,600	66,400	50 a 85
50	0,300	3,300	4,400	100,00	95,600	10 a 30
100	0,149					2 a 10
<b>TOTAL</b>		75,000	100,000	269,200		

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

### Módulo de finura

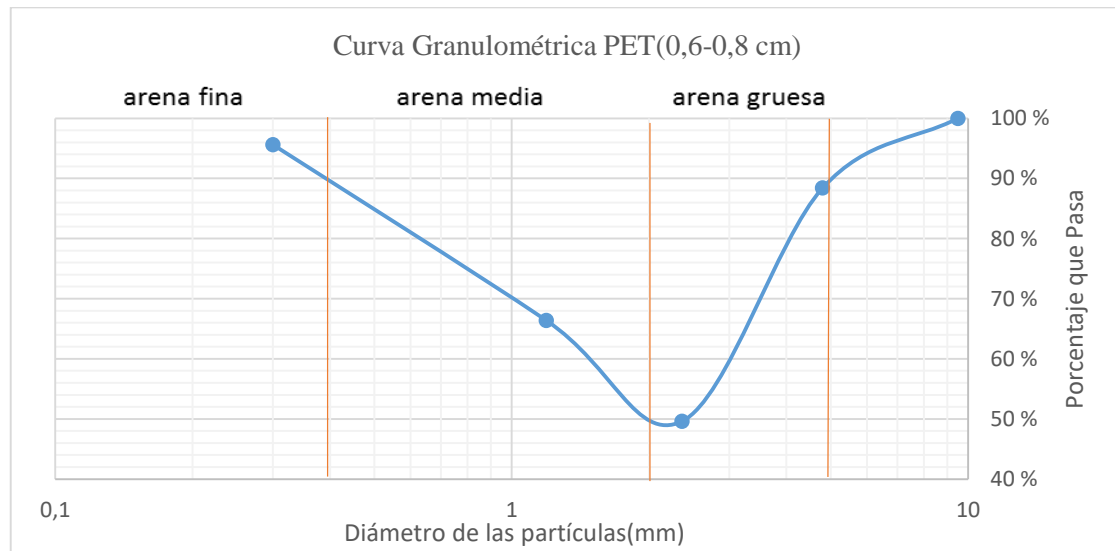
Se define como la suma de los pesos retenidos acumulados en los tamices # 100, 50, 30, 16, 8, 4 y 3/8μ, 3/4μ, 1-1/2μ, 3μ y 6μ) dividido entre 100. El módulo de finura debe estar entre 2.3 y 3.1 en el agregado fino y medio.

$$MF = \frac{\sum \% \text{ retenido acumulado } (6'' + 3'' + 1\frac{1}{2}'' + \frac{3}{4}'' + \frac{3}{8}'' + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

$$MF = \frac{11,600 + 62,000 + 95,600 + 100,000}{100} = \frac{269,200}{100}$$

$$MF = 2,692$$

### Curva granulométrica para el PET dimensiones (0,6-0,8 cm)



**Gráfico 1-3:** Curva Granulométrica del PET (0,6 - 0,8 cm)

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017



*Ensayo para determinar la granulometría de PET dimensiones 1-1,5 cm*

**Tabla 3-4:** Resultados del Ensayo de Granulometría de PET dimensiones 1,0-1,5cm

<b>PLASTICO POLIETILENO TERAFTALATO (PET)</b>						
<b>Fino y Mediano (1,0 – 1,5 cm)</b>						
Peso total de la muestra			95 gramos			
<b>TAMIZ No.</b>	<b>Abertura mm</b>	<b>Peso Retenido[g]</b>	<b>Porcentaje Retenido</b>	<b>Porcentaje acumulado</b>	<b>Porcentaje que Pasa</b>	<b>Requisitos de % que pasa</b>
3/8"	9,500	0,000	0,000	0,000	100,000	100
N 4	4,800	55,700	58,600	58,600	41,300	95 a 100
PASA N 4						
8	2,360	35,700	37,570	96,170	62,430	80 a 100
16	1,190	3,500	3,680	99,850	96,320	50 a 85
50	0,300	0,200	0,210	100,000	99,800	10 a 30
100	0,149					2 a 10
<b>TOTAL</b>		95,000	100,000	310,800		

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

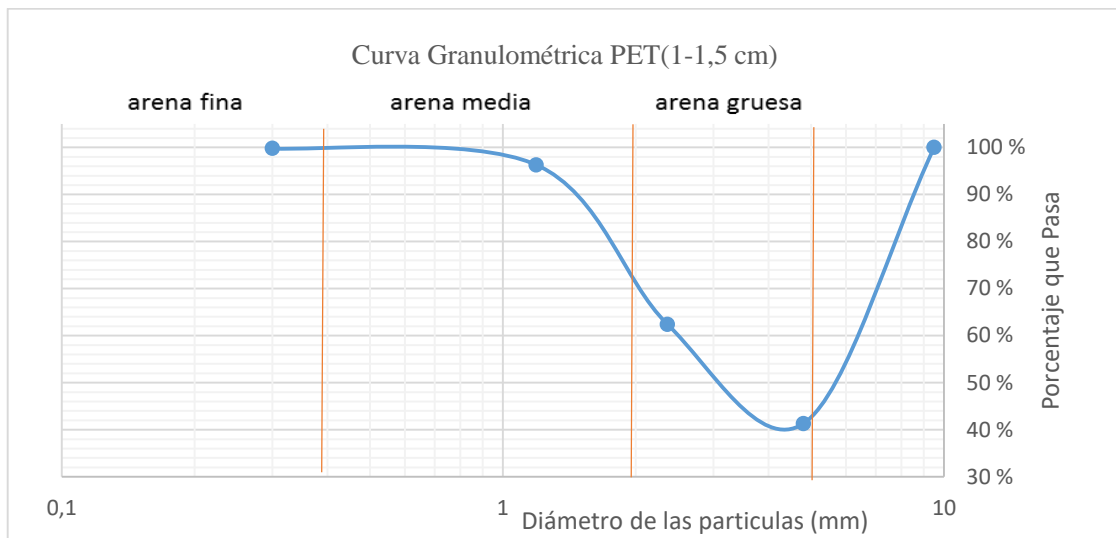
*Módulo de finura*

$$MF = \frac{\sum \% \text{ retenido acumulado } (6'' + 3'' + 1\frac{1}{2}'' + \frac{3}{4}'' + \frac{3}{8}'' + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

$$MF = \frac{4,7 + 52,4 + 83,25 + 85,15 + 90}{100} = \frac{310,8}{100}$$

$$MF = 3.10$$

### Curva granulométrica para el PET dimensiones (1-1,5 cm)



**Gráfico 2-3:** Curva Granulométrica del PET (1,00 - 1,50 cm)

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

#### 3.2.2 Arena

Los áridos se dividen en arenas (árido fino) y gravas (árido grueso). La diferencia entre unos y otros está únicamente en su tamaño. Se denomina arena al material granular que pasa por un tamiz de 4 mm de luz de malla.

La arena se la considera como agregado fino, este material debe ser inerte y libre de impurezas orgánicas para que afecten en la resistencia del mortero.

Pese a que la arena fina incorpora plasticidad al mortero, es conveniente controlar su contenido en el mismo, ya que un exceso de esta puede provocar un aumento de la relación agua/cemento, con la consiguiente disminución de la resistencia mecánica de dicho mortero. Por otra parte, el exceso de finos puede favorecer a la aparición de fisuras por retracciones en el mortero.

El agregado fino deberá estar graduado entre los límites fino y grueso, tener granulometría adecuada según la norma NTE INEN 872.

### *Cálculo granulométrico de la arena (módulo de finura)*

Se indica que el agregado fino (arena) está dentro de los límites establecidos por la norma NTE INEN 696, basándose en el análisis granulométrico del mismo

A continuación, se muestra la granulometría realizada a la arena.

**Tabla 4-3:** Resultados del Ensayo de Granulometría de Arena

<b>ARENA</b>						
Peso total de la muestra			1000 gramos			
<b>TAMIZ No.</b>	<b>Abertura mm</b>	<b>Peso Retenido (gr)</b>	<b>Porcentaje Retenido</b>	<b>Porcentaje acumulado</b>	<b>Porcentaje que Pasa</b>	<b>Requisitos de % que pasa</b>
3/8"	9,500	0,000	0,000	0,000	100,000	100
N 4	4,800	1,500	1,500	1,500	98,500	95 a 100
PASA N 4						
6	3,360	3,800	3,800	5,300	96,200	
8	2,000	18,800	18,800	24,100	81,200	80 a 100
16	1,190	17,100	17,100	41,200	82,900	50 a 85
20	0,840	13,000	13,000	54,200	87,000	
30	0,590	18,500	18,500	72,700	81,500	25 a 60
40	0,420	16,400	16,400	89,100	83,600	10 a 30
60	0,250	8,200	8,200	97,300	91,800	
100	0,149	2,700	2,700	100,000	98,500	2 a 10
Bandeja						
TOTAL		100	100			

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017-2018

### *Módulo de finura*

Es una medida de la granulometría del agregado fino. Se usa principalmente en el diseño de mezcla de hormigón de cemento Portland. Se define como la suma de los pesos retenidos acumulados en los tamices # 100, 50, 30, 16, 8, 4 y 3/8 $\mu$ , 3/4 $\mu$ , 1-1/2 $\mu$ , 3 $\mu$  y 6 $\mu$ )

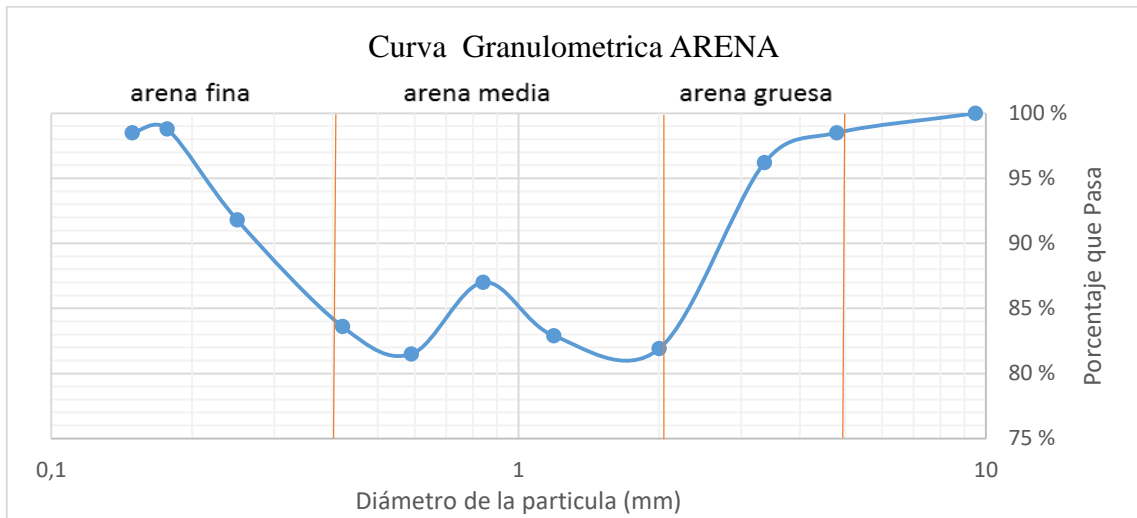
dividido entre 100. El módulo de finura debe estar entre 2.3 y 3.1 en el agregado fino y medio.

$$MF = \frac{\sum \% \text{ retenido acumulado } (6'' + 3'' + 1\frac{1}{2}'' + \frac{3}{4}'' + \frac{3}{8}'' + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

$$MF = \frac{1.5 + 24.1 + 41.2 + 72.7 + 100}{100} = \frac{239.5}{100}$$

$$MF = 2.395 \approx 2.4$$

*Curva granulométrica para la arena*



**Gráfico 3-3:** Curva Granulométrica de la Arena

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

$$MF = \frac{\sum \% \text{ retenido acumulado } (6'' + 3'' + 1\frac{1}{2}'' + \frac{3}{4}'' + \frac{3}{8}'' + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

$$MF = \frac{1.5 + 24.1 + 41.2 + 72.7 + 100}{100} = \frac{239.5}{100}$$

$$MF = 2.395 \approx 2.4$$

## *PREPARACION DE LA MATERIA PRIMA*

### *Preparación del mortero*

El mezclado debe efectuarse de preferencia en una mezcladora mecánica. Si se hace a mano, debe llevarse a cabo sobre una plataforma limpia e impermeable.

El cemento y la arena deben mezclarse secos en la proporción requerida hasta obtener un aspecto homogéneo. Luego, debe añadirse la cantidad suficiente de agua y mezclarse el mortero para conseguir la resistencia apropiada. En el caso de mezclado mecánico, el mortero debe mezclarse durante tres minutos, después de añadir el agua. En el caso de mezclado a mano, el mortero debe revolverse con una pala, por el tiempo de diez a quince minutos, añadiendo poco a poco el agua.

No debe prepararse una cantidad de mortero mayor de la que se va a emplear en un día de trabajo. En las obras de mampostería, debe descartarse todo mortero seco.

Para la elaboración del ladrillo en primero se procedió con el diseño de morteros tomado en cuenta que los materiales utilizados

### *Trituración de plástico PET*

Se llevó a cabo un proceso de trituración para poder obtener la cantidad de producto necesario y de una dimensión adecuada lo cual se realizó con la ayuda de un molino donde se obtuvo la materia prima.

El primer paso fue la recolección y limpieza de botellas, la selección de material y la trituración tomando en cuenta el peso de botella y el material q se obtenía cuando se realizaba la trituración, el volumen varía de acuerdo con el tamaño de las hojuelas trituradas.



**Figura 3-3:** Proceso gráfico de la fabricación del ladrillo prototipo

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017



**Figura 4-3:** Recolección y selección de materia prima

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017



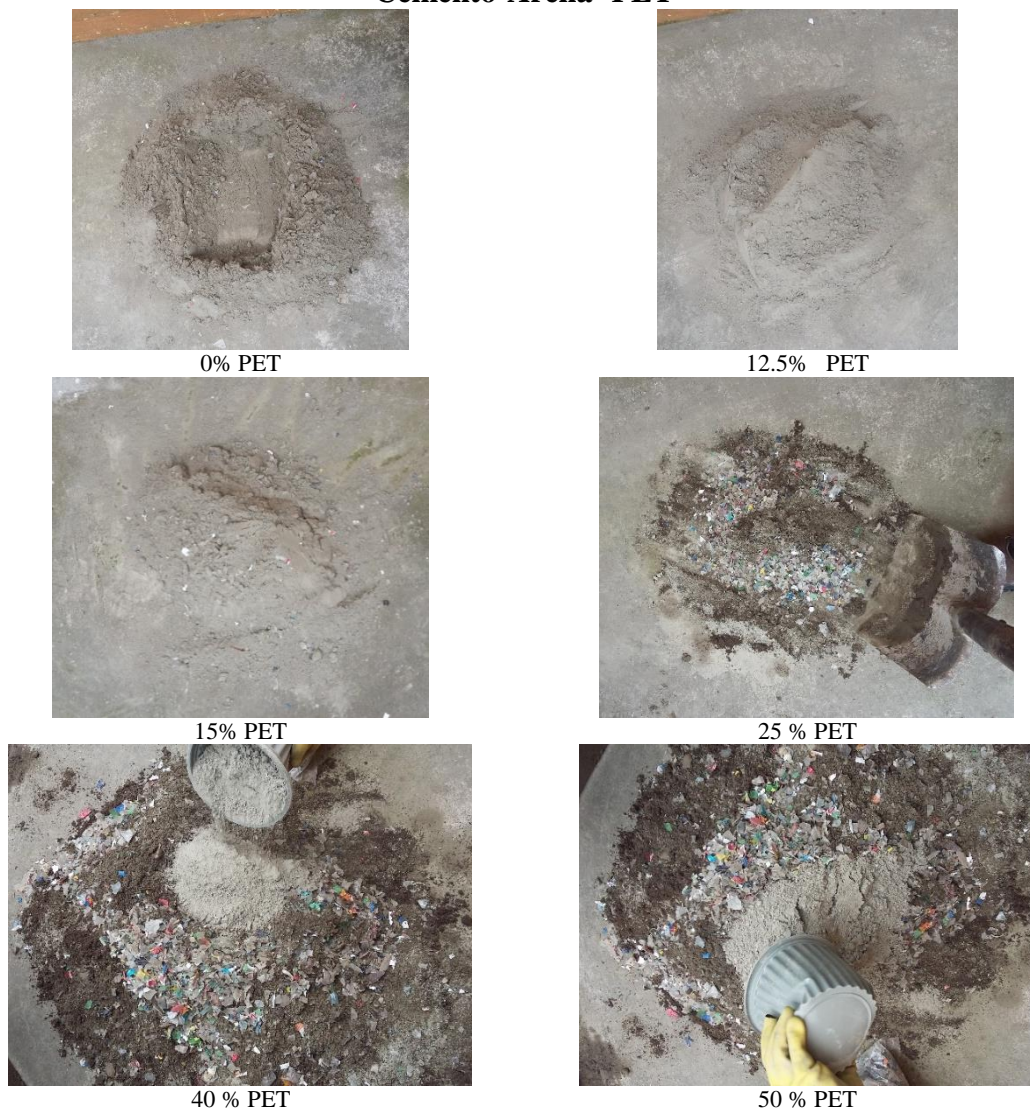
**Figura 5-3:** Trituración de materia prima, PET triturado dos dimensiones

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

*Confección de morteros: (cemento - arena – agua)*

Para la dosificación del mortero que servirá como base para la elaboración de los ladrillos prototipo de cemento y PET (probetas cúbicas de 28 x 14 x 7 cm), se utiliza un mortero diseñado y un mortero de receta en el que se establece la proporción de cemento-arena y de este modo empezar a sustituir el peso de la arena con distintos porcentajes de PET hasta encontrar el que brinde mejor resistencia a la compresión.

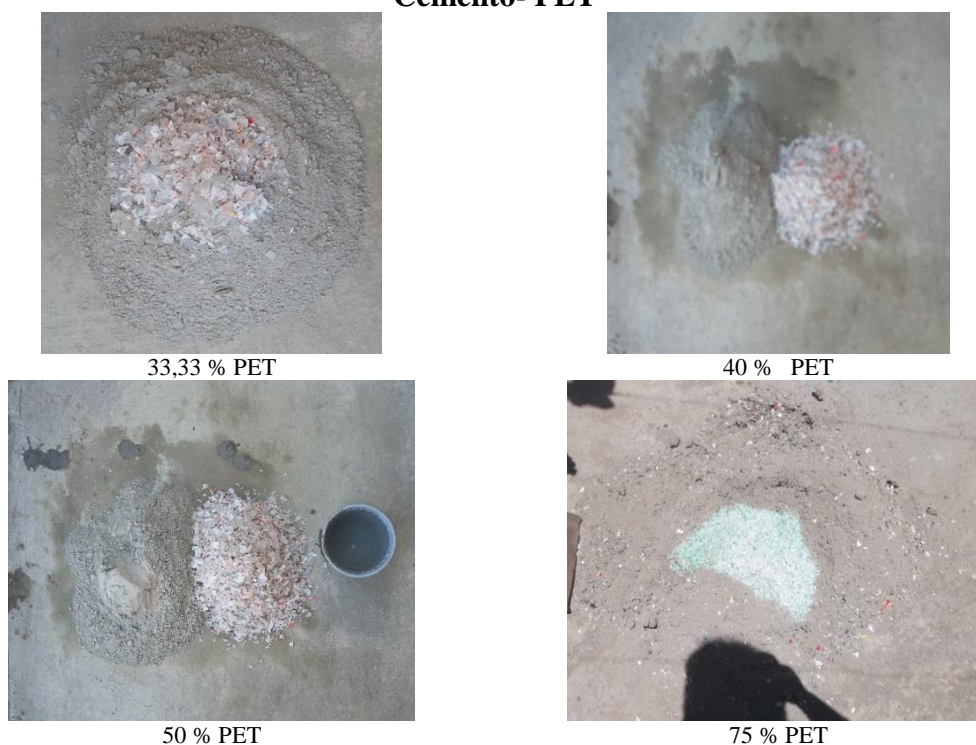
### Proporciones de las mezclas por volumen relación 1:4 Cemento-Arena- PET



**Figura 6-3:** Mezclas para eliminación, Cemento + Arena + PET (1-1,5 cm)

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

**Proporciones de las mezclas por volumen relación 1:4  
Cemento- PET**



**Figura 7-3:** Mezclas para eliminación, Cemento + PET (0,6-0,8 cm)

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

La arena fue sometida a dos primeros ensayos: Módulo de Finura y Ensayo de la densidad, Norma INEN 294.

El procedimiento para obtener la dosificación está de acuerdo con los siguientes pasos:

1.- Se calcula la cantidad de mortero que ingresara en las probetas que son de dimensiones de 28x14x7.

**Tabla 5-3:** Dosificación por volumen, relación 1:4

	<b>L cm</b>	<b>h cm</b>	<b>e cm</b>	<b>AREA cm<sup>2</sup></b>	<b>VOL cm<sup>3</sup></b>	<b>CEMENTO u</b>	<b>ARENA u</b>	<b>PET u</b>	<b>% PET</b>
1	28,00	14,00	5,50	392,00	2156,00	1,00	4,00	0,00	0,00
	28,00	5,50	14,00	154,00	2156,00	1,00	4,00	0,00	0,00
2	28,00	14,00	5,50	392,00	2156,00	1,00	3,50	0,50	12,50
	28,00	5,50	14,00	154,00	2156,00	1,00	3,50	0,50	12,50



**Tabla 6-3:** Dosificación por volumen, relación 1:4 (Continuación)

3	28,00	14,00	5,50	392,00	2156,00	1,25	4,65	0,85	15,00
	28,00	5,50	14,00	154,00	2156,00	1,25	4,65	0,85	15,00
4	28,00	14,00	5,50	392,00	2156,00	1,25	3,50	1,25	25,00
	28,00	6,00	14,00	168,00	2352,00	1,25	3,50	1,25	25,00
5	28,00	14,00	6,00	392,00	2352,00	1,25	3,00	2,00	40,00
	28,00	6,00	14,00	168,00	2352,00	1,25	3,00	2,00	40,00
6	28,00	14,00	6,00	392,00	2352,00	1,25	2,50	2,50	50,00
	28,00	6,00	14,00	168,00	2352,00	1,25	2,50	2,50	50,00
7	28,00	14,00	6,00	392,00	2352,00	3,33	-	1,67	33,33
	28,00	6,00	14,00	168,00	2352,00	3,33	-	1,67	33,33
8	28,00	14,00	5,50	392,00	2156,00	3,00	-	2,00	40,00
	28,00	5,50	14,00	154,00	2156,00	3,00	-	2,00	40,00
9	28,00	14,00	4,50	392,00	1764,00	2,50	-	2,50	50,00
	28,00	4,50	14,00	126,00	1764,00	2,50	-	2,50	50,00
10	28,00	14,00	7,00	392,00	2744,00	1,75	-	3,75	75,00
	28,00	7,00	14,00	196,00	2744,00	1,75	-	3,75	75,00

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

2.- De la cantidad de arena necesaria se establece los porcentajes para la dosificación 1:4 que corresponde a un M5 que se seleccionó previamente para la obtención de una resistencia similar o mayor a los ladrillos de tierra cocida

**Tabla 7-3:** Dosificación de mortero

TABLA DE DOSIFICACION 1 M3 DE MORTERO								
MEZCLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION (f'c)			CEMENTO		ARENA	LITROS DE AGUA	
	Kg/cm2	PSI	MPA	KILOS	BULTOS		AGREGADO HUMEDO	AGREGADO SECO
1:2	310	4400	30	510	12,5	0,97	220	250
1:3	280	3980	227	454	9,0	1,09	185	220
1:4	240	3400	23	364	7,3	1,16	170	185
1:5	200	2850	19	302	6,0	1,18	150	170
1:6	160	1280	16	260	5,3	1,20	140	150
1:7	120	1700	12	228	4,5	1,25	130	140

Fuente: (Guevara Ovalle, 2014)

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

**Tabla 8-3:** Tipos de Morteros. Cuadro de Morteros (partes para la mezcla)

TIPO	CEMENTO	ARENA		CAL (hidratada)	USOS
		Fina de 1 a 4 mm	Gruesa de 4 a 10 mm		
M1	1	1	2		Obras sanitarias. Pozos se revisión. uniones de tubos en hormigón enlucido de obras sanitarias
M2	1	2	1		Pavimentos. Masillas para colocar azulejos y baldosas masilla para fijar puertas y ventanas metálicas y tacos de madera
M3	1		7		Cimientos. Zócalos mampostería de piedra, ladrillos y bloques de hormigón de 20cm o más de espesor
M4	1	2	3		Mampostería de ladrillos o bloques de hormigón de 10 a 20cm de espesor
M5	1	2	2		Mampostería de ladrillos o bloques de hormigón de menos de 10 cm de espesor
M6	1	2	2		1 Masilla para revestimientos de losas de hormigón, una vez terminada la fundición
M7	1	4	3		Enlucidos exteriores sobre muros de ladrillos, piedra u hormigón. Revocados.
M8	1	4	3		1 Enlucidos interiores sobre muros de ladrillos. Tumbados sobre malla metálica.
M9	1	5	5		Masilla para colocación de tejuelos en losas de cubiertas o terrazas, para aislamiento térmico

Fuente: (Normalización, 2016)

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

3.- La cantidad de agua se la estableció en el 48% de la cantidad de cemento según cálculos del porcentaje de agua cemento

### DOSIFICACIÓN 1:4

El procedimiento que se realizará a continuación será constante en las dosificaciones 1:4 se realizó el análisis granulométrico de la arena donde se obtuvieron los siguientes datos

**Tabla 9-3:** Datos de las propiedades de la Arena

Propiedades físicas de la Arena	
Peso específico de la arena	1,293 g/cm <sup>3</sup>
Porcentaje de absorción	4%
Relación de agua cemento a/c	0,48 Kg/dm <sup>3</sup>
Módulo de finura	2,4mm

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017 -2018

Después de la realización de los respectivos ensayos se obtiene una materia prima óptima para realizar las probetas ya que se cuenta con una granulometría variada de arena y según el porcentaje de arena retenida en el tamiz se logra obtener una dosificación adecuada para la elaboración de los morteros

*Cálculo para morteros:*

$$Volumen = largo * ancho * profundidad \quad (11)$$

$$Volumen = 28 \text{ cm} \times 14 \text{ cm} \times 7 \text{ cm}$$

Como se realizó 10 probetas se debe multiplicar por 10

$$2744 \text{ cm}^3 * 10 \text{ probetas} = 27440 \text{ cm}^3$$

$$Volumen = 27440 \text{ cm}^3$$

Fórmula:

$$Peso.Volumetrico = \frac{P}{V} = \frac{Peso \text{ arena}}{Volumen} \quad (12)$$

Despejando:

$$Peso \text{ arena} = Peso \text{ Volumetrico} * Volumen$$

$$Peso \text{ arena} = 1.293 \text{ gr} / \text{cm}^3 * 27440 \text{ cm}^3$$

$$Peso \text{ arena} = 35479.92 \text{ gr} \approx 35480 \text{ gr}$$

*Corrección por humedad:*

Fórmula:

$$\%W = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (13)$$

Dónde:

$\% W$  Porcentaje de humedad

$W_w$  Peso del agua

$W_s$  Peso de la arena

Despejando:

$$W_w = \frac{\%W \times W_s}{100}$$

Reemplazado:

$$W_w = \frac{4 \times 35480 \text{ gr}}{100}$$

$$W_w = 1419.2 \text{ cm}^3$$

$$\text{Agua agregar} = 1419.2 \text{ cm}^3 \approx 1419 \text{ cm}^3$$

Con los datos obtenidos durante el análisis, se procede a calcularla dosificación final para la dosificación 1:4.

**DOSIFICACIÓN: (PESO) PARA 5 MORTEROS**

**Tabla 10-3:** Cantidades de material para dosificación de Morteros 5 probetas

<b>Cemento (gr)</b>	<b>Arena (gr)</b>	<b>Agua (cm<sup>3</sup>)</b>
8870,00	35480,00	5677 ,00
1,00	4,00	5677,00

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017-2018

La dosificación 1: 4 para morteros, la cantidad de arena a ser utilizada es de 35480 gr, para obtener la dosificación especificada se divide la cantidad de arena para cuatro y así se obtiene la cantidad de cemento que para este caso sería de 8870 gr, y la cantidad de agua será el 0,48% de la cantidad de cemento, por lo tanto será 4258 cm<sup>3</sup>, más 1419 cm<sup>3</sup> por corrección de humedad, obteniendo un total de 5677 cm<sup>3</sup>.

Una vez obtenida la dosificación planteada se procede a la elaboración de las probetas.

### *DOSIFICACIÓN POR PORCENTAJES DE POLIETILEN-TEREFTALATO (PET) CONSIDERANDO DOS VARIABLES*

Una vez establecido el mortero ideal, producto del análisis efectuado a través de varias dosificaciones, se procede a realizar la investigación para establecer el PROTOTIPO DE LADRILLOS, mediante la dosificación de ocho diferentes mezclas las cuatro primeras combinadas cemento-arena-plástico en diferentes proporciones y las otras cuatro solo cemento -plástico diferentes mezclas de materiales de cemento, arena, plástico y agua.

El objetivo central de la propuesta es reemplazar el árido fino por el PET, es decir; a partir de la dosificación obtenida en el punto anterior, Dosificación 1:4, se procede a reemplazar mediante porcentajes a la arena utilizada anteriormente por el polímero.

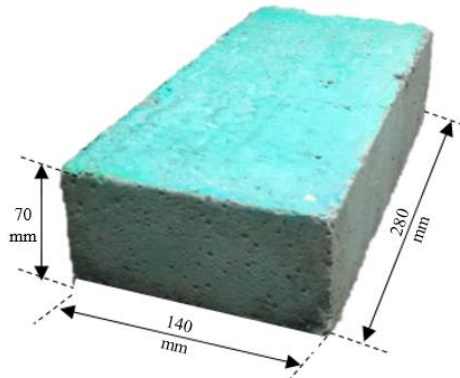
Las dosificaciones a tomar en cuenta avanzan progresivamente desde 12.5, 15, 30 ,33 ,40 50 y 70%; con respecto a la cantidad de arena utilizada, es decir, siempre se tomará en cuenta el incremento de PET, frente a la reducción del árido fino. Respecto al cemento, este no tendrá variación de acuerdo al incremento del PET, pero la dosificación se mantendrá en relación 1:4.

Se observa el desmoldado del ladrillo, es decir, se realiza el vertido de la dosificación respectiva en el molde se compacta la materia prima por cinco segundo e inmediatamente se desmolda y se da forma al mismo.

### *MORTERO / PET*

- *12.5% de adición de PET*

Para obtener la cantidad de materiales (Volumen) que se requiere para llenar el molde en el cual se moldeará el LADRILLO PROTOTIPO, es necesario utilizar la fórmula de la densidad y volumen:



**Figura 8-3:** Dimensiones ladrillo prototipo Cemento + Arena +PET

Fuente: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

Fórmula de la densidad:

$$\gamma = \frac{P}{V} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}} \quad (14)$$

Fórmula del Volumen:

$$V = A \times L_o \times L \quad (15)$$

$$V = 28 \text{ cm} \times 14 \text{ cm} \times 7 \text{ cm} = 2744 \text{ cm}^3 \times 5 \text{ probetas}$$

$$V = 13720 \text{ cm}^3$$

Dato obtenido en el ensayo de laboratorio de la Densidad de la arena

$$\gamma = 1.293 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Por lo tanto:

$$\gamma = \frac{P}{V} = \frac{\text{Peso arena}}{\text{Volumen}} \quad (16)$$

Despejando

$$\text{Peso arena} = \gamma \times \text{Volumen}$$

Se encuentra el peso P:

$$\text{Peso arena} = 1.293 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \times 13720 \text{ cm}^3 = 17739.96 \text{ gr} \approx 17740 \text{ gr}$$

Una vez obtenido el peso total de 17740 gr que es la cantidad de material que se necesita para llenar 5 molde (probetas), se procede a establecer una dosificación preliminar, partiendo siempre como valor constante la cantidad del peso total de la arena que es de 17740 gr el mismo que dividido para cuatro dará la dosificación 1:4, que fue la que se planteó para poder lograr la resistencia desea de los ladrillos y la cantidad de agua será 48% del cemento, por lo tanto se obtiene los siguientes valores:

#### *DOSIFICACIÓN PRELIMINAR:*

Se tiene una dosificación partiendo del valor total del peso de la arena 17740 gr dividido para cuatro se obtiene el valor del cemento y este valor multiplicado por 0,48 da la cantidad de agua.

**Tabla 11-3:** Datos de las proporciones de materiales a usar

DOSIFICACION	CEMENTO (gr)	ARENA (gr)	AGUA (cm <sup>3</sup> )
1:4	4435,000	17740,000	2128,800

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017-2018

Luego se procede a realizar el reemplazo del 12,5 % de plástico PET en la cantidad de arena obtenida anteriormente. Con dicha variación de proporciones los valores de los agregados cambian.

**Tabla 12-3:** Datos para el reemplazo del porcentaje de PET

DOSIFICACIÓN	CEMENTO (gr)	ARENA (gr)	AGUA cm <sup>3</sup>	PET 12.5%
1:4	3880,625	15522,000	1863,000	227,500

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

La arena antes de ingresar al proceso de investigación fue sometida a un ensayo granulométrico y ahí se obtuvo el porcentaje de absorción cuyo valor es igual a 4,00%, por lo tanto, se vuelve indispensable corregir el agua por añadir a la mezcla y para tal efecto se utilizará la fórmula de porcentaje de humedad:

Fórmula de porcentaje de humedad:

$$\%W = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Dónde:

$\% W$  Porcentaje de humedad

$W_w$  Peso del agua

$W_s$  Peso de la arena

Despejando:

$$W_w = \frac{\%W \times W_s}{100}$$

Reemplazado

$$W_w = \frac{4 \times 15522gr}{100}$$

$$\text{Agua Agregar } W_w = 620.88 \text{ cm}^3$$



$$\text{Agua Total} = 1863 \text{ cm}^3 + 620.88 \text{ cm}^3 = 2483.88 \text{ cm}^3$$

### DOSIFICACION FINAL

**Tabla 13-3:** Datos de las proporciones de materiales a usar en 5 probetas

DOSIFICACION	CEMENTO (gr)	ARENA (gr)	AGUA cm <sup>3</sup>	PET 12.5%
1:4	2328,380	9313,500	2484,000	1330,500

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

**Tabla 14-3:** Datos del porcentaje de CEMENTO/ARENA/PET para 5 probetas

CEMENTO /ARENA /PET									
PORCENTAJE DE PET	DOSIFICACIÓN	DOSIFICACION PRELIMINAR				DOSIFICACION FINAL			
		CEMENTO (gr)	ARENA (gr)	AGUA (cm <sup>3</sup> )	PET (gr)	CEMENTO	ARENA	AGUA	PET
12,5 %	1:4	2328,38	9313,5	1117,62	1330,5	2328,38	9313,5	1490,16	1330,5
15 %	1:4	2261,85	9047,4	1085,688	1596,6	2261,85	9047,4	1447,58	1596,6
40 %	1:4	1596,6	6386,4	766,368	4257,6	1596,6	6386,4	1021,818	4257,6
50 %	1:4	1330,5	5322	638,64	5322,0	1330,5	5322,0	851,52	5322,0

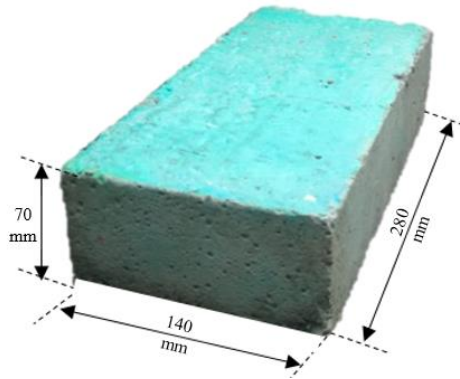
Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

Se tiene la dosificación final para cantidad de cinco probetas mediante el cual se obtiene el primer ladrillo de mortero/plástico, la dosificación es 1:4, es decir, de la cantidad de arena a utilizar dividido para cuatro y se obtiene la cantidad de cemento y este valor se multiplica por el 48% y se obtiene la cantidad de agua, con la adición del 12.5 % de PET. De igual manera se procede en las restantes dosificaciones

Para las demás proporciones de PET se realiza un procedimiento similar tanto reemplazando el porcentaje arena con plástico PET y realizando el cálculo del agua total, obteniendo así las proporciones por peso de cada uno de los materiales a utilizar en la elaboración del ladrillo prototipo.

## CEMENTO / PET

Para obtener la cantidad de materiales (Volumen) que se requiere para llenar el molde en el cual se moldeará el LADRILLO PROTOTIPO, es necesario utilizar la fórmula de la densidad y volumen:



**Figura 9-3:** Dimensiones ladrillo prototipo Cemento + Arena +PET

**Fuente:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

Fórmula de la densidad:

$$\gamma = \frac{P}{V}$$

Fórmula del Volumen:

$$V = b \times h \times e$$

$$V = 28 \text{ cm} \times 14 \text{ cm} \times 7 \text{ cm} = 2744 \text{ cm}^3 \times 5 \text{ probetas}$$

$$V = 13720 \text{ cm}^3$$

Dato obtenido en el ensayo de laboratorio de la Densidad del plástico

$$\gamma = 0,37 \frac{gr}{cm^3}$$

Por lo tanto:

$$\gamma = \frac{P}{V}$$

Despejando

$$P = \gamma \times V$$

Se encuentra el peso P:

$$P = 0,37 \frac{gr}{cm^3} \times 8232 \text{ cm}^3 = 3045.85 \text{ gr} \approx 3046 \text{ gr}$$

Una vez obtenido el peso total de 3046 gr que es la cantidad de material que se necesita para llenar 3 molde (probetas), se procede a establecer una dosificación preliminar, partiendo siempre como valor constante la cantidad del peso total de 3046 gr el mismo que dividido para cuatro dará la dosificación 1:4, que fue la que se planteó para poder lograr la resistencia desea de los ladrillos y la cantidad de agua será 48% del cemento, por lo tanto se obtiene los siguientes valores:

- *33% adición de PET*

#### *DOSIFICACIÓN PRELIMINAR:*

Se tiene una dosificación partiendo del valor total de 3046 gr dividido para cuatro se obtiene el valor del cemento y este valor multiplicado por 0.48% da la cantidad de agua.

**Tabla 15-3:** Datos de las proporciones de materiales a usar

DOSIFICACION	CEMENTO (gr)	PET (gr)	AGUA (cm <sup>3</sup> )
1:4	761,50	3046,00	365,52

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

Luego se procede a realizar el reemplazo del 33 % de plástico PET. Con dicha variación de proporciones los valores de los agregados cambian.

### *DOSIFICACION FINAL*

**Tabla 16-3:** Datos para el reemplazo del porcentaje de PET

DOSIFICACION	CEMENTO (gr)	AGUA (cm <sup>3</sup> )	PET 33%
1:4	1012,79	486,14	4051,18

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

Se tiene la dosificación final para la obtención del primer ladrillo de cemento/plástico, la dosificación es 1:4, es decir, de la cantidad de plástico a utilizar dividiendo para cuatro y se obtiene la cantidad de cemento y este valor se multiplica por el 48% y se obtiene la cantidad de agua, con la adición del 33 % de PET. De igual manera se procede en las restantes dosificaciones

Los cálculos para las demás proporciones de plástico y cemento se realizan el mismo procedimiento hasta hallar los valores de las proporciones de los materiales para la elaboración de los ladrillos prototipo.

**Tabla 17-3:** Datos del porcentaje de CEMENTO/PET para 5 probetas

CEMENTO / PET							
PORCENTAJE DE PET	DOSIFICACIÓN	DOSIFICACION PRELIMINAR			DOSIFICACION FINAL		
		CEMENTO (gr)	PET (gr)	AGUA (cm3)	CEMENTO (gr)	AGUA (cm3)	PET (gr)
33 %	1:4	761,500	3046,000	365,520	1012,790	486,140	4051,180
40 %	1:4	761,500	3046,000	365,520	1066,100	511,730	4264,400
50%	1:4	761,500	3046,000	365,520	1142,2500	548,280	4569,000
70%	1:4	761,500	3046,00	365,520	1294,550	621,380	5178,200

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

Para la selección del porcentaje de PET y los demás elementos constitutivos para conseguir la mezcla más adecuada para la elaboración de las probetas (ladrillos) se realizó ensayos mecánicos de resistencia a la compresión y un análisis de costos, mediante cual se descarta las opciones que no serán muy factibles en la realización del ladrillo prototipo.

**Tabla 18-3:** Ensayo Resistencia a la Compresión, para eliminación y selección de la dosificación final en Tabla (Cemento + Arena +PET)

CEMENTO+ARENA+PET															
En Tabla		Relación: 1:4													
%	No.	Long.	ancho	altura	AREA	VOLUMEN	CEMENTO	ARENA	PET	% PET	AGUA	PESO [Kg]	RESISTENCIA [Mpa]	CARGA [N]	TIEMPO [s]
a	1	28,00	14,00	5,50	392,00	2156,00	2651,00	10604,00	0,00	0,00	0,75	3,00	0,00	0,00	0,00
	2	28,00	14,00	6,70	392,00	2626,40	2651,00	10604,00	0,00	0,00	0,75	2,80	0,00	0,00	0,00
	3	28,00	14,00	5,50	392,00	2156,00	2651,00	10604,00	0,00	0,00	0,75	3,20	0,00	0,00	0,00
	4	28,00	14,00	5,50	392,00	2156,00	2651,00	10604,00	0,00	0,00	0,75	3,00	0,00	0,00	0,00
	5	28,00	14,00	5,50	392,00	2156,00	2651,00	10604,00	0,00	0,00	0,75	3,00	0,00	0,00	0,00
												3,00	0,00	0,00	0,00
b	1	28,00	14,00	5,50	392,00	2156,00	2651,00	9278,50	1325,50	12,50	1217,95	3,50	35,57	1394,50	208,90
	2	28,00	14,00	6,50	392,00	2548,00	1,00	3,50	0,50	12,50	0,75	3,70	38,04	1491,17	298,45
	3	28,00	14,00	6,50	392,00	2548,00	1,00	3,50	0,50	12,50	0,75	3,60	32,78	1284,98	198,01
	4	28,00	14,00	5,50	392,00	2156,00	1,00	3,50	0,50	12,50	0,75	3,20	33,17	1300,26	201,30
	5	28,00	14,00	5,50	392,00	2156,00	1,00	3,50	0,50	12,50	0,75	3,10	34,85	1366,12	250,40
												3,42	34,88	1367,41	231,41
c	1	28,00	14,00	5,50	392,00	2156,00	1,25	4,65	0,85	15,00	1,00	2,50	45,76	1794,00	229,60
	2	28,00	14,00	5,50	392,00	2156,00	1,25	4,65	0,85	15,00	1,00	2,40	42,31	1658,55	214,06
	3	28,00	14,00	6,50	392,00	2548,00	1,25	4,65	0,85	15,00	1,00	3,00	47,85	1875,72	231,52
	4	28,00	14,00	6,00	392,00	2352,00	1,25	4,65	0,85	15,00	1,00	2,40	46,01	1803,59	265,20
	5	28,00	14,00	5,50	392,00	2156,00	1,25	4,65	0,85	15,00	1,00	2,20	45,32	1776,35	198,60
												2,50	45,45	1781,64	227,80

**Tabla 19-3 (Continuación): Ensayo Resistencia a la Compresión, para eliminación y selección de la dosificación final en Tabla (Cemento + Arena +PET)**

d	1	28,00	14,00	5,50	392,00	2156,00	1,25	3,50	1,25	25,00	0,75	3,80	33,12	1298,20	177,40
	2	28,00	14,00	6,00	392,00	2352,00	1,25	3,50	1,25	25,00	0,75	3,50	30,15	1181,88	178,12
	3	28,00	14,00	5,50	392,00	2156,00	1,25	3,50	1,25	25,00	0,75	3,40	37,61	1474,31	195,42
	4	28,00	14,00	7,00	392,00	2744,00	1,25	3,50	1,25	25,00	0,75	3,70	32,79	1285,37	179,45
	5	28,00	14,00	5,50	392,00	2156,00	1,25	3,50	1,25	25,00	0,75	3,40	31,87	1249,30	168,20
												3,56	33,11	1297,81	179,72
e	1	28,00	14,00	6,00	392,00	2352,00	1,25	3,00	2,00	40,00	0,75	3,00	44,84	1757,60	255,30
	2	28,00	14,00	7,00	392,00	2744,00	1,25	3,00	2,00	40,00	0,75	3,20	47,56	1864,35	265,14
	3	28,00	14,00	6,00	392,00	2352,00	1,25	3,00	2,00	40,00	0,75	2,80	42,79	1677,37	250,19
	4	28,00	14,00	7,00	392,00	2744,00	1,25	3,00	2,00	40,00	0,75	3,50	46,51	1823,19	254,18
	5	28,00	14,00	6,00	392,00	2352,00	1,25	3,00	2,00	40,00	0,75	3,00	42,49	1665,61	256,84
												3,10	44,84	1757,62	255,06
f	1	28,00	14,00	6,00	392,00	2352,00	1,25	2,50	2,50	50,00	0,75	2,00	38,14	1495,26	232,10
	2	28,00	14,00	5,00	392,00	1960,00	1,25	2,50	2,50	50,00	0,75	1,80	36,87	1445,30	230,17
	3	28,00	14,00	5,00	392,00	1960,00	1,25	2,50	2,50	50,00	0,75	1,80	35,63	1396,70	231,78
	4	28,00	14,00	7,00	392,00	2744,00	1,25	2,50	2,50	50,00	0,75	2,40	41,60	1630,72	232,49
	5	28,00	14,00	6,00	392,00	2352,00	1,25	2,50	2,50	50,00	0,75	2,10	38,23	1498,62	232,47
												2,02	38,09	1493,32	231,42

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

**Tabla 20-3:** Ensayo Resistencia a la Compresión, para eliminación y selección de la dosificación final en Canto (Cemento + Arena +PET)

CEMENTO+ARENA+PET											
En Canto											
Relación: 1:4											
%	No.	Long.	ancho	altura	AREA	VOLUMEN	% PET	PESO [Kg]	RESISTENCIA [Mpa]	CARGA [N]	TIEMPO [s]
a	1	28,00	14,00	5,50	154,00	2156,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00
	2	28,00	14,00	6,70	187,60	2626,40	0,00	2,80	0,00	0,00	0,00
	3	28,00	14,00	5,50	154,00	2156,00	0,00	3,20	0,00	0,00	0,00
	4	28,00	14,00	5,50	154,00	2156,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00
	5	28,00	14,00	5,50	154,00	2156,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00
Promedio:								3,00	0,00	0,00	0,00
b	1	28,00	14,00	5,50	154,00	2156,00	12,50	3,20	4,80	67,30	44,20
	2	28,00	14,00	6,50	182,00	2548,00	12,50	3,50	5,00	82,73	298,45
	3	28,00	14,00	6,50	182,00	2548,00	12,50	3,40	4,95	81,90	198,01
	4	28,00	14,00	5,50	154,00	2156,00	12,50	3,10	4,70	65,80	201,30
	5	28,00	14,00	5,50	154,00	2156,00	12,50	3,10	4,70	65,80	250,40
Promedio:								3,26	4,83	72,71	198,47
c	1	28,00	14,00	5,50	154,00	2156,00	15,00	2,50	6,20	84,50	57,09
	2	28,00	14,00	5,50	154,00	2156,00	15,00	2,40	6,12	85,68	214,06
	3	28,00	14,00	6,50	182,00	2548,00	15,00	3,00	6,65	110,03	231,52
	4	28,00	14,00	6,00	168,00	2352,00	15,00	2,40	6,47	98,81	265,20
	5	28,00	14,00	5,50	154,00	2156,00	15,00	2,20	5,90	82,60	198,60
Promedio:								2,50	6,27	92,32	193,29



**Tabla 21-3 (Continuación): Ensayo Resistencia a la Compresión, para eliminación y selección de la dosificación final en Canto (Cemento + Arena +PET)**

d	1	28,00	14,00	5,50	154,00	2156,00	25,00	3,80	6,91	96,80	43,60
	2	28,00	14,00	6,00	168,00	2352,00	25,00	3,50	7,03	107,37	49,14
	3	28,00	14,00	5,50	154,00	2156,00	25,00	3,40	6,80	95,20	31,12
	4	28,00	14,00	7,00	196,00	2744,00	25,00	3,70	7,12	126,87	50,10
	5	28,00	14,00	5,50	154,00	2156,00	25,00	3,40	6,37	89,18	42,23
Promedio:								3,56	6,85	103,08	43,24
e	1	28,00	14,00	6,00	168,00	2352,00	40,00	3,00	7,03	98,40	39,60
	2	28,00	14,00	7,00	196,00	2744,00	40,00	3,20	7,41	132,03	53,14
	3	28,00	14,00	6,00	168,00	2352,00	40,00	2,80	6,98	106,60	42,13
	4	28,00	14,00	7,00	196,00	2744,00	40,00	3,50	7,27	129,54	50,47
	5	28,00	14,00	6,00	168,00	2352,00	40,00	3,00	6,45	98,51	36,10
Promedio:								3,10	7,03	113,02	44,29
f	1	28,00	14,00	6,00	168,00	2352,00	50,00	2,00	5,12	71,70	48,10
	2	28,00	14,00	5,00	140,00	1960,00	50,00	1,80	4,87	61,98	44,12
	3	28,00	14,00	5,00	140,00	1960,00	50,00	1,80	4,73	60,20	45,12
	4	28,00	14,00	7,00	196,00	2744,00	50,00	2,40	5,70	101,56	51,14
	5	28,00	14,00	6,00	168,00	2352,00	50,00	2,10	5,27	80,49	47,00
Promedio:								2,02	5,14	75,19	47,10

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

**Tabla 22-3:** Ensayo Resistencia a la Compresión, para eliminación y selección de la dosificación final en Tabla (Cemento+PET)

CEMENTO+PET															
En Tabla															
a	1	28,00	14,00	5,50	392,00	2156,00	3,33	-	1,67	33,33	1,67	3,50	59,34	996,80	281,17
	2	28,00	14,00	6,70	392,00	2626,40	3,33	-	1,67	33,33	1,67	3,80	55,98	2194,42	298,45
	3	28,00	14,00	5,50	392,00	2156,00	3,33	-	1,67	33,33	1,67	4,00	62,14	2435,89	198,01
	4	28,00	14,00	5,50	392,00	2156,00	3,33	-	1,67	33,33	1,67	3,90	57,81	2266,15	201,30
	5	28,00	14,00	5,50	392,00	2156,00	3,33	-	1,67	33,33	1,67	4,10	59,74	2341,81	250,40
												3,86	59,00	2047,01	245,87
b	1	28,00	14,00	5,50	392,00	2156,00	3,00	-	2,00	40,00	1,67	3,00	30,90	473,40	195,80
	2	28,00	14,00	6,50	392,00	2548,00	3,00	-	2,00	40,00	1,67	2,40	30,00	1176,00	187,41
	3	28,00	14,00	6,50	392,00	2548,00	3,00	-	2,00	40,00	1,67	3,00	29,10	1140,72	201,30
	4	28,00	14,00	5,50	392,00	2156,00	3,00	-	2,00	40,00	1,67	2,40	32,45	1272,04	190,01
	5	28,00	14,00	5,50	392,00	2156,00	3,00	-	2,00	40,00	1,67	2,20	29,47	1155,22	198,60
												2,60	30,38	1043,48	194,62
c	1	28,00	14,00	4,50	392,00	1764,00	2,50	-	2,50	50,00	1,00	2,50	38,30	484,40	211,10
	2	28,00	14,00	5,00	392,00	1960,00	2,50	-	2,50	50,00	1,00	3,50	36,42	1427,70	210,85
	3	28,00	14,00	6,50	392,00	2548,00	2,50	-	2,50	50,00	1,00	3,40	37,61	1474,31	212,62
	4	28,00	14,00	6,00	392,00	2352,00	2,50	-	2,50	50,00	1,00	3,70	38,45	1507,24	209,03
	5	28,00	14,00	5,50	392,00	2156,00	2,50	-	2,50	50,00	1,00	3,40	39,78	1559,38	211,52
												3,30	38,11	1290,61	211,22

**Tabla 23-3** (Continuación): Ensayo Resistencia a la Compresión, para eliminación y selección de la dosificación final en Tabla (Cemento+PET)

d	1	28,00	14,00	6,50	392,00	2548,00	1,75	-	3,75	75,00	1,25	2,00	2,18	428,00	91,80
	2	28,00	14,00	7,00	392,00	2744,00	1,75	-	3,75	75,00	1,25	3,20	47,56	1864,35	91,40
	3	28,00	14,00	6,50	392,00	2548,00	1,75	-	3,75	75,00	1,25	2,80	42,79	1677,37	90,98
	4	28,00	14,00	7,00	392,00	2744,00	1,75	-	3,75	75,00	1,25	3,50	46,51	1823,19	91,80
	5	28,00	14,00	7,00	392,00	2744,00	1,75	-	3,75	75,00	1,25	3,00	42,49	1665,61	92,32
												2,90	36,31	1491,70	91,36

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

**Tabla 24-3:** Ensayo Resistencia a la Compresión, para eliminación y selección de la dosificación final en Canto (Cemento+PET)

CEMENTO+PET											
En Canto											
a	1	28,00	14,00	5,50	154,00	2156,00	33,33	3,50	25,43	427,20	120,50
	2	28,00	14,00	6,70	187,60	2626,40	33,33	3,80	27,00	460,47	298,45
	3	28,00	14,00	5,50	154,00	2156,00	33,33	4,00	24,51	343,14	198,01
	4	28,00	14,00	5,50	154,00	2156,00	33,33	3,90	26,04	364,56	201,30
	5	28,00	14,00	5,50	154,00	2156,00	33,33	4,10	23,61	330,54	250,40
Promedio:								3,86	25,32	385,18	213,73
b	1	28,00	14,00	5,50	154,00	2156,00	40,00	3,00	12,08	186,00	76,90
	2	28,00	14,00	6,50	182,00	2548,00	40,00	2,40	11,74	194,24	187,41
	3	28,00	14,00	6,50	182,00	2548,00	40,00	3,00	12,39	205,00	201,30
	4	28,00	14,00	5,50	154,00	2156,00	40,00	2,40	11,87	166,18	190,01
	5	28,00	14,00	5,50	154,00	2156,00	40,00	2,20	12,20	170,80	198,60
Promedio:								2,60	12,06	184,44	170,84
c	1	28,00	14,00	4,50	126,00	1764,00	50,00	2,50	12,31	155,70	67,90
	2	28,00	14,00	5,00	140,00	1960,00	50,00	3,50	11,98	152,47	66,14
	3	28,00	14,00	6,50	182,00	2548,00	50,00	3,40	12,14	200,86	69,13
	4	28,00	14,00	6,00	168,00	2352,00	50,00	3,70	12,74	194,57	67,15
	5	28,00	14,00	5,50	154,00	2156,00	50,00	3,40	11,87	166,18	68,01
Promedio:								3,30	12,21	173,96	67,67

**Tabla 25-3** (Continuación): Ensayo Resistencia a la Compresión, para eliminación y selección de la dosificación final en Canto (Cemento+PET)

d	1	28,00	14,00	6,50	182,00	2548,00	75,00	2,00	1,09	214,00	45,90
	2	28,00	14,00	7,00	196,00	2744,00	75,00	3,20	47,56	847,43	49,15
	3	28,00	14,00	6,50	182,00	2548,00	75,00	2,80	42,79	707,98	42,94
	4	28,00	14,00	7,00	196,00	2744,00	75,00	3,50	46,51	828,72	45,87
	5	28,00	14,00	7,00	196,00	2744,00	75,00	3,00	42,49	757,09	46,04
Promedio:								2,90	36,09	671,05	45,98

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

### 3.3 Metodología para los Ensayos Mecánicos

#### 3.3.1 Resistencia a la compresión

Consiste en someter a las probetas a cargas axiales de compresión hasta la falla registrando la carga de rotura y el área de contacto para determinar el esfuerzo de compresión máximo.

El procedimiento para llevar a cabo este ensayo es:

Se selecciona las muestras de medidas uniformes, con las medidas de los ladrillos. El ensayo debe realizarse con 5 muestras.



**Figura 10-3:** Ladrillo prototipo Cemento + Arena +PET

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

Se debe asegurar que las caras de las muestras estén planas y sean paralelas.



**Figura 11-3:** Superficie ladrillo prototipo Cemento + Arena +PET

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

Las muestras deben estar secas el momento del ensayo, se determina las dimensiones y pesos de las mismas.

El ensayo puede ser llevado a cabo a los 7, 14, 28, 35, 42, 96 días. (la edad de maduración del concreto donde alcanza la mayor resistencia es a los 28 días).

Se coloca la probeta centrada en la máquina universal precargada (0.04 kN/m<sup>2</sup>), se eleva la probeta hasta hacer contacto con la fuerza.

Se carga lentamente la máquina, hasta que el bloque superior tome contacto total con la superficie de la máquina.



**Figura 12-3:** Ladrillo prototipo Cemento + Arena +PET colocado en la máquina universal Control's para ensayo de Compresión

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

Cuando la maquina hace contacto con la probeta, se registra la carga máxima de rotura, el tiempo y la curva característica arrojados por el programa.

### 3.3.2 Resistencia a la flexión

Consiste en someter a las probetas a esfuerzos de flexión en tres apoyos, para determinar su comportamiento y el módulo de ruptura.

El procedimiento para llevar a cabo este ensayo es:

El ensayo puede ser llevado a cabo a los 7, 14, 28, 35, 42, 96 días. (la edad de maduración del concreto donde alcanza la mayor resistencia es a los 28 días).

Se selecciona las muestras de medidas uniformes, con las medidas de los ladrillos. El ensayo debe realizarse con 5 muestras.



**Figura 13-3:** Muestras de ladrillo prototipo Cemento + Arena +PET

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

Se debe asegurar que las caras de las muestras estén planas y sean paralelas.

Se colocan los soportes para los deformímetros



**Figura 14-3:** Preparación del ladrillo prototipo para ensayos de flexión

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

Se coloca la muestra del ensayo sobre soportes, éstos deben estar separados a un espacio de 150 mm.



**Figura 15-3:** Distancia entre apoyos para realizar el ensayo de Flexión

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

Se asigna la velocidad de avance (0.04 N/mm)

La dirección de la carga deberá ser perpendicular a la superficie cargada de la muestra.



**Figura 16-3:** Posición inicial del ensayo de flexión en el ladrillo prototipo

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2017

Se registra la carga, las deformaciones y el tiempo hasta la fractura



### 3.4 Metodología para los ensayos físicos

#### 3.4.1 Absorción

Una de las pruebas a las que son sometidos los ladrillos es la absorción la cual se rige para su realización a la norma de la Construcción la INEN 296, Ladrillos cerámicos.

La cual tienen como finalidad la determinación de las masas de una muestra de ladrillo antes y después de ser sumergida en agua, estableciéndose la diferencia entre las dos masas como base para conocer el valor de la absorción de la humedad. (Gavilanes Castillo, et al., 2016)

La absorción de agua afecta la durabilidad de la unidad y la mampostería. Si la unidad tiene absorción alta, puede presentar cambios volumétricos significativos o permeabilidad alta a la penetración de agua, y puede causar decoloraciones. Este ensayo consiste en obtener la masa sumergida en agua durante 24 horas de inmersión y restarle la masa seca; esta diferencia se expresa en porcentaje de masa seca. (Afanador García, 2012)

La absorción de cada muestra expresada en porcentaje se calcula por la ecuación siguiente:

$$Abs \% = \frac{P_2 - P_1}{P_1} * 100$$

Dónde:

P1 es la masa de la muestra desecada,

P2 es la masa de la muestra después de 24 horas de haber sido sumergida

### 3.5 Metodología para los ensayos térmicos

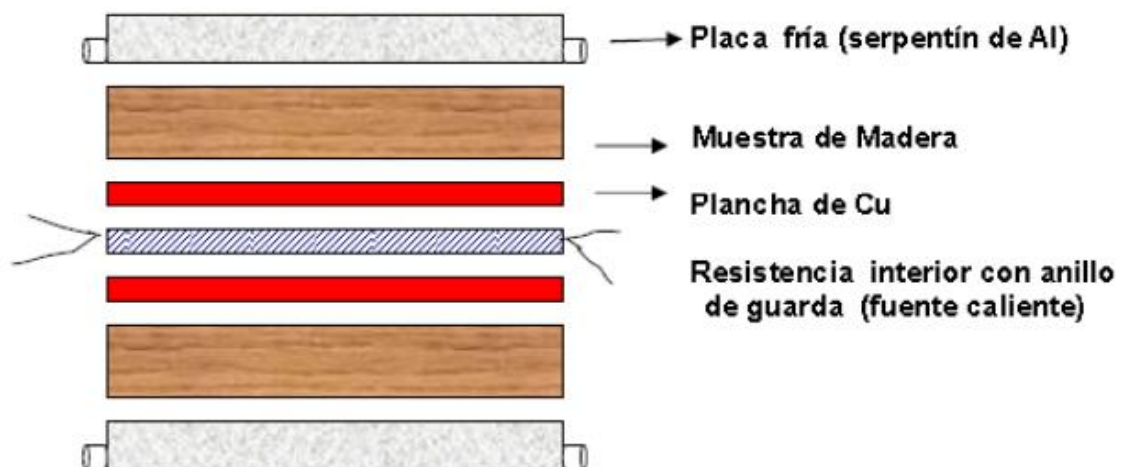
#### 3.5.1 Determinación de conductividad térmica

Para la determinación de la conductiva térmica de las probetas se utilizó el método de PLACA CALIENTE GUARDADA (GHP), equipo perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas del Ecuador, ESPE, cuyo funcionamiento se está basado en el principio de simetría.

El principio de funcionamiento del equipo (GHP) es básicamente dos placas, una fría y una caliente, donde el calor generado por la placa pasa a través de dos elementos colocados los lados de la placa de iguales dimensiones y material, y un mismo gradiente de temperaturas.

Dentro de la placa caliente se toma los valores de la potencia eléctrica, esta zona está a la misma temperatura de las zonas centrales pero aisladas térmicamente.

Las probetas están entre las placas frías y la caliente donde se calientan hasta llegar a una temperatura estable para determinar la conductividad térmica del material.



**Figura 17-3:** Esquema de la GHP y materiales de ensayo.

Fuente: (Aeberhard, y otros, 2003)

El equipo de conductividad térmica emplea la ecuación (17), para determinar la conductividad térmica.

$$k = \frac{Q_{cond} \dot{L}}{A (T_1 - T_2)} \quad (17)$$

Siendo el calor generado la mitad del trabajo eléctrico producido, bajo el principio de simetría, considerando la transferencia de calor de forma unidireccional entre dos elementos de área, espesor y densidad iguales las cuales están bajo las mismas condiciones térmicas.

$$\dot{W}_e = VI \quad (18)$$

$$Q_{cond} \dot{L} = \frac{\dot{W}_e}{2}$$

Dónde:

- $\dot{W}_e$  Trabajo eléctrico [W]
- $V$  Voltaje [V]
- $I$  Corriente Eléctrica [A]

## CAPITULO IV

### 4. ANALISIS DE RESULTADOS

En el proceso de selección y eliminación de muestras para el desarrollo del presente trabajo experimental, enfocado a la confección de mortero compuesto de cemento y PET, se han cuantificado la resistencia mecánica, módulo de ruptura, y conductividad térmica en placas y ladrillos, partiendo de la relación de 1:4, es decir, por cada unidad de cemento se emplea 4 unidades de arena.

Se utilizó dos tipos de dosificaciones, mediante volúmenes y densidades. La dosificación experimental se llevó a cabo por volúmenes, aplicado a las dimensiones deseadas (28\*14\*7 cm). Para la dosificación final, se utilizó el método de densidades, una vez determinado el porcentaje de PET que será empleado para reemplazar una porción de la arena, el cual quedo establecido en 40% del peso total de la arena en cada probeta.

Los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados a las probetas son el punto de partida para la comparación de valores entre los ladrillos conformados de Cemento y PET y los ladrillos artesanales comunes de tierra cocida de Chambo, basados en el mismo proceso de fabricación.

En el caso de las placas, no hay valores comparables, debido a que no existe este tipo de mampostería en el mercado.

#### 4.1 Ladrillos

##### 4.1.1 Ensayos mecánicos

Las probetas fueron sometidas a compresión y flexión bajo las normas detalladas con anterioridad.

#### 4.1.1.1 Compresión

El ensayo de compresión en ladrillos se realizó con la finalidad de determinar la resistencia máxima de la mezcla planteada en el presente trabajo experimental, aplicando una carga axial, centrada que varía con el tiempo y bajo la norma INEN-NTE-294, tanto en la tabla como en el canto de los Ladrillos conformados de Cemento y PET.

Para el ensayo de compresión en la tabla se utilizaron 5 probetas, la gráfica representa la variación del Esfuerzo vs. Tiempo.

**Tabla 1-4:** Datos de las Probetas para compresión aplicando la carga en la Tabla

Datos en Tabla	
Dimensiones [mm]:	280*140*70
Peso promedio [Kg]:	3,00
Área [mm <sup>2</sup> ]:	392000
PET [%]:	40

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

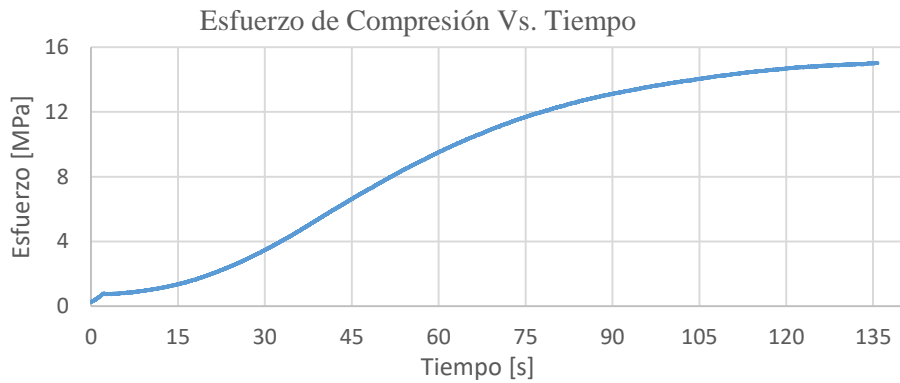
- *Probeta 1*

**Tabla 2-4:** Datos de Tiempo y Esfuerzo probeta 1, sometida a compresión en la tabla del ladrillo

Tiempo	$\sigma_c$	Tiempo	$\sigma_c$	Tiempo	$\sigma_c$	Tiempo	$\sigma_c$
0,004	0,26	40,022	5,554	95,021	13,467	135,674	15,023
0,5	0,363	45,039	6,628	100,004	13,777	135,678	15,024
1,044	0,482	50,042	7,652	105	14,048	135,683	15,024
5,038	0,803	60,003	9,51	110,004	14,29	135,687	15,025
10,059	1,009	65,038	10,329	115	14,51	135,707	15,025
15	1,361	70,003	11,054	120,046	14,684	135,713	15,026
20	1,899	75,001	11,681	125,03	14,822	135,717	15,027
25	2,61	80,018	12,241	130,035	14,921	135,721	15,027
30,1	3,493	85,003	12,724	135,004	15,002	135,726	15,027
35,03	4,461	90,01	13,121	135,67	15,022	135,73	15,029

**Fuente:** Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018



**Gráfico 1-4:** Curva Esfuerzo de Compresión vs. Tiempo probeta 1 aplicada en la tabla del ladrillo

**Fuente:** Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

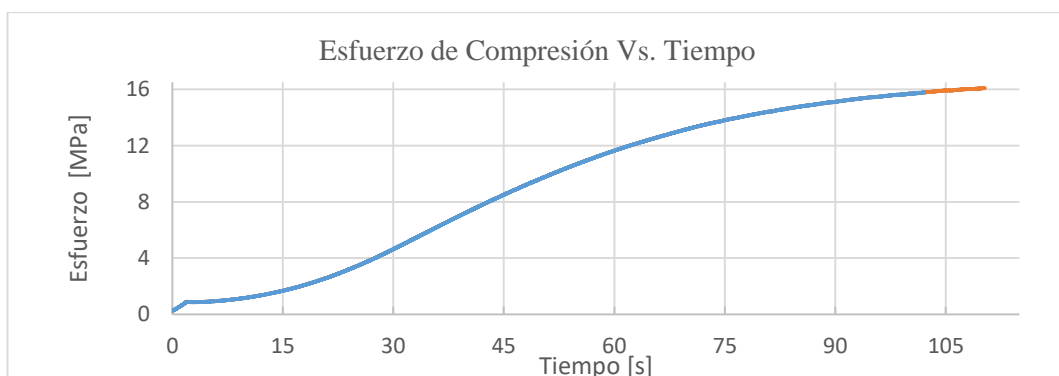
- *Probeta 2*

**Tabla 3-4:** Datos de Tiempo y Esfuerzo probeta 2, sometida a compresión en la tabla del ladrillo

Tiempo	$\sigma_c$	Tiempo	$\sigma_c$	Tiempo	$\sigma_c$	Tiempo	$\sigma_c$
0,004	0,258	40,011	7,271	90,003	15,114	110,145	16,097
0,5	0,379	45,003	8,512	95,059	15,448	110,149	16,097
1	0,56	50,016	9,653	100,002	15,697	110,153	16,097
5,004	0,915	55,004	10,706	105,002	15,923	110,158	16,097
10,009	1,182	60,002	11,644	110,002	16,088	110,162	16,098
15,005	1,682	65,004	12,469	110,05	16,088	110,281	16,1
20,001	2,428	70,001	13,194	110,055	16,088	110,286	16,101
25,015	3,427	75	13,805	110,059	16,089	110,29	16,101
30,004	4,638	80,002	14,324	110,063	16,088	110,294	16,101
35,001	5,965	85,016	14,766	110,068	16,088	110,299	16,102

**Fuente:** Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018



**Gráfico 2-4:** Curva Esfuerzo de Compresión vs. Tiempo probeta 2 aplicada en la tabla del ladrillo

**Fuente:** Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

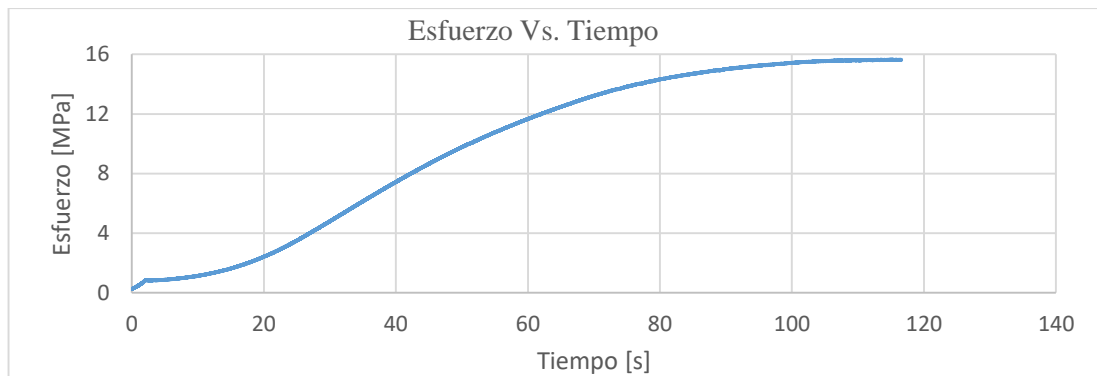
- *Probeta 3*

**Tabla 4-4:** Datos de Tiempo y Esfuerzo probeta 3, sometida a compresión en la tabla del ladrillo

Tiempo	$\sigma_c$	Tiempo	$\sigma_c$	Tiempo	$\sigma_c$	Tiempo	$\sigma_c$
0,004	0,257	40,017	7,3	90,043	14,942	116,512	15,632
0,5	0,341	45	8,502	95,017	15,178	116,516	15,632
1,004	0,464	50,044	9,595	100,008	15,365	116,52	15,633
5,003	0,868	55,068	10,635	105,064	15,518	116,525	15,632
10,012	1,121	60,043	11,541	110,001	15,592	116,525	15,632
15,003	1,608	65,017	12,359	115,077	16,088	116,529	15,632
20	2,403	70,056	13,075	116,401	15,633	116,534	15,631
25,004	3,463	75,008	13,672	116,406	15,633	116,538	15,632
30,005	4,741	80,072	14,179	116,41	15,632	116,542	15,631
35,01	6,034	85,028	14,599	116,43	15,632	116,547	15,631

Fuente: Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018



**Gráfico 3-4:** Curva Esfuerzo de Compresión vs. Tiempo probeta 3 aplicada en la tabla del ladrillo

Fuente: Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

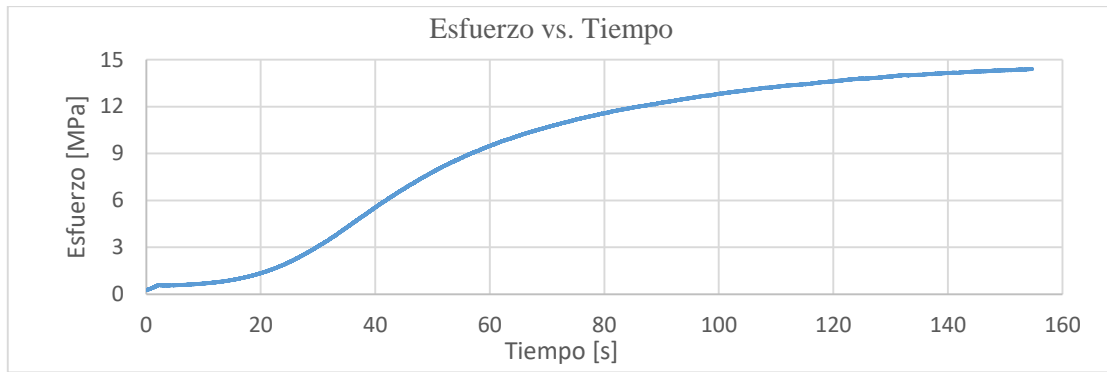
- *Probeta 4*

**Tabla 5-4:** Datos de Tiempo y Esfuerzo probeta 4, sometida a compresión en la tabla del ladrillo

Tiempo	$\sigma_c$	Tiempo	$\sigma_c$	Tiempo	$\sigma_c$	Tiempo	$\sigma_c$
0,004	0,257	40,076	6,047	90,092	12,269	140,016	14,155
0,5	0,312	45,001	6,525	95,017	12,544	145,063	14,251
1,02	0,381	50,071	7,335	100,013	12,824	150,02	14,331
5,06	0,571	55,011	8,408	105,001	13,06	152,163	14,369
10,034	0,673	60,088	9,335	110,077	13,273	153,678	14,384
15,026	0,9	65,078	10,119	115,069	13,43	154,46	14,405
20	1,327	70,17	10,733	120,021	13,626	154,464	14,407
25,013	2,086	75,022	11,224	125,022	13,807	154,468	14,407
30,003	3,229	80,005	11,623	130,08	13,929	154,473	14,407
35,092	4,639	85,098	11,949	135,059	14,043	154,477	14,408

Fuente: Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018



**Gráfico 4-4:** Curva Esfuerzo de Compresión vs. Tiempo probeta 4 aplicada en la tabla del ladrillo

**Fuente:** Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

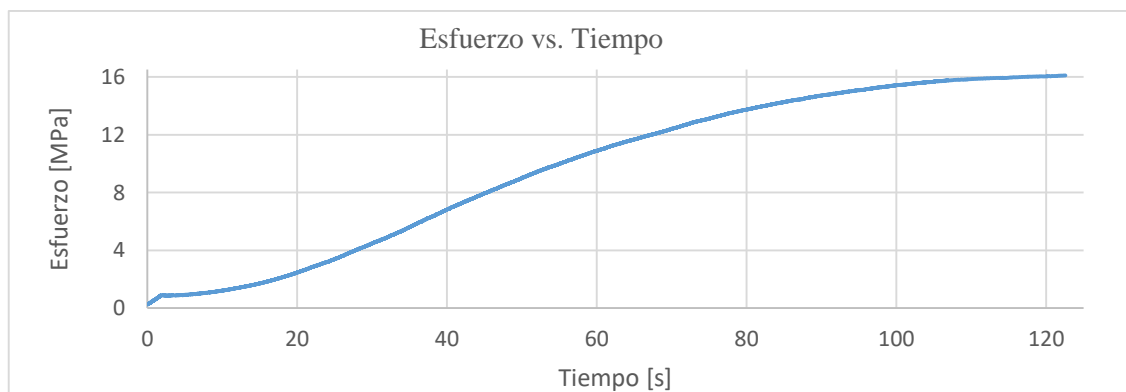
- *Probeta 5*

**Tabla 6-4:** Datos de Tiempo y Esfuerzo probeta 5, sometida a compresión en la tabla del ladrillo

Tiempo	$\sigma_c$	Tiempo	$\sigma_c$	Tiempo	$\sigma_c$	Tiempo	$\sigma_c$
0,004	0,258	40,076	6,047	90,092	7,271	122,437	16,098
0,500	0,379	45,012	7,335	95,017	8,512	122,450	16,098
1,020	0,56	50,071	8,408	100,013	9,653	122,437	16,099
5,060	0,915	55,011	9,335	105,001	10,706	122,450	16,099
10,034	1,182	60,088	10,119	110,077	11,644	122,437	16,099
15,026	1,682	65,078	10,733	115,069	12,469	122,450	16,100
20,000	2,428	70,17	11,224	120,021	13,194	122,537	16,101
25,013	3,427	75,022	11,623	122,316	13,805	122,650	16,101
30,003	4,638	80,005	11,949	122,328	14,324	122,737	16,101
35,092	5,965	85,098	6,047	122,340	14,766	122,980	16,102

**Fuente:** Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018



**Gráfico 5-4:** Curva Esfuerzo de Compresión vs. Tiempo probeta 5 aplicada en la tabla del ladrillo

**Fuente:** Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018



Las gráficas del ensayo de compresión en la tabla se muestra la variación del Esfuerzo Axial de Compresión ( $\sigma_c$ ) con relación al tiempo al estar cargada constantemente hasta estabilizarse y consecuentemente la fractura.

El pico que se muestra al inicio de la curva es la deformación elástica antes de la aplicación de la carga en las probetas, es decir, que se da el momento en que la máquina entra en contacto con la superficie de la probeta. Posterior a este contacto, hay una recuperación plástica, la cual representa un porcentaje del esfuerzo total admitido hasta llegar a estabilizarse, se observa que no se produce una deformación permanente (fractura).

El comportamiento del esfuerzo axial de compresión no varía en las probetas manteniendo la misma curva característica en cada una de ellas, sin embargo, los tiempos de estabilización y la carga aplicada varían en cada probeta, como se puede observar en las gráficas correspondientes.

Para establecer el  $\sigma_{cmax}$  se toma el valor promedio de los 5 ensayos.

**Tabla 7-4:** Esfuerzo a compresión promedio en la tabla del ladrillo

Probeta	$\sigma_{cmax}$ [MPa]
1	15,03
2	16,10
3	16,13
4	14,42
5	16,11

**Fuente:** Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

$$\sigma_{cmax Pro} = \frac{\sum_{i=1}^n P}{5} \quad (19)$$

$$\sigma_{cmax Pro} = \frac{15,03 + 16,10 + 16,13 + 14,42 + 16,11}{5}$$

$$\sigma_{cmax Pro} = 15,55 MPa$$

Para el ensayo de compresión en canto se utilizaron 5 probetas, la gráfica representa la variación del Esfuerzo vs. Tiempo.

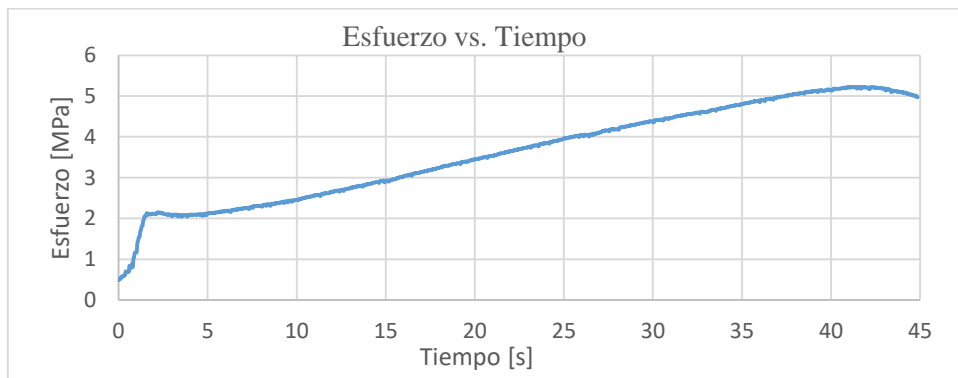
- *Probeta 1*

**Tabla 8-4:** Curva Esfuerzo de Compresión vs. Tiempo, probeta 1, aplicada en canto del ladrillo

Tiempo	$\sigma_c$	Tiempo	$\sigma_c$	Tiempo	$\sigma_c$	Tiempo	$\sigma_c$
0,004	0,485	15,003	2,928	42,188	5,177	44,848	4,976
0,51	0,681	20	3,45	43,058	5,145	44,857	4,976
1,016	1,17	25,017	3,959	43,954	5,094	44,861	4,976
5,066	2,126	30,005	4,37	44,05	5,086	44,866	4,974
10,012	2,45	40,047	5,14	44,54	5,029	44,87	4,974

Fuente: Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018



**Gráfico 6-4:** Curva Esfuerzo de Compresión vs. Tiempo, probeta 1, aplicada en canto del ladrillo

Fuente: Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

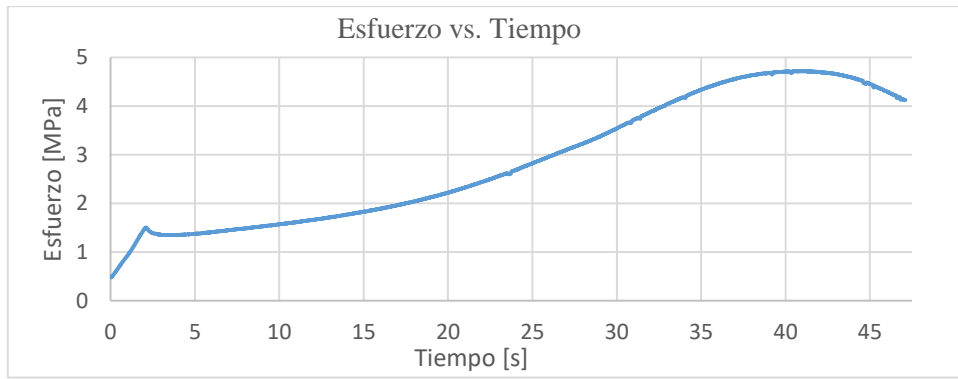
- *Probeta 2*

**Tabla 9-4:** Curva Esfuerzo de Compresión vs. Tiempo, probeta 2, aplicada en canto del ladrillo

Tiempo	$\sigma_c$	Tiempo	$\sigma_c$	Tiempo	$\sigma_c$	Tiempo	$\sigma_c$
0,004	0,477	40,035	3,661	45,011	4,456	46,892	4,152
0,507	0,606	45,075	3,661	45,189	4,421	46,912	4,152
1,003	0,778	35,039	3,732	45,313	4,413	46,994	4,138
5,046	1,352	25,044	3,742	45,421	4,391	46,998	4,138
10,018	1,441	30,053	3,742	45,664	4,356	47,003	4,137
15,003	1,761	35,052	3,744	46,059	4,291	47,007	4,137
20,021	2,32	25,057	3,75	46,373	4,237	47,011	4,135
25,002	3,226	30,066	3,757	46,067	4,287	47,016	4,135
30,011	3,461	35,065	4,348	46,784	4,178	47,02	4,133
35,01	3,562	40,01	4,709	46,888	4,152	47,024	4,135

Fuente: Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018



**Gráfico 7-4:** Curva Esfuerzo de Compresión vs. Tiempo, probeta 2, aplicada en canto del ladrillo

**Fuente:** Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

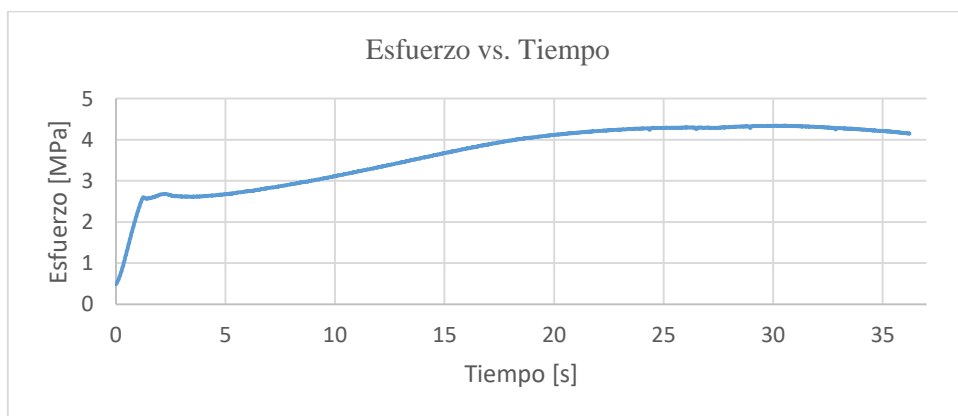
- *Probeta 3*

**Tabla 10-4:** Curva Esfuerzo de Compresión vs. Tiempo, probeta 3, aplicada en canto del ladrillo

Tiempo	$\sigma_c$	Tiempo	$\sigma_c$	Tiempo	$\sigma_c$	Tiempo	$\sigma_c$
0,004	0,485	15,038	3,678	35,625	4,184	35,955	4,168
0,504	1,314	20,044	4,121	35,689	4,18	35,999	4,162
1,011	2,266	25,089	4,288	35,748	4,174	36,058	4,16
5,045	2,677	30,007	4,336	35,808	4,176	36,118	4,156
10,065	3,122	35,033	4,211	35,895	4,164	36,205	4,146

**Fuente:** Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018



**Gráfico 8-4:** Curva Esfuerzo de Compresión vs. Tiempo, probeta 3, aplicada en canto del ladrillo

**Fuente:** Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

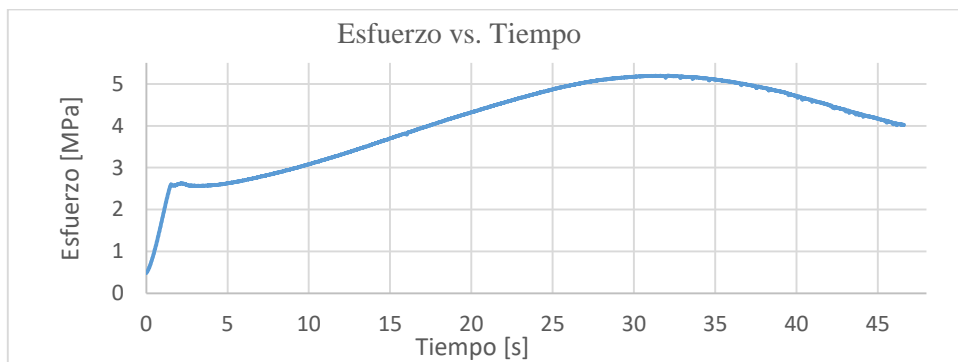
- *Probeta 4*

**Tabla 11-4:** Curva Esfuerzo de Compresión vs. Tiempo, probeta 4, aplicada en canto del ladrillo

Tiempo	$\sigma_c$	Tiempo	$\sigma_c$	Tiempo	$\sigma_c$	Tiempo	$\sigma_c$
0,004	0,481	15,038	3,702	40,339	4,644	45,986	4,046
0,504	1,021	20,039	4,324	45,953	4,036	45,991	4,052
1,015	1,819	25,057	4,877	45,957	4,036	45,995	4,055
5,007	2,628	30,005	5,173	45,977	4,036	45,999	4,059
10,065	3,086	35,068	5,102	45,982	4,04	46,004	4,065

Fuente: Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018



**Gráfico 9-4:** Curva Esfuerzo de Compresión vs. Tiempo, probeta 4, aplicada en canto del ladrillo

Fuente: Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

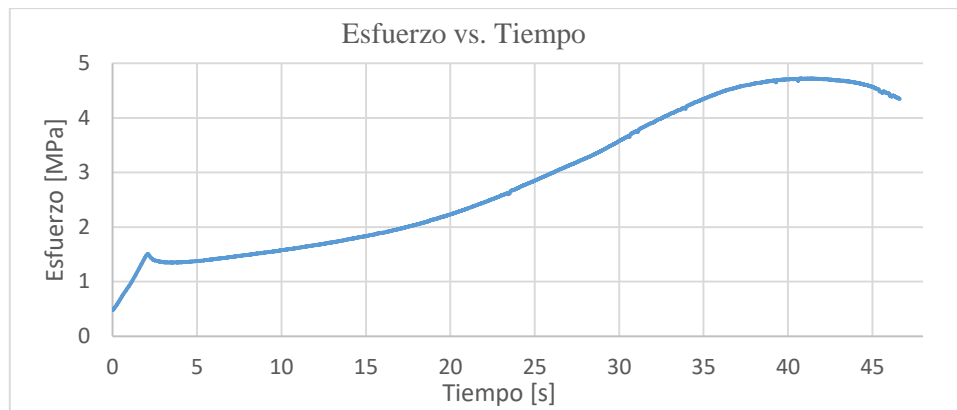
- *Probeta 5*

**Tabla 12-4:** Curva Esfuerzo de Compresión vs. Tiempo, probeta 5, aplicada en canto del ladrillo

Tiempo	$\sigma_c$	Tiempo	$\sigma_c$	Tiempo	$\sigma_c$	Tiempo	$\sigma_c$
0,004	0,477	15,038	1,839	40,339	4,721	45,986	4,446
0,504	0,705	20,039	2,234	45,953	4,446	45,991	4,446
1,015	0,938	25,057	2,859	45,957	4,446	45,995	4,444
5,007	1,378	30,005	3,574	45,977	4,446	45,999	4,444
10,065	1,579	35,068	4,356	45,982	4,446	46,004	4,437

Fuente: Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018



**Gráfico 10-4:** Curva Esfuerzo de Compresión vs. Tiempo probeta 5 aplicada en canto del ladrillo

**Fuente:** Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

**Tabla 13-4:** Datos de las Probetas para compresión aplicando la carga en la Canto

Datos en Canto	
Dimensiones [mm]:	280*140*70
Peso promedio [Kg]:	3,00
Área [mm <sup>2</sup> ]:	21000
PET [%]:	40

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

Al igual que en las probetas del ensayo en la tabla, las gráficas del ensayo en el canto muestran la variación del Esfuerzo Axial de Compresión ( $\sigma_c$ ) con relación al tiempo al estar cargada constantemente hasta estabilizarse y consecuentemente la fractura, los valores de la resistencia en estas probetas son menores debido a que el área de aplicación es menor.

El pico que se muestra al inicio de la curva es la deformación elástica antes de la aplicación de la carga en las probetas, es decir, que se da el momento en que la máquina entra en contacto con la superficie de la probeta. Posterior a este contacto, hay una recuperación plástica, la cual representa un porcentaje del esfuerzo total admitido hasta llegar a estabilizarse, el tiempo de estabilización es corto y se observa un descenso en la curva antes de retirar la carga que representa la deformación permanente (fractura).

El comportamiento del esfuerzo axial de compresión no varía en las probetas manteniendo la misma curva característica en cada una de ellas, sin embargo, los tiempos de estabilización y la carga aplicada varían en cada probeta, como se puede observar en

las gráficas correspondientes, de modo que para establecer el  $\sigma_{cm\acute{a}x}$  se toma el valor promedio de los 5 ensayos.

**Tabla 14-4:** Esfuerzo máximo

Probeta	$\sigma_{cm\acute{a}x}$ [MPa]
1	5,18
2	4,71
3	4,34
4	5,17
5	4,71

**Fuente:** Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

$$\sigma_{cm\acute{a}x Pro} = \frac{\sum_{i=1}^n P}{5} \quad (20)$$

$$\sigma_{cm\acute{a}x Pro} = \frac{5,18 + 4,71 + 4,34 + 5,17 + 4,71}{5}$$

$$\sigma_{cm\acute{a}x Pro} = 4,82 MPa$$

#### 4.1.1.2 Flexión

El ensayo de flexión en tres puntos se lo realizo para medir el comportamiento del esfuerzo- deformación y el módulo de ruptura de los ladrillos conformados de Cemento y PET.

Mediante este ensayo se obtuvo los datos más apropiados para establecer una caracterización del comportamiento de las probetas.

**Tabla 15-4:** Datos de las Probetas para Flexión aplicando la carga en la Tabla

Datos en Tabla	
Dimensiones [mm]:	280*140*70
Peso promedio [Kg]:	3,00
Área [mm <sup>2</sup> ]:	392000
PET [%]:	40

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

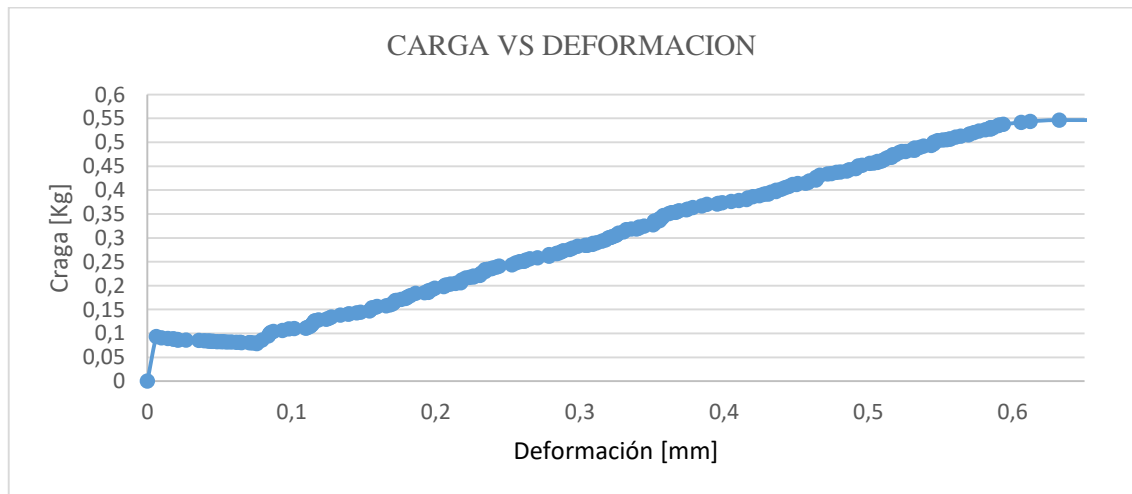
- *Probeta 1*

**Tabla 16-4:** Datos de Carga y Deformación final en la probeta 1, sometida a flexión en tabla del ladrillo

CARGA (Kg)	DEFORMACION FINAL (mm)	CARGA (Kg)	DEFORMACION FINAL (mm)	CARGA (Kg)	DEFORMACION FINAL (mm)
0,09065133	0,00617	0,11033154	0,09819	0,37106883	0,38809
0,08942769	0,009775	0,1254231	0,1151	0,39085101	0,42449
0,08116812	0,061625	0,14938605	0,154135	0,40777803	0,44227
0,07974054	0,07324	0,16141851	0,168295	0,41889276	0,45832
0,07831296	0,075875	0,17467461	0,17886	0,47405853	0,51613
0,08575677	0,0759	0,25023438	0,255515	0,48048264	0,521385
0,09473013	0,079425	0,26124714	0,27057	0,49231116	0,5357
0,09952272	0,08388	0,2712402	0,28583	0,49343283	0,538375
0,10197	0,08482	0,28429236	0,298255	0,50332392	0,545495
0,10594683	0,08743	0,29285784	0,31159	0,54064494	0,632545

**Fuente:** Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018



**Gráfico 11-4:** Curva Carga vs. Deformación, probeta 1, aplicada en tabla del ladrillo

**Fuente:** Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

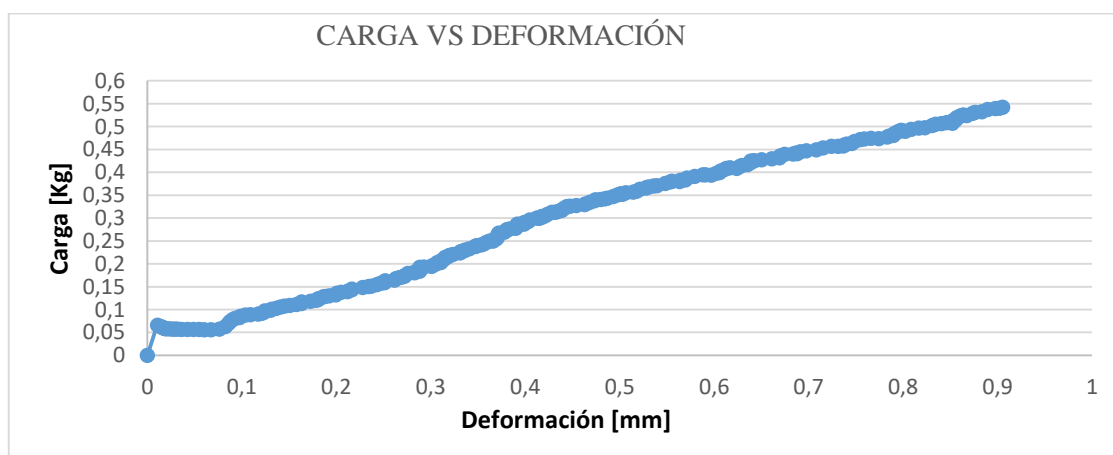
- *Probeta 2*

**Tabla 17-4:** Datos de Carga y Deformación final en la probeta 2, sometida a flexión en tabla del ladrillo

CARGA (Kg)	DEFORMACION FINAL (mm)	CARGA (Kg)	DEFORMACION FINAL (mm)	CARGA (Kg)	DEFORMACION FINAL (mm)
0,06301746	0,01063	0,22994235	0,33557	0,3997224	0,60247
0,061182	0,01417	0,23320539	0,3365	0,40879773	0,616675
0,05975442	0,01683	0,24707331	0,356025	0,41277456	0,623765
0,0560835	0,06026	0,25706637	0,36932	0,42939567	0,650415
0,07831296	0,08786	0,2692008	0,37207	0,43143507	0,66113
0,08106615	0,090545	0,27399339	0,37826	0,44927982	0,69761
0,08279964	0,09316	0,28673964	0,396155	0,45356256	0,708255
0,08881587	0,10377	0,30825531	0,421115	0,46732851	0,74573
0,09034542	0,109085	0,31243608	0,42376	0,479259	0,78304
0,09167103	0,117075	0,32599809	0,444185	0,49740966	0,816705
0,09860499	0,12419	0,33986601	0,473465	0,50220225	0,822955
0,10064439	0,13042	0,34047783	0,474325	0,51923124	0,855815
0,11094336	0,15074	0,35312211	0,49752	0,53085582	0,87353
0,15876729	0,2465	0,3630132	0,517935	0,54237843	0,90201
0,18874647	0,28816	0,37912446	0,54824	0,54125676	0,905565

**Fuente:** Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018



**Gráfico 12-4:** Curva Carga vs. Deformación, probeta 2, aplicada en tabla del ladrillo

**Fuente:** Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018



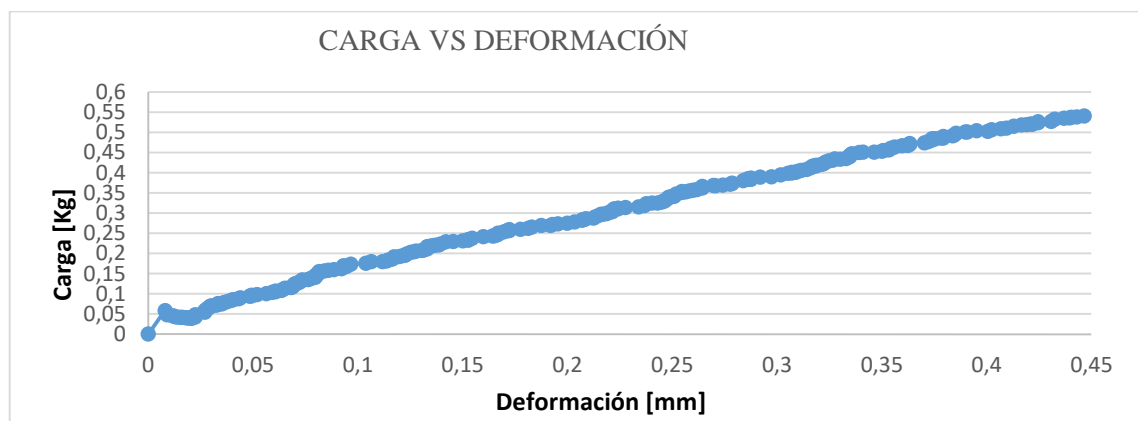
- *Probeta 3*

**Tabla 18-4:** Datos de Carga y Deformación final en la probeta 3, sometida a flexión en tabla del ladrillo

CARGA (Kg)	DEFORMACION FINAL (mm)	CARGA (Kg)	DEFORMACION FINAL (mm)	CARGA (Kg)	DEFORMACION FINAL (mm)
0,04802787	0,008095	0,09462816	0,048435	0,38371311	0,28391
0,04547862	0,008985	0,09625968	0,049295	0,39951846	0,305365
0,04374513	0,011645	0,0978912	0,049305	0,40064013	0,307195
0,04262346	0,012535	0,10044045	0,051955	0,41828094	0,318705
0,04129785	0,01524	0,11165715	0,06355	0,4394907	0,333865
0,04099194	0,01614	0,11390049	0,0645	0,44295768	0,334805
0,0581229	0,027015	0,11563398	0,065385	0,45621378	0,350835
0,06260958	0,02704	0,27817416	0,19996	0,46039455	0,35349
0,06556671	0,02792	0,28735146	0,208955	0,48955797	0,37934
0,07515189	0,033295	0,2987721	0,216975	0,4914954	0,37939
0,07800705	0,03511	0,30641985	0,22149	0,50872833	0,402405
0,08014842	0,035985	0,3181464	0,234025	0,51046182	0,406855
0,08371737	0,037755	0,32314293	0,236745	0,52687899	0,424585
0,08534889	0,039525	0,33966207	0,24837	0,54023706	0,443085
0,08779617	0,040425	0,34659603	0,251045	0,54186858	0,446625

**Fuente:** Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018



**Gráfico 13-4:** Curva Carga vs. Deformación, probeta 3, aplicada en tabla del ladrillo

**Fuente:** Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

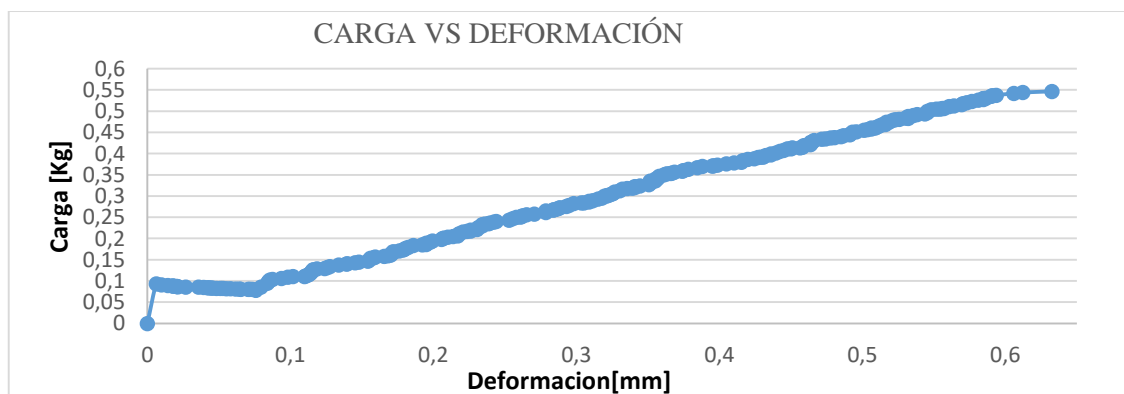
- *Probeta 4*

**Tabla 19-4:** Datos de Carga y Deformación final en la probeta 4, sometida a flexión en tabla del ladrillo

CARGA (Kg)	DEFORMACION FINAL (mm)	CARGA (Kg)	DEFORMACION FINAL (mm)	CARGA (Kg)	DEFORMACION FINAL (mm)
0,09065133	0,00617	0,18385191	0,182445	0,30988683	0,325965
0,08942769	0,009775	0,18538146	0,18599	0,31274199	0,326855
0,08116812	0,061625	0,19771983	0,199395	0,32028777	0,339205
0,07974054	0,07324	0,20057499	0,20562	0,33395175	0,351605
0,07831296	0,075875	0,20128878	0,206515	0,35057286	0,357945
0,08575677	0,0759	0,21189366	0,21723	0,36668412	0,37835
0,09473013	0,079425	0,21566655	0,218115	0,37004913	0,384555
0,09952272	0,08388	0,22953447	0,231465	0,37106883	0,38809
0,10197	0,08482	0,21566655	0,218115	0,39085101	0,42449
0,10594683	0,08743	0,22953447	0,231465	0,40777803	0,44227
0,10920987	0,093715	0,23391918	0,234135	0,41889276	0,45832
0,11033154	0,09819	0,24717528	0,252855	0,47405853	0,51613
0,1254231	0,1151	0,25023438	0,255515	0,48048264	0,521385
0,1264428	0,11598	0,26124714	0,27057	0,49231116	0,5357
0,12838023	0,11599	0,2712402	0,28583	0,49343283	0,538375
0,14938605	0,154135	0,28429236	0,298255	0,50332392	0,545495
0,16141851	0,168295	0,29285784	0,31159	0,54064494	0,632545

Fuente: Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018



**Gráfico 14-4:** Curva Carga vs. Deformación, probeta 4, aplicada en la tabla del ladrillo

Fuente: Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

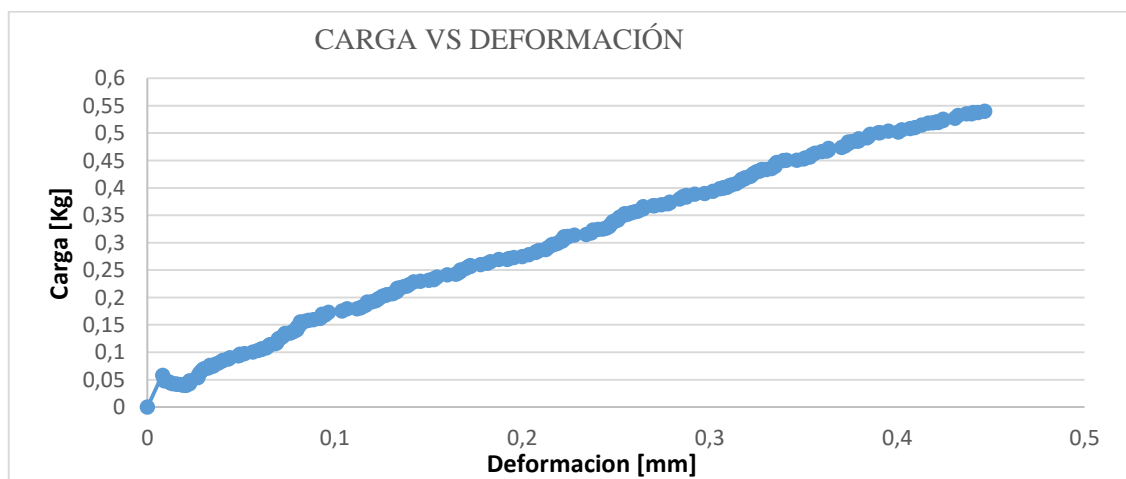
- *Probeta 5*

**Tabla 20-4:** Datos de Carga y Deformación final en la probeta 5, sometida a flexión en tabla del ladrillo

CARGA (Kg)	DEFORMACION FINAL (mm)	CARGA (Kg)	DEFORMACION FINAL (mm)	CARGA (Kg)	DEFORMACION FINAL (mm)
0,0601623	0,01505	0,16814853	0,26157	0,32915916	0,453955
0,05975442	0,01683	0,18874647	0,28816	0,3997224	0,60247
0,05893866	0,017695	0,19904544	0,301655	0,40879773	0,616675
0,0560835	0,06026	0,20312424	0,305185	0,42939567	0,650415
0,07831296	0,08786	0,21016017	0,31147	0,45978273	0,73674
0,08279964	0,09316	0,2692008	0,37207	0,479259	0,78304
0,08881587	0,10377	0,245608	0,324566	0,50709681	0,84605
0,09860499	0,12419	0,20312424	0,305185	0,51127758	0,85225
0,10064439	0,13042	0,21016017	0,31147	0,52902036	0,867345
0,11094336	0,15074	0,2692008	0,37207	0,53085582	0,87353
0,13898511	0,2048	0,27776628	0,383635	0,53993115	0,89752
0,14857029	0,216345	0,28673964	0,396155	0,54237843	0,90201
0,15876729	0,2465	0,29612088	0,40326	0,54125676	0,905565

Fuente: Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018



**Gráfico 15-4:** Curva Carga vs. Deformación, probeta 5, aplicada en la tabla del ladrillo

Fuente: Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

Las gráficas del ensayo de flexión en la cara superior del ladrillo o llamada también tabla, muestran cómo va aumentando la deformación final en cuanto se aplica más carga con relación al tiempo al estar cargada constantemente hasta estabilizarse y consecuentemente la fractura.

El comportamiento de las gráficas carga deformación dejan evidencia que hay un punto de estabilización y al transcurrir el tiempo y aumentar carga la probeta comienza de a flejar mostrando un aumento en la deformación final que conlleva a la fractura del este a determinada carga de ruptura.

En las probetas se observa una misma curva característica en cada una de ellas, sin embargo, los tiempos de estabilización y la carga aplicada varían en cada probeta, como se puede observar en las gráficas correspondientes.

Para establecer la deformación final se toma el valor promedio de los 5 ensayos.

**Tabla 21-4:** Deformación final de las probetas

<b>Probeta</b>	<b>Deformación final [mm]</b>
1	0,632545
2	0,905565
3	0,446625
4	0,736745
5	0,902116

**Fuente:** Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

$$Deformación_{pro} = \frac{\sum_{i=1}^n P}{5}$$

$$Deformación_{pro} = \frac{0,632545 + 0,905565 + 0,446625 + 0,736745 + 0,902116}{5}$$

$$Deformación_{pro} = 0,7247192 \text{ mm}$$

## MÓDULO DE ROTURA LADRILLOS

**Tabla 22-4:** Datos de las probetas para el cálculo de Módulo de Rotura

Probeta	Ancho [mm]	Largo [mm]	Altura [mm]	Carga [N]	Distancia entre apoyos [mm]	Módulo de rotura [N/mm <sup>2</sup> ]
1	140	280	70	5360	1,55	2,34402332
2	140	280	70	5280	1,6	2,19358601
3	140	280	70	5380	1,55	2,35276968
4	140	280	70	5350	1,45	2,28115889
5	140	280	70	5320	1,5	2,21020408

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

Formula del Módulo de Rotura en MPa

$$\text{Módulo de rotura } (R) = \frac{300 \cdot G \cdot l}{2 \cdot b \cdot d^2} \quad (21)$$

$$\text{Módulo de rotura }_{pro} = \frac{\sum_{i=1}^n P}{5}$$

$$\text{Módulo de rotura }_{pro} = \frac{2,34 + 2,1935 + 2,3527 + 2,281 + 2,21}{5}$$

$$\text{Módulo de rotura }_{promedio} = 2,2763 \text{ MPa}$$

Los ladrillos ensayados si cumplen con la norma INEN 295 ya que en dicha norma nos especifica las características que debe poseer los ladrillos y las resistencias mínimas que deben cumplir para ser aceptadas la cual especifica que la resistencia a la flexión debe ser de 2 MPa y nuestros ladrillos alcanzan los 2,27 MPa.

## 4.1.2 Ensayos Físicos

### 4.1.2.1 Ensayo De Absorción

Una de las pruebas a las que son sometidos los ladrillos es la absorción la cual se rige para su realización a la norma de la Construcción la INEN 296, Ladrillos cerámicos.

La absorción de cada muestra expresada en porcentaje se calcula por la ecuación siguiente:

$$\text{Absorción \%} = \frac{P_2 - P_1}{P_1} * 100$$

Dónde:

P1 es la masa de la muestra desecada,

P2 es la masa de la muestra después de 24 horas de haber sido sumergida

**Tabla 23-4:** Datos de las probetas para el Ensayo de Absorción

	<b>Probeta 1</b>	<b>Probeta 2</b>	<b>Probeta 3</b>
<b>Peso en seco (P1)</b>	3,30	3,00	3,20
<b>Peso saturado (P2)</b>	3,75	3,56	3,80
<b>Peso saturado – peso seco</b>	0,45	0,56	0,60
<b>%Absorción (A)</b>	13,64	18,67	18,75

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

### Valor Promedio

$$\text{Valor promedio absorción \%} = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{3} \quad (22)$$

$$\text{Valor promedio absorción \%} = \frac{13,64 + 18,67 + 18,75}{3}$$

$$\text{Valor promedio absorción \%} = 17,02$$

De acuerdo a los valores obtenidos de absorción de las probetas se encuentran en un rango aceptable ya que una probeta debe absorber un máximo de 18% según la norma INEN 296 y nuestros especímenes absorben 17,0 2% lo cual es favorable

#### **4.1.3 Ensayos Térmicos**

El ensayo para determinar la conductividad térmica en los ladrillos conformados de cemento y PET, se lo llevo a cabo mediante el uso de Placa Caliente Guardada, con la finalidad determinar las ventajas de este elemento al ser utilizado como aislante térmico en construcciones civiles.

Cuando las condiciones de transmisión de calor y del ambiente son estables, se inicia la recolección de datos de las temperaturas superficies de ambos lados de la muestra, del mismo modo los valores del calor producido, para obtener de forma estadística los valores promedio de conductividad y calor producido.

##### **4.1.3.1 Conductividad térmica**

Los valores determinados mediante el uso del equipo de Placa Caliente Guardada de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, aplicando los ensayos tanto en la tabla como el canto de los ladrillos se obtuvo valores bajos de conductividad térmica, por lo cual se puede considerar a los ladrillos conformados de cemento y PET como buenos aislantes térmicos, siendo usados en tabla y canto.

**Tabla 24-4:** Datos para obtener la Conductividad Térmica en canto mediante la ecuación (19)

T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	V	I	Q <sub>t</sub>	Q	A	L	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	R. Térmica
25,000	24,800	12,400	10,900	18,920	0,200	3,784	1,892	0,0784	0,070	0,134070295	0,121531346	6,6596195
25,000	25,000	12,600	11,010	19,830	0,200	3,966	1,983	0,0784	0,070	0,142785138	0,126557235	6,2531518
25,100	24,800	12,600	11,800	18,360	0,200	3,672	1,836	0,0784	0,070	0,131142857	0,126098901	6,8082789
25,100	25,000	12,500	11,600	18,790	0,200	3,758	1,879	0,0784	0,070	0,133149093	0,125199893	6,7056945
25,100	25,000	12,500	11,200	18,480	0,200	3,696	1,848	0,0784	0,070	0,130952381	0,119565217	6,8181818
25,100	25,000	12,500	11,100	18,500	0,200	3,700	1,850	0,0784	0,070	0,131094104	0,118833505	6,8108108
25,100	25,000	12,500	11,100	18,450	0,200	3,690	1,845	0,0784	0,070	0,130739796	0,118512333	6,8292683
										0,133419095	0,122328347	6,6978579

**Fuente:** DECEM, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018



**Tabla 25-4:** Datos para obtener la Conductividad Térmica en tabla mediante la ecuación (19)

T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	V	I	Q <sub>t</sub>	Q	A	L	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	R. Térmica
25,000	24,800	12,400	10,900	18,920	0,200	3,784	1,892	0,0588	0,140	0,357520786	0,32408359	6,6596195
25,000	25,000	12,600	11,010	19,830	0,200	3,966	1,983	0,0588	0,140	0,380760369	0,337485959	6,2531518
25,100	24,800	12,600	11,800	18,360	0,200	3,672	1,836	0,0588	0,140	0,349714286	0,336263736	6,8082789
25,100	25,000	12,500	11,600	18,790	0,200	3,758	1,879	0,0588	0,140	0,355064248	0,333866382	6,7056945
25,100	25,000	12,500	11,200	18,480	0,200	3,696	1,848	0,0588	0,140	0,349206349	0,31884058	6,8181818
25,100	25,000	12,500	11,100	18,500	0,200	3,700	1,850	0,0588	0,140	0,349584278	0,316889346	6,8108108
25,100	25,000	12,500	11,100	18,450	0,200	3,690	1,845	0,0588	0,140	0,348639456	0,316032888	6,8292683
										0,355784253	0,326208926	6,6978579

Fuente: DECEM, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

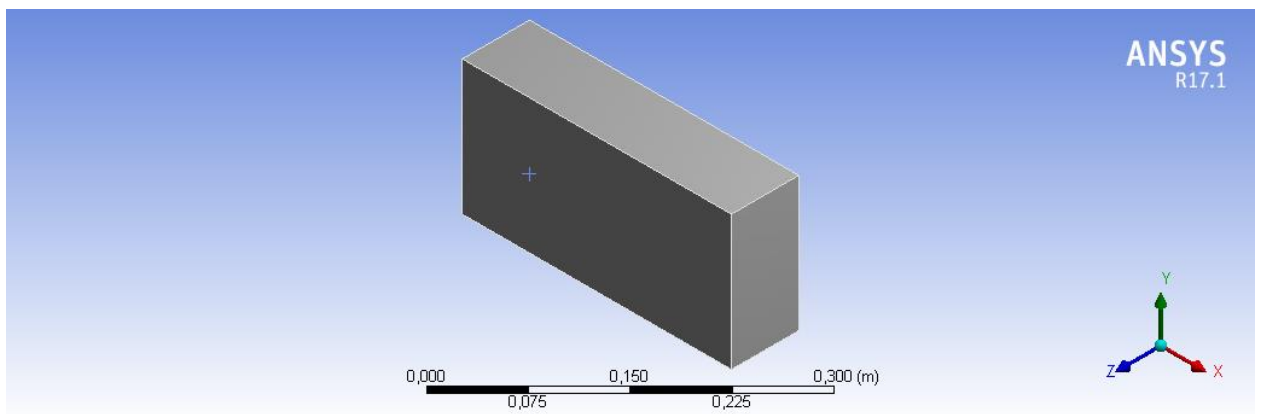
Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

#### 4.1.3.2 ANSYS

El análisis del perfil de temperatura se lo realizó mediante la ayuda de un software ANSYS el cual nos ayudó en el diseño, análisis y simulación para analizar el comportamiento de la probeta con el medio que lo rodea, a través de la teoría de los elementos finitos mediante un mallado en el elemento el cual nos proporciona un análisis de las piezas sometidas a fenómenos físicos.

Se selecciona el modelo de estudio en este caso será Steady State Thermal, el cual será utilizado para generar el perfil de temperatura, se debe considerar tanto los datos de la conductividad térmica y la temperatura a la cual estuvo sometida la probeta.

La geometría de la probeta a ensayar debe ser dibujar acorde a los requerimientos y con todas las especificaciones necesarias

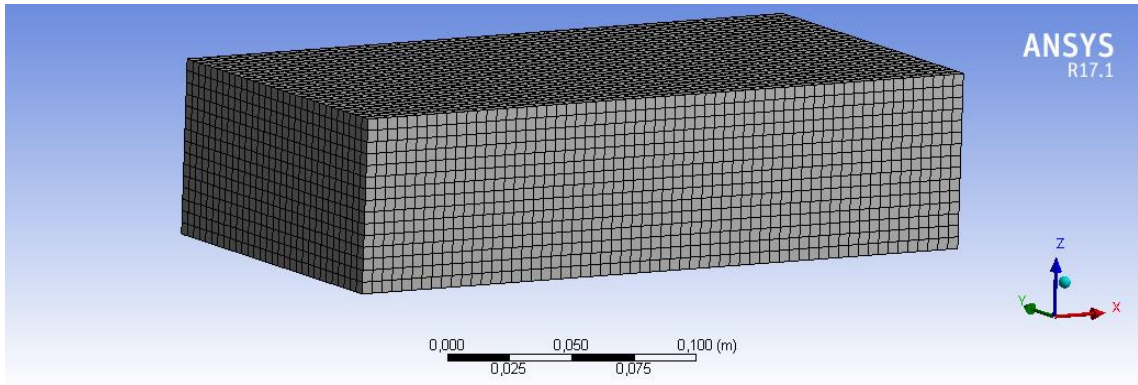


**Figura 1-4:** Geometría del ladrillo de Cemento –PET

Fuente: ANSYS 17.1

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

Luego de generar la geometría necesaria se procede a asignar el material ya que no todos los materiales poseen el mismo coeficiente de conductividad terminada en nuestro caso gracias al ensayo realizado de conductividad nuestro coeficiente del ladrillo de cemento y PET es de  $0,32\text{W/Km}$ , se debe regir a las especificaciones para lograr buen resultado en la simulación del perfil de temperatura.



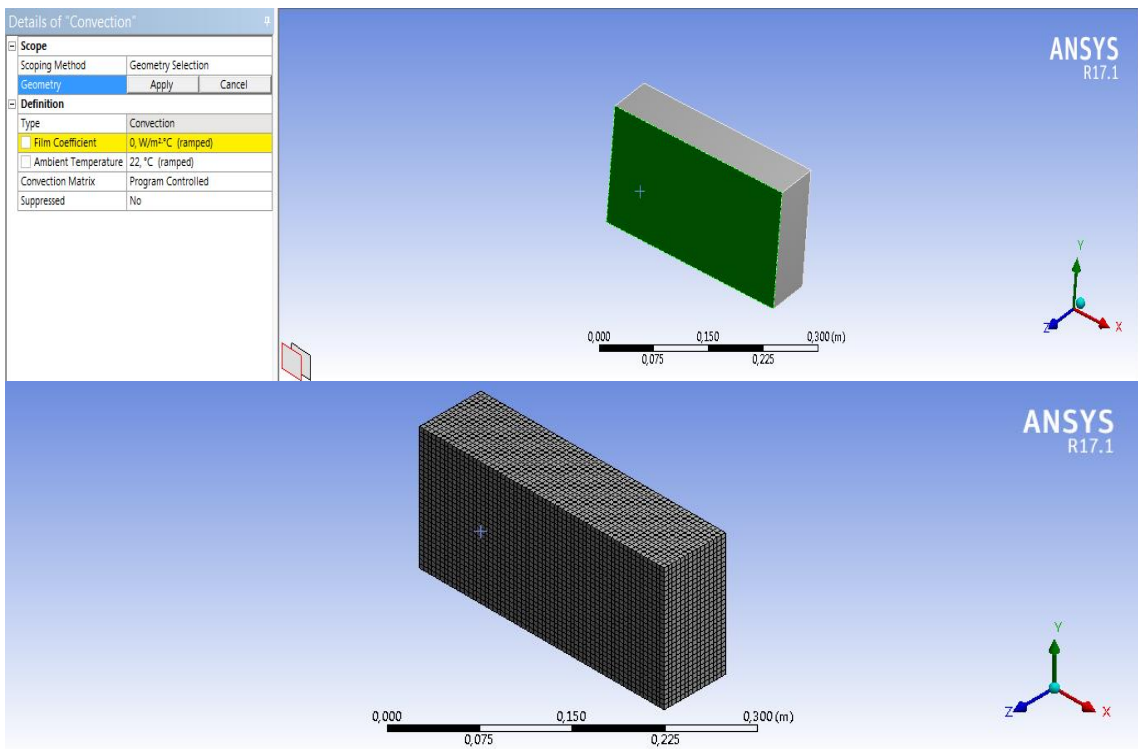
**Figura 2-4:** Selección de material del ladrillo de Cemento –PET

Fuente: ANSYS 17.1

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

Para conseguir un mejor resultado en la presentación de resultados en el análisis se realizó un mallado fino para una mejor caracterización del fenómeno.

Se selecciona la cara deseada a analizar y aplicar el mallado colocando el dato de coeficiente y temperatura.



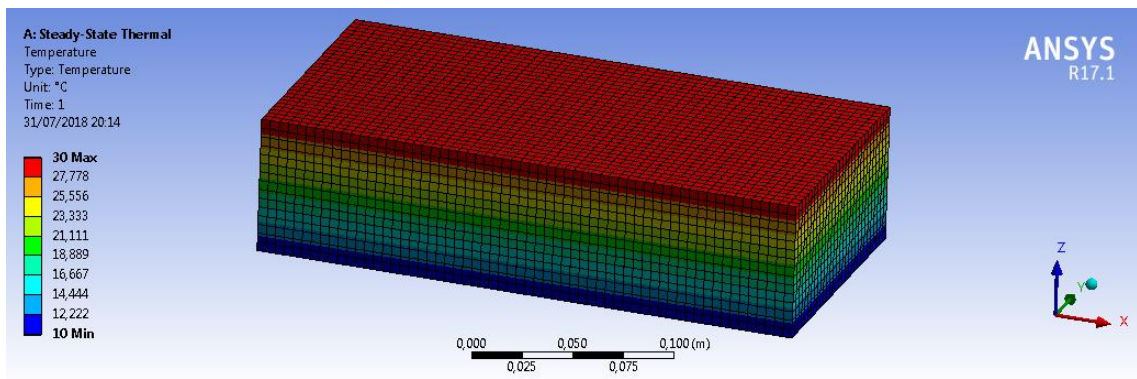
**Figura 3-4:** Coeficiente de Conductividad Térmica del ladrillo de Cemento –PET

Fuente: ANSYS 17.1

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

Se planteó que el ladrillo prototipo está sometido a un estado estable y condiciones de frontera como es la temperatura a la cual está sujeto el ladrillo ya dicha características influye mucho en el perfil de temperatura que el mismo pueda generar.

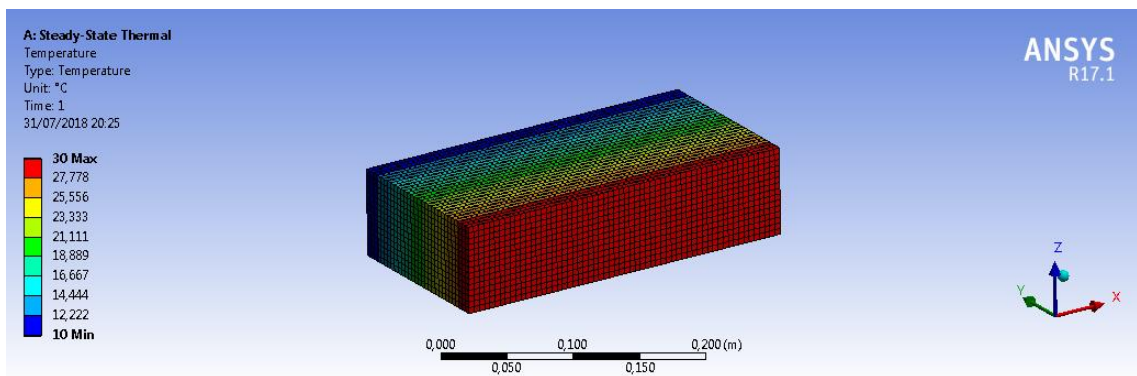
Se obtuvo el análisis del perfil de temperatura



**Figura 4-4:** Perfil de temperatura del ladrillo de Cemento –PET

Fuente: ANSYS 17.1

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018



**Figura 5-4:** Perfil de temperatura del ladrillo de Cemento –PET

Fuente: ANSYS 17.1

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

Al someter a la probeta esta simulación del perfil de temperaturas se llega a la conclusión que gracias a su bajo coeficiente de conductividad térmica que es el que mide la capacidad de conducción de calor a través de ellos, la probeta tiende a ser un buen aislante es decir actúa como una barrera al paso del calor entre dos medios , impidiendo que el calor se pierda o traspase los de un medio a otro como en el caso de una casa que no permita que se pierda calor con el ambiente que lo rodea.

## 4.2 Placas

### 4.2.1 Ensayos Mecánicos

#### 4.2.1.1 Flexión

### RESISTENCIA A LA FLEXION PLACAS

El ensayo de flexión en tres puntos se lo realizó para medir el comportamiento esfuerzo-deformación y la resistencia a la flexión de placas elaboradas con cemento y PET.

**Tabla 26-4:** Datos de las Probetas para flexión aplicando la carga en la Tabla

Datos en Tabla	
Dimensiones [mm]:	300*300*20
Peso promedio [Kg]:	0,75
Área [mm <sup>2</sup> ]:	1800
PET [%]:	40

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

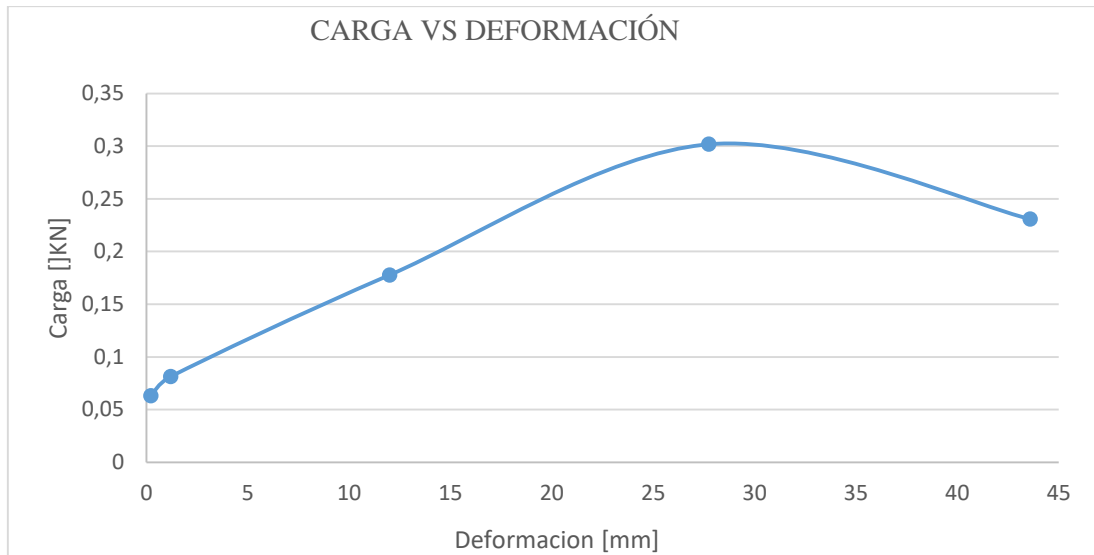
- *Probeta 1*

**Tabla 27-4:** Datos de Carga y Deformación final en la probeta 1, sometida a flexión

CARGA (Kg)	DEFORMACION FINAL (mm)
0,0756832	0
0,08137206	0,07869
0,17773371	0,175225
0,3018312	0,392405
0,23086008	1,37468
0,07698735	12,171915
0,02100582	27,919065
0,02134567	43,694835

Fuente: Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018



**Gráfico 16-4:** Curva Carga vs. Deformación, probeta 1, aplicada en la placa prototipo

**Fuente:** Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

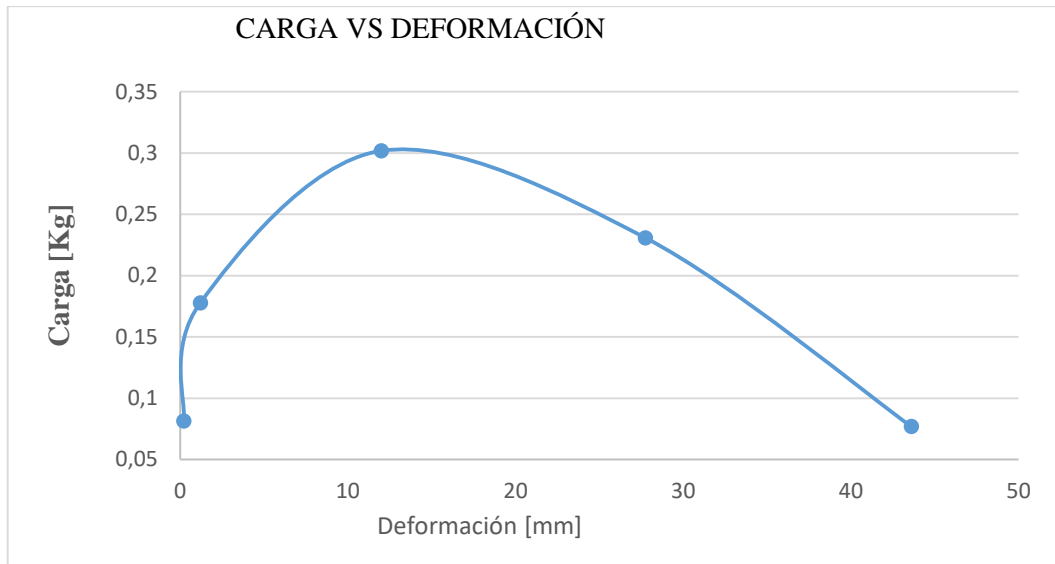
- *Probeta 2*

**Tabla 28-4:** Datos de Carga y Deformación final en la probeta 2, sometida a flexión

<b>CARGA (Kg)</b>	<b>DEFORMACION FINAL (mm)</b>
0,06801399	0
0,08137206	0,07869
0,17773371	0,175225
0,3018312	0,392405
0,23086008	1,37468
0,07698735	12,171915
0,02100582	42,746596

**Fuente:** Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018



**Gráfico 17-4:** Curva Carga vs. Deformación, probeta 2, aplicada en la placa prototipo

**Fuente:** Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

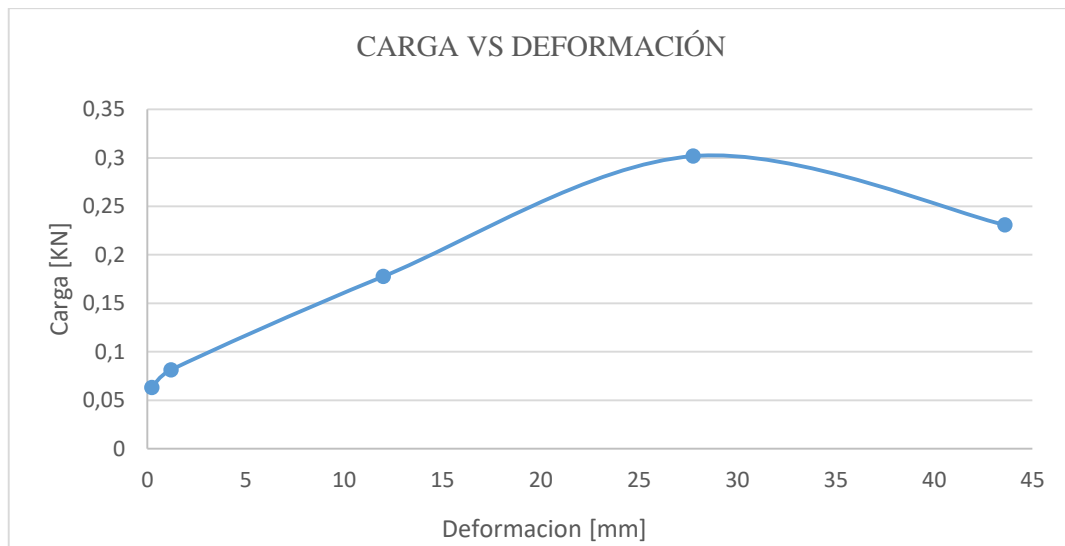
- *Probeta 3*

**Tabla 29-4:** Datos de Carga y Deformación final en la probeta 3, sometida a flexión

CARGA (Kg)	DEFORMACION FINAL (mm)
0,07137206	0,07869
0,17773371	0,175225
0,3018312	0,392405
0,23086008	1,37468
0,07698735	12,171915
0,23470582	45,569643

**Fuente:** Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018



**Gráfico 18-4:** Curva Carga vs. Deformación, probeta 3, aplicada en la placa prototipo

**Fuente:** Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

- *Probeta 4*

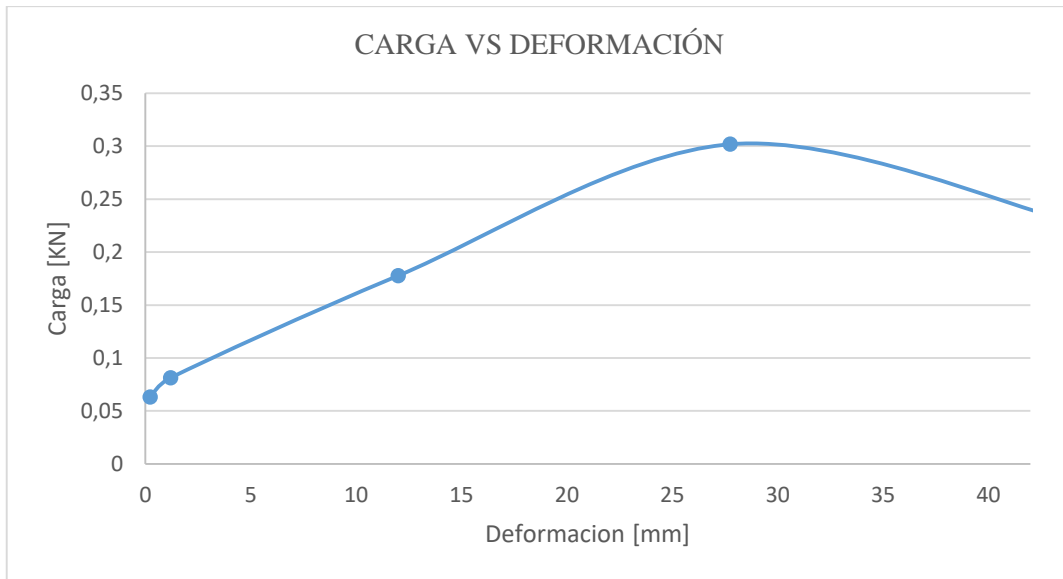
**Tabla 30-4:** Datos de Carga y Deformación final en la probeta 4, sometida a flexión

CARGA (Kg)	DEFORMACION FINAL (mm)
0,06801399	0
0,08137206	0,07869
0,17773371	0,175225
0,3018312	0,392405
0,23086008	1,37468
0,07698735	11,171915
0,02100582	40,545689

**Fuente:** Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018





**Gráfico 19-4:** Curva Carga vs. Deformación, probeta 4, aplicada en la placa prototipo

**Fuente:** Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

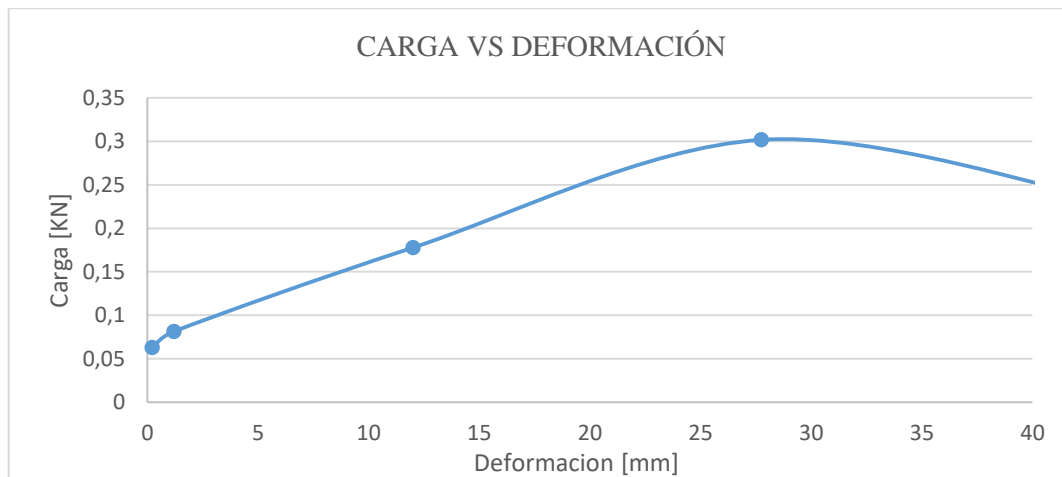
- *Probeta 5*

**Tabla 31-4:** Datos de Carga y Deformación final en la probeta 5, sometida a flexión

<b>CARGA (Kg)</b>	<b>DEFORMACION FINAL (mm)</b>
0,069013455	0
0,08137206	0,07869
0,17773371	0,175225
0,3018312	0,392405
0,23086008	1,37468
0,07698735	13,171915
0,02400582	40,945587

**Fuente:** Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018



**Gráfico 20-4:** Curva Carga vs. Deformación, probeta 1, aplicada en la placa prototipo

**Fuente:** Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

Las gráficas del ensayo de flexión en la cara superior de la placa muestran cómo va aumentando la deformación final en cuanto se aplica más carga con relación al tiempo al estar cargada constantemente hasta estabilizarse y consecuentemente la fractura.

En las probetas se observa una misma curva característica en cada una de ellas, sin embargo, los tiempos de estabilización y la carga aplicada varían en cada probeta, como se puede observar en las gráficas correspondientes.

Para establecer la deformación final (mm) toma el valor promedio de los 5 ensayos.

**Tabla 32-4:** Datos de Carga y Deformación final en la probeta 5, sometida a flexión

Probeta	Deformación final [mm]
1	43,69
2	42,74
3	45,569
4	40,54
5	40,645

**Fuente:** Datos obtenidos de la máquina universal marca Control's de la Universidad Técnica de Ambato

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

$$Deformación_{pro} = \frac{\sum_{i=1}^n P}{5}$$

$$Deformación_{pro} = \frac{43,69 + 42,74 + 45,56 + 40,54 + 40,64}{5}$$

$$Deformación_{pro} = 42,634 \text{ mm}$$

### MÓDULO DE ROTURA PLACAS

**Tabla 33-4:** Datos de las probetas para el cálculo de Módulo de Rotura

Probeta	Ancho [mm]	Largo [mm]	Altura [mm]	Carga [N]	Distancia entre apoyos [mm]	Módulo de rotura [N/mm <sup>2</sup> ]
1	300	300	20	206	155	0,375
2	300	300	20	210	16	0,475
3	300	300	20	208	155	0,5
4	300	300	20	200	145	0,4875
5	300	300	20	211	15	0,475

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

Formula del Módulo de Rotura en MPa

$$Módulo de rotura (R) = \frac{300 \cdot G \cdot l}{2 \cdot b \cdot d^2}$$

$$Módulo de rotura_{pro} = \frac{\sum_{i=1}^n P}{5}$$

$$Módulo de rotura_{pro} = \frac{0,375 + 0,475 + 0,50 + 0,486 + 0,475}{5}$$

Módulo de rotura  $P_{promedio} = 0,4625 \text{ MPa}$

## 4.2.2 Ensayos Físicos

### 4.2.2.1 Ensayo de Absorción

Una de las pruebas a las que son sometidos los ladrillos es la absorción la cual se rige para su realización a la norma de la Construcción la INEN 296 Ladrillos cerámicos.

La absorción de cada muestra expresada en porcentaje se calcula por la ecuación siguiente:

$$\text{Absorción \%} = \frac{P_2 - P_1}{P_1} * 100$$

Dónde:

P1 es la masa de la muestra desecada,

P2 es la masa de la muestra después de 24 horas de haber sido sumergida

**Tabla 34-4:** Datos de las probetas para el Ensayo de Absorción

	<b>Probeta 1</b>	<b>Probeta 2</b>	<b>Probeta 3</b>
<b>Peso en seco (P1)</b>	1,00	0,98	0,95
<b>Peso saturado (P2)</b>	1,11	1,08	1,05
<b>Peso saturado – peso seco</b>	0,11	0,10	0,10
<b>%Absorción (A)</b>	11	10	10,52

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

### Valor Promedio

$$\text{Valor promedio absorción \%} = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{3}$$

$$\text{Valor promedio absorción \%} = \frac{11 + 10 + 10,52}{3}$$

$$\text{Valor promedio absorción \%} = 10,51$$

De acuerdo a los valores obtenidos de absorción de las probetas se encuentran en un rango aceptable ya que una probeta debe absorber un máximo de 16 según la norma INEN 296 y nuestros espécimen absorben 10,51 % lo cual es favorable.

### **4.2.3 Ensayos Térmicos**

#### **4.2.3.1 Conductividad Térmica**

Los valores determinados mediante el uso del equipo de Placa Caliente Guardada de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, aplicando los ensayos las placas de cemento y PET, se obtuvo valores bajos de conductividad térmica, por lo cual se puede considerar a las placas conformadas de cemento y PET como buenos aislantes térmicos, pueden ser utilizadas como recubrimiento de paredes o pisos.

En este caso no se tiene valores de comparación, debido a que no hay en el mercado actual elementos de este tipo, ya que debido a sus dimensiones no están en el rango de baldosas ni placas prefabricadas.

**Tabla 35-4:** Datos para obtener la Conductividad Térmica en placas mediante la ecuación (19)

T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	V	I	Q <sub>t</sub>	Q	A	L	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	R. Térmica
17,70	17,80	13,30	11,60	18,24	0,20	3,65	1,82	0,09	0,02	0,09212121	0,06537634	2,4122807
17,80	17,80	13,50	11,80	18,16	0,20	3,63	1,82	0,09	0,02	0,09385013	0,06725926	2,36784141
17,80	17,80	13,70	12,00	18,30	0,20	3,66	1,83	0,09	0,02	0,09918699	0,07011494	2,24043716
17,80	17,80	13,40	11,70	18,21	0,20	3,64	1,82	0,09	0,02	0,0919697	0,0663388	2,41625481
17,90	17,90	13,60	11,90	18,27	0,20	3,65	1,83	0,09	0,02	0,0944186	0,06766667	2,35358511
17,90	17,80	13,40	11,80	18,30	0,20	3,66	1,83	0,09	0,02	0,09037037	0,06777778	2,45901639
17,90	17,80	13,30	11,60	18,27	0,20	3,65	1,83	0,09	0,02	0,08826087	0,06548387	2,51778872
										0,09288255	0,06714538	2,3953149

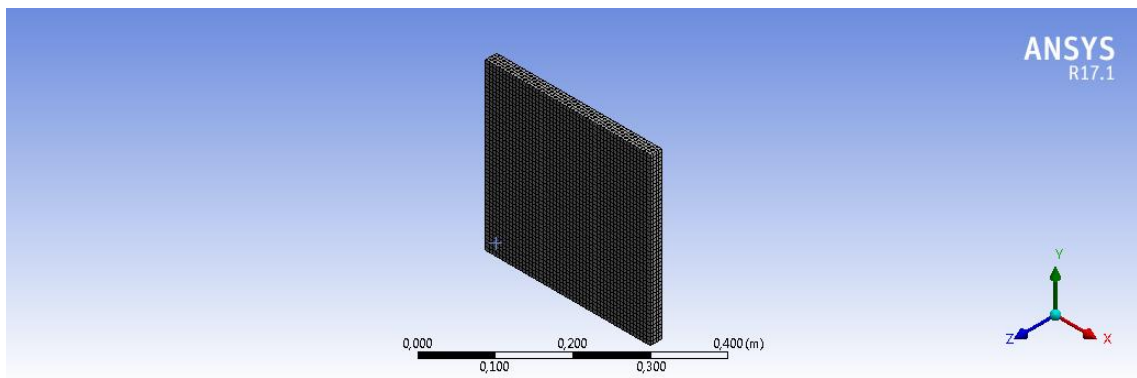
**Fuente:** DECEM, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

#### 4.2.3.2 ANSYS

Al igual que en los ladrillos prototipo se realizó el mismo análisis en las placas el perfil de temperatura se lo realizó mediante el software ANSYS. Se selecciona el modelo de estudio en nuestro caso será *Steady State Thermo* el cual se utiliza para generar el perfil de temperatura

La geometría de la placa a ensayar debe estar dibujada acorde a nuestro requerimiento y con todas las especificaciones necesarias se debe considerar el dato de la conductividad térmica y la temperatura a la cual está sometida.

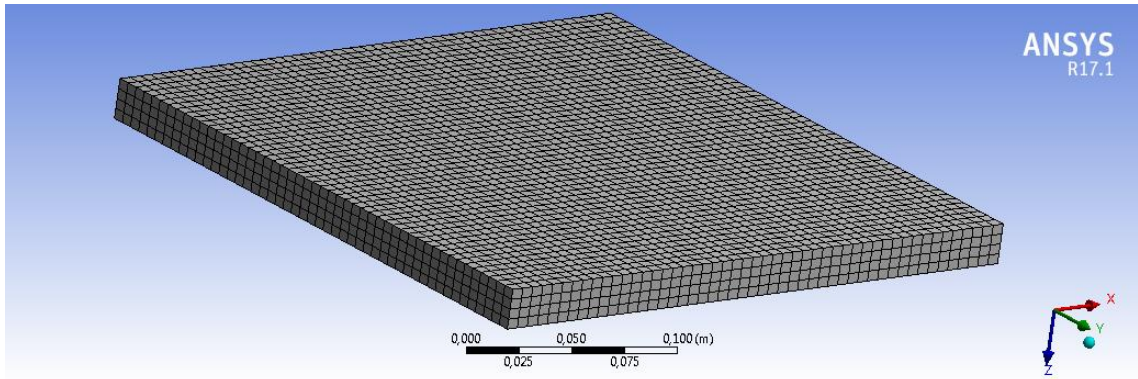


**Figura 6-4:** Geometría de la placa de Cemento –PET

Fuente: ANSYS 17.1

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

Con la geometría necesaria, se procede a asignar el material y a la vez el coeficiente de la placa de cemento y PET es de  $0,16 \text{ W/}^\circ\text{K.m}$ . Para conseguir un mejor resultado en la presentación de resultados en el análisis se realizó un mallado fino para una mejor caracterización del fenómeno.

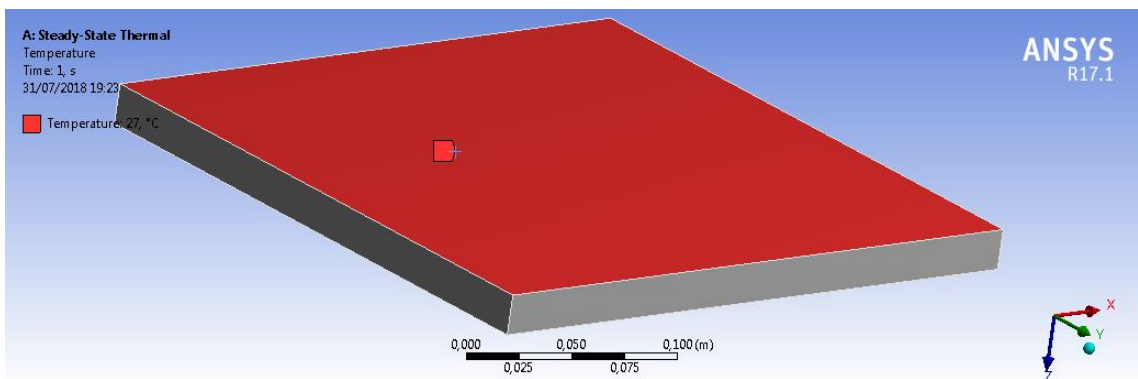


**Figura 7-4:** Selección de material del ladrillo de Cemento –PET

Fuente: ANSYS 17.1

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

Se seleccionó la cara que se desea analiza y se aplica el mallado colocando el dato de coeficiente y temperatura.



**Figura 8-4:** Coeficiente de Conductividad Térmica de la placa de Cemento –PET

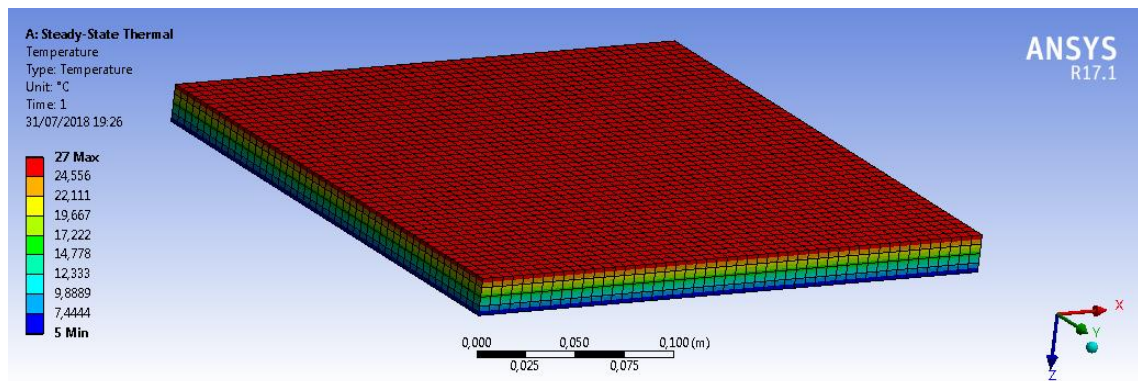
Fuente: ANSYS 17.1

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

Se planteó condiciones de frontera como es la temperatura a la cual está sometida la placa para proporcionar un análisis más eficaz tomando en cuenta que al analizarlo está sometido a un estado estable.

Se obtuvo el análisis del perfil de temperatura





**Figura 9-4:** Perfil de temperatura de la placa de Cemento –PET

Fuente: ANSYS 17.1

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

Al someter la placa a esta simulación del perfil de temperaturas se llegó a la conclusión que gracias a su bajo coeficiente de conductividad térmica se lo considera con un buen material aislante es decir actúa como una barrera al paso del calor entre dos medios.

#### 4.3 Análisis de Costos de la fabricación de Ladrillos y Placas conformados de Cemento y PET

El análisis de los costos de fabricación se realiza por unidad elaborada y a su vez se realiza un análisis por metro cuadrado de construcción de los ladrillos y placas prototipos, en contraste al costo de venta de los ladrillos comunes.

Para esto se utiliza los valores vigentes en el momento de la adquisición de los materiales.

**Tabla 36-4:** Análisis por unidad Ladrillos

<b>Ladrillo (28*14*7 cm)</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo (USD)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total</b>
<b>Cemento</b>	Kg	0,1500	0,05007	0,0075
<b>Arena</b>	Kg	0,0080	1,27730	0,0102
<b>PET Triturado</b>	Kg	0,2500	0,66410	0,1660
<b>Agua</b>	m3	1,2500	0,00051	0,0006

**Tabla 37-4:** Análisis por unidad Ladrillos (continuación)

<b>Mano de Obra (peón)</b>	Hora	3,5100	0,02742	0,0962
<b>Molde</b>	U	0,0375	1,00000	0,0375
			<b>Total USD</b>	0,3181
				0,32

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

El costo de fabricación de los ladrillos prototipo de cemento y PET, es el doble del valor de un ladrillo común, sin considerar el valor agregado de mano de obra, por lo que no se considera una opción rentable de construcción al realizar un análisis por unidad.

El costo en el mercado de un ladrillo común es de 15 ctvs. Dólar, es una opción más económica de construcción.

La producción en masa de los ladrillos de tierra cocida en cantones como Chambo ha generado grandes daños ambientales como erosión y emisiones a gran escala de CO2 por utilizar la tierra cultivable como materia prima y sin pagar por ella.

**Tabla 38-4:** Análisis por unidad Placas

<b>Placas (30*30*2 cm)</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo (USD)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total</b>
<b>Cemento</b>	Kg	0,1500	0,0350	0,0052
<b>Arena</b>	m3	0,0080	0,1398	0,0011
<b>PET Triturado</b>	Kg	0,2500	0,0932	0,0233
<b>Agua</b>	m3	1,2500	0,0002	0,0002
<b>Mano de Obra (peón)</b>	Hora	3,5100	0,0150	0,0527
<b>Moldes</b>	U	0,0125	1,0000	0,0125
			<b>Total USD.</b>	0,0950
				0,10

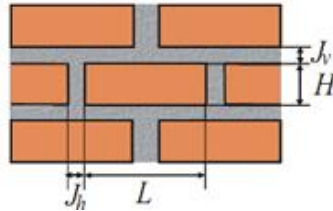
Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

Los costos de elaboración de las placas no pueden ser comparados al no existir un producto de este tipo en el mercado previamente, no obstante al tener en cuenta las dimensiones es un producto rentable para recubrimiento.

## Análisis de costo por metro cuadrado

Utilizando:

$$C_L = \frac{1}{(L + J_h) * (H + J_v)} \quad (23)$$



**Figura 10-4:** Cálculo del ladrillo por metro cuadrado

Fuente: <https://civilgeeks.com/2014/06/21/cuantos-ladrillos-entran-en-un-metro-cuadrado-de-muro/>

Dónde:

- $C_L$  Cantidad de ladrillos por m<sup>2</sup>
- $L$  Longitud de ladrillo (m)
- $J_h$  Espesor de la junta Horizontal (m)
- $H$  Altura (m)
- $J_v$  Espesor de la junta Horizontal (m)

**Tabla 39-4:** Análisis de costos por metro cuadro Ladrillos y Placas

Tabla comparativa de costos por metro cuadrado					
	Tabla Ladrillo PET	Canto Ladrillo PET	Tabla Ladrillo común	Canto Ladrillo común	Placa
<b>Largo</b>	0,28	0,28	0,26	0,26	0,3
<b>Junta horizontal</b>	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>Altura</b>	0,14	0,07	0,11	0,065	0,3
<b>Junta Vertical</b>	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>No. Ladrillos</b>	20,00	35,00	30,00	43,00	10,00
<b>Total (\$)</b>	6,40	11,20	4,50	6,450	1,00

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

**Tabla 40-4:** Análisis de peso por metro cuadrado Ladrillos y Placas

<b>Tabla comparativa de peso por metro cuadrado</b>					
	<b>Tabla</b>	<b>Canto</b>	<b>Tabla</b>	<b>Canto</b>	
	<b>Ladrillo PET</b>	<b>Ladrillo PET</b>	<b>Ladrillo común</b>	<b>Ladrillo común</b>	<b>Placa</b>
<b>Largo</b>	0,28	0,28	0,26	0,26	0,30
<b>Junta horizontal</b>	0,025	0,025	0,02	0,02	0,02
<b>Altura</b>	0,14	0,07	0,10	0,06	0,30
<b>Junta Vertical</b>	0,025	0,025	0,02	0,02	0,02
<b>No. Ladrillos</b>	<b>20,00</b>	<b>35,00</b>	<b>30,00</b>	<b>43,00</b>	<b>10,00</b>
<b>Peso (kg)</b>	60,00	105,00	84,00	126,00	7,50

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz.

Los costos de construcción por metro cuadrado son levemente superiores, en este caso se los puede considerar una opción más rentable, considerando los valores de resistencia a la compresión obtenidos con anterioridad.

Sin embargo al tener en cuenta la relación del peso, los ladrillos conformados de cemento y PET tienen ventaja, al necesitar una menor cantidad de ladrillos el peso de las estructuras disminuye considerablemente.

## CAPITULO V

### 5. INTERPRETACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 5.1 Ladrillos

Mediante la norma NTN INEN 297 se establece el número de probetas y valores que se deben cumplir en los ladrillos prototipo en base a los ladrillos comunes ya fabricados que son empleados en la construcción.

El ladrillo prototipo es calificado como un ladrillo macizo tipo C ya que se lo considera como un ladrillo fabricado a mano con imperfecciones en las caras exteriores y variaciones en la rectitud de sus aristas.

**Tabla 1-5:** Análisis por unidad Placas

Tipo de ladrillo	Resistencia mínima a la Compresión [MPA]		Resistencia mínima a la Flexión [MPA]	Absorción máxima de humedad [ %]
	Promedio de 5 unidades	individual	Promedio de 5 unidades	Promedio de 5 unidades
Macizo tipo C	8	6	2	25
Método de ensayo	INEN 294		INEN 295	INEN 296

Fuente: NTE INEN 0297 (1978)

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

#### 5.1.1 Ensayos Mecánicos

##### 5.1.1.1 Compresión

El ensayo de compresión en ladrillos se realizó con la finalidad de determinar la resistencia máxima de la mezcla planteada en el presente trabajo experimental, aplicando

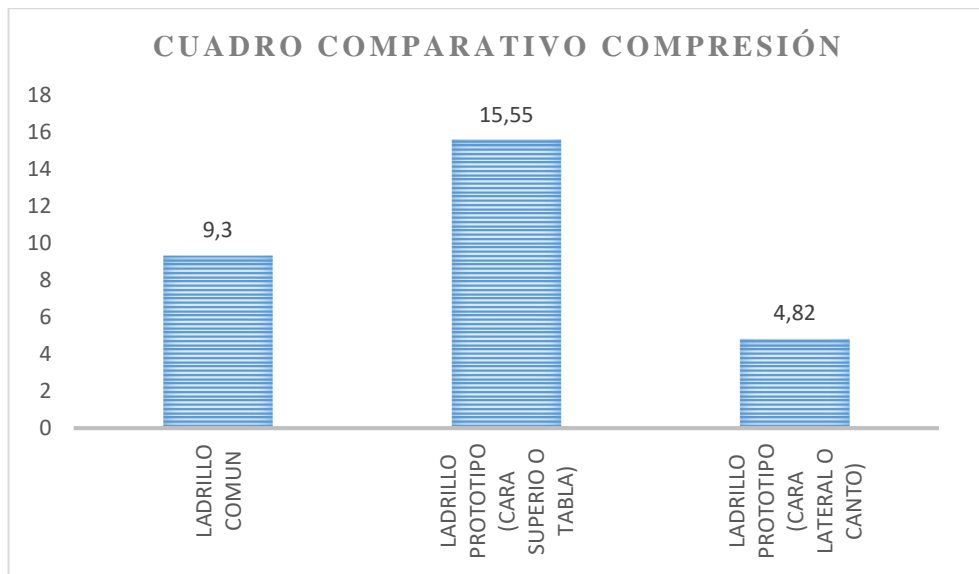
una carga axial, centrada que varía con el tiempo y bajo la norma INEN-NTE-294, tanto en la tabla como en el canto de los Ladrillos conformados de Mortero/PET.

Para el ensayo de compresión en la tabla se utilizaron 5 probetas, la gráfica representa la variación del Esfuerzo vs. Tiempo.

**Tabla 2-5:** Cuadro Comparativo entre los ladrillos tradicionales y los ladrillos prototipo

ENSAYO DE COMPRESIÓN		
LADRILLO COMUN [MPA]	LADRILLO PROTOTIPO (CARA SUPERIOR O TABLA) [MPA]	LADRILLO PROTOTIPO (CARA LATERAL O CANTO) [MPA]
9,3	15,55	4,82

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018



**Gráfico 1-5:** Cuadro comparativo de la resistencia a la compresión (ladrillo)

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

### 5.1.1.2 Flexión

El ensayo de flexión se realizó con la finalidad de determinar el módulo de rotura en la flexión que es el esfuerzo máximo en la probeta (ladrillo prototipo) cuando se produce el fallo o rotura.

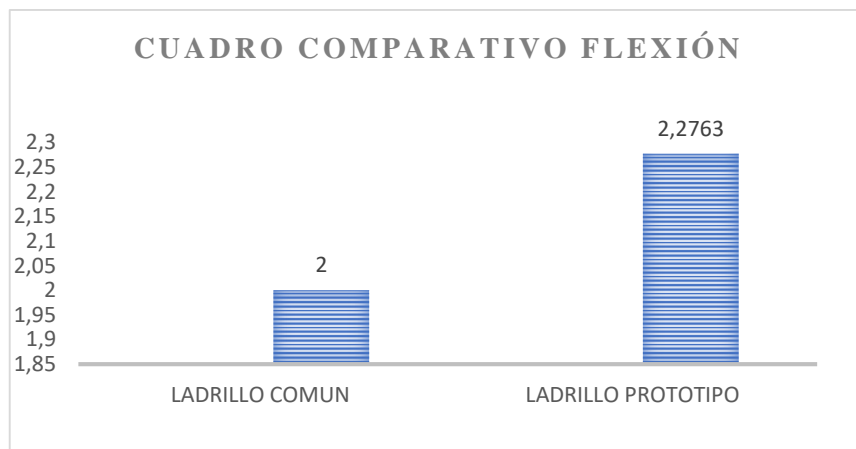
En el ensayo de flexión se realizó bajo la norma INEN-NTE-295, en la cara superior o tabla de los Ladrillos conformados de Cemento y PET.

En el presente ensayo se consigue datos reales que nos permitan interpretar y comparar con los datos ya existentes de los ladrillos, el esfuerzo máximo a la rotura es un valor alto en relación a los ladrillos comunes considerando a los ladrillos prototipo como un elemento estructural adecuado para las construcciones ya que posee elevadas resistencias a la flexión.

**Tabla 3-5:** Análisis por unidad Placas

ENSAYO DE FLEXIÓN	
LADRILLO COMUN [MPA]	LADRILLO PROTOTIPO (CARA SUPERIOR O TABLA) [MPA]
2,024	2,267

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018



**Gráfico 2-5:** Cuadro comparativo de la resistencia a la compresión (ladrillo)

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

## 5.1.2 Ensayos Físicos

### 5.1.2.1 Absorción

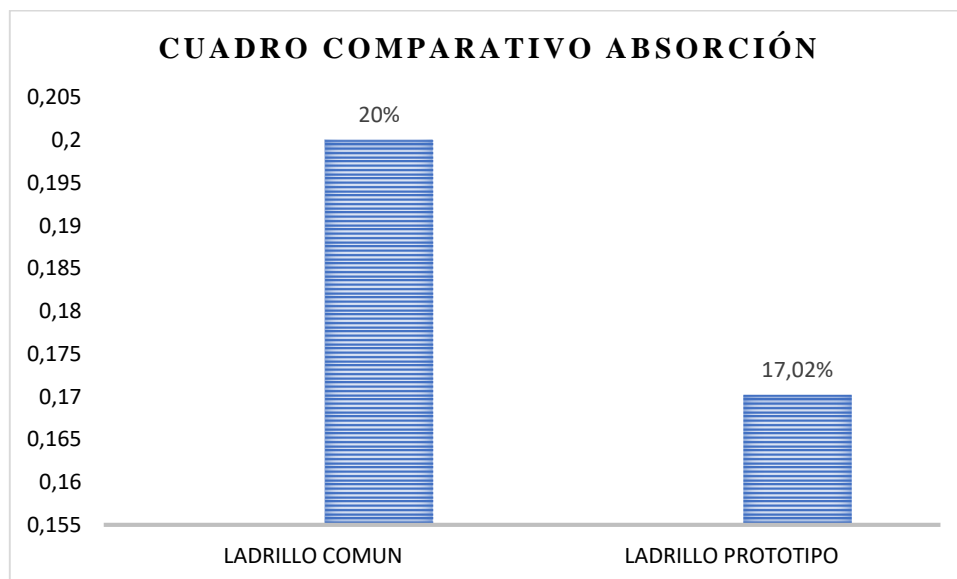
En el ensayo de absorción se realizó bajo la norma INEN-NTE-296, en los Ladrillos conformados de Cemento y PET.

En el presente ensayo de absorción varía desde un 15% hasta 20% al mantenerlo 24 horas de inmersión en agua, se logró valores positivos para el ladrillo prototipo ya que se encuentra en valores promedio teniendo una baja saturación de agua los valores obtenidos se encuentran dentro del rango que señala la norma y pueden competir con las propiedades que posee un ladrillo común.

**Tabla 4-5:** Análisis por unidad Placas

ENSAYO DE ABSORCIÓN	
LADRILLO COMUN	LADRILLO PROTOTIPO
[%]	[%]
20,00	17,02

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018



**Gráfico 3-5:** Cuadro comparativo de la resistencia a la compresión (ladrillo)

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018



### 5.1.3 Ensayo Térmicos

#### 5.1.3.1 Conductividad Térmica

Los datos obtenidos en el ensayo de conductividad térmica arrojaron valores positivos para el coeficiente de conductividad en el ladrillo prototipo ya que este cuenta con una baja conductividad lo cual lo cataloga con un elemento aislante.

**Tabla 5-5:** Cuadro Comparativo de la Conductividad térmica en ladrillos comunes, valores calculados y valores obtenidos en la GHP.

ENSAYO CONDUCTIVIDAD TERMICA				
LADRILLO COMUN	Valores GHP		Valores Calculados	
[W/m. °C]	LADRILLO PROTOTIPO, CANTO	LADRILLO PROTOTIPO, TABLA	LADRILLO PROTOTIPO, CANTO	LADRILLO PROTOTIPO, TABLA
	[W/m. °C]	[W/m. °C]	[W/m. °C]	[W/m. °C]
0,72	0,374	0,176	0,356	0,133

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

**Tabla 6-5:** Fragmento Tabla A-5 Propiedades de materiales de construcción (a una temperatura media de 24° C), Materiales de mampostería

Unidades de Mampostería	Espesor L, mm	Densidad, $\rho$ , Kg/m <sup>3</sup>	Conductividad Térmica, $k$ , W/m. °C	Calor Específico $C_p$ , kJ/Kg °C	Valor $R$ (para espesores de la lista, L/k), °C m <sup>2</sup> /W
Ladrillo común	-	1922	0,72	-	-
Ladrillo para fachada	-	2082	1,30	-	-
Ladrillo de arcilla refractaria	-	2400	1,34	-	-
	-	1920	0,90	0,79	-
	-	1120	0,41	-	-
Bloque de concreto (3 núcleos)	100	-	0,77	-	0,13
	200	-	1,00	-	0,20
	300	-	1,30	-	0,23

Fuente: (Cengel, y otros, 2012)

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

## 5.2 Placas

### 5.2.1 Ensayos Mecánicos

#### 5.2.1.1 Flexión

El ensayo de compresión en placas se realizó con la finalidad de determinar el módulo de rotura en la flexión que es el esfuerzo máximo en la placa cuando se produce el fallo o rotura, aplicando una carga de rotura, centrada que varía con el tiempo y bajo la norma INEN-NTE-295 en la cara superior de la placa conformada por Mortero/PET.

**Tabla 7-5:** Ensayo de Flexión Placas

ENSAYO DE FLEXIÓN
PLACA
[MPA]
0,4625

Realizado por: Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

### 5.2.2 Ensayos Físicos

#### 5.2.2.1 Absorción

En el ensayo de absorción se realizó bajo la norma INEN-NTE-296, en las placas conformadas de Mortero/ PET.

En el presente ensayo de absorción varía en un 10% hasta 12% en 24 horas de inmersión en agua, se logró valores positivos para el ladrillo prototipo ya que se encuentra en valores promedio teniendo una baja saturación de agua.

**Tabla 8-5:** Ensayo de absorción en placas

<b>ENSAYO DE ABSORCIÓN</b>	
PLACA	
[%]	
	10,51

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

### 5.2.3 *Ensayo Térmico*

#### 5.2.3.1 *Conductividad Térmica*

Los datos obtenidos en el ensayo de conductividad térmica arrojaron valores positivos para el coeficiente de conductividad en la placa prototipo ya que este cuenta con una baja conductividad lo cual lo cataloga con un elemento aislante.

**Tabla 9-5:** Conductividad Térmica en Placas

<b>ENSAYO CONDUCTIVIDAD TERMICA</b>	
PLACAS	
[W/m. °C]	
	0,16

**Realizado por:** Morales Carolina, Pérez Beatriz. 2018

## CONCLUSIONES

Como se ha podido observar en varias de las fuentes citadas en el presente trabajo de titulación, existen estudios e investigaciones que están orientados al uso de PET, lo que ha generado una pauta de cómo se puede reutilizar en el reemplazo parcial o total de los conglomerantes de los morteros presentes la fabricación en ladrillos, placas, adoquines, etc.

El uso del PET triturado ha arrojado resultados favorables, mismos que varían según la región y país como es el caso de Argentina que elaboro ladrillos ecológicos de dimensiones de 5,5x12,5x26,2 cm y llegan a alcanzaron resistencia la compresión de 2 MPa. En México, tenemos otro claro ejemplo de elaboración de ladrillos de dimensiones mayores pero con resistencias aceptables para ser utilizadas en la construcciones, en dichos prototipos se han llevado a cabo las investigaciones, así como el método de dosificación, porcentaje de PET usado y los valores de resistencias obtenidos. Sin embargo, las propiedades físicas, térmicas y mecánicas han sido mejoradas en todos los casos.

El presente trabajo de investigación del ladrillo prototipo se determinó que le tiempo de elaboración de los ladrillos prototipo es de 28 días, al considerar la edad donde los concretos y morteros obtienen su mayor resistencia, los ladrillos tradicionales tardan entre 28-35 días debido a la cocción.

Considerando una de las características que el ladrillo prototipo posee el volumen del mismo no se reduce en comparación a los ladrillos tradicionales los cuales pierden del 20-30% de su volumen durante la cocción. Las placas tampoco presentan reducción en su volumen y el acabado superficial es liso, las medidas del ladrillo y placa prototipo son constantes de 280\*140\*70 mm y 300x300x20mm, las medidas de los ladrillos comunes tiene medidas variables.

Para la elaboración de un ladrillo prototipo se utiliza un promedio de 52 botellas pequeñas (292 ml a 650 ml), o a su vez 32 botellas grandes (volúmenes mayores o iguales a 1 litro),

para las placas se necesita aproximadamente 15 botellas pequeñas (292 ml a 650 ml), o 10 botellas grandes (volúmenes mayores o iguales a 1 litro).

Como resultado de la investigación también se puede afirmar que el peso de los ladrillos prototipo es ligeramente superior al de los ladrillos normales. El peso promedio de los ladrillos prototipo es de 3 Kg y de los ladrillos comunes es de 2,8 Kg. El porcentaje de absorción promedio es de 7% de su peso, menor al porcentaje de los ladrillos tradicionales, de este modo habrá menor presencia de humedad.

Por otro lado, el peso promedio de las placas prototipo es de 0,750 Kg, con un porcentaje de absorción del 8% de su peso total en seco.

En cuanto tiene que ver a los ensayos mecánicos que fueron sometidos los ladrillos prototipo el ensayo de resistencia a compresión proporcionaron que al añadir el valor del 40% de PET del peso total de la arena por cada ladrillo prototipo, dan un incremento de la resistencia a la compresión aproximado del 60% en tabla, con un valor promedio entre 5 muestras de 15,245 MPa, con 14,71 MPa como el menor y de 16,87 MPa como el mayor. En canto se obtuvo un incremento de aproximadamente 60% con un valor promedio entre 5 muestras de 4,41 MPa con 4,1 MPa como el más bajo y 5,81 MPa el mayor.

Las placas no fueron sometidas a ensayos de resistencia a la compresión debido a su altura, por lo que la norma no considera necesario este ensayo.

En cuanto tiene que ver con la resistencia a la flexión o Módulo de rotura, debido a la falta de condiciones no se puede realizar el ensayo de flexión en el canto de los ladrillos prototipo pero en la cara superior estos presentan un incremento aproximado del 13,5% en comparación a los ladrillos tradicionales. En placas al analizar la resistencia la flexión se obtuvieron valores de 0,46 MPa.

La cantidad de ladrillos prototipo que cabe por metro cuadrado son menores en número tanto en tabla como en canto, lo que representa un menor peso en la estructura. Los ladrillos prototipo tienen un mayor costo de fabricación con respecto a los ladrillos comunes, sin embargo el costo de las placas prototipo es realmente económico, sin embargo estas no se tiene un elemento de comparación en el mercado.

Finalmente en cuanto tiene que ver con la conductividad térmica de los ladrillos prototipo es de  $0.321 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ , valor que permite considerar como buenos aislantes térmicos a estos ladrillos.

Las placas prototipo presentan valores muy bajo de conducción térmica, por lo cual su uso como aislantes térmicos es aceptable.

La simulación en el Software ANSYS, es una excelente herramienta para realizar simulaciones que involucren fenómenos de transferencia de calor ya que muestra el comportamiento del perfil de temperatura observando así como decrece la temperatura pero no existe una notable pérdida de calor la ambiente.

Para dicha modelación en el software se utilizaron datos de la temperatura las cuales nos sirvieron para identificar como es el flujo de calor que atraviesa por el ladrillo prototipo, el cual nos permite evidenciar el comportamiento del perfil de calor como este cambia en cuanto se varia la temperatura a la cual está sometido.

## **RECONENDACIONES**

Se recomienda utilizar una maquina compactadora para evitar el uso de moldes y grandes cantidades de espacio, y aumentar la producción.

Realizar ensayos a los agregados para tener una granulometría más fina la que asegura una mejor compactación. Mejorar los parámetros de dosificación al ser un trabajo experimental se logró conseguir la adecuad para alcanzar la resistencia deseada.

Realizar ladrillos huecos, de este modo se disminuirá los costos de fabricación y el peso de los mismos, llegando a ser más competitivos en el mercado para una futura aplicación.

La construcción o adquisición de una máquina trituradora de PET de mayor capacidad de molienda que la empleada y distintos tamaños de malla.

Evitar el uso de las tapas en el proceso de fabricación debido a que este tipo de material no presento buena adherencia o a su vez someterlas a trituración con un mallado más fino para evitar agrietamiento.

Para mejorar las características del producto final, es preferible utilizar PET limpio, es decir libre de grasas, aceites o químicos.

Mediante prensado elaborar placas más delgadas, que comprima el material hasta una altura menor o igual a un cm.

## BIBLIOGRAFÍA

**AFANADOR GARCÍA, Nelson.** *Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería.* Universidad Militar Nueva Granada. [En línea] 15 de 05 de 2012. [Citado el: 13 de 10 del 2017. Disponible en: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/248/1886>.

**LEÓN LOGROÑO, Iván Javier .** *Mecanismos de Asociatividad Ambientalmente Rentables para los Recicladores de residuos sólidos en la ciudad de Riobamba.* Repositorio Digital UNACH. [En línea] 2015. [Citado el :26 de 10 del 2017. ] Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/521>.

**MULATO AGUIRRE, Jose Alberto.** *Obtención del PET.* [En línea] 2014. [Citado el: 15 de 10 de 2017.] Disponible en : <https://es.scribd.com/document/259207962/Obtencion-Del-Pet>.

**RODRÍGUEZ MORA, Oscar.** *Morteros Guía General.* [En línea] 2006. [Citado el: 12 de 9 de 2017.] Disponible en : <https://es.scribd.com/document/277798708/Afam-Morteros-Guia-General-01-2006>.

**AEBERHARD, Maria et al.** *Diseño y construcción de un equipo de placa caliente para la determinación de la conductividad térmica.* Buenos Aires, Argentina : s.n., 2003.

*AIPEX.* [En línea] [Citado el: 05 de 10 de 2017.] Disponible en: [http://www.aipex.es/faq\\_es.php?s=9](http://www.aipex.es/faq_es.php?s=9).

**ALETHIA VÁZQUEZ MORILLAS, Rosa et al.** *Asociación Nacional de la Industria del Plástico.* [En línea] 13 de 05 de 2016. [Citado el: 08 de 10 de 2017.] Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/303045254\\_Reciclaje\\_de\\_plasticos](https://www.researchgate.net/publication/303045254_Reciclaje_de_plasticos).

**QUEVEDO RIVERA , Stalin German & GUAMAN ALTAMIRANO, Cristina Abigail.** *Proyecto de factibilidad para la elaboración de Eco-Adoquines peatonales mediante la reutilización de desechos plásticos (Pet).* [En línea] 28 de enero de 2014. [Citado el: 12 de 10 de 2017.] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3029>.



**AMADAMIYACHI.** *Thermal Conductivity*. [En línea] [Citado el: 25 de 10 de 2017.] Disponible en: <http://spanish.amadamiyachi.com/glossary/glossthermalconductivity>.

*Ministerio del Ambiente*. [En línea] [Citado el: 08 de 10 de 2017.] Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/ecuador-incremento-la-recoleccion-de-botellas-pet-en-2012/>.

**ANGUMBA AGUILAR, Pedro Javier.** *Ladrillos elaborados con plástico reciclado (pet), para mampostería no portante*. [En línea] Julio de 2016. [Citado el: 25 de 10 de 2017.] Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/25297/1/tesis.pdf>.

**DE ARKITEKTURA.** *Materiales para la construcción*. [En línea] 2014. [Citado el: 08 de 11 de 2017.] Disponible en: <http://dearkitektura.blogspot.com/2011/02/materiales-para-la-construccion.html>.

**CASCANTE LARA ,Mariela.** *Acerca del PET*. [En línea] 2012. [Citado el: 23 de 08 de 2017.] Disponible en: <http://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/15405/ANEXO%201-PET.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.

**CENGEL, YUNES Y BOLES, Michael.** *Transferencia de calor*. [trad.] Virgilio González y Pozo y Sergio Sarmiento Ort. 7ª ed. México D.F. : McGraw-Hill, 2012. pág. 62. Vol. I.

**CENGEL, YUNUS Y BOLES, Michael.** *Transferencia de calor*. [trad.] Virgilio González y Pozo y Sergio Sarmiento Ort. 7ª ed. México D.F. : McGraw-Hill, 2012. págs. 92-93. Vol. I.

**CENTRO DE ESTUDIOS ECONÓMICOS TOMILLO, CEET.** *El petróleo y la energía en la economía* . Victoria-Gasteiz : Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, 2008.

**COCA-COLA JOURNEY INDUSTRIA MEXICANA.** *Todo sobre IMER la primera planta de reciclaje de PET grado alimenticio en América Latina*. Coca-Colamexico. [En línea] 30 de 06 de 2016. [Citado el: 15 de 11 de 2017.] Disponible en: <https://www.coca-colamexico.com.mx/historias/todo-sobre-imer-la-primera-planta-de-reciclaje-de-pet-grado-alimenticio-en-america-latina>.

**CONSTRUCTOR CIVIL.** *Tips para la construccion de edificaciones ,casas materiales y equipos de construccion.* [En línea] 08 de 2013.[Citado el: 13 de 01 de 2018.] Disponible en :<http://www.elconstructorcivil.com/2013/08/placas-construccion-de-edificacions.html>.

**CONSTRUMATICA.** *Metaportal de arquitectura, ingeniería y construcción.* [En línea] [Citado el:07 de 12 de 2017.] Disponible en: [http://www.construmatica.com/construpedia/Caracter%C3%ADsticas\\_F%C3%ADsticas\\_y\\_Mec%C3%A1nicas\\_de\\_las\\_Baldosas.\\_Ensayos](http://www.construmatica.com/construpedia/Caracter%C3%ADsticas_F%C3%ADsticas_y_Mec%C3%A1nicas_de_las_Baldosas._Ensayos).

**CÓRDOVA, María Fernanda & VALLEJO, Jéssica.** *Determinación y evaluación de las externalidades ambientales del reciclaje de plástico, vidrio y compuestos de celulosa generados en la ciudad de Riobamba.* Repositorio Digital UNACH. [En línea] 2013. [Citado el: 10 de 12 de 2017.] Disponible en <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/778/1/UNACH-EC-IMB-2013-0004..pdf>.

**DIRECCIÓN DE COMUNICACIÓN DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE.** *Ecuador impulsa el reciclaje.*2013. [ed.] Dirección de Comunicación del Ministerio del Ambiente. Quito, Ecuador : s.n., 15 de 03 de 2016.

**EADIC FORMULACIÓN Y CONSULTORÍA.** *Derivados del petroleo y su uso en la vida cotidiana.* [En línea] 2013. [Citado el: 15 de 12 de 2017.] Disponible en <http://www.eadic.com/derivados-del-petroleo-y-su-uso-en-la-vida-cotidiana/>.

**RODRIGUEZ, Leslie.** *El sector petrolero en la dolarización .*Guayaquil 2015: Editorial de la UEES. pág. 27.

**El Telegrafo.** *El reciclaje reactiva la industria de plásticos.* [En línea] 10 de Agosto de 2013. [Citado el: 28 de 10 de 2017.] Disponible en <http://www.entelegrafo.com.ec/noticias/economia/8/el-reciclaje-reactiva-la-industria-de-plasticos>.

**ENSINGER. INFORMACIÓN TÉCNICA.** *Propiedaddes técnicasde los plásticos, resistencia a la llama.* [En línea] [Citado el: 05 de 01 de 2018.] Disponible en: <http://www.ensinger.es/es/informacion-tecnica/propiedades-tecnicas-de-los-plasticos/otras-propiedades/resistencia-a-la-llama>.

**ENVASES VALLEJO S.A.** *Envases de plástico.* [En línea] 2016. [Citado el: 06 de 11 de 2017.] Disponible en: [http://www.envasa.com.mx/envases-de-plastico/index.php?option=com\\_content&view=article&id=9&Itemid=109](http://www.envasa.com.mx/envases-de-plastico/index.php?option=com_content&view=article&id=9&Itemid=109).

**EPMPCE. Medios Públicos EC.** *Reserva petrolera del Ecuador aumenta a unos 4.000 millones de barriles.* [En línea] 04 de 07 de 2016. [Citado el: 11 de 26 de 2017.] Disponible en: <http://www.mediospublicos.ec/noticias/actualidad/reserva-petrolera-de-ecuador-aumenta-unos-4000-millones-de-barriles>.

**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES - UVA.** *Propiedades y características.* [En línea] [Citado el: 11 de 30 de 2017.] Disponible en: [http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/pet/propiedades\\_y\\_caracteristicas.htm](http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/pet/propiedades_y_caracteristicas.htm).

**FERNÁNDEZ DURÁN, R. & GONZÁLEZ REYES, L.** *En la espiral de la energía. Tomo II: Colapso del capitalismo global y civilizatorio.* Zaragoza : s.n., 2015.

**FLORES V, Juan C.** *Lifeder .12 ventajas y desventajas del Petroleo.* [En línea] 2016. [Citado el: 10 de 05 de 2017.] Disponible en : <https://www.lifeder.com/ventajas-desventajas-petroleo/>.

**Riobamba GAD Municipal.** *Riobamba sedde del lanzamiento del plan piloto Ecuador recicla.* [En línea] 15 de 03 de 2016. [Citado el: 10 de 22 de 2017.] Disponible en: <http://www.gadmriobamba.gob.ec/index.php/noticias/boletines-de-prensa/837-riobamba-sede-del-lanzamiento-del-plan-piloto-ecuador-recicla>.

**GALABEC, Ma. A.LeMAc,** *Tiempo de fraguado del hormigón.* Centro de Investigaciones Vailes. [En línea] 2008. [Citado el: 19 de 08 de 2017.] [Citado el: 10 de 12 de 2017.] Disponible en: [https://lemac.frlp.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2011/12/Tesis2008\\_Anabela-Gabalec\\_Tiempo-de-Fraguado-del-Hormigon.pdf](https://lemac.frlp.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2011/12/Tesis2008_Anabela-Gabalec_Tiempo-de-Fraguado-del-Hormigon.pdf).

**GONZÁLEZ, Manuel.** *Impactos macroeconómicos de la explotación del yasuní.* [En línea] 01 de Octubre de 2013. [Citado el: 10 de 02 de 2017.] Disponible en: <http://economiaenjeep.blogspot.com/2013/10/impactos-macroeconomicos-de-la.html>.

**GARCÍA, S et al.** *Estudio del efecto de la adición de residuos plásticos en la fabricación de bloques huecos de concreto.* Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales. [En línea] mayo de 2016. [Citado el: 10 de 12 de 2017.] Disponible en: <http://www.rlmm.org/ojs/index.php/rlmm/article/view/888>.

**GAVILANES CASTILLO, Cristian Fabricio & SANTELLÁN NAULASACA, Grace Carolina.** *Normalización y estandarización de la fabricación de ladrillos y tejas del cantón Chambo.* [En línea] 2016. [Citado el: 13 de 10 de 2017.] Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/1378/1/UNACH-EC-ING-CIVIL-2016-0013.pdf>.

**GOLDENHORM, Simón.** *Fabricación de ladrillos.* [En línea] 2016. [Citado el: 13 de 10 de 2017.] Disponible en: [http://historiaybiografias.com/fabricacion\\_ladrillos/](http://historiaybiografias.com/fabricacion_ladrillos/).

**GONZÁLEZ, Raúl.** Twenergy. *Reciclado de plásticos.* [En línea] 30 de 05 de 2012. [Citado el: 15 de 11 de 2017.] Disponible en: <https://twenergy.com/a/reciclado-de-plasticos-542>.

**GONZÁLEZ, Rosa et al.** *Tecnologías más eficientes para reciclado de plásticos.* Tecnología del Plástico [En línea] Agosto de 2016. [Citado el: 25 de 10 de 2017.] Disponible en: <http://www.plastico.com/temas/Tecnologias-mas-eficientes-para-reciclado-de-plasticos+114778?pagina=1>.

*Los hidrocarburos, el petróleo y sus aplicaciones.* [En línea] 2015. [Citado el: 18 de 10 de 2017.] Disponible en: <https://sites.google.com/site/loshidrocarburos/3-el-petroleo-y-sus-aplicaciones>.

**GRAHAM Reciclaje.** *Quiénes somos.* [En línea] 2015. [Citado el: 25 de 11 de 2017.] Disponible en: <http://www.grahamreciclaje.com/quienes-somos.html>.

**GUARANDA M., Wilton.** *Inredh. Apuntes Sobre La Explotación Petrolera En El Ecuador.* [En línea] 2012. [Citado el: 21 de 10 de 2017.] Disponible en: [https://www.inredh.org/archivos/pdf/boletin\\_petroleo\\_apuntes.pdf](https://www.inredh.org/archivos/pdf/boletin_petroleo_apuntes.pdf).

**GUEVARA OVALLE, Liliana Rosa.** *Mezclas.* Liliana-construccion. [En línea] 03 de 06 de 2014. [Citado el: 23 de 08 de 2017.] Disponible en: <http://liliconstruccion.blogspot.com/2014/06/mezclas.html>.

**HERRERA, Esther.** *Ecoce Mx.* [En línea] 23 de 06 de 2014. [Citado el: 25 de 07 de 2017.] Disponible en: <http://www.milenio.com/negocios/invertiran-70-mdd-plantas-reciclaje-pet>.

**HORMYPOL.** *Alta resistencia a menor costo.* [En línea] [Citado el: 03 de 11 de 2017.] Disponible en: <http://www.hormypol.com/catalogo-construccion-viviendas->

infraestructura-hormigon-oficinas-fachadas-flotantes-muros-quito-ecuador.php?tablajb=productos&p=2&t=Laminas.

**INTERCIA S.A.** *Reciclaje y productos*. [En línea] 2015. [Citado el: 28 de 08 de 2017.] Disponible en: [http://www.reipa.com.ec/index.php?option=com\\_content&view=article&id=75&Itemid=89](http://www.reipa.com.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=75&Itemid=89).

**INSTITUTO PETROQUÍMICO ECUATORIANO.** *La Petroquímica En La Industria Y La Vida Diaria*. [En línea] 2016. [Citado el: 17 de 11 de 2017.] Disponible en: <http://www.ipe.org.ec/la-petroquimica-en-la-industria-y-la-vida-diaria/>.

**ISAN, Ana.** *Ecología Verde*. [En línea]2016. [Citado el: 28 de 10 de 2017.] Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/ladrillos-ecologicos-que-son-tipos-y-ventajas-456.html>.

**IZURIETA RECALDE, Carlos Wladimir.** *Empresa de reciclaje para el manejo sustentable de los residuos sólidos: papel, plástico y cartón en la ciudad de Riobamba, período 201*. Repositorio Digital UNACH. [En línea] 2015. <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/1428/1/UNACH-EC-IP-PYME-2016-0001.pdf>.

**JIMÉNEZ, Milton.** *Diseño del cuadro de mando integral (cmi) para la generacion de oleoducto de petroecuador*. Quito, Ecuador : s.n., Noviembre de 2007.

**WOOD, Ducan.** *La importancia del petróleo en los proximos 30 años*. México : ITAM y Red Mexicana de Energía, 2008. Encuentro Tecnológico Internacional sobre los Recursos Energéticos en el Golfo de México. pág. 30.

**GAGGINO, Rosana.** *Ladrillos y Placas prefabricadas con plásticos reiclados aptos para autoconstrucción*. 063, Santiago : s.n., 08 de 2008, INVI, Vol. 23, págs. 137-163.

**LaNueva.** *La importancia de la industria petroquímica en la vida diaria*. [En línea] 26 de 08 de 2014. <http://www.lanueva.com/la-ciudad/775333/laimportanciadelaindustriapetroquimicaenlavidadiaria.html>.

**LaTercera.** *Impacto del petroleo en la economia mundial*. Santiago de Chile, Chile : s.n., 22 de 01 de 2016.

**LENNTECH.** *Combustibles Fósiles.* [En línea] 2003. <http://www.lenntech.es/efecto-invernadero/combustibles-fosiles.htm#ixzz4nRsllbdX>.

**LEÓN, Iván.** *Mecanismos de asociatividad ambientalmente rentables para los recicladores de residuos sólidos en la ciudad de Riobamba.* Repositorio Digital UNACH. [En línea] En *Línea*, 2013. [Citado el: 10 de 12 de 2017.] <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/521>.

**BAQUERO, Daniel & MIELES, David.** *Los booms petroleros ¿qué cambio en los últimos 40 años?* 08 de Abril de 2015, Foro de Economía Ecuador.

**MARIANO.** *Tecnología de los plásticos.* [En línea] 30 de 05 de 2011. [Citado el: 23 de 08 de 2017.] <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/pet.html>.

**MURPHY, D. J., & HALL, C. A.** *Energy return on investment, peak oil, and the end of economic growth.* New York : Annals of the New York Academy of Sciences, 2011.

**NETZSCH.** *Definición de conductividad térmica.* [En línea] <https://www.netzsch-thermal-analysis.com/es/landing-pages/definicion-de-conductividad-termica/>.

**NORMALIZACIÓN.** *Normalización.* [En línea] 2016. [http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/2015/DRO/16012015/cpe\\_inen\\_5\\_4.pdf](http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/2015/DRO/16012015/cpe_inen_5_4.pdf).

**NTRzacatecas.** *En México se recicla EL 15% anual de 800 mil toneladas de PET.* [En línea] 14 de enero de 2015. [Citado el: 23 de 10 de 2017.] <http://ntrzacatecas.com/2015/01/14/en-mexico-se-recicla-15-anual-de-800-mil-toneladas-de-pet/>.

**OPEC.** World Oil Outlook. *Organization of the Petroleum Exporting Countries.* [En línea] Octubre de 2016. [http://www.opec.org/opec\\_web/en/publications/340.htm](http://www.opec.org/opec_web/en/publications/340.htm).

**ORTEGA, María Natalia.** *El reciclaje de PET está en su mejor momento.* Tecnología del plástico. [En línea] Agosto de 2011. <http://www.plastico.com/temas/El-reciclaje-de-PET-esta-en-su-mejor-momento+3084014>.

**PABLO.** *Tipos de ladrillos para construcción.* Saber y Hacer Construcción y Bricolaje. <http://saberyhacer.com>. [En línea] 26 de 07 de 2017. [Citado el: 19 de 08 de 2017.] <http://saberyhacer.com/tipos-de-ladrillos-para-construccion>.

**PELLINI, Claudio.** HISTORIA Y BIOGRAFIAS . *Fabricación de ladrillos.* . [En línea] En Línea, 31 de 05 de 2015. [https://historiaybiografias.com/fabricacion\\_ladrillos/](https://historiaybiografias.com/fabricacion_ladrillos/).

**PINEDA C., Mauricio.** *Edificaciones con ladrillos de plástico.* ObrasWeb. [En línea] En línea, 01 de 08 de 2006. [Citado el: 26 de 07 de 2017.] <http://obrasweb.mx/servicios/2006/08/01/edificaciones-con-ladrillos-de-plaacutestico>.

**QCG.** Quorum Consulting Group, S.C. Transfer Pricing Practice. *Estructura de la industria petrolera.* [En línea] 2015. <http://qcgpreciosdetransferencia.com/Industrias/Energia/Estructura-de-la-industria-petrolera>.

**QUEVEDO, Stanlin & GUAMÁN, Cristina.** *Proyecto de Factibilidad para la Producción de Eco-Adoquines Peatonales Mediante la Reutilización de Desechos Plásticos (PET).* RIOBAMBA, CHIMBORAZO, ECUADOR : s.n., 28 de 01 de 2014.

**QUIMINET.COM.** *Usos y aplicaciones del polietileno tereftalato PET.*. <https://www.quiminet.com/articulos/usos-y-aplicaciones-del-polietileno-tereftalato-pet-42703.htm>. [En línea] 14 de 05 de 2010. [Citado el: 25 de 08 de 2017.]

**REDACCIÓN REGIONAL CENTRO.** ElTelégrafo. *Riobamba refuerza estrategia para reciclar más materiales.* [En línea] En Línea, 04 de 10 de 2016. <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/regional-centro/1/riobamba-refuerza-estrategia-para-reciclar-mas-materiales>.

**REVISTA VISTAZO.** *Producción textil con visión ambiental.*. [En línea] 16 de 02 de 2016. <http://www.vistazo.com/seccion/ambiente/produccion-textil-con-vision-ambiental>.

**RIVERA L., Gerardo.** *Tecnología del concreto.* [En línea] 2015. [Citado el: 28 de 09 de 2017.] <ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/geanrilo/docs/FIC%20y%20GEOTEC%20SEM%20%20de%202010/Tecnologia%20del%20Concreto%20-%20%20PDF%20ver.%20%202009/Cap.%2006%20-%20Resistencia.pdf>.

**RIVERA, Raúl.** *Propuesta de reciclaje mecánico de plásticos en la ciudad de Piura.* Repositorio Institucional de la Universidad de Piura . [En línea] 23 de Diciembre de 2012. [https://pirhua.udpe.edu.pe/bitstream/handle/11042/1180/ING\\_418.pdf?sequence=1](https://pirhua.udpe.edu.pe/bitstream/handle/11042/1180/ING_418.pdf?sequence=1).

**RUIZ LL., Adalberto Ing.** *Discontinuidad del metal base y de la soldadura*. Wikipedia. [En línea] [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d7/3.\\_Discontinuidades\\_en\\_Metal\\_Base\\_y\\_Soldadura.pdf](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d7/3._Discontinuidades_en_Metal_Base_y_Soldadura.pdf).

**SCHLUMBERGER LIMITED.** *Oilfield Glossary*. [En línea] 2017. [http://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/a/api\\_gravity.aspx](http://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/a/api_gravity.aspx).

**SENPLADES.** Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo. *Sistema Nacional de Información Ficha de Riobamba - Chimborazo*. [En línea] 21 de 02 de 2014. [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal%20SNI%202014/FICHAS%20F/0601\\_RIOBAMBA\\_CHIMBORAZO.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal%20SNI%202014/FICHAS%20F/0601_RIOBAMBA_CHIMBORAZO.pdf).

**SEMANA SOSTENIBLE.** *Plástico PET amigable pero no inofensivo*. [En línea] 13 de 10 de 2016. <http://sostenibilidad.semana.com/negocios-verdes/articulo/plastico-pet-un-amigable-pero-no-inofensivo/36282>.

**SUASNAVAS FLORES, Darwin Francisco.** *Degradación de materiales plásticos “PET” (polyethylene terephthalate), como alternativa para su gestión*. Repositorio PUCE. [En línea] 04 de Enero de 2017. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/13224>.

**SUBGERENCIA CULTURAL DEL BANCO DE LA REPÚBLICA.** *El petróleo en la industria de los materiales*. [En línea] 2015. [http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ayudadetareas/arte/petroleo\\_industria\\_de\\_materiales](http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ayudadetareas/arte/petroleo_industria_de_materiales).

**TANGARIFE, Diego F.** *El Petróleo desde un Principio. Pagina web para el aprendizaje básico de la producción y facilidades de superficie para la industria del petroleo*. [En línea] 16 de Julio de 2013. <http://elpetroleodesdeunprincipio.es.tl/>.

**UMACOM.** *¿Qué es el cemento portland, tipos y características?* [En línea] 28 de 03 de 2017. [Citado el: 12 de 11 de 2017.] <http://www.umacon.com/noticia.php/es/que-es-el-cemento-portland-tipos-y-caracteristicas/413>.

**UNED.** *Estudio y desarrollo sostenible*. Biblioteca UNED. [En línea] 01 de 03 de 2016. <http://www2.uned.es/biblioteca/energiarenovable3/sistemas.htm>.

**VALDEZ LÓPEZ, Stephanie Marlenne.** *PET* [En línea] 04 de 09 de 2013. [Citado el: 25 de 08 de 2017.] [https://es.slideshare.net/marlenne\\_fany/pet-25904128](https://es.slideshare.net/marlenne_fany/pet-25904128).



**VALENCIA, Nicolás.** *En 5 días se construyó esta vivienda con ladrillos de plástico reciclado.* ArchDaily. [Citado el: 28 de 07 de 2017.] <https://www.archdaily.mx/mx/792028/en-5-dias-se-construyo-esta-vivienda-con-ladrillos-de-plastico-reciclado>.

**VÁSQUEZ, Lucia.** *Plástico desechable un asesino silencioso.* [En línea] En línea, 16 de 09 de 2016. [Citado el: 10 de 12 de 2017.] <http://www.nacion.com/revista-dominical/plastico-desechable-un-asesino-silencioso/VFLRFTV5KZGXHC3QSDHTTR5H3U/story/>.

**WIKIPEDIA.** *Ladrillo.* Wikipedia, la enciclopedia libre. [En línea] [Citado el: 2 de 4 de 2017.] <http://es.wikipedia.org/wiki/Ladrillo>.