

**UNIVERSIDAD DE CUENCA**

**MAESTRÍA EN  
CONSTRUCCIONES**

**PROGRAMA ESPECIAL DE  
TITULACIÓN**

**MORTERO IMPERMEABLE A BASE DE  
PLÁSTICO RECICLADO PET PARA  
REVESTIMIENTOS DE EDIFICACIONES DE  
LA CIUDAD DE ZAMORA**

**TESIS PREVIA LA OBTENCIÓN DEL GRADO  
DE MAGÍSTER EN CONSTRUCCIONES  
(MsC)**

**AUTOR: ARQ. LUIS ANTONIO ZARUMA  
UZHCA C.I. 1102575287**

**DIRECTOR: ARQ. EDISON MAXIMILIANO  
CASTILLO CARCHIPULLA (Msc)  
C.I. 0103424792**

**Cuenca, abril de 2018**



## RESUMEN

La presente investigación plantea una solución que minimice las causas para el daño en revestimientos o enlucidos de edificaciones de clima subtropical, como es el caso, de la ciudad de Zamora, en la provincia de Zamora Chinchipe, Sur Oriente del Ecuador; caracterizada por alto nivel pluviométrico y aproximadamente el 90% de humedad relativa. Esta última característica del clima, el agua de lluvia que se filtra a través del subsuelo, causa problemas patológicos en los revestimientos de no menos un 60% poco más o menos de construcciones existentes, es por esto que, se va deteriorando progresivamente la parte inferior de enlucidos interiores y en fachadas, como también disminuyendo la calidad ambiental en el interior de las viviendas.

Identificado el problema se realizó la experimentación, trabajo que empieza por estudiar los morteros, que es el material del 99% en los enlucidos de edificaciones. Se analizó la mezcla con arena y cemento, misma que servirá de base o patrón para adicionarle partículas de Polietileno Tereftalato

(PET), con el fin de mejorar su impermeabilidad, pero, manteniendo las características físico-mecánicas que las normas nacionales e internacionales exigen. La comparación se desarrolló con mezclas que contienen 0%, 5%, 10% y 20% de PET en la mezcla en remplazo del agregado.

### Palabras clave

Mortero, revestimiento, impermeable, PET, absorción, resistencia, agregado, flexión, normas.



## ABSTRACT

The present investigation proposes a solution that minimizes the causes for the damage in coatings or plastering of buildings of subtropical climate, as it is the case of the city of Zamora, in the province of Zamora Chinchipe, South East of Ecuador, characterized by high pluviometric level, and approximately 90% relative humidity. This last characteristic of the climate, the rainwater that filters through the subsoil, causes pathological problems in the coatings of not less than 60% of existing constructions, that is why the lower part of internal plasters is progressively deteriorating. in facades, as well as diminishing the environmental quality inside the homes.

Identified the problem is the experimentation, work that begins by studying the mortars that is the material of 99% in the plastering of buildings. The mixture is analyzed with sand and cement, which will serve as a base or standard for adding polyethylene terephthalate (PET) particles, in order to improve its impermeability while maintaining the physical-mechanical characteristics that national and international standards require. The comparison was developed with mixtures containing 0%, 5%, 10% and 20% PET in the mixture in replacement of the aggregate.

### Keywords

Mortar, coating, waterproof, PET, absorption, resistance, aggregate, bending, standards.

**ÍNDICE**

CAPITULO 1.- LINEAMIENTOS GENERALES .....	1
INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN ..	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
JUSTIFICACIÓN.....	3
HIPÓTESIS .....	4
OBJETIVO GENERAL.....	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
METODOLOGÍA.....	4
LIMITACIONES Y ALCANCE .....	5
CAPITULO 2.- MARCO TEÓRICO .....	6
2.1. ANTECEDENTES .....	6
2.1.1. LOS MORTEROS EN LA HISTORIA .....	6
2.1.2. HISTORIA DEL PET (Polietilen Tereftalato) .....	7
2.2. ESTADO DEL ARTE .....	8
2.2.1. ESTUDIO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO EN MORTEROS Y HORMIGONES IMPERMEABLES CON USO DE PET .....	8
2.3. BASE TEÓRICA-ESTADO DE LA TÉCNICA.....	12
2.3.1. PROPIEDADES DEL PET.....	12
2.3.2. PERMEABILIDAD DEL MORTERO.....	12
2.3.3. MORTEROS SEGÚN AUTORES .....	13
2.3.3.1. DEFINICIÓN .....	13
2.3.4. TIPO DE MORTEROS SEGÚN NTE - INEN.....	13
2.3.4.1. MORTERO TIPO M .....	13
2.3.4.2. MORTERO TIPO S.....	14
2.3.4.3. MORTERO TIPO N.....	14
2.3.4.4. MORTERO TIPO O .....	14
2.3.4.5. MORTERO TIPO K .....	14



2.3.5. CLASIFICACIÓN DE LOS MORTEROS.....	14	3.2.4. GRANULOMETRÍA.....	31
2.3.5.1. MORTEROS DE CEMENTO PORTLAND .....	15	3.2.5. ENSAYO PARA OBTENER EL PESO RETENIDO DEL AGUA EN LA ARENA.....	34
2.3.5.2. MORTERO SEGÚN FLUIDEZ	15	3.2.6. ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DE LA ARENA.....	34
2.3.5.3. MORTEROS SEGÚN FRAGUADO .....	16	3.2.7. CALCULO DEL PORCENTAJE DE LA HUMEDAD EN LA ARENA.....	36
2.3.5.4. MORTEROS SEGÚN SU USO	16	3.2.8. ENSAYO PARA CALCULAR EL PESO SUELTO Y COMPACTADO DE LA ARENA.....	37
2.3.5.5. MORTEROS PARA UNIDADES DE MAMPOSTERÍA.....	17	3.3. DISEÑO DE MORTEROS O PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS..	38
2.3.5.6. ESPECIFICACIONES POR DOSIFICACIÓN.....	17	3.3.1. DISEÑO DE LA MEZCLA.....	38
2.3.5.7. ESPECIFICACIONES POR PROPIEDADES.....	17	3.3.1.1. FLUIDEZ DEL MORTERO PATRÓN Y CON PET .....	38
2.3.6. COMPONENTES PARA MORTERO, REQUISITOS .....	19	3.3.1.2. DOSIFICACIÓN DEL MORTERO PATRÓN Y CON PARTÍCULAS DE PET .....	40
2.3.6.1. CEMENTANTES .....	19	3.4.1.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN .....	43
2.3.6.2. ÁRIDOS.....	19	3.4.1.2. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN .....	47
2.3.7. PROPIEDADES DE LOS MORTEROS.....	21	3.4.1.3. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN .....	49
2.3.7.1. PROPIEDADES DEL MORTERO EN ESTADO PLÁSTICO	21	3.4.1.4. RESISTENCIA A LA ADHERENCIA .....	53
2.3.7.2. PROPIEDADES DE LOS MORTEROS EN ESTADO ENDURECIDO .....	23	3.4.1.5. ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD .....	56
2.3.10. MÉTODO DE DISEÑO DE UN MORTERO CON CEMENTO – ARENA .....	28	CAPÍTULO 4.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	68
CAPÍTULO 3.- PROCESO EXPERIMENTAL.....	30	4.1. CONCLUSIONES .....	68
3.1. METODOLOGIA.....	30	4.2. RECOMENDACIONES .....	69
3.2. ENSAYO Y ANALISIS DE LOS COMPONENTES DEL MORTERO.....	30	Bibliografía .....	84
3.2.1. CEMENTO.....	30		
3.2.2. ARENA Y PET.....	30		
3.2.3. IMPUREZS ORGANICAS.....	31		

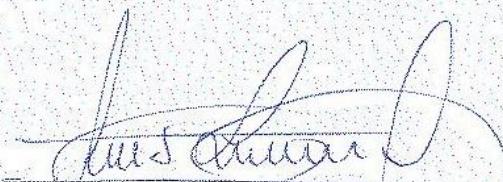


**Cláusula de licencia y autorización para  
publicación en el Repositorio  
Institucional.**

Luis Antonio Zaruma Uzhca, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "MORTERO IMPERMEABLE A BASE DE PLÁSTICO RECICLADO PET PARA REVESTIMIENTOS DE EDIFICACIONES DE LA CIUDAD DE ZAMORA", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 25 de abril de 2018



Luis Antonio Zaruma Uzhca

C.I. 1102575287



### Cláusula de Propiedad Intelectual

Luis Antonio Zaruma Uzhca, autor del trabajo de titulación "MORTERO IMPERMEABLE A BASE DE PLÁSTICO RECICLADO PET PARA REVESTIMIENTOS DE EDIFICACIONES DE LA CIUDAD DE ZAMORA", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 25 de abril de 2018

Luis Antonio Zaruma Uzhca

C.I. 1102575287



## DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico primero a Dios que con su infinito amor y bondad me ha permitido alcanzar este gran objetivo de mi vida. A la memoria de mi querido padre, que gracias a sus consejos y visión siempre nos incentivó a prepararnos para ser mejores. A mi madre por ser un ejemplo de esfuerzo y constante apoyo. A mi esposa que me animó a seguir adelante y compartió este desafío en los momentos más difíciles y a mis queridos hijos por su aporte y compresión.



## CAPITULO 1.- LINEAMIENTOS GENERALES

### INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

La industria de la construcción representa una de las actividades más contaminantes del medio ambiente (Adnan Enshassi1, 2014), ya que, para desarrollarse requiere el procesamiento de materia prima, transporte y consecuentemente la expulsión de gases que dañan la capa de ozono. Desde otro punto de vista, la actividad constructiva puede coadyuvar para reducir los niveles de contaminación, utilizando el PET para desarrollar soluciones de su problemática.

Algunos productos necesarios en la construcción están diseñados para los diferentes tipos de clima que se tiene en el país, como, por ejemplo, cubiertas termo acústicas, líquidos impermeabilizantes, etc., por observación y experiencia directa no satisfacen plenamente los requerimientos que existen en el medio. El clima subtropical con un alto grado de humedad relativa según datos proporcionados por la Unidad de Gestión Ambiental del GAD municipal de Zamora (UGA) en cooperación con la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL) da cuenta que alcanza hasta un 90% de humedad relativa, es decir, siempre habrá agua en el ambiente y en el suelo; es por esta condición que, las edificaciones no están exentas de presentar deterioro en los revestimientos interiores y exteriores.

El crecimiento demográfico dinamiza el incremento de las edificaciones para albergar personas en sus viviendas, necesidad que genera impactos directos e indirectos.

En general todos los bienes y servicios que el hombre utiliza para satisfacer sus necesidades, una vez cumplido su ciclo de uso, son desechados y forman parte

de residuos sólidos urbanos; si no son debidamente reciclados, el rol como habitantes de este planeta es ayudar todos los días con la finalidad de no seguir acumulando desechos en las ciudades. En 1941 el plástico fue creado y patentado por científicos europeos, de tal forma que, desde esa época se introduce este material para el uso de la humanidad hasta la actualidad. Según el *Pacific Institute* en Europa se reciclan adecuadamente 60 millones de botellas de PET apenas la mitad de las que se producen, es decir, que esta cantidad termina en botaderos, en las áreas urbanas y en el mar.

Al respecto, esta investigación propone diseñar un mortero con mejores características impermeables y con propiedades físico – mecánicas, para ser utilizado en revestimientos de paredes de edificaciones de la ciudad de Zamora, para ello, se utilizó una mezcla de cemento, arena y PET que se encuentra en botellas transparentes usadas en bebidas, esta última materia prima es reciclada por dos municipios de la provincia de Zamora Chinchipe, y que en la ciudad de Zamora llegan a 6 toneladas anuales, datos registrados en la UGA del Gobierno Autónomo Descentralizado de Zamora.

La metodología aplicada plantea primero estudiar los componentes y condiciones normativas para preparar la mezcla del mortero con cemento y arena (Patrón). Luego se realizaron los ensayos de la arena, datos necesarios para diseñar la dosificación del mortero base y los que posean porcentajes de PET en remplazo de la arena. En la tercera fase se experimentó con ensayos físico y mecánicos de diferentes especímenes para fijar sus características y compararlos. Finalmente se estableció como válido el que cumpla con las normas físico-mecánicas y de manera particular el de mejor condición impermeable.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Ecuador los materiales más utilizados en el armado de mampuestos para una vivienda según la encuesta del INEC del año 2015 son: el bloque con el 57.6% y ladrillo con el 41.4 % y otros materiales como madera, prefabricados, adobe, tapial completan el 100% (INEC, 2010). Consecuentemente el recubrimiento o enlucidos que más se utiliza es el mortero de cemento y arena. Esta misma institución para el año 2010 informa que la provincia de Zamora Chinchipe tenía el 74 % de viviendas del tipo casa/villa (INEC, 2010) con los mismos materiales antes citados, condición que no ha cambiado, porque, estas edificaciones continúan ejecutándose con hormigón, mamposterías de ladrillo o bloque y enlucidos de mortero.

La temperatura promedio en la ciudad de Zamora, información tomada de la estación meteorológica (Sector San Rafael) de la UTPL; para el año 2011 fue de 24.14 °C y humedad relativa del 90.30 %; para el año 2012; la temperatura alcanza los 22.71 °C y humedad relativa del 89.52%; para el año 2013, la temperatura fue de 22.92 °C y la humedad relativa del 91.26 %; para el año 2014 la temperatura llegó a los 22.98%, y la humedad relativa es del 90 %. Con la información sistematizada se pudo determinar que la humedad relativa en estos cuatro años es de 90.27% y la temperatura promedio de 23.18° C.

La pluviosidad de Zamora al año 2015 en promedio es de 2241.30 mm, siendo el mes más lluvioso Julio, con un total en promedio de 216 días con lluvia, información tomada del Instituto Nacional de Meteorología en Hidrología del Ecuador (INAMHI - 2015).

Con esta información es previsible concluir que en la ciudad de Zamora y la provincia en general se tiene un alto porcentaje de agua, misma que, se encuentra en el ambiente y subsuelo. Parte de esta humedad se introduce en cimientos y paredes por medio de

absorción capilar, así como, por condensación en consecuencia las edificaciones tanto en su interior como en el exterior están rodeadas de humedad y amenazada su envolvente.

La humedad proveniente del suelo daña las edificaciones en sus mamposterías, razón por la cual, perjudica la habitabilidad y estética de las mismas, problema que se presenta en un 40% de las construcciones en Santiago de Chile (FERNANDEZ, 2008).

“La situación actual de la vivienda en Ecuador, el 45% de 3.8 millones de hogares ecuatorianos residen en casas inadecuadas. Contabilizándose el 36 % de hogares que sufren de déficits cualitativo. Los 1.37 millones de hogares con déficits cualitativo residen en viviendas construidas con materiales inadecuados”, de estas el 11% tienen daños por humedad (MIDUVI, 2012). Con base a la realidad descrita en líneas precedentes se puede observar que algunas edificaciones de la ciudad están deterioradas en su revestimiento, presentándose este daño generalmente en la planta baja hasta una altura aproximada de 60 cm, evidenciando el deterioro de empastados, pinturas y acabados en general.

Bajo esta problemática y al ser el mortero de cemento - arena el principal componente usado en la unión de mampuestos y revestimientos de las edificaciones, es necesario estudiar una alternativa para mejorar la impermeabilidad con la finalidad de proteger la edificación y principalmente la salud de sus ocupantes.

## JUSTIFICACIÓN

Para Ortiz (2011) siempre se ha coexistido con humedad en las viviendas, enfatizando que son muchos los hogares en el mundo que coexisten con ella" En países tropicales y subtropicales, para evitar patologías por humedad en las edificaciones se opta por el cambio de suelo y el uso de impermeabilizantes. En el medio, al hablar de esta problemática en viviendas, se ratifica uno de los inconvenientes que día a día afecta a la mayoría de los hogares del Ecuador específicamente en la Costa y Amazonía.

La humedad en la vivienda tiene distintos orígenes y diferentes formas de aparición, según su ubicación y procedencia:

- Proveniente del suelo, aspirada por fuerzas capilares que suben por medio de puentes térmicos no interrumpidos entre suelo y elementos constructivos (Cimientos, pisos y muros);
- En obra, debido al exceso de agua utilizada en la construcción
- Por condensación, humedad de la atmósfera condensada en el interior o superficie de los materiales.
- Aporte proveniente de zonas húmedas de la casa como cocinas, baños, lavanderías, secado de ropa en el interior de la vivienda y sumándose la poca ventilación natural de los ambientes
- Desde el exterior, la lluvia penetrando más o menos en la parte interna de los muros, puesto que, los mismos no están debidamente impermeabilizados; y,
- Por mala construcción, fugas en las canalizaciones, aguas empleadas en la limpieza y filtraciones entre el contra piso y piso terminado. (Ortiz, 2011)

"La consecuencia evidente es que ocasionan problemas de salud o incomodidad en las personas, daños y lesiones en las viviendas, favorece las patologías estructurales como: las eflorescencias en muros y pisos, forma gérmenes que contaminan el ambiente, corrosión y pudrición de metales y la disminución del aislamiento térmico de la envolvente" (Martínez, P. Sarmiento, P. Urquieta, W, 2005).

Todo este conjunto de dificultades debe ser solucionados cuando las edificaciones están habitadas y eso ocasiona impactos negativos como: incomodidad de sus ocupantes, gasto económico, contaminación ambiental por el empleo elementos de construcción, mala imagen urbana de la ciudad, etc.

La técnica constructiva nueva y el empleo de materiales modernos no han solucionado esta problemática generalizada en los procesos de construcción de la ciudad y región. Un buen camino para evitar esta patología en muros por humedad, es la prevención con una adecuada práctica constructiva y planificación en la utilización de materiales con bondades impermeables.

En el País, casi no se ha desarrollado procesos de investigación sobre materiales de construcción, considerando al plástico como materia prima en la producción de morteros para revestimiento impermeable. Este estudio aportará con documentación técnica, para diversificar esta alternativa en la construcción.



## HIPÓTESIS

Los morteros a base de partículas de plástico reciclado (PET), para revestimientos de paredes de viviendas de la ciudad de Zamora, cumplen con propiedades impermeables y físico mecánicas.

## OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un mortero con mejores características impermeables a base de plástico reciclado PET, y con propiedades físico - mecánicas, para utilizarlo en revestimientos de paredes de edificaciones de la ciudad de Zamora.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1.1.1. Analizar morteros con y sin PET que servirán como base para el desarrollo de dosificaciones de la propuesta
- 1.1.2. Realizar los ensayos físico y mecánicos para conocer la conducta del mortero patrón y los que contienen plástico reciclado PET.
- 1.1.3. Determinar el mortero con mejores características impermeables, cumpliendo con propiedades físico – mecánicas, para ser utilizados en revestimientos de paredes.

## METODOLOGÍA

### 1.1.4. Recopilación Bibliográfica

Esta etapa de investigación se desarrolló con base a la revisión bibliográfica de documentos como: papers, artículos de revistas especializadas, páginas web y tesis relacionadas al tema. Esto con la finalidad de conocer los antecedentes históricos de los morteros, adiciones en los mismos y el PET como parte de una mezcla, y su comportamiento de estas experiencias en sus características físico-mecánicas.

### 1.1.5. Campaña Experimental

Se inició con el análisis de los materiales que serán parte del mortero; luego se diseñó la mezcla base de cemento - arena - agua para posteriormente proporcionar mezclas que contengan adiciones de PET en remplazo de la arena. El mortero base fue el referente para todos los ensayos físicos y mecánicos; de manera particular el de absorción de humedad por capilaridad. Todos estos valores obtenidos en los diferentes ensayos se ajustaron a las normas correspondientes.

## LIMITACIONES Y ALCANCE

La presente investigación tiene su marco de acción con la arena procedente del río Zamora, cemento puzolánico tipo IP y partículas de PET molidas de botellas recicladas. El curado de las probetas se realizó sumergiendo el elemento hasta el día del ensayo (NTE INEN 2518). Toda la experimentación fue realizada dentro de un laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Cuenca.

La propuesta se desarrolló para definir un mortero con mejores características impermeables con respecto al tradicional, adicionando partículas de PET a la mezcla, pero, complementariamente debe cumplir con propiedades físico-mecánicas del mortero endurecido; dentro de este marco y para alcanzar el objetivo se diseñó cuatro morteros con diferentes dosificaciones y adiciones. Finalmente se practicaron los ensayos en estado endurecido tales como: resistencia a la compresión a las 24 horas, 3, 7 y 28 días (NTE INEN 488-2009), flexión a los 28 días (NTE INEN 198:1987), tracción a los 28 días (INVE 327-07), adherencia a los 28 días (NTG 401051 h7) y absorción de agua a los 28 días (NTG 41017 h23). Los resultados se contrastaron con las normas antes citadas y el mortero patrón.



## CAPITULO 2.- MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANTECEDENTES

#### 2.1.1. LOS MORTEROS EN LA HISTORIA

El origen del empleo de morteros por parte del hombre es un tema que da origen a cierta especulación. Al inicio de la historia algunos autores como Malinowski, (1991) ya sitúan el uso del primer mortero de cal, gracias a sus propiedades ligantes descubiertas cuando se ocupaba el fuego para generar calor en cuevas de rocas calizas. Estas se apagaban al tener contacto con la humedad, la lluvia y el polvo; presentaban propiedades ligantes. Un ejemplo de lo último, podría constituir un mortero de tierra hallado en villa neolítica de Catal Hüyük (Turquía 6000, A.C), (Alvarez Galindo José, 1995) utilizado para la construcción de paredes en tierra y que era rico en cenizas y restos de huesos, todavía no disponía de un auténtico ligante. El descubrimiento de sustancias con una amplitud conglomerante superior como la cal, el yeso y los betunes posiblemente dio paso a su diferenciación como materiales con capacidad cementante frente a otros más inertes, que son los que van a constituir el esqueleto o armazón del mortero. Para el año 7000 A.C que corresponde a la época Neolítica el mortero solo de cal tiene su primera aplicación práctica en la "Máscara de Jericó", una calavera cubierta con emplasto de cal pulido (Alvarez Galindo José, 1995).

Posteriormente en la historia, los griegos en 1500 A.C utilizaron morteros de cal pulida en los asentamientos de Micenes y Creta; posteriormente esta técnica la perfeccionaron los romanos aplicándola en paredes, suelos, columnas, cisternas y morteros multicapa en acueductos; por otro lado en 2600 A.C los egipcios desarrollaron la técnica de preparación de los morteros en yeso al utilizarlos en el mamposteado

de los bloques de las pirámides de Keops; en cambio, durante el medioevo por la decadencia económica no se aporta con ningún cambio importante, se seguían elaborando morteros muy parecidos al de los romanos; en los siglos IX, X, XI que corresponde a la Edad Media en Francia son de baja calidad a pesar de adicionarles esporádicamente pedazos de teja (Alvarez Galindo José, 1995).

En cuanto a las funciones constructivas básicas que han desempeñado los morteros en la antigüedad, se puede decir que, no han variado sustancialmente con respecto a las que presentan actualmente. Se tiene, por lo tanto, que los morteros se emplearon como materiales de agarre para la construcción de los diversos modelos de mampuestos, de revestimientos protectores, decoración de fábricas y otros elementos, de impermeabilización de ciertos tipos de construcciones, de pavimentación de suelos, etc.

Se puede afirmar, sin ningún tipo de duda, que los componentes y las técnicas para la elaboración y ejecución de los morteros en la antigüedad, han constituido la base de la materia prima empleada hoy en día, teniendo siempre en cuenta la existencia de una indiscutible mejora en las cualidades de los materiales, y de una evolución tecnológica que ha modernizado el proceso constructivo (Sánchez, 2001).

También relata la historia que las primeras preocupaciones de los usuarios del hormigón y morteros fueron como regular el fraguado, así como, el de fabricar morteros impermeables agregándoles diversos jabones para utilizarlos en la reparación de obras subterráneas de mampostería de ladrillo, cuyas juntas se hubiesen deteriorado.

En resumen, se puede manifestar que los primeros morteros fueron hechos con arcilla, luego del descubrimiento de la cal «se hicieron con cal apagada»,

también se dice que hubieron morteros con cal y arena; y finalmente, a partir del siglo XIX (1824) con el patentado del cemento Portland a cargo de Josep Aspdin y James Parker se vienen produciendo los actuales morteros (Salamanca, 2001)

## 2.1.2. HISTORIA DEL PET (Polietilen Tereftalato)

Polietilen Tereftalato, comúnmente conocido como PET, por sus siglas en inglés, desde 1941 fue patentado como un polímero para fibra por los científicos J. R. Whinfield y J. T. Dickson (Argueta Amador, 2006). A partir de ese año se pudo entender la versatilidad del PET, y fue necesario desarrollar una investigación permanente para que el producto sea eficiente, de hecho, el consumo mundial lo demandaba; se encontraron diversos usos como es el caso de las botellas de bebidas carbonatadas, agua purificada, aceite, conservas, cosméticos, detergentes y productos químicos; otro segmento importante es el empleo de películas para telecomunicaciones y artículos electrónicos. En ese mismo año, los investigadores con los inventores W. K. Birtwhistle y C. G. Ritchiethey instauraron la primera fibra de poliéster «Terileno» (); la segunda fibra de poliéster fue el Dacrón de DuPont (QuimiNet, 2005).

Desde 1946 es utilizado como fibra para la industrialización textil y no ha parado hasta la fecha. En 1952 el uso se amplió para producir envases de alimentos. Más adelante en 1976 da su principal salto al mercado de envases rígidos. El uso importante se desarrolla gracias a su específica capacidad de no reaccionar con el oxígeno, por ejemplo, el agua mineral y los refrescos carbonatados.

Desde 1997 en EEUU se dan los primeros intentos en reciclar botellas de PET, este es un buen referente para experimentar diferentes alternativas en las cuales se puede recuperar el PET mediante un proceso de reciclado mecánico,

químico y algunos que propuestos por otros países para reutilizar este producto o encontrar nuevos usos. En este contexto, en el Ecuador el Ministerio del Ambiente (MAE) año 2012 se ha recolectado un total de 1136 millones de PET, valor que se incrementó en un 80% más que el año anterior, que durante ese periodo era apenas del 30%.



Ilustración N° 1: Botellas de PET para reciclar.  
Fuente: autor



## 2.2. ESTADO DEL ARTE

Para desarrollar esta investigación es imprescindible aprender de algunos estudios afines sobre el tema propuesto, o sea, acerca de morteros con contenido de PET como alternativa válida para contribuir a disminuir la contaminación ambiental y principalmente las características físicomecánicas de los mismos, una de ellas la permeabilidad, finalidad principal de esta propuesta académica.

### 2.2.1. ESTUDIO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO EN MORTEROS Y HORMIGONES IMPERMEABLES CON USO DE PET

Se ha sistematizado algunos documentos que estudian el comportamiento físico y mecánico del PET como adición en el mortero. La metodología aplicada es la sustitución de porcentajes de polímero en remplazo del agregado y luego la experimentación de resistencia a compresión, flexión, adherencia, permeabilidad. Aquí algunas investigaciones pertinentes al tema de estudio.

- Informe de la Revista de la Construcción, Vol. 10 Nº 3 del año 2011, autores Gómez M.S, de la Academia de Construcción Civil - PUC; Carvajal A.M, de la Academia de Construcción Civil - PUC; Santelices V, Tesista, Constructor Civil - PUC. El título es: **Influencia del Polietileno de Alta Densidad (PEAD) usado como adición en el mortero de cemento.**

La investigación propone estudiar el cambio en las propiedades de un mortero de cemento al adicionarle partículas de PEAD, dicha mezcla está compuesta de una dosificación que contiene 0.2%, 0.5% y 0.8% de plástico con respecto al peso del cemento. Se pretende generar una propuesta sustentable.

En la fase de experimentación se realizó pruebas de resistencia a flexión, compresión, permeabilidad, penetración de iones de cloruro, a la carbonatación y absorción capilar.

Los resultados demostraron baja para las resistencias a flexión y compresión, aunque, de menor importancia para las que contienen 0.5% de PEAD, mientras que, se determinó que disminuyó la permeabilidad a la entrada de cloruros, la carbonatación y la absorción capilar.

Las conclusiones se resumen en lo siguiente: Una dosificación con contenido de PEAD queda demostrado que disminuye su calidad en correspondencia a la resistencia, a la compresión y flexión. Así como, estos valores no son directamente proporcionales a la cantidad de polímero que contenga la mezcla, pues, para ambos ensayos se obtiene un incremento de la resistencia a la compresión para el 0.5% de adición respecto al que contiene el 0.2%, experimentando posteriormente la más baja resistencia para el que contiene 0.8% de PEAD. Se puede entender que con la resistencia alcanzada de las dosificaciones del 0.2% y 0.5% se podría usar este mortero para elementos no estructurales.

Por otra parte, en los ensayos de carbonatación el resultado más beneficioso de la adición respecto a la muestra con 0%, es el que contiene un porcentaje de agregado del 0.5%, mezcla que reprime la penetración de  $\text{CO}_2$  en toda la sección del mortero, lo mismo sucede para el de 0.2% pero en una menor cantidad; el ingreso de gas presenta una mayor profundidad; la mayor penetración es para el que contiene el 0.8% de PEAD. Evidentemente, el mejor comportamiento tiene el mortero patrón, en otras palabras, sin contenido de PEAD.

Los resultados obtenidos mediante las pruebas de penetración de cloruros, son interesantes, debido a que el mortero



con contenido de PEAD con un porcentaje de adición de 0.2%, seguido por el de 0.5%, se puede decir que, tienen excelente comportamiento, sin embargo, en ninguno de ellos se logra eliminar completamente la penetración de sales. Por lo tanto, sería recomendable analizar el resultado que tendría el empleo de este tipo de adición en elementos expuestos a ambientes violentos, como el marino.

Por último, las pruebas de absorción capilar entrega resultados que confirman la baja de la permeabilidad, porque, se demuestra al obtener menor cantidad de agua absorbida para el mortero con 0.5% y luego el de 0.2% de PEAD, ambos presentan un decremento en la cantidad de agua absorbida que el mortero de 0% de adición. También se ratifica la tendencia de ensayos anteriores que a mayor cantidad de plástico «con 0.8% de adición se presentan los valores más desfavorables».

Con estos resultados se define que el porcentaje más recomendable de adición de PEAD a una mezcla de mortero, corresponde al 0.5%, no descartándose el 0.2%, pues, los valores resultantes son muy cercanos. Se ratifica que, se descarta el de 0.8% de adición por no presentar ninguna mejora.

**b. Documento:** Tesina, Universidad Técnica de Cataluña, Máster en Arquitectura, Energía y Medio Ambiente. Autores: Antonella Costa del Pozo y Jaume Avellaneda Díaz Grande; de título: **Estudio de hormigones y morteros aligerados con agregados de plástico reciclado como árido y carga en la mezcla.**

El propósito de esta investigación se enmarca en adicionar gránulos de plástico reciclado, como parte de la mezcla del mortero en sustitución de una fracción de áridos naturales. Destaca la reducción de la densidad del mortero con el evidente aumento del aislamiento térmico, otro aspecto importante es dar usos al plástico

mediante el reciclaje. Además, se analizó diferentes dosificaciones y determina las características mecánicas y térmicas de cada una de ellas.

Luego de la campaña experimental se demostró que estos morteros con adición de material reciclado mejoran puntualmente en sus propiedades térmicas comparados con el mortero patrón. Otro aspecto importante es conocer que la conductividad térmica decrece lo que evidentemente favorece al calentamiento lento del material, consecuentemente ayudaría con mejores condiciones climáticas de los ambientes interiores.

Complementariamente se estudiaron otras propiedades, siempre y cuando se encuentre equilibrio con respecto a cómo mejorar o decrecer en su calidad, y se observó que el mortero de mejores características es aquel que posee la composición con el 25% de agregados de plástico reciclado PVC. Los especímenes ensayados demuestran buena consistencia, con aceptable resistencia a la compresión, como para utilizarse en paredes de viviendas, se caracteriza por ser ligero y fácil de manipular por el bajo peso, entonces, idóneo para construir y sobre todo aporta adecuado aislamiento térmico. El mortero que le sigue es el que contiene 50% de dosificación con plástico reciclado, proporcionando mejor aislamiento térmico, aunque, menor resistencia a la compresión. Con esta información se recomienda experimentar con morteros con 30 o 40% de plástico en la mezcla que podría ser una buena solución para encontrar equilibrio entre resistencia a la compresión y aislamiento térmico.

El mortero con 10% de contenido de PET funciona mejor en cuanto a la resistencia a la compresión, pero posee muy poca cantidad de plástico como para poder adquirir cualidades térmicas; y la mezcla con 70% de agregados de plástico tiene pocos usos, en ese caso, no posee resistencias y se



puede disgregar rápido al ser una mezcla poco consistente.

- c. Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, Vol. 23, N.º 1. Autores: Alesmar Luis, Nalia Rendón, María Eugenia Korody; que tiene por título: **Diseños de mezcla de Polietileno Tereftalato (PET) – Arena.**

Esta investigación tiene un interesante seguimiento experimental porque elaboró diferentes mezclas de PET – Cemento, conformadas por 5% (A), 10% (B) y 15% (C) de PET, incluyendo proporciones de arena y piedra que dependen del tipo de mezcla, es decir, si es para mortero u para hormigón. La experiencia fue determinar las propiedades mecánicas y la durabilidad, para ello, se desarrolló tres diseños de mezclas, sustituyendo parte de la arena por plástico. La metodología aplicada para determinar las propiedades mecánicas y la durabilidad de los morteros endurecidos incluía elaborar especímenes para ensayar a compresión simple, absorción, erosión e impacto, curarlas por 7 días, posteriormente se dejaron hasta cumplir 28 días y se practicaron los ensayos propuestos en líneas precedentes (compresión e impacto). Se exceptúa realizar los ensayos de absorción y erosión que se debían hacer a los 7 días. Los resultados obtenidos dan cuenta que para resistencia y durabilidad; a compresión simple, la mezcla más apropiada es la compuesta por concreto con 15% de PET, es decir, la mezcla B; la mencionada mezcla manifestó un promedio de resistencia superior a pesar de no ser la mezcla con mayor homogeneidad. Por otro lado, presenta una capacidad de absorción baja y su comportamiento ante la erosión e impacto también es reducido, por lo que representa la mezcla adecuada para el empleo como material de construcción.

Es importante puntualizar algunas particularidades, como que al mantener

constante la cantidad de cemento y variar la cantidad de arena para agregar el PET, varía la resistencia a compresión. La mezcla que tiene mayor contenido de PET en el hormigón va gradualmente perdiendo resistencia, y los valores obtenidos se ajustarían a la posibilidad de elaborar bloques para uso no estructural, sino como tabiques divisorios y similares.

Debe tomarse en cuenta que para el diseño de la mezcla ideal, el PET no puede sustituir la arena, porque, al sustituir agregados finos se pierde discontinuidad en el mortero.

La densidad de la mezcla con PET – cemento es muy baja con respecto a hormigones o morteros, debido a la baja densidad del plástico, con ello, favorece notablemente a que las estructuras sean menos robustas y con menor costo y explotación de materiales pétreos y hierro.

- d. Revista de Materiales de Construcción, vol. 48, N.º 250; año 1998; Instituto de Tecnología Arquitectónica (ITA), Fac. de Arquitectura y Urbanismo – U.N.T. Autores: Oscar Magariños, Carlos Alderete y María Lucca; con el título: **Estudio de morteros que tiene escamas de plástico procedentes de residuos post-industriales.**

El estudio investigó las propiedades físico-químicas de varios morteros en los que se remplazó la arena por escamas de plástico en distintas proporciones. Se elaboraron especímenes con la finalidad de comparar el mortero patrón con los adicionados con plástico, practicando pruebas de resistencia a la flexión, compresión, absorción, durabilidad y microfotografías por barrido electrónico. La experimentación determinó que al adicionarle PET al mortero es válido como posible sustituto de áridos, obteniendo morteros con 66% de PET, los cuales presentaron menor peso unitario, absorción aceptable y resistencias acordes a las exigidas por



normas (IRAM 11561 Resistencia a la compresión; IRAM 1561 Absorción bloque de hormigón).

Adicionalmente como parte importante de esta propuesta se puede colegir que el mortero tipo 2 es el más adecuado por contener las siguientes características: (Magariños Oscar, 1998)

- "Posee una fluidez óptima para lograr la trabajabilidad necesaria para la fabricación de bloques. No es necesario incorporar aditivos que significan costos adicionales, sin ventajas importantes".
- "Responde a las exigencias de las normas IRAM 11561 para bloques, con respecto al porcentaje de absorción, pudiendo ser mejores en el caso de mejorar la granulometría del PET".
- "Cumple con los valores exigidos por la norma IRAM 11561 con respecto a resistencias como la rotura por compresión para bloques portantes".

Cada investigación permitió concluir que es posible adicionar PET a la mezcla de mortero y mejorar algunas características del mismo, tales como: disminuir la absorción de agua, bajar el peso específico del elemento fundido, aumentar el aislamiento térmico y de la resistencia a la tracción; pero, también ayuda a entender el riesgo de usar ciertas adiciones como es el caso el PET porque disminuye la resistencia a la compresión y en altos porcentajes eleva el valor de absorción; factores que dependen de la cantidad de PET en el mortero para ser de mayor o menor incidencia.



## 2.3. BASE TEÓRICA-ESTADO DE LA TÉCNICA

### 2.3.1. PROPIEDADES DEL PET

El PET se define como un tipo de materia prima plástica derivada del petróleo, técnicamente es un polímero con elevada resistencia mecánica, baja densidad y conductividad a electricidad y calor, tomando en cuenta que, la temperatura no exceda la transición vítrea, es decir, entendiéndose un punto intermedio de temperatura entre el estado fundido y el rígido del material. Estas son propiedades excelentes para utilizarlos como aislantes térmicos y eléctricos (Mettler, 2011). Ver tabla N° 1.

TABLA N° 1: FICHA TÉCNICA DEL PET

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	UNIDAD	VALOR
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	1,36
Módulo de elasticidad a la tensión	Mpa	3200
Absorción de humedad a 23°C, 50% RH	%	-0,23
Absorción de agua a 23°C	%	-0,5
Resistencia al impacto	J/mm	0,01-0,04
Resistencia al calor	°C	80-120
Temperatura de fusión	°C	244-254
Resistencia a la compresión	Mpa	76-128

Fuente: LORK INDUSTRIAS, SL; Elaboración: autor

El PET se caracteriza por su ligereza, material con alto grado de transparencia y brillo, pues, aporta a conservar, el sabor y aroma de los alimentos. Constituye una defensa contra los gases, altamente reciclable, que aporta propiedades para producir envases reutilizables.

El PET se deriva del petróleo crudo, gas, y aire. Un kilo de este material está compuesto por: 64% de petróleo, 23 % de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire. Del petróleo crudo, se obtiene el paraxileno, oxidándose con el aire para obtener ácido tereftálico (Alesmar, L. Rendón, N. Korody, M., 2008).

Las propiedades propiamente dichas del PET son las siguientes:

- Procesable por soplado, inyección y extrusión.
- Idónea para la producción de botellas, películas, láminas, planchas y piezas.

- Transparencia (aunque admite cargas de colorantes) y brillo con efecto lupa.
- Alta resistencia al desgaste.
- Muy buen coeficiente de deslizamiento.
- Buena resistencia química (Metanol, etanol, glicerina, glicol, éter, acetona, ácido fórmico, ácido acético, ácido nítrico 10%, alcohol bencílico, tetracloruro de carbono, cloro, agua, oxígeno) y térmica.
- Muy buena barrera a CO<sub>2</sub>, aceptable barrera a O<sub>2</sub> y humedad.
- Reciclable, si viscosidad disminuye con la temperatura.
- Aprobado para su uso en productos que deban estar en contacto directo con productos alimentarios.
- Extraordinarias propiedades mecánicas.
- Cristalizable. Se puede esterilizar por rayos gamma y óxido de etileno.
- Buena relación costo / beneficio.
- Liviano con respecto al metal, aluminio y concreto.

### 2.3.2. PERMEABILIDAD DEL MORTERO

Se entiende como permeabilidad a la velocidad con que el agua y otros líquidos pueden penetrar a través de un material fundido con mortero.

El mortero por su composición y fabricación es un compuesto poroso. Su volumen, tamaño, colocación de los poros y sus particularidades, regularizan la manera con que el mortero absorbe agua y otros líquidos o gases, y su estancia en los mismos.

Una absorción mayor del mortero al agua, va a ser función de la permeabilidad de la pasta (P<sub>p</sub>), de la granulometría del agregado y de la proporción relativa de la pasta con respecto al agregado. La P<sub>p</sub> depende también de la relación agua/cemento y del grado de hidratación del hormigón, además de la duración y calidad del curado.

Un mortero puede acelerar su proceso de destrucción si se predispone a la entrada de sulfatos, ácidos y otros productos químicos agresivos debido a su permeabilidad.

De acuerdo a lo anterior, la reducción de la permeabilidad es una manera efectiva para mejorar la durabilidad del mortero y por ende su calidad.

### 2.3.3. MORTEROS SEGÚN AUTORES

#### 2.3.3.1. DEFINICIÓN

El mortero; generalmente es definido como una mezcla de cemento, arena y agua (Salamanca, 2001).

Otro autor define que los morteros son mezclas homogéneas de uno o más conglomerantes inorgánicos, áridos (arenas) y agua, en proporciones adecuadas. Además, pueden contener acelerantes, impermeabilizantes, retardantes, así como adiciones de Sílice, puzolánicas, alúminas (Bessini Muñoz, J, 2015).

Dentro del término se incluyen todos los materiales utilizados en obras de albañilería y en tareas s de revocos externos y enlucidos internos. El primer grupo, es decir los morteros de albañilería, comprenden los morteros de uso corriente para utilizarlos en la construcción de mamposterías, ya sea, vista, común o estructural; también se pueden producir morteros de capa fina o los morteros ligeros (Tébar, 1996). El segundo grupo son morteros de uso corriente sin propiedades particulares que generalmente son usados en revocos interiores y exteriores.

#### 2.3.3.2. MORTEROS IMPERMEABLES A BASE DE ADICIONES

Un mortero con características impermeables en base a adiciones a la mezcla se puede entender que disminuye el poder de absorber agua por los capilares que tiene el mortero endurecido. La función de estos elementos es cerrar los poros para que

no permitan el ingreso del agua a su interior, incrementando el entramado de la red de poros capilares, disminuyendo la conectividad y reduciendo el espesor de interfaces pasta-agregado. Esto no supone que un mortero con estos contenidos sea absolutamente impermeable, más bien se refiere a que su capacidad de absorción frente al agua a baja presión sea sustancialmente menor frente a un mortero fabricado sin adiciones o aditivo (Ilustración N.º 2).



Ilustración N° 2: Mortero con adiciones de PET, para elaborar probetas. Fuente: autor

### 2.3.4. TIPO DE MORTEROS SEGÚN NTE - INEN

La Norma Técnica Ecuatoriana (NTE – INEN 2518 - 2010), así como la ASTM -270 les asignan una letra de acuerdo a sus propiedades y usos, con el único propósito de diferenciarlos entre sí. Las letras designadas son la M, S, N, O y K, las cuales corresponden al deletreo de la palabra en inglés “**MASON WORK**” o trabajo de albañilería. Cada uno de ellos tiene sus propias características y son las que se describen a continuación.

#### 2.3.4.1. MORTERO TIPO M

Se puede identificar como una mezcla que se caracteriza por su alta resistencia y consecuentemente ofrece excelente durabilidad, es recomendado para mampostería con o sin refuerzo que puede someterse a grandes esfuerzos de compresión, a condiciones de congelamiento, a presión lateral de tierra, a presencia de vientos fuertes y



terremotos. Reunidas todas estas características anotadas este mortero es eficiente para ser utilizado en estructuras o elementos que estén en contacto con el suelo, tales como: cimentaciones, muros de contención, aceras, pozos (Salamanca, 2001).

#### **2.3.4.2. MORTERO TIPO S**

Conocido también como un mortero multipropósito para la elaboración de mamposterías. Es útil para enlucidos y levantamiento de paredes interiores de división, por su conveniente resistencia media es la mezcla que combina de mejor manera las propiedades de resistencia a la compresión, trabajabilidad y bajos costos.

Es un mortero con muy buenas características adherentes con respecto a otros de su misma clase. Debe usarse para las estructuras sometidas a cargas de compresión normales pero que requiere a la vez de una alta característica de adherencia (Salamanca, 2001, p. 44).

#### **2.3.4.3. MORTERO TIPO N**

Salamanca (2001) afirma: "Es un mortero de propósito general, para ser utilizado en estructuras de mampostería sobre el nivel del suelo. Es bueno en enchapados de mampostería, paredes internas y divisiones. Representa la mejor resistencia, trabajabilidad y economía. Usualmente las mezclas de tipo N, alcanzan cerca de 120 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión, en los ensayos en laboratorio." Debe tenerse en cuenta que la calidad de mano de obra, la succión propia de los elementos de mampostería y otras variables afectan su resistencia una vez colocado" (Salamanca, 2001, p. 45).

#### **2.3.4.4. MORTERO TIPO O**

Es un mortero de baja resistencia y con una alta composición de cal, se lo utiliza en enlucidos y para construir paredes y divisiones sin carga vertical. Se lo recomienda para viviendas de uno o dos pisos; además, se indica que es el

preferido por los albañiles por su excelente trabajabilidad y bajo costo (Salamanca, 2001).

#### **2.3.4.5. MORTERO TIPO K**

Esta clasificación ya no es muy conocida dentro de los cuadros o tablas de tipos de morteros porque la diferencia con el tipo O es mínima y ha sido reemplazada convenientemente por su bajo costo y trabajabilidad (Salamanca, 2001).

Para decidir el uso adecuado de uno de los tipos de morteros debe estudiarse las características de las piezas de mampostería como bloques o ladrillos, a efecto de evaluar su compatibilidad, y garantizar, sobre todo, una fuerte adherencia, que evite la entrada de agua al muro. Al trabajar piezas de albañilería con una elevada tasa inicial de absorción, constituyen la mejor alternativa los morteros de gran retención de agua (Tipo O). Dicho de otra manera, los ladrillos absorbentes deben sustituirse por morteros de alto contenido de cal. Visto desde otro lado, para ladrillos de poca absorción las pruebas indican que es más conveniente el uso de mortero con mayor composición de cemento que de cal como los tipos S o M (Salamanca, 2001).

### **2.3.5. CLASIFICACIÓN DE LOS MORTEROS**

Tomando como referencia el endurecimiento, se identifican dos tipos de morteros: aéreos, se endurecen al aire, puesto que, pierden agua por secado y fraguan lentamente (proceso de carbonatación); y los hidráulicos o acuáticos que se curten bajo el agua, su composición les permite desarrollar resistencias iniciales relativamente altas.

Para el propósito de esta investigación se estudió a los morteros en su clasificación, considerando los elementos que los componen.



### 2.3.5.1. MORTEROS DE CEMENTO PORTLAND

Comúnmente los más empleados en la construcción, se componen de arena, agua y cemento Portland. Tiene altas resistencias iniciales, cuyas características de trabajabilidad son variables de acuerdo a la proporción de cemento, arena y agua usados. Es hidráulico, se prepara considerando que exista el menor tiempo posible entre el amasado y la colocación; se mezcla en obra, batiendo primero el cemento y la arena; después adicionando el agua hasta alcanzar una mezcla plástica homogénea. Tanto en el mortero de cemento como en el hormigón, las tipologías de la arena, tales como: la granulometría, módulo de finura, forma y textura de las partículas, además, del contenido de materia orgánica, juegan un papel decisivo en su calidad y deben ajustarse a las normas. En ciertas circunstancias se utilizan arenas que deben contener ligeras cantidades de limo o arcilla, lo cual brinda una mejor trabajabilidad al mortero, sin embargo, es necesario tener cuidado con los morteros fabricados a partir de esta arena, porque, no son muy resistentes. También, es de cuidado, si el mortero tiene poca cantidad de cemento, lo cual provoca que la mezcla se vuelva áspera y poco manejable, ya que, las partículas de arena producen rozamiento entre sí mismas debido a la ausencia de pasta de cemento que actuó como lubricante. Si el mortero es muy rico en cemento, resistente, pero con alta retracción en el secado, o será muy susceptible de agrietarse; estos morteros con alto contenido de cemento solo se usan en obras de ingeniería que exijan altas resistencias, tales como: muros de contención o cimientos. (Sanchez De Guzman, 2001)

### 2.3.5.2. MORTERO SEGÚN FLUIDEZ

Para determinar la consistencia en estado plástico de los morteros, existen dos métodos, el primero permite medir la fluidez de la mezcla mediante el ensayo de la mesa de flujo. (ASTM C-230); y el

segundo corresponde a la determinación del grado de penetración (en mm) de un vástagos de punta cónica con una masa estándar que se logra con un aparato de VICAT modificado. Este método (ASTM C-780) tiene como finalidad, establecer que a mayor nivel de penetración es creciente la fluidez. En la práctica este factor de fluidez es completamente subjetivo y cuya apreciación dependerá del maestro albañil o mampostero sobre todo cuando sea producido sin un control de calidad en obra.

Las características para la clasificación de morteros de acuerdo a la fluidez se muestran en la Tabla N° 2.



TABLA N° 2: CLASIFICACIÓN DE LOS MORTEROS SEGÚN FLUIDEZ

CONSISTENCIA	FLUIDEZ %	PENETRACIÓN mm	CONDICIONES DE COLOCACIÓN	TIPOS DE ESTRUCTURAS	SISTEMAS DE COLOCACIÓN
Dura (Seca)	80 a 100	30-45	Secciones sujetas a vibración	Reparaciones, recubrimientos de túneles, galerías, pantallas de cimentación y pisos	Proyección neumática con vibradores de pared
Media (Plástica)	100 a 120	45-55	Sin vibración	Pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos	Manual con palas bailejos
Fluida (Húmeda)	120 a 150	55-89	Sin vibración	Pañetes, rellenos de mampostería estructural, morteros autonivelantes para pisos	Manual, bombeo e inyección

Fuente: ASOCRETO, Manejo y colocación en obra, 2011

Elaboración: autor

### 2.3.5.3. MORTEROS SEGÚN FRAGUADO

Estas mezclas pueden clasificarse igual que el hormigón, en morteros de fraguado: lentos, normales o rápidos. No obstante, se han desarrollado los "morteros de larga vida" o "estabilizados" para lo cual, se agrega aditivo retardante para demorar el inicio del fraguado por varias horas; complementariamente se incorpora un aditivo inclusor de aire que mejora las características de manejabilidad en estado fresco (Cabezas, 2010).

### 2.3.5.4. MORTEROS SEGÚN SU USO

Los morteros consiguen tener una función estructural, y se utilizan en la elaboración de componentes estructurales para la construcción, o en la mampostería estructural en donde pueden actuar como pegamento o relleno en las celdas de los muros.

Existen otros morteros que no tienen función estructural y se destinan a recubrimientos como pañetes, enlucidos y revoques (Gutiérrez de López, 2003).

**Mortero de pega:** Diferentes a los morteros usados para otros propósitos porque en obra estarán sometidos a las condiciones especiales del sistema constructivo, su resistencia debe ser adecuada; deben absorber esfuerzos de tensión y compresión.

**Morteros de relleno:** Es usado como relleno en las celdas de los elementos en la mampostería estructural, y al igual que el mortero de pega debe tener una óptima resistencia según NTE-INEN 2518 - 2010.

**Morteros de recubrimiento:** La única función es estética, por tal condición no requiere resistencia determinada al no cumplir función estructural alguna; por el contrario, un aspecto muy importante es



la plasticidad por jugar en ellos un papel muy importante.

### **2.3.5.5. MORTEROS PARA UNIDADES DE MAMPOSTERÍA**

Para esta clasificación se toma la NTE INEN 2518 - 2010 "Morteros para unidades de mampostería. Requisitos" que clasifican al mortero en dos grandes grupos tales como: especificaciones por dosificación y sus propiedades; es importante resaltar que esta norma en el numeral 6.1.2.1 indica lo siguiente:

"A menos que se especifique de otra manera, se consiente emplear morteros hechos con cemento y cal; con cemento para mortero o cemento para mampostería. Un tipo de mortero de mayor resistencia conocida no debe ser sucedido sin distinción, aunque, está especificado un tipo de mortero de menor resistencia" (INEN, 2010, p. 3).

### **2.3.5.6. ESPECIFICACIONES POR DOSIFICACIÓN**

Para entender esta especificación es necesario remitirse a la NTE 2518-2010, y en su numeral 6.1.2.2 que describe lo siguiente:

"Los morteros que estén asociados con las especificaciones por dosificación deben tener una mezcla de material cementante, árido y agua, todos deben cumplir con los requisitos del numeral 6.1.1 en cuanto a materiales y las exigencias por dosificación especificadas en la tabla 1" (INEN, 2010, p. 3).

Ver Tabla N°3, elaborada para esta investigación, en la cual se determinan los requisitos de las especificaciones por dosificación, se destaca el mortero tipo N para fines del presente estudio.

### **2.3.5.7. ESPECIFICACIONES POR PROPIEDADES**

Para que los morteros se ubiquen dentro de las especificaciones por sus propiedades, se realizó ensayos en laboratorio, establecidos en el numeral

5.1.1 y 8, de la norma NTE INEN 2518, ver Tabla N° 4, elaborada para esta investigación, en la cual se determinan los requisitos de las especificaciones por propiedades. Se destaca el mortero tipo N. Este mortero de laboratorio debe cumplir los requisitos establecidos en la norma como: medición de materiales, mezclado de materiales, retemplado de morteros, condiciones climáticas, materiales cementantes, árido, agua y aditivos.

TABLA N° 3: ESPECIFICACIONES POR DOSIFICACIÓN. REQUISITOS

Mortero	Tipo	Dosisificación por Volumen (Materiales Cementantes)							Relación de áridos (Medidos en condición húmeda suelta)	
		Cemento Portland o cemento compuesto	Cemento para mortero			Cemento para mampostería				
			M	S	N	M	S	N		
Cemento y cal	M	1	---	---	---	---	---	---	1/4	
	S	1	---	---	---	---	---	---	Sobre 1/4 a 1/2	
	N	1	---	---	---	---	---	---	Sobre 1/2 a 1 1/4	
	O	1	---	---	---	---	---	---	Sobre 1 1/4 a 2 1/2	
Cemento para mortero	M	1	---	---	1	---	---	---	---	
	M	---	1	---	---	---	---	---	---	
	S	1/4	---	---	1	---	---	---	---	
	S	---	---	1	---	---	---	---	---	
	N	---	---	---	1	---	---	---	---	
	O	---	---	---	1	---	---	---	---	
Cemento para Mampostería	M	1	---	---	---	---	1	---	---	
	M	---	---	---	---	1	---	---	---	
	S	1/2	---	---	---	---	1	---	---	
	S	---	---	---	---	1	---	---	---	
	N	---	---	---	---	---	1	---	---	
	O	---	---	---	---	---	1	---	---	

Nota: En el mortero no deben ser combinados dos agentes incorporadores de aire

Fuente: NTE -INEN 2518 - 2010. Elaboración: autor

 TABLA N° 4: ESPECIFICACIONES POR PROPIEDADES. REQUISITOS<sup>A</sup>

Mortero	Tipo	Resistencia promedio a la compresión a 28 días, min, (Mpa)	Resistencia promedio a la compresión a 28 días, min, (Kg/cm <sup>2</sup> )	Retención de agua, % min.	Contenido de aire, % máx.	Relación de áridos (Medidos en condición húmeda suelta)
Cemento y cal	M	17,2	175,39	75	12	No menos de 2 <sup>1/4</sup> y no mas que 3 <sup>1/2</sup> veces los volúmenes separados de materiales cementantes
	S	12,4	126,44	75	12	
	N	5,2	53,02	75	14 <sup>C</sup>	
	O	2,4	24,47	75	14 <sup>C</sup>	
Cemento para mortero	M	17,2	175,39	75	12	No menos de 2 <sup>1/4</sup> y no mas que 3 <sup>1/2</sup> veces los volúmenes separados de materiales cementantes
	S	12,4	126,44	75	12	
	N	5,2	53,02	75	14 <sup>C</sup>	
	O	2,4	24,47	75	14 <sup>C</sup>	
Cemento para mampostería	M	17,2	175,39	75	18	No menos de 2 <sup>1/4</sup> y no mas que 3 <sup>1/2</sup> veces los volúmenes separados de materiales cementantes
	S	12,4	126,44	75	18	
	N	5,2	53,02	75	20 <sup>D</sup>	
	O	2,4	24,47	75	20 <sup>D</sup>	

<sup>A</sup> Únicamente morteros preparados en laboratorio (ver nota 6)

<sup>B</sup> Ver nota 7

<sup>C</sup> Cuando el mortero estructural está embebido en un mortero de cemento y cal el contenido máximo de aire debe ser de 12%

<sup>D</sup> Cuando el refuerzo estructural está embebido en un mortero de cemento con mampostería, el contenido máximo de aire debe ser de 18%

Fuente: NTE - INEN 2518 - 2010. Elaboración: autor



## 2.3.6. COMPONENTES PARA MORTERO, REQUISITOS

### 2.3.6.1. CEMENTANTES

Acerca de este tema hay que hacer referencia a la NTE INEN 2518-2010, la cual establece los materiales a ser utilizados como ingredientes en la composición del mortero para unidades de mampostería, entre los cuales están: los materiales cementantes que deben cumplir los requisitos del numeral 6.1.1.1, de la norma. En donde se especifica los diversos materiales cementantes, que son básicamente los cementos: portland en varios de sus tipos, cementos hidráulicos compuestos, cementos hidráulicos, cementos portland de escoria de altos hornos, cementos de mampostería y cementos para mortero. Ver Tabla N.º 5.

**Cemento portland.** - Es un aglomerante hidráulico, que reacciona al contacto con el agua, resultado de la pulverización del Clinker, durante este proceso se pueden realizar adiciones que modifican el tipo de cemento que se desea producir.

La fabricación del cemento en el país debe satisfacer los requisitos químicos de la Tabla N.º 1 y físicos de la Tabla N.º 2 de la Norma Técnica Ecuatoriana 490:2011, quinta revisión. La Ntc 221 determina la densidad del cemento entre 2.90 y 3.15 g/cm<sup>3</sup>.

#### Tipos de cemento:

- Cemento Portland Tipo I de uso general. Que contiene Clinker y yeso.
- Cemento hidráulico compuesto por Clinker, yeso, puzolana, tipo IP (Cemento portland puzolánico) de uso general.
- Cemento hidráulico por desempeño (GU)

#### Normativa Vigente y Nomenclatura:

- GU: Uso general
- HE: Alta resistencia inicial
- HS: Alta resistencia a los sulfatos

- MS: Moderada resistencia a los sulfatos
- MH: Moderado calor de hidratación
- LH: Bajo calor de hidratación.

TABLA N° 5: TIPOS DE CEMENTOS

EQUIVALENCIAS DEL TIPO DE CEMENTO			
CEMENTOS HIDRÁULICOS POR DESEMPEÑO	CEMENTOS HIDRÁULICOS COMPUSTOS	CEMENTOS PORTLAND	DESCRIPCIÓN
GU	IP	TIPO I	Uso general en la construcción
HE		TIPO III	Elevada resistencia inicial
HS		TIPO V	Alta resistencia a los sulfatos
MS	IP(MS)	TIPO II	Moderada resistencia a los sulfatos
MH	IP(MH)	TIPO IV	Moderado calor de hidratación
LH			Bajo calor de hidratación

Fuente: Holcim, elaboración: autor

Actualmente se comercializan tres marcas de cementos que cumplen con la norma antes descrita:

- a. Cemento Portland Puzolánico tipo IP: Producido cerca de la ciudad de Azogues a 300 Km de la ciudad de Zamora, es del Tipo IP, cumple con la NTE-INEN 490-2010; siendo el de menor costo, por consiguiente, el que más se comercializa.
- b. Cemento hidráulico tipo GU: Procedente de la provincia del Guayas, a 500 Km de la ciudad de Zamora, es del Tipo GU, cumple con la NTE-INEN 2380; es segundo en importancia en el empleo de la construcción, básicamente, por el costo con respecto al anterior.
- c. Cemento Tipo GU: Producido en la ciudad de Cuenca a unos 260 Km de la ciudad de Zamora, es del tipo GU, cumple con la NTE-INEN 2380. El uso es esporádico, pues, es nuevo en el mercado.

### 2.3.6.2. ÁRIDOS

Los morteros habitualmente se componen por un árido fino o arena, de tamaño máximo «5 mm». En casos particulares se utiliza separada en dos fracciones: una de granulometría gruesa y otra más fina. Como principio general,



las características de este árido deben ser similares a las exigidas para el árido fino constituyente de los hormigones (Gutierrez, 1998).

La metodología para seleccionar el árido más adecuado para la confección de los morteros la desarrolla la norma NTE INEN 2536 (2010), la misma establece los requisitos en los áridos para el uso de morteros de mampostería. También se recomienda cumplir la NTE – INEN 696:2011, la cual regula los límites granulométricos del árido para el uso de mortero de mampostería, especificados en la Tabla N° 6, arena que debe estar graduada dentro de los límites permisibles; además, se especifica que la masa retenida entre dos tamices consecutivos no podrá ser mayor al 50% ni más del 25% entre el tamiz de 300  $\mu\text{m}$  (N° 50) y de 150  $\mu\text{m}$  (N° 100), incluso si el árido no cumpliese con las condiciones establecidas, esta norma indica que se podrá utilizar en el mortero siempre que cumpla con las propiedades estipuladas en la Norma NTE INEN 2518 como son: la relación de áridos, retención de agua y contenido de aire.

**TABLA N° 6: LÍMITES GRANULOMÉTRICOS DEL ÁRIDO PARA EL USO DE MORTERO EN MAMPOSTERÍA**

Tamiz	Porcentaje pasante	
	Arena Natural	Arena elaborada
4,75 mm (N° 4)	100	100
2,36 mm (N° 8)	95 a 100	95 a 100
1,18 mm (N° 16)	70 a 100	70 a 100
600 $\mu\text{m}$ (N° 30)	40 a 75	40 a 75
300 $\mu\text{m}$ (N° 50)	10 a 35	20 a 40
150 $\mu\text{m}$ (N° 100)	2 a 15	10 a 25
75 $\mu\text{m}$ (N° 200)	0 a 5	0 a 10
Módulo de finura (*)	2,83 - 1,75	2,65 - 1,60

Fuente: NTE-INEN 2536 - 2010. Elaboración: autor

(\*) Patiño William, Morteros en la Construcción

Cualquier arena usada para elaborar morteros debe someterse por lo menos a los ensayos que se describen a continuación, con el objeto de garantizar su calidad y la de la mezcla.

**a. Impurezas Orgánicas:** La Tabla N°7 (sustancias perjudiciales) especifica el porcentaje máximo de partículas desmenuzables dentro de su composición y se realiza también el análisis de impurezas orgánicas, un color

más oscuro que la norma debe ser rechazada.

**TABLA N° 7: SUSTANCIAS PERJUDICIALES**

Material	Porcentaje permisible en masa
Partículas desmenuzables	1,0
Partículas livianas, flotantes en un líquido que tenga una gravedad específica de 2,0	0,5 <sup>A</sup>

<sup>A</sup> Este requisito no es aplicable para el árido de escoria de altos hornos

Fuente: NTE-INEN 2536:2010. Elaboración: autor

**b. Absorción y gravedad específica:**

Estas características son básicas para plantear la cantidad o dosificación de la arena en un mortero y así poder reproducirlo las veces que sea necesario.

**c. Granulometría:** Se entiende como tal a la adecuada distribución del tamaño de las diferentes partículas del árido en una mezcla, (Ilustración N.º 3). Para el diseño de un mortero se requiere hacer el análisis granulométrico según NTE – INEN 696:2011 que consiste en tamizar el agregado que se vaya a utilizar y determinar el porcentaje de cada grosor según se retenga en el tamiz correspondiente. La buena calidad de la arena que se requiere para preparar un mortero, es posible medir su tamaño y el rango de variación del módulo de finura.

Del ensayo granulométrico se obtienen curvas que son gráficos con los valores de las aberturas del tamiz, en escala logarítmica, ubicadas en el eje x-x; y el porcentaje acumulado del agregado que pasa por cada tamiz en el eje Y-Y. De este análisis se puede determinar si la arena tiene granulometría continua o discontinua. Entendiéndose la primera cuando existen fracciones de todos los tamaños comprendidos entre el más pequeño y el mayor; al contrario, el discontinuo cuanto exista

ausencia de uno o más de los tamaños.

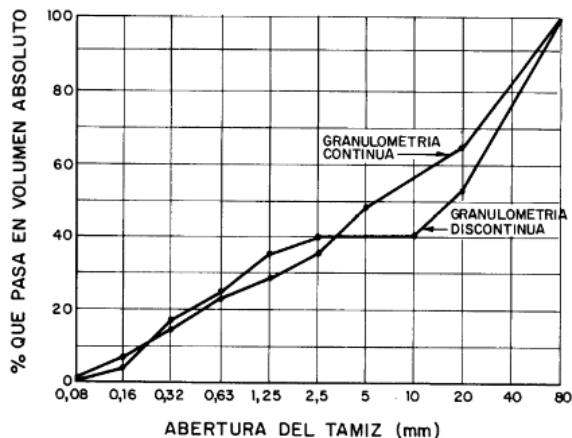


Ilustración N° 3: Granulometría continua y discontinua. Fuente: Distribución granulométrica 2011-04; [www.6.uniovi.es/html](http://www.6.uniovi.es/html)

#### **d. Peso Unitario suelto y compactado de la arena:**

Sirve para calcular la proporción de la arena con respecto al cemento. Para el caso de esta investigación se tomó el valor del peso unitario suelto de la arena natural del río Zamora, la misma, es la más utilizada para trabajos de elaboración de morteros de pega en mampostería y enlucidos. El agregado es proveniente de la concesión "Federación Tunantza", coordenadas UTM: 731865 E, 9553140 S; zona 17 Sur (Ilustración N.º 4).



Ilustración 4: Ubicación de concesión minera "Federación Tunantza". Fuente: Google Earth. Elaboración: autor

#### **2.3.6.3. EL AGUA PARA CONSTRUCCIÓN**

El agua para la preparación de morteros y hormigones en general debe ser

potable, el líquido con contenidos de azúcares en forma de sacarosa o glucosa no puede ser empleada para la preparación del mortero. En caso de ser de fuentes de agua deberá cumplir con los requisitos de la norma ASTM 1602. Para la experimentación desarrollada se ocupará el agua potable que provee el ETAPA - Cuenca.

El agua ejerce dos papeles como componente del mortero:

- a.** Hidrata el cemento, el cual no puede desarrollarse sin su presencia.
- b.** Otorga la trabajabilidad necesaria al mortero, siendo determinante para definir su fluidez

Debe señalarse que la norma ASTM 33 acepta que, en caso de incumplimiento de las condiciones de calidad, el agua puede ser sometida a ensayo comparativo de resistencias, contrastados a los 7 días en morteros con el agua en estudio y con agua destilada. Si el resultado obtenido con el primero es igual o superior a un 95% del segundo, el agua se considera apropiada para la preparación de la mezcla.

### **2.3.7. PROPIEDADES DE LOS MORTEROS**

#### **2.3.7.1. PROPIEDADES DEL MORTERO EN ESTADO PLÁSTICO**

La propiedad que se ha experimentado del mortero en estado plástico como parte de la investigación es:

##### **a. Manejabilidad o Trabajabilidad:**

Es una medida de la facilidad de manipulación de la mezcla, es decir, de la disposición para dejarse maniobrar. La manejabilidad está relacionada en la consistencia de la mezcla en cuanto a blanda o seca. Como se encuentra en estado plástico; depende de la proporción de arena y cemento, así como, la forma, textura y módulo de

finura de la arena. La trabajabilidad o fluidez representa la propiedad más importante del mortero en estado plástico. Un mortero trabajable se puede extender con facilidad con una llana en las separaciones y agrietamiento en las unidades de mampostería. Un mortero manejable también puede resistir el peso de las unidades de mampostería que se coloquen, como también, facilita el alineamiento de las mismas. Se pega a las superficies verticales de la mampostería y se filtra fácilmente por las juntas del mortero cuando el obrero aplica presión para alinear la unidad (Ilustración N° 5). La trabajabilidad es la combinación de varias propiedades, incluyendo plasticidad, consistencia, las cuales son medidas con exactitud en el laboratorio.



Ilustración N° 5: Pega de unidades de mampostería. Fuente: autor

La manejabilidad se puede medir en laboratorio e indica el aumento en porcentaje del diámetro de un mortero confeccionado en un molde troncocónico y sometido al movimiento de una mesa vibratoria durante 15 segundos, según Norma NTE INEN 2518.

Para realizar este ensayo se debe seguir el procedimiento que se describe a continuación (Salazar Jaramillo, 2000) y que se ha desarrollado en laboratorio de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Cuenca. Se empieza preparando la mezcla de acuerdo al diseño establecido con anterioridad; luego se introduce una muestra de mortero en un molde tronco cónico. Se

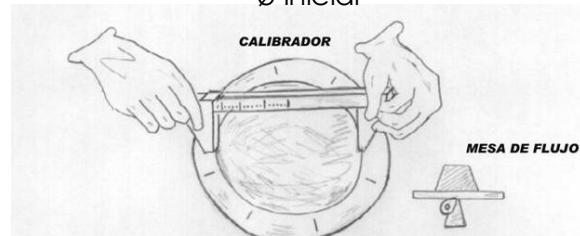
vierte en dos capas y se apisona 20 veces cada una, luego se desmolda verticalmente debiendo el mortero conservar la forma, para luego someterlo a la mesa vibradora donde se dejará caer manualmente 25 veces en un periodo de 15 segundos; se procede a medir con un calibrador el desplazamiento horizontal producido por lo menos cuatro veces y se promedia el diámetro, valor que permite calcular el porcentaje de fluidez de la mezcla (Ilustración N° 6).

Se toma para medir la manejabilidad, la característica de la fluidez de la mezcla, medida en el ensayo de la mesa de flujo, bajo la norma ASTM C-230, además, se sugiere un tipo de manejabilidad de acuerdo a los diferentes tipos y sistemas de colocación (Sánchez de Guzmán, 2001).

Se recomienda que la fluidez esté entre el 100 y 120 % (Ver tabla N° 1), así se compensará la absorción que ejercerán los mampuestos o unidades de mampostería.

La forma de calcular la fluidez se reconoce aplicando la siguiente expresión: (Norma Técnica Colombiana, 1997)

$$\% \text{ Fluidez} = \frac{\phi_{\text{final}} - \phi_{\text{inicial}}}{\phi_{\text{inicial}}} \times 100$$



SE PRODUCEN 25 CAÍDAS DE LA MESA DE FLUJO EN 15 SEG.



Ilustración N° 6: Ensayo de Fluidez. Fuente: (Guía práctica de morteros de pega para muros de mampostería)

**b. Retención de agua:**

Evidencia la capacidad del mortero de conservar su plasticidad, al quedar expuesto con la superficie sobre la que va a ser colocado, por ejemplo, un ladrillo.

Para optimar esta propiedad se agrega cal, o aumentar el contenido de finos en la arena, así mismo, se puede emplear aditivos plastificantes o incorporadores de aire. La conservación de agua interviene en la velocidad de endurecimiento y en la resistencia final, razón por la cual, un mortero que no retenga humedad no permite la hidratación del cemento, también facilita la colocación del mortero en la mampostería como enlucido sin que se endurezca no sin antes se pula correctamente. La detención de agua incide crecidamente en la resistencia a la compresión, por ejemplo, una mezcla incapaz de retener agua no permite la hidratación del cemento (Salamanca, 2001).

**c. Velocidad de endurecimiento:**

El endurecimiento del mortero en estado plástico está relacionado con las características de fraguado, tal como, lo indica la resistencia a la deformación. La medición del fraguado inicial para los materiales cementantes se lo hace en el laboratorio, lo que indica el nivel de hidratación y las características que la pasta de cemento adquiere al fragar.

Un endurecimiento precoz del mortero antes de su uso, es perjudicial para su colocación. De acuerdo a la pérdida de agua el mortero se volverá más rígido, endureciéndose mediante el fraguado normal del cemento. El tiempo de fraguado se encuentra estimado entre 2 y 24 horas de fraguado final e inicial respectivamente. El mencionado tiempo dependerá de las condiciones ambientales tales como el clima, la humedad y la composición de la mezcla. (Sánchez de Guzman, 2001).

**2.3.7.2. PROPIEDADES DE LOS MORTEROS EN ESTADO ENDURECIDO****a. Resistencia a la Adherencia:**

Valora la capacidad de absorber, tensiones normales y tangenciales a la superficie que une el mortero y una estructura, o sea, a la capacidad de responder monolíticamente con las piezas que une ante solicitudes de carga. En el caso de la mampostería, se presenta como necesaria la rugosidad de la superficie del ladrillo o bloque, lo cual permitirá una unión mecánica entre del mortero. Además, se exige que tenga un nivel de absorbencia óptimo y compatible con la mezcla. Los morteros más adecuados son aquellos cuya buena adherencia, capacidad para retener el agua y que no exijan una superficie húmeda para su colocación plásticos. Estos son los morteros plásticos y son los más utilizados en mampostería. (Sánchez de Guzman, 2001).

Una de las propiedades físicas más importantes del mortero en estado endurecido es la adherencia. Además es también la que más variaciones presenta por lo que se vuelve impredecible. La adherencia presenta tres características: resistencia, extensión y durabilidad. Debido a que, existen muchas variables que afectan la adherencia, es difícil establecer solamente un ensayo de laboratorio para cada una de estas categorías que ayudarán a reproducir resultados consistentes, los cuales se aproximen a los resultados en la obra. Esas variables incluyen el contenido de aire, cohesión del mortero, tiempo transcurrido entre su aplicación y la colocación de la unidad de mampostería, absorción de unidades de mampostería, capacidad del mortero para retener agua, la presión ejercida a la junta de mampostería durante el proceso de colocación, acabado, textura de la superficie de pega de la unidad de mampostería y condiciones de curado" (NTE INEN 2518, 2010).



En todo caso, resulta que la adherencia está directamente relacionada con la resistencia a la compresión del mortero, es decir, mientras más resistencia tenga el elemento mayor será la adherencia con respecto a los de menor resistencia a la compresión. Ninguna norma establece valores mínimos.

Para realizar los ensayos de adherencia se aplicará la norma ASTM C952-12, documento que basa su experimentación con ladrillos cruzados pegados entre sí por un mortero.

Para el cálculo se aplicó la siguiente fórmula:

$$R = \frac{A}{B}$$

Donde:

R= Resistencia Adherencia por Tracción  
A= Carga total aplicada (Kg)  
B= Área de la sección transversal de adherencia (cm<sup>2</sup>)

### **b. Resistencia a la compresión:**

Si el mortero es utilizado como pega, debe proporcionar una unión resistente, pero, no más dura que el elemento de mampostería. Si el mortero es empleado para soportar cargas altas, como ocurre en la mampostería estructural, este debe poseer un mayor grado de resistencia a la compresión. En el diseño de los morteros que presenten un mayor grado de resistencia e impermeabilidad, se debe considerar que deberá tener un mayor grado de composición de cemento para un volumen dado de mortero; en este sentido el mortero más resistente e impermeable será aquel que presente un mayor grado de densidad, es decir, aquel que contenga mayor porcentaje de componentes sólidos. El tamaño de los granos de la arena juega un papel importante en la resistencia del mortero. Un mortero elaborado con arena fina será menos denso que un mortero hecho con arena gruesa para en relación a la misma cantidad de cemento. A pesar de ello, la cantidad incluida de agua influenciará en la

resistencia del mortero; así, los morteros secos presentan un mayor grado de resistencia que los morteros húmedos, ya que, su compactación tiene un mayor grado de densidad (Gutiérrez de López, 2003) .

La norma que establece la metodología de pruebas empleadas para determinar el grado de resistencia de los morteros fabricados con cemento hidráulico mediante el uso de cubos de 50 mm de arista es la NTE INEN 488:2009 (Gutiérrez de López, 2003)

La resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Fm = \frac{P}{A}$$

Fm = Resistencia a la compresión en (Mpa)

P = Carga total máxima de la falla (N)

A = Área de la sección transversal del cubo a la que se aplica la carga, en mm<sup>2</sup>

### **c. Resistencia a la flexión:**

Se realiza con la elaboración de unas viguetas prismáticas de 2.5 x 2.5 cm y 28.00 cm de largo, que serán cargadas en el centro de la luz y apoyadas a dos centímetros de los extremos; para conocer la carga máxima se aplicará la fórmula (Rf). Las normas no establecen un límite para los valores de esta resistencia, pero algunos autores la establecen entre el 10% y 20% de la resistencia a la compresión (Civilgeeks, 2016).

Para proceder con el ensayo a la flexión se consideró la norma ASTM C293/293 M-10

$$Rf = 3 * \frac{Pf * L}{2AB^3}$$

Donde:

Rf = Resistencia a la flexión en Kg/cm<sup>2</sup>



P<sub>f</sub> = Carga aplicada en Kgf

L = Longitud entre apoyos (cm)

A = Lado base del prisma (cm)

B = Lado perpendicular a la base (cm)

#### **d. Resistencia a la Tracción:**

Es sabido que el mortero resiste bajas cargas de tracción, por lo cual, este valor no tiene mayor trascendencia, en los diseños estructurales siempre se asume que el hormigón y el mortero están trabajando a compresión o inclusive a flexión si fuera el caso, aunque, adquiere importancia en el agrietamiento de las mezclas luego del proceso de secado. Este ensayo se enfoca en la medición de la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente. El valor referido a la resistencia a la tracción es de 8% a 12% El valor de la resistencia a la tracción contempla un rango aproximado de 8% a 12% de su resistencia a la compresión. Estos valores generalmente se estiman como 1.33 a 1.99 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión (Méndez, 2012).

Para calcular el esfuerzo se aplica la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$\sigma$  = Esfuerzo

F = Fuerza aplicada en Kgf

A = Área de la sección transversal en  $\text{cm}^2$

Carrasco 2011 afirma:

"La resistencia a tracción y compresión están relacionadas, pero no en forma proporcional. Es decir, un aumento en la resistencia a la compresión del hormigón, representa también un aumento en la resistencia a la tracción, pero a una velocidad decreciente. Es decir, la relación

tracción-compresión depende del nivel de resistencia, a mayor resistencia a compresión, menor es dicha relación. La cual depende, de la interfaz y de las características de la pasta. También la afectan la relación agua-cemento, el curado, el tipo de agregado y los aditivos presentes. Mediante tres métodos se puede evaluar la resistencia a la tracción: tracción directa, tracción por compresión diametral y flexo-tracción" (p. 22).

#### **e. Absorción por capilaridad:**

La capacidad y velocidad de succión del mortero y particularmente del mortero de recubrimiento son parámetros asociados con la durabilidad de los elementos que contengan mortero de cemento. La succión capilar consecuencia de las fuerzas de adhesión que ejercen acción sobre las moléculas de agua y las paredes de los poros del mortero. Una baja velocidad de succión indica, en general, un mortero con propiedades de transporte satisfactorias para asegurar una vida útil aceptable en la estructura.

La relación que existe entre el agua y cemento afecta también a la permeabilidad, no solamente a la resistencia y compresión. Otro aspecto a tener en cuenta, es la influencia del curado del hormigón; para obtener un suficiente bloqueo de los poros capilares los granos de cemento deben estar bien hidratados.

La tasa de absorción, o velocidad de ascensión capilar se puede medir fácilmente, además caracteriza la tendencia de un material poroso a absorber o transmitir agua (HALL, 1989). La absorción capilar es un proceso inducido por la tensión superficial del agua que actúa sobre los capilares del hormigón. El mortero ejerce acciones atractivas sobre las moléculas situadas en la superficie del líquido provocando

con las mismas, el llenado de los espacios existentes en su masa (Fernandez, 2001).

El método de ensayo según la Norma Técnica Guatimalteca (NTG 41017 h23) permite calcular la capacidad y velocidad de succión capilar de agua del hormigón o mortero endurecido, midiendo el incremento de masa del espécimen resultante de la absorción de agua con respecto al tiempo, cuando solamente una superficie del espécimen está expuesta al agua, la superficie expuesta del espécimen se sumerge en el agua y el ingreso de la misma en el concreto no saturado está dominado por la succión capilar durante el contacto inicial con el agua (Norma Técnica, 2013) (Ilustración N.º 7).

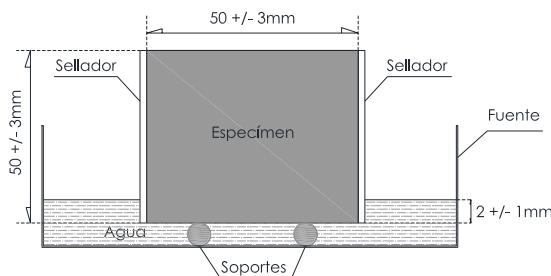


Ilustración N°7: Esquema del procedimiento de absorción. Elaboración: autor

El desempeño del mortero sujeto a muchos ambientes agresivos, es en gran medida, una función de la penetrabilidad del sistema de poros. En un mortero no saturado, la velocidad de ingreso del agua y otros líquidos es controlada por la absorción debida al ascenso capilar.

"La absorción  $I$ , es el cambio de masa dividido por el producto del área transversal del espécimen por la densidad del agua. Para el propósito de este ensayo, se hace caso omiso de la dependencia de la densidad del agua de la temperatura y se usa una densidad del agua de  $0.001\text{g/mm}^3$ . Las unidades de  $I$  son  $\text{mm}^2$ ". (Norma Técnica Guatimalteca, 2013, pág. 12).

La absorción se calcula con la siguiente fórmula:

$$I = \frac{mi}{a \cdot d}$$

Donde:

$I$  = Absorción, en  $\text{mm}^2$

$mi$  = El cambio de masa en gramos, del espécimen en un tiempo  $t$

$a$  = área de la sección transversal de la probeta en  $\text{mm}^2$

$d$  = La densidad del agua en  $\text{g/mm}^3$

También se calcula la velocidad de absorción inicial que empieza desde un minuto hasta 6 horas. Esta absorción de agua ( $\text{mm/s}^{1/2}$ ) se define como la pendiente de la línea que es el mejor ajuste en el gráfico de 1 ploteada contra la raíz cuadrada del tiempo en segundos ( $\text{s}^{1/2}$ ). Se obtiene ésta, pendiente usando el método análisis de regresión por mínimos cuadrados del ploteo de 1 contra la raíz cuadrada del tiempo en segundos. Para el análisis de regresión se usan la totalidad de los puntos comprendidos desde 1 min hasta 6h excluyendo los tiempos que señalen un cambio de pendiente definido. Si los datos entre 1 min y 6 horas no siguen una relación lineal (tienen un coeficiente de correlación menor de 0.98) y muestran una curvatura sistemática, la velocidad inicial de absorción de agua no puede ser determinada.



La toma de datos de cada probeta se regirá de acuerdo a la Tabla N° 8

**TABLA N° 8: TIEMPO DE ENSAYOS PARA ABSORCIÓN**

Días	s	$\sqrt{\text{tiempo}}$ (s $\frac{1}{2}$ )
	segundos	
	0	0
1 minuto	60	8
5 minutos	300	17
10 minutos	600	24
20 minutos	1200	35
30 minutos	1800	42
60 minutos	3600	60
2 horas	7200	85
3 horas	10800	104
4 horas	14400	120
5 horas	18000	134
6 horas	21600	147
1 día	92220	304
2 días	193200	440
3 días	268500	518
5 días	432000	657
6 días	527580	726
7 días	622200	789
8 días	691200	831

Fuente: NTG 41017 h23. Elaboración: autor

### **2.3.8. SELECCIÓN DEL TIPO DE MORTERO**

Según requisitos de la NTE INEN 2518 clasifica al mortero Tipo N para ser utilizado en una zona interior y para muro portante. En Colombia, según Rodrigo Salamanca propone lo siguiente: "Es un mortero de propósito general, para ser utilizado en estructuras de mampostería sobre el nivel del suelo. Presenta un gran rendimiento en su empleo en mampostería, paredes internas y divisiones, ya que su mejor resistencia proporciona mayor trabajabilidad y economía. Usualmente, las mezclas de tipo N, alcanzan cerca de 125 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión, en los

ensayos en laboratorio" (Salamanca, 2001).

### **2.3.9. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PET EN LA MEZCLA**

Se tomó como referencia el estudio realizado por la Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, en la cual parte con un porcentaje del 5%, 10%, y 15% de PET en la mezcla, para probar probetas a los 28 días de la resistencia a compresión, cuyos resultados son los siguientes: 196.39 Kg/cm<sup>2</sup>, 206.55 Kg/cm<sup>2</sup>, 200.35 Kg/cm<sup>2</sup> respectivamente (Alesmar, L. Rendón, N. Korody, M., 2008). Otro autor, construyó bloques de mortero con una dosificación de 10%, 25%, 50% y 70% de plástico para estudiar su consistencia y solidez, la resistencia a la compresión fue de 271.14 Kg/cm<sup>2</sup>, 186.10 kg/cm<sup>2</sup>, 100.57 kg/cm<sup>2</sup> y 58.46 Kg/cm<sup>2</sup> respectivamente (Pozo, 2012). Otra investigación sobre ladrillos con PET experimentó dosificaciones en volumen remplazando PET por el árido en 10%, 25%, 40%, 55% y 65%, dando como resultado valores de la resistencia a la compresión de: 248.96 Kg/cm<sup>2</sup>, 288.70 Kg/cm<sup>2</sup>, 266.96 Kg/cm<sup>2</sup>, 17.92 Kg/cm<sup>2</sup> y 9.08 Kg/cm<sup>2</sup> respectivamente (ANGUMBA, 2016).

Sobre esta base se decidió experimentar en este estudio con dosificaciones por peso para remplazar la arena por PET en un 5%, 10%, con el propósito de evidenciar los valores de la resistencia a la compresión que se dieron en los estudios anteriores, pero, ninguno se hizo con 20%, entonces, se planteó este porcentaje para conocer los valores resultantes, pues, si hay datos con 15% y 25% de PET en la mezcla. Para continuar se realizaron pruebas de fluidez con 30% de PET, descartándolo, puesto que, el resultado de esa propiedad fue de apenas el 55.33% lo que no permite la manejabilidad del mortero, además, que no cumple con la norma debido a que está fuera del rango entre 100% a 120% para media-plástica que es la que



se alcanza para mezclas de revestimiento (ver Tabla N.º).

### 2.3.10. MÉTODO DE DISEÑO DE UN MORTERO CON CEMENTO - ARENA

El diseño de morteros se puede realizar por peso o volumen, al igual que en el concreto, existen numerosos métodos para diseñar morteros, pero, todos ellos son de ensayo-error. Para el estudio, se siguió el diseño por pesos desarrollado en el documento "La Tecnología de los Concretos" (Salamanca, 2001), quien toma en cuenta la relación agua cemento, módulo de finura, humedad de la arena, plasticidad del mortero, resistencia específica, además, de seguir la base de las curvas granulométricas determinadas en aquellos experimentos. Esta metodología permitió garantizar la reproducción, las veces que sean necesarias, del mortero ideal encontrado.

Antes de proceder a dosificar un mortero es importante conocer pormenorizadamente las características del agregado fino a utilizarse, para ello, se realizó los ensayos: Contenido de impurezas, granulometría, peso unitario suelto, densidad saturada superficialmente seca (sss), porcentaje de humedad. Con estos datos se tuvo la capacidad de diseñar las proporciones definitivas del mortero, siguiendo el siguiente procedimiento.

#### 1.- Contenido de cemento

Conociendo la resistencia del mortero a los 28 días y su manejabilidad se puede calcular el contenido de cemento, siempre y cuando, se tenga como dato el módulo de finura de la arena a utilizarse, valor que es el resultado del ensayo de granulometría. La Figura N.º 1, gráfica de granulometría obtenida de la investigación realizada por el Ingeniero Rodrigo Salamanca en el Laboratorio de Ensayos e Investigaciones de la Universidad Nacional de Bogotá, curvas que permiten obtener el peso del

cemento en Kg; con ello, la fluidez está comprendida entre 100 y 120%.

#### 2.- Contenido de agua.

La Figura N.º 2, referida al mismo autor permite calcular el contenido de agua por  $m^3$  de mortero con base a la resistencia a la compresión a los 28 días; el gráfico trae la relación agua-cemento y conocida ésta y el contenido de cemento, se puede encontrar la cantidad de agua (González de la Cadena, 2016)

#### 3.- Contenido de arena.

Para calcular el contenido de arena se resta a  $1\ m^3$  de mortero, el volumen de cemento, de agua y de aire incluido.

$$V_{\text{arena}} = 1 - (V_{\text{cemento}} + V_{\text{agua}} + V_{\text{aire}})$$

$V_{\text{arena}}$ : Volumen de la arena

$V_{\text{agua}}$ : Volumen del agua

$V_{\text{cemento}}$ : Volumen del cemento

#### 4.- Cálculo del volumen de arena.

Volumen de Cemento, es igual, al peso del cemento obtenido en el paso 1 dividido por la densidad del cemento que está en  $2.96\ g/cm^3$  (Arq. Edison Castillo, encargado del laboratorio de materiales de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Cuenca)

El volumen de arena, es igual, al peso de la arena dividido entre la densidad saturada superficialmente seca, obtenida en ensayo de laboratorio.



Módulo de finura

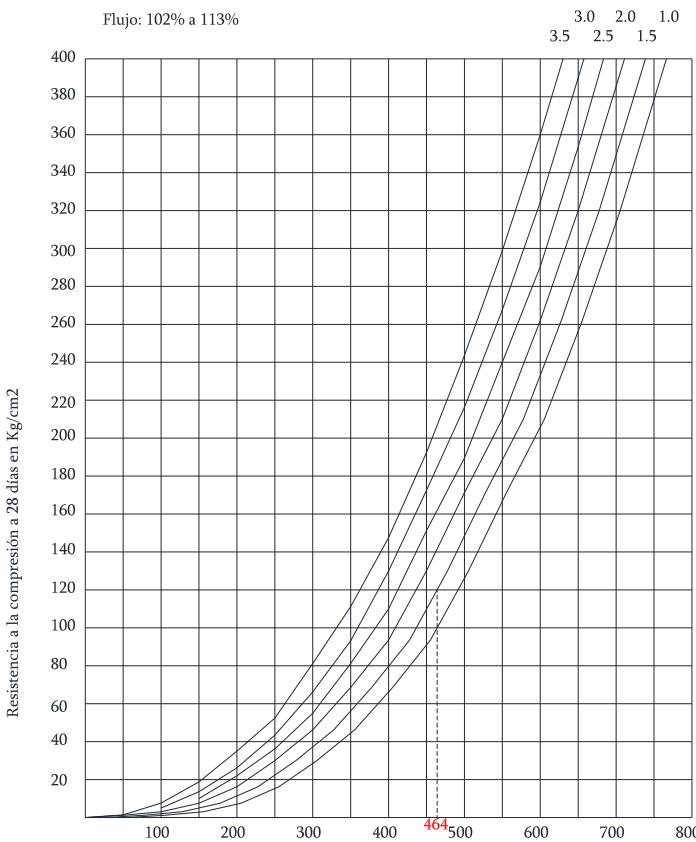


Figura N° 1: Contenido de cemento de acuerdo al módulo de finura y fluidez. (Salamanca, 2001).

Elaboración: autor

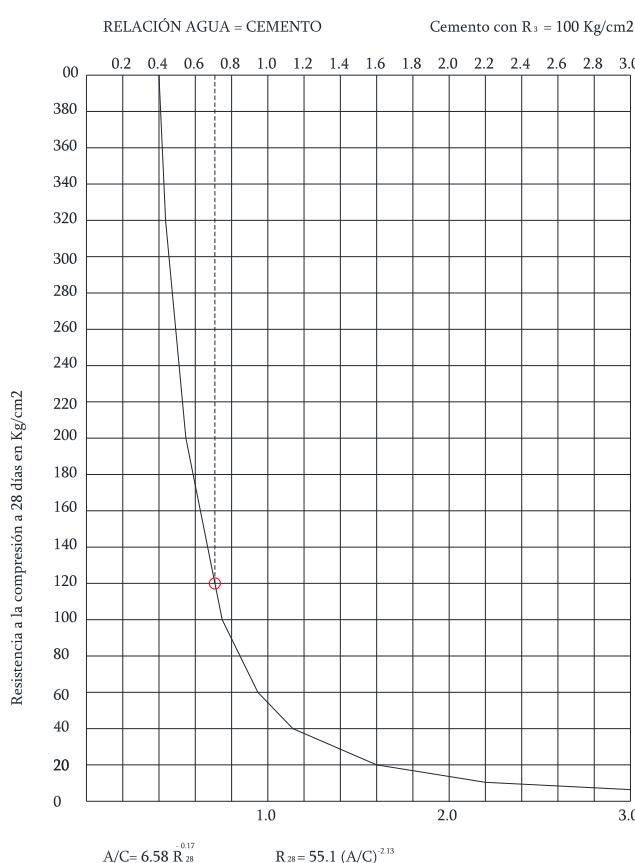


Figura N° 2: Relación agua/cemento a partir de la resistencia (Salamanca, 2001). Elaboración: autor

## CAPÍTULO 3.- PROCESO EXPERIMENTAL

### 3.1 METODOLOGÍA

El diseño experimental es a criterio de expertos el método más preciso de una investigación, y es el camino para comprobar o refutar una hipótesis, con base al análisis estadístico (Shuttleworth, 2008).

La experimentación está desarrollada con una metodología ya probada, que permite diseñar un mortero de cemento - arena, como también el que contiene cierto porcentaje de PET con proporciones tales que se pueda reproducir y de esta forma alcanzar mejores características impermeables con respecto al mortero tradicional, así como, cumplir con propiedades físicomecánicas de las normas recogidas en las Normas de Guatemala, colombiana y Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN).

La primera etapa analizó y ensayó cada uno de los componentes del mortero como es el cemento, arena y PET; con base al estado de la técnica que fue estudiada en el numeral 2.3.6. (Componentes del mortero. Requisitos).

La segunda parte comprende el diseño de la mezcla, es decir, la dosificación para elaboración del mortero siguiendo la metodología experimental en el texto "La Tecnología de los Concretos" Salamanca 2001; esta etapa comprende el diseño del mortero patrón y los que contienen porcentaje de PET como remplazo de la arena. Una tercera fase fue realizar los ensayos de cada uno de los especímenes con sus diferentes dosificaciones y mezclas. Finalmente, se compararon los resultados, identificando la mezcla con mejores características impermeables.

### 3.2 ENSAYOS Y ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES DEL MORTERO

#### 3.2.1. CEMENTO

Para la investigación se utilizó el cemento Portland tipo IP Guapán que cumple con la Norma Técnica Ecuatoriana 490:2011.

La propiedad que se debe analizar del cemento es la densidad, cuyo valor sirve para calcular el peso y/o volumen en la mezcla del mortero. En el Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Cuenca el Arq. Édison Maximiliano Castillo Carchipulla encargado del mismo, ha realizado experimentos para encontrar la densidad del cemento que se ocupará en el presente estudio, valor correspondiente a  $2.96 \text{ g/cm}^3$ .

#### 3.2.2. ARENA Y PET

La arena motivo del desarrollo de este estudio, es del Río Zamora y también la más comercializada en la ciudad (Ilustración N.º 8); por otra parte, el PET es producido en molino artesanal por la empresa Ferro Comercial Vera e Hijos de la ciudad de Yantzaza, emplazada a 32 Km de la ciudad de Zamora. (Ilustración N.º 9 y N.º 10).



Ilustración N.º 8: Arena procedente del río Zamora.  
Fuente: autor



Ilustración N° 9: Molido artesanal para triturar botellas de PET de propiedad de la empresa Ferro Comercial Vera e Hijos. Fuente: autor



Ilustración N° 10: PET molido. Fuente: autor



Ilustración N° 11: Ensayo de impurezas orgánicas, Fuente: autor

### 3.2.3. IMPUREZAS ORGÁNICAS

Es un ensayo que se desarrolló por observación.

Se sumerge en agua 200 gramos de arena sin lavar con 10 gramos de hidróxido de sodio, se agita fuertemente esta mezcla dentro de la probeta, para luego dejar reposar por 24 horas. Se distingue una gran capa hasta la parte superior en la escala 400 ml de la probeta, y en escala del 200 al 400 ml se presenta un color claro que indica que está dentro del color estándar. En la Ilustración Nro. 8, el color de la probeta izquierda no pasa la prueba, porque, está más oscura del color estándar; con este resultado se repitió el ensayo, lavando la arena hasta obtener el color claro de la probeta derecha (Ilustración N° 11). En conclusión, siempre será necesario que la arena se lave antes de su comercialización y posterior uso.

### 3.2.4. GRANULOMETRÍA

Para encontrar el módulo de finura de la arena requerida en este estudio se procedió de la siguiente manera:

Se tomó la muestra de 500 gramos de arena húmeda, y se colocó en el horno, a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por 24 horas. Este agregado sirvió luego para tamizarlo de acuerdo a la NTE INEN 2536:2010. De igual manera se procede con el PET.

El siguiente paso es armar los tamices empezando en la parte superior por el N.º 4 hasta el N.º 200 en la parte inferior; luego, se colocó el árido seco con un peso de 500 gramos en el tamiz N.º 4 y pasar en la máquina automática por 5 minutos (Ilustraciones N.º 12 y 13). Se pesa el material retenido de cada tamiz, datos que sirvieron para el cálculo del módulo de finura. Igual procedimiento se aplica para el PET con un peso de 400 gramos. Los resultados del ensayo se muestran en las Tablas N.º 9 y N.º 10; Gráficos N.º 1 y N.º 2.

**TABLA N° 9: ENSAYO DE GRANULOMETRÍA ARENA FINA LAVADA (Mf=1,46)**

Nro de Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Acumulado	% Pasa	norma 2536
4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00	100
8	2,36	0,91	0,18	0,18	99,82	95 a 100
16	1,18	6,26	1,25	1,43	98,57	70 a 100
30	0,60	40,92	8,18	9,61	90,39	40 a 75
50	0,30	169,15	33,81	43,42	56,58	10 a 35
100	0,15	240,63	48,09	91,51	8,49	2 a 15
200	0,08	37,07	7,41	98,92	1,08	0 a 5
<b>Base</b>	<	5,41	1,08	100,00		
<b>total</b>		500,35	100,00			

Fuente: Arq. Edison Castillo (Diseño de tabla). Elaboración de ensayo: autor

**TABLA N° 10: ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DEL PET (Mf=2,27)**

Nº de Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Acumulado	% Pasa	norma 2536
4	4,75	0,02	0,01	0,01	100,00	100
8	2,36	0,17	0,04	0,05	99,95	95 a 100
16	1,18	3,36	0,84	0,89	99,11	70 a 100
30	0,60	140,37	35,09	35,98	64,02	40 a 75
50	0,30	218,67	54,67	90,65	9,35	10 a 35
100	0,15	33,48	8,37	99,02	0,98	2 a 15
200	0,08	3,32	0,83	99,85	0,15	0 a 5
<b>Base</b>	<	0,61	0,15	100,00		
<b>total</b>		400,00	100,00			

Fuente: Arq. Edison Castillo (Diseño de tabla). Elaboración de ensayo: autor

**TABLA N° 11: ENSAYO CORREGIDO DE GRANULOMETRÍA DEL PET (Mf=1,21)**

Nº de Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Acumulado	% Pasa	norma 2536
4	4,75	0,02	0,01	0,01	100,00	100
8	2,36	0,17	0,04	0,05	99,95	95 a 100
16	1,18	3,36	0,84	0,89	99,11	70 a 100
30	0,60	0,00	0,00	0,89	99,11	40 a 75
50	0,30	218,67	54,67	55,56	44,45	10 a 35
100	0,15	33,48	8,37	63,93	36,08	2 a 15
200	0,08	3,32	0,83	64,76	35,25	0 a 5
<b>Base</b>	<	0,61	0,15	64,91		
<b>total</b>		259,63	64,91			

Fuente: Arq. Edison Castillo (Diseño de tabla). Elaboración de ensayo: autor

En la Tabla N.º 11, se corrige el PET retirando el material que corresponde al tamiz N.º 30, con la finalidad de bajar la finura del material.

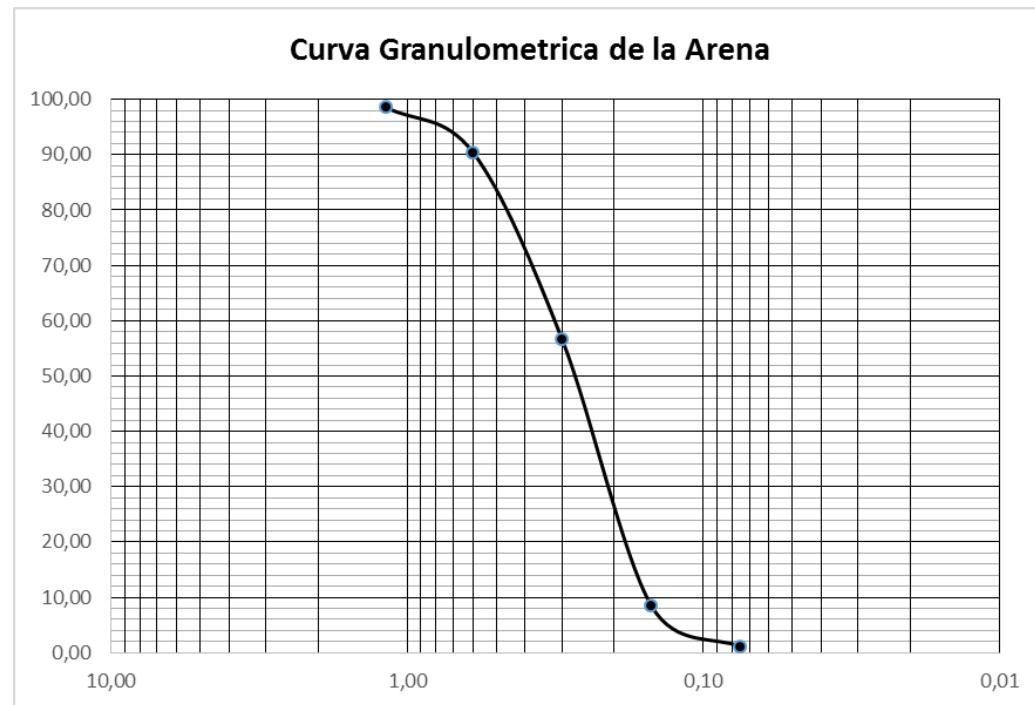


Gráfico N° 1: Curva granulométrica de la arena

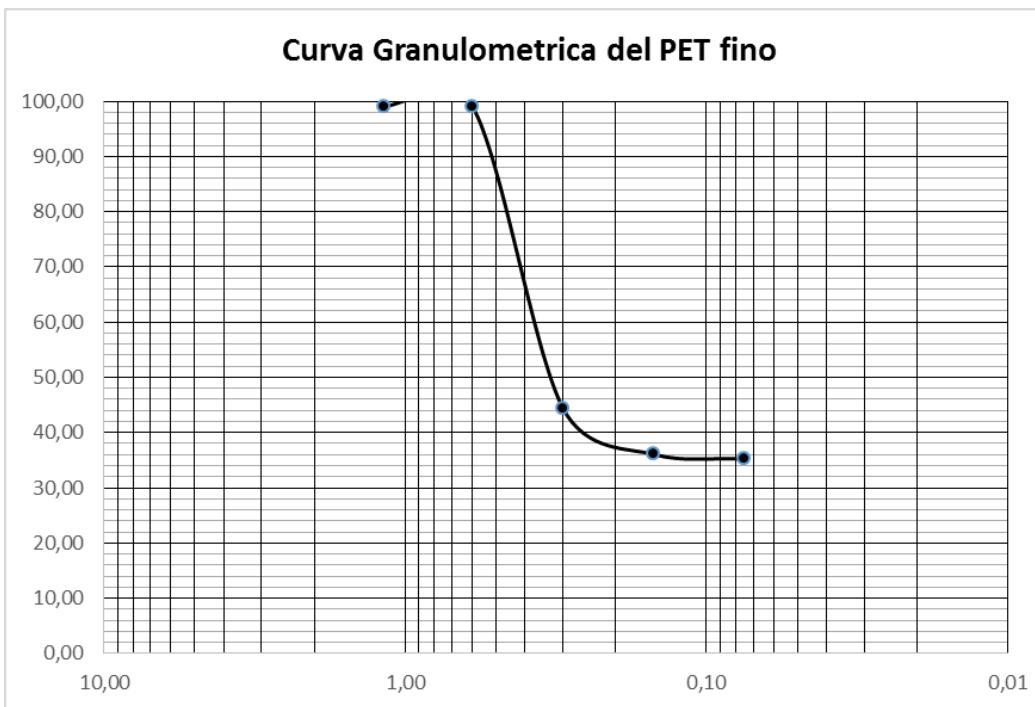


Gráfico N° 2: Curva granulométrica corregida del PET fino

Como ya se ha explicado, fue necesario corregir el módulo de finura del PET, ya que, el inicial fue más grueso que el de la arena. Si se filtra la cantidad del tamiz N.º 30 se llega a un valor del módulo de finura de 1.21 (Tabla N.º 11) menor al de

la arena y se lo toma para la experimentación, porque, se trata de minimizar la cantidad de poros en el enlucido y consecuentemente mejorar la impermeabilidad del elemento.



Ilustración N.º 12: Ensayo granulométrico en máquina Humboldt. Fuente: autor

En los datos obtenidos se observó que tanto el árido como el PET cumplen con la norma con diferencias pequeñas en el tamiz N.º 50 de la arena y el tamiz N.º 100 del PET. Por ser la arena que se dispone en el medio, así como, el PET se tomó como materiales básicos para la elaboración del mortero.



Ilustración N.º 13: Tamizado de material pétreo. Fuente: autor

### 3.2.5. ENSAYO PARA OBTENER EL PESO RETENIDO DEL AGUA EN LA ARENA

Se toma una muestra de 800 gramos de arena lavada, luego se coloca en el

horno para secarla durante 24 horas; posteriormente se obtiene en una balanza la diferencia de pesos entre la arena húmeda y la seca, para finalmente calcular el porcentaje de agua retenida. Ver Tabla N.º 12.

Se aplicó la siguiente fórmula:

$$\%H = \frac{PH - PS}{PS} \times 100$$

%H = Porcentaje de agua retenido

PH = Peso de arena húmeda

PS = Peso de arena seca

**TABLA N.º 12: PORCENTAJE DE AGUA RETENIDA EN LA ARENA**

DESCRIPCIÓN	PESO (gr)
Arena Húmeda	800,00
Arena Seca	733,89
Peso del agua	<b>66,11</b>

Fuente: Autor

Elaboración: autor

$$\% \text{ agua retenida} = \frac{800 - 733,89}{733,89} \times 100$$

$$\% \text{ agua retenida} = 9 \%$$

### 3.2.6. ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DE LA ARENA (Saturada Superficialmente Seca) – MÉTODO VOLUMÉTRICO

Esta característica es primordial para plantear la dosificación de la arena en un mortero a fin de garantizar la reproducción de la mezcla. En primer lugar, hay que determinar la capacidad de absorción del árido, para ello, es necesario trasladarla al estado de superficie seca saturada (sss), se requiere los siguientes instrumentos: Un molde tronco cónico normado, un pisón, un balde, una bandeja y un secador de viento, calentador de agua, frasco de Le Chatelier, termómetro para mantener una temperatura de 23 °C en frasco.

El procedimiento consiste en tomar una muestra de arena por cuarteo de 1 Kg. Sumergirla en agua durante 24 horas

para alcanzar la saturación de la absorción; se extiende y se seca superficialmente por una corriente de aire caliente (ver Ilustración N.º 14).

El siguiente paso fue determinar si la arena está saturada superficialmente seca, colocándola en el molde tronco cónico en dos capas y en cada una de ellas, se golpea con el pisón 25 veces desde una altura de 1 cm.

Posteriormente se levanta el molde cónico verticalmente sin girarlo, se golpea levemente el mismo; la arena al levantar el molde debe derrumbarse parcialmente el montón de agregado. En ese estado se dice que la arena se encuentra Saturada Superficialmente Seca (sss) (Ilustración N.º 15).

Se llena el frasco, inicialmente con agua hasta un punto en el cuello, entre las marcas 0 cm<sup>3</sup> a 1 cm<sup>3</sup>, se registra la lectura inicial con el frasco y su contenido dentro de un rango de temperatura de 23 °C ± 2°C, (Ilustración N.º 16). Luego se agrega 55 gr ± 5 gr de árido fino en condición sss. Después de que todo el árido fino ha sido introducido, se coloca el tapón en el matraz y rodarlo en posición inclinada o hacerlo girar suavemente en círculos horizontales, de manera que, se desaloje todo el aire atrapado, continuando hasta que no suban a la superficie más burbujas (Ilustración N.º 17).

Tomar la lectura final con el frasco y su contenido a una temperatura de 1 °C con respecto al inicial. (NTE INEN 856, 2010)

Para alcanzar la temperatura que dicta la norma antes citada se deja en baño María durante una hora. También se puede conectar el frasco a una bomba de vacío para eliminar todas las burbujas que se producen en el proceso.



Ilustración N.º 14: Secado de arena con aire caliente. Fuente: autor

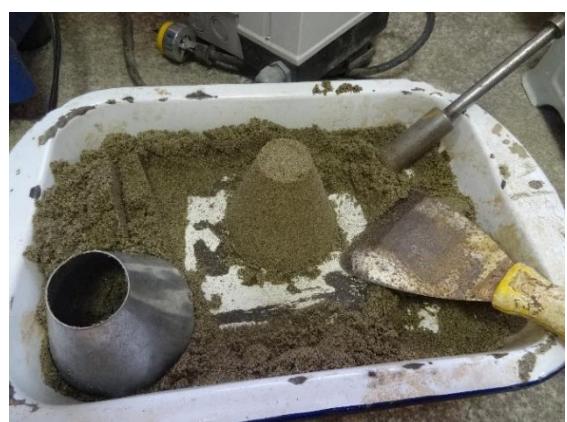


Ilustración N.º 15: Ensayo para determinar que la arena este Superficialmente Seca. Fuente: autor



Ilustración N.º 16: Ensayo para alcanzar la temperatura de 23 °C, en baño de María. Fuente: autor



Ilustración N.º 17: Eliminación de burbujas.  
Fuente: autor

Para calcular la densidad del árido en condición saturada superficialmente seca se lo hace con la siguiente fórmula (NTE INEN 856, 2010):

$$D \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \frac{997.5 S1}{0.9975 (R2 - R1)}$$

D= Densidad Kg/m<sup>3</sup>

S1= Masa de la muestra superficialmente seca.

R1= Lectura inicial en el frasco de Le Chatelier.

R2= Lectura final en el frasco de Le Chatelier.

Densidad=  $997.5 * 50 / 09975$  (19.06-0.56)  
 $= 997.5 * 50 / 0.9975 * 18.50 = 49875 / 18.50 = 2703.25$  Kg/ m<sup>3</sup>. Luego se transforma en Kg/cm<sup>3</sup>.

**Densidad= 2.70 Kg/cm<sup>3</sup>**

### 3.2.7. CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD EN LA ARENA

Este valor es necesario determinarlo para realizar la corrección de la humedad en la arena cuando se diseña la mezcla (Ver Tabla N.º 13).

Se toma tres muestras de arena húmeda (ver Ilustración N.º 18), cada una será de 40 g y se seca por un periodo de 24 horas, luego se pesa y se calculó el promedio de peso de las tres muestras.

El porcentaje requerido se calculó por diferencia de peso con la siguiente fórmula:

$$\% w \text{ (humedad)} = (Ph - Ps / Ps) * 100$$

w = Porcentaje de humedad

Ph = Peso de la arena húmeda

Ps = Peso de la arena seca



Ilustración N.º 18: Arena en recipientes para ensayo de humedad en la arena

**TABLA N.º 13: PORCENTAJE DE HUMEDAD EN LA ARENA**

DESCRIPCIÓN	PESO TARRO (g)	PESO DE LA ARENA HÚMEDA(g)	PESO DE LA ARENA SECA + TARRO (g)	ARENA SECA (g)	PESO PROMEDIO (g)	%	% PROMEDIO
Muestra N.º 1	8,84	40,00	45,80	36,96		8,225	
Muestra N.º 2	9,58	40,00	46,42	36,84	36,85	8,578	
Muestra N.º 3	<b>8,31</b>	<b>40,00</b>	45,06	36,75		8,844	<b>8,549</b>

Fuente: Autor

Elaboración: autor

$$\% w = \frac{40-36,85}{36,85} \times 100 = 8,54 \%$$

% de humedad en la arena = 8,54 %

### 3.2.8. ENSAYO PARA CALCULAR EL PESO SUELTO Y COMPACTADO DE LA ARENA

El peso unitario suelto (NTC92, 1995) se inició pesando el recipiente, luego se llena con arena dejándola caer desde una altura de 5 cm del borde superior del recipiente. Se enrasta con una regla, se pesa el recipiente y arena incluido. Durante este ensayo el recipiente solamente puede moverse una vez que se haya enrastado el mismo (Ilustración N.º 19).

El peso unitario compactado se determinó compactando el agregado fino en superficie seca saturada (Ilustración N.º 20), en tres capas iguales, se procedió a compactar con 25 golpes con una varilla de 16 mm de diámetro, es importante no afectar la primera capa colocada por los golpes de la siguiente. Posteriormente, se enrasta el recipiente con la misma varilla de compactación y por diferencia de pesos se determinó el peso de la arena. El procedimiento se realizó bajo la Norma Técnica Colombiana (NTC92, 1995)

#### PESO UNITARIO SUELTO DE LA ARENA

Peso del recipiente (Kg)=	0,1155
Peso de la Muestra suelta + recipiente en (Kg)=	2,2218
Peso del agua + recipiente en (Kg) =	1,7229

Descripción	Símbolo	Cantidad (kg)
Peso de muestra suelta + recipiente		2,2218
Peso del recipiente		0,1155
Peso de la muestra suelta	Ws	2,1063
Peso del agua + recipiente		1,7229
Peso del agua	Wa	1,6074

$$\text{Factor de calibración del recipiente (f)} = \frac{1000 \text{ Kg/m}^3}{1,6074} = 622,12 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso unitario suelto} = f \times Ws = 622,12 \times 2,1063 = 1310,37 \text{ Kg/m}^3$$

#### PESO UNITARIO COMPACTADO DE LA ARENA

Peso del recipiente (Kg)=	0,1155
Peso de la Muestra compactada + recipiente en (Kg)=	2,4311
Peso del agua + recipiente en (Kg) =	1,7229

Descripción	Símbolo	Cantidad (kg)
Peso de muestra compactada + recipiente		2,4311
Peso del recipiente		0,1155
Peso de la muestra compactada	Ws	2,3156
Peso del agua + recipiente		1,7229
Peso del agua	Wa	1,6074

$$\text{Factor de calibración del recipiente (f)} = \frac{1000 \text{ Kg/m}^3}{1,6074} = 622,12 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso unitario suelto} = f \times Ws = 622,12 \times 2,3156 = 1440,58 \text{ Kg/m}^3$$



Ilustración N° 19: Llenado y rasanteo del recipiente con arena. Fuente: autor



Ilustración N° 20: Compactado de la arena con varilla de punta redonda. Fuente: autor



Ilustración 20: Compactado de arena en capas con varilla a una altura de 5 cm. Fuente: autor

### 3.3 DISEÑO DE MORTEROS O PROPORCIONAMIENTO DE LAS MEZCLAS

El mortero, en el medio como para todos los casos se compone de cemento, arena y agua potable; este análisis también permite adicionar PET como parte de la propuesta. Su diseño se puede realizar por volumen o por peso, que es el procedimiento aplicado para el presente estudio. Previo a conseguir la mezcla correcta se realizó varios ensayos pilotos al mortero en estado fresco, iniciando con el ensayo de fluidez, que debe estar entre 100 a 120% o también llamada consistencia media o plástica, tanto del mortero patrón como de los que contienen porcentajes de PET en sustitución de la arena, hasta encontrar el porcentaje máximo que se pueda agregar a la mezcla.

#### 3.3.1. DISEÑO DE LA MEZCLA

##### 3.3.1.1. FLUIDEZ DEL MORTERO PATRÓN Y CON PET

El porcentaje de fluidez se calculó como la relación entre la diferencia del diámetro final y el diámetro inicial, respecto al diámetro inicial multiplicado por cien. El procedimiento según Jaramillo, 2000; se describe en el numeral 2.3.7.1, literal a (Ilustración N.º 22, 23 y 24). Los resultados se reproducen en la Tabla N.º 14, N.º 15, N.º, y N.º 17

$$\% \text{ Fluidez} = \frac{\phi \text{ final} - \phi \text{ inicial}}{\phi \text{ inicial}} \times 100$$

Como resultado de esta experiencia, se concluye que el máximo porcentaje de PET que se puede incluir en la mezcla del mortero es 20%, puesto que, la realizada con 30% no es trabajable (Ver Tabla N° 18).

De la experiencia desarrollada fue evidente que la manejabilidad bajó con base a la cantidad de PET que se agregó a la mezcla.

Los resultados obtenidos resumen que la fluidez para el mortero patrón es de 125.50%, y para el de 20% de PET baja a 104.40% (Ver Ilustración N.º 21); el ensayo para mezcla con 30% de PET apenas reporta un 64.67% (Ver Tabla N.º 18) lo que no permite su manejabilidad, la NTE INEN recomienda entre 100% y 120% para morteros plásticos, por lo tanto, esta mezcla ha sido descartada para este estudio.

$$\text{Mortero Patrón \% Fluidez} = \frac{22,25 - 10}{10} \times 100$$

**% Fluidez = 125,50**

$$\text{Mortero 5% PET \% Fluidez} = \frac{21,89 - 10}{10} \times 100$$

**% Fluidez = 118,90**

$$\text{Mortero 10% PET \% Fluidez} = \frac{20,98 - 10}{10} \times 100$$

**% Fluidez = 109,80**

$$\text{Mortero 20% PET \% Fluidez} = \frac{20,44 - 10}{10} \times 100$$

**% Fluidez = 104,40**

$$\text{Mortero 30% PET \% Fluidez} = \frac{16,47 - 10}{10} \times 100$$

**% Fluidez = 64,67**

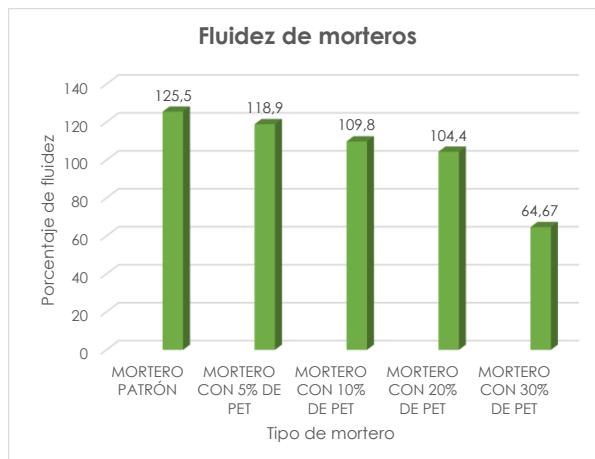


Ilustración: N.º 21: Fluidez de morteros. Fuente: autor

**TABLA N.º 14: ENSAYO DE FLUIDEZ MORTERO PATRÓN**

Muestra	ø Inicial	ø final Promedio	ø Promedio (cm)	% de Fluidez
1	10	23,23	22,55	<b>125,5</b>
2	10	20,80		
3	10	23,62		

Elaboración: Autor

**TABLA N.º 15: ENSAYO DE FLUIDEZ MORTERO-5% PET**

Muestra	ø Inicial	ø final Promedio	ø Promedio (cm)	% de Fluidez
1	10	23,14	21,89	<b>118,9</b>
2	10	20,75		
3	10	21,78		

Elaboración: Autor

**TABLA N.º 16: ENSAYO DE FLUIDEZ MORTERO-10% PET**

Muestra	ø Inicial	ø final Promedio	ø Promedio (cm)	% de Fluidez
1	10	21,29	20,98	<b>109,80</b>
2	10	20,69		
3	10	20,96		

Elaboración: Autor

**TABLA N.º 17: ENSAYO DE FLUIDEZ MORTERO-20% PET**

Muestra	ø Inicial	ø final Promedio	ø Promedio (cm)	% de Fluidez
1	10	20,88	20,44	<b>104,40</b>
2	10	19,89		
3	10	20,55		

Elaboración: Autor

**TABLA N.º 18: ENSAYO DE FLUIDEZ MORTERO-30% PET**

Muestra	ø Inicial	ø final Promedio	ø Promedio (cm)	% de Fluidez
1	10	16,80	16,47	<b>64,67</b>
2	10	16,20		
3	10	16,40		

Elaboración: Autor



Ilustración 22: Ensayo de fluidez, compactación de la mezcla en el cono. Fuente: autor



Ilustración N° 23: Ensayo de fluidez, inicio de la compactación en la mesa de flujo. Fuente: autor



Ilustración N° 24: Mezcla luego del ensayo de compactación para determinar la fluidez en la pasta de mortero patrón y con contenido de PET. Fuente: autor

### 3.3.1.2. DOSIFICACIÓN DEL MORTERO PATRÓN Y CON PARTÍCULAS DE PET

La dosificación del mortero patrón y con contenido de PET se realizó por peso de acuerdo a la metodología propuesta en el numeral 2.3.10, y el resultado se presenta en las Tablas N.º 19, N.º, N.º y N.º.

Los datos obtenidos de los ensayos para los componentes del mortero se resumen así y se los encuentra desarrollando el “**Ejemplo de dosificación**”

Resumen de valores para el diseño del mortero y que se los calcula desarrollando el ejemplo antes mencionado:

- Agua: 411.80 ml (es necesario corregir por la humedad de la arena)
- Resistencia a la compresión a los 28 días = 120 kg/cm<sup>3</sup> (Resistencia de diseño)
- Resistencia mínima a la compresión a los 28 días = 53 kg/cm<sup>2</sup> (Ver Tabla N.º 4)
- Relación A/C= 0.71
- Cemento: 464 x 1.25= 580 gr
- Proporción: 1: 2.97
- Densidad de la arena: 2.70 gr/cm<sup>3</sup>
- Densidad del cemento: 2.96 g/cm<sup>3</sup>

#### Ejemplo de dosificación:

Con los ensayos realizados en el laboratorio de suelos de la facultad de Arquitectura de Cuenca y con la arena fina recogida para la investigación, se planteó dosificar un mortero para una resistencia a la compresión a los 28 días de 120 kg/cm<sup>2</sup> o (3000 psi), valor que se tomó de la investigación del Ing. Salamanca de la Universidad Nacional de Colombia.

El mortero es plástico con una fluidez entre 100 y 120%. El módulo de finura de la arena es 1.46



### a. Cuantía del Cemento

Para calcular la cantidad de cemento es necesario recurrir al Gráfico N.º 1, con la resistencia a la compresión de 120 kg/cm<sup>2</sup> y el módulo de finura de la arena de 1.46 (Ver Tabla N.º 9) se obtiene:

Cemento= 464 Kg / m<sup>3</sup> de mortero (Ver Figura N.º 1).

### b. Cantidad de agua

En la Figura N.º 2, con la resistencia a la compresión a los 28 días de 120 Kg/cm<sup>2</sup> se encuentra: Relación agua-cemento: A/C = 0.71

Luego: Cantidad de agua =  $\frac{A}{C} = 0.71$

$$Agua = 0.71 \times 464 = 329 \text{ L/m}^3$$

### c. Contenido de arena.

Se sabe por ensayos de laboratorio que:

- Densidad del cemento puzolánico tipo IP = 2.96 gr/cm<sup>3</sup> = 2960 kg/m<sup>3</sup>
- Peso específico de la arena saturada y superficialmente seca= 2.70 g/cm<sup>3</sup>; 2703.25 Kg/m<sup>3</sup> (Ver numeral 3.2.6)
- Peso unitario suelto de la arena= 1.31 g/cm<sup>3</sup>; 1310.37 Kg/m<sup>3</sup> (Ver numeral 3.2.8)
- Volumen del cemento: Ve

$$Ve = \frac{464 \text{ Kg}}{2960} = 0.16 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3 \text{ de mortero}}$$

- Volumen de agua = 329 litros = 0.329 m<sup>3</sup>
- Volumen de aire incluido = Para este caso se asume un valor 0

Luego el volumen de arena (Var) será:

$$Var = 1 - V \text{ cemento} - V \text{ agua} - V \text{ aire}$$

$$Var = 1 - (0.16 + 0.329 - 0.0)$$

$$Var = 0.511 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \text{ de mortero}$$

- Masa de la arena = Var x Densidad de la arena.

$$\text{Masa de la arena} = 0.511 \text{ m}^3 \times 2703 \text{ Kg/cm}^3$$

$$\text{Masa de arena} = 1381.23 \text{ kg/m}^3 \text{ de mortero.}$$

Para una masa unitaria suelta de la arena de 1.31 g/cm<sup>3</sup> se tiene:

$$\frac{1381.23}{1310.37} = \frac{1.05 \text{ m}^3}{\text{m}^3 \text{ de mortero}}$$

### d. Proporciones de la mezcla

Luego las proporciones del mortero al peso serán:

$$\text{Proporción} = 1381.23/464$$

$$\text{Proporción} = 2.97$$

Entonces la relación será = 1:2,97, es decir, 1 de cemento y 2,97 de arena.

Es necesario, al igual que en el concreto, tener presente la dosificación adecuada del mortero con la anterior proporción, realizando la corrección necesaria debido a la humedad de la arena.

Una vez determinados los valores de los tres componentes (cemento, arena y agua) se proceden a elaborar las probetas del mortero patrón para someterlos posteriormente a los ensayos en estado endurecido.

Con el fin de poder comparar el comportamiento del mortero base con ensayos similares en estado endurecido se deberán elaborar especímenes pero que contengan porcentaje de PET (5%, 10%, 20%) en remplazo de la arena.

## ELABORACIÓN DE 10 PROBETAS CÚBICAS DE 5 cm por lado (Mortero patrón)

Relación en gramos:

- Probetas 5x5x5 cm

$$\text{Cemento} = \frac{464000 \text{ gr} \times 1250 \text{ cm}^3}{1000000 \text{ cm}^3}$$

- Cemento:  $464 \times 1.25 = 580 \text{ g}$
- Cantidad de arena:  
Arena =  $580 \times 2.97 = 1722.60 \text{ g}$
- Cantidad de agua: Se calcula con la relación agua cemento (a/c) del Gráfico N° 2 y que da como resultado 0.71  
A/C = 0.71  
A =  $0.71 \times 580 = 411.80 \text{ ml}$
- Corrección de humedad en la arena  
Porcentaje de humedad: 8.54%  
Agua:  $411.80 \times 0.9146 = 376.63 \text{ ml}$   
Arena:  $1722.60 \times 1.0854 = 1869.71 \text{ gr}$

Para la dosificación del mortero patrón fue necesario realizar la corrección de la humedad de la arena y se determinó los valores que están en la Tabla N° 19. Para el caso de los morteros con porcentaje de PET no se realizó la corrección antes citada, porque, el PET no absorbe agua debido a su porcentaje de -0.5 (Tabla N° 1)

**TABLA N° 19: DOSIFICACIÓN MORTERO PATRÓN**

MATERIAL	CANTIDAD (gr)
Cemento	580
Arena	1869,71
Agua	376,63
<b>TOTAL</b>	<b>2826,34</b>

Elaboración: Autor

Para mortero con 5%, 10% y 20% de PET, se remplaza ese porcentaje respectivamente con arena en peso. Ver Tablas N.º 20, N.º 21 y N.º 22.

**TABLA N° 20: DOSIFICACIÓN MORTERO 5% DE PET**

MATERIAL	CANTIDAD (gr)
Cemento	580,00
Arena 95%	1776,22
5% PET	93,49
Agua	376,63
<b>TOTAL</b>	<b>2826,34</b>

Elaboración: Autor

**TABLA N° 21: DOSIFICACIÓN MORTERO 10% DE PET**

MATERIAL	CANTIDAD (gr)
Cemento	580,00
Arena 90%	1682,74
10% PET	186,97
Agua	376,63
<b>TOTAL</b>	<b>2826,34</b>

Elaboración: Autor

**TABLA N° 22: DOSIFICACIÓN MORTERO 20% DE PET**

MATERIAL	CANTIDAD (gr)
Cemento	580,00
Arena 80%	1495,77
20% PET	373,94
Agua	376,63
<b>TOTAL</b>	<b>2826,34</b>

Elaboración: Autor

### 3.4 PLAN DE ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO

#### 3.4.1. TIPOS DE PRUEBAS

Los experimentos a las que serán sometidas las probetas compuestas por mortero patrón (Cemento – arena) y las que contienen PET (Cemento-arena-% de PET) son las siguientes (Ilustración N° 25):

- A. Resistencia a la Compresión
- B. Resistencia a la Flexión
- C. Resistencia a la Tracción
- D. Resistencia a la Adherencia
- E. Ensayo de Absorción

##### 3.4.1.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Se han elaborado tres cubos de 50 mm de arista para romperlos en 24 horas, 3, 7 y 28 días, todos ellos curados el mismo periodo de tiempo. Para comparar se parte de una probeta patrón, luego especímenes con 5%, 10% y 20% de PET. Todos ellos probados en el mismo tiempo según corresponda a su mezcla (Ilustración N.º 26, 27 y 28). En total se han producido 12 muestras para ser probados en una prensa hidráulica marca ELE Internacional, con siguientes características: ADR Touch Head, Model 360735/02, capacidad de carga: 35000 Lbf – 1.555 KN, Norma: ASTM C-39; A ASHTO T-22.

Los resultados de este ensayo se muestran en las Tablas N° 23 a la N° 30, donde se muestra claramente que el mortero de cemento – arena tiene la mejor resistencia a la compresión ( $F'_c$ ), con respecto a los que contienen PET.

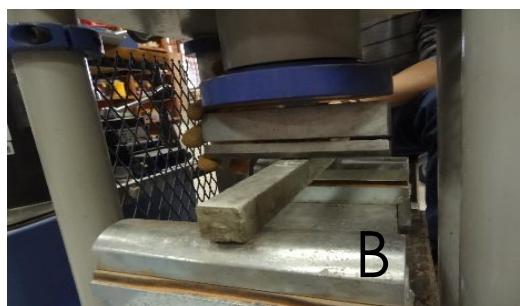


Ilustración N° 25: Probetas en diferentes ensayos, en orden a los descritos en el numeral 3.4.1. Fuente: autor

**TABLA N° 23: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 24 HORAS (Kg/cm<sup>2</sup>) · MORTERO PATRÓN**

CODIGO	24 Horas	CODIGO	3 Días	CODIGO	7 Días	CODIGO	28 Días
1Pc	13,44	1Pc	50,15	4Pc	57,74	7Pc	105,14
2Pc	12,31	2Pc	47,04	5Pc	65,56	8Pc	103,30
3Pc	13,35	3Pc	47,44	6Pc	68,06	9Pc	103,82

Elaboración: autor

**TABLA N° 24: ENSAYOS DE COMPRESIÓN 28 DÍAS - PATRON (Curado 28 días)**

Código	Area	Carga	Esfuerzo	Esfuerzo Promedio	Fecha de confección	Fecha de ensayo
	cm <sup>2</sup>	Kgf	Kgf/cm <sup>2</sup>			
7Pc	25,00	2628,40	105,14			
8Pc	25,00	2582,40	103,30	104,08	29-mar-17	20-abr-17
9Pc	25,00	2595,50	103,82			

Elaboración: Autor

**TABLA N° 25: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 24 HORAS (Kg/cm<sup>2</sup>) · MORTERO 5% DE PET**

CODIGO	24 Horas	CODIGO	3 Días	CODIGO	7 Días	CODIGO	29 Días
1Pc5	7,43	Pc5-1	26,90	Pc5-4	45,15	Pc5-7	96,25
2Pc5	5,87	Pc5-2	25,51	Pc5-5	42,33	Pc5-8	93,10
3Pc5	7,84	Pc5-3	31,04	Pc5-6	39,96	Pc6-9	101,40

Elaboración: autor

**TABLA N° 26: ENSAYOS DE COMPRESIÓN 29 DÍAS - 5% DE PET (Curado 29 días)**

Código	Area	Carga	Esfuerzo	Esfuerzo Promedio	Fecha de confección	Fecha de ensayo
	cm <sup>2</sup>	Kgf	Kgf/cm <sup>2</sup>			
Pc5-7	25,00	2406,30	96,25			
Pc5-8	25,00	2327,60	93,10	96,92	28-mar-17	04-abr-17
Pc6-9	25,00	2535,00	101,40			

Elaboración: Autor

**TABLA N° 27: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 24 HORAS (Kg/cm<sup>2</sup>) · MORTERO 10% DE PET**

CODIGO	24 Horas	CODIGO	3 Días	CODIGO	7 Días	CODIGO	29 Días
1Pc-10	10,78	Pc10-1	30,66	Pc10-4	36,49	Pc10-7	63,06
2Pc-10	11,27	Pc10-2	30,35	Pc10-5	39,24	Pc10-8	54,59
3Pc-10	10,34	Pc10-3	34,00	Pc10-6	38,26	Pc10-9	60,56

Elaboración: autor

**TABLA N° 28: ENSAYOS DE COMPRESIÓN 28 DÍAS - 10% PET (curado 28 días)**

Código	Area	Carga	Esfuerzo	Esfuerzo Promedio	Fecha de confección	Fecha de ensayo
	cm <sup>2</sup>	Kgf	Kgf/cm <sup>2</sup>			
Pc10-7	25,00	1576,50	63,06			
Pc10-8	25,00	1364,80	54,59	59,41	22-mar-17	19-abr-17
Pc10-9	25,00	1514,10	60,56			

Elaboración: Autor

Luis Antonio Zaruma U

**TABLA N° 29: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 25 HORAS (Kg/cm<sup>2</sup>) · MORTERO 20% DE PET**

CODIGO	24 Horas	CODIGO	3 Días	CODIGO	7 Días	CODIGO	29 Días
1Pc20	6,94	Pc20-1	18,14	Pc20-4	26,64	Pc20-7	53,88
2Pc20	6,39	Pc20-2	16,78	Pc20-5	25,25	Pc20-8	60,53
3Pc20	7,52	Pc20-3	16,32	Pc20-6	28,75	Pc20-9	54,69

Elaboración: autor

**TABLA N° 30: ENSAYOS DE COMPRESIÓN 29 DÍAS - 20% DE PET (Curado 29 días)**

Código	Area	Carga	Esfuerzo	Esfuerzo Promedio	Fecha de confección	Fecha de ensayo
	cm <sup>2</sup>	Kgf	Kgf/cm <sup>2</sup>			
Pc20-7	25,00	1346,90	53,88	56,36	28-mar-17	26-abr-17
Pc20-8	25,00	1513,20	60,53			
Pc20-9	25,00	1367,20	54,69			

Elaboración: Autor



Ilustración N. ° 26: Ensayo a la compresión. Rotura en prensa de cubo de 50 mm de arista. Fuente: autor



Ilustración N. ° 28: Cubo con 20% de PET. Ensayo de compresión. Fuente: autor



Ilustración N. ° 27: Cubo de mortero con 5% de PET, luego del ensayo de compresión. Fuente: autor

con diferentes cantidades de PET en la mezcla, es decir: 5%, 10% y 20% se

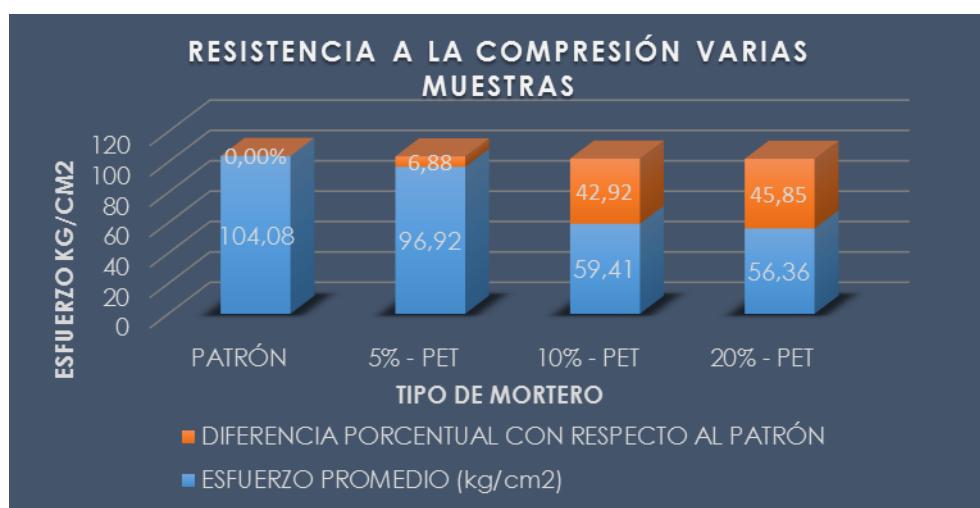


Ilustración N.º 29: Diferencia porcentual de resistencia a la compresión. Elaboración: autor

**TABLA N° 31 : RESUMEN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS-VARIAS MUESTRAS**

TIPO DE MORTERO	ESFUERZO PROMEDIO (kg/cm <sup>2</sup> )	DIFERENCIA PORCENTUAL CON RESPECTO AL PATRÓN
Patrón	104,08	0,00%
5% - PET	96,92	6,88
10% - PET	59,41	42,92
20% - PET	56,36	45,85

Elaboración: Autor

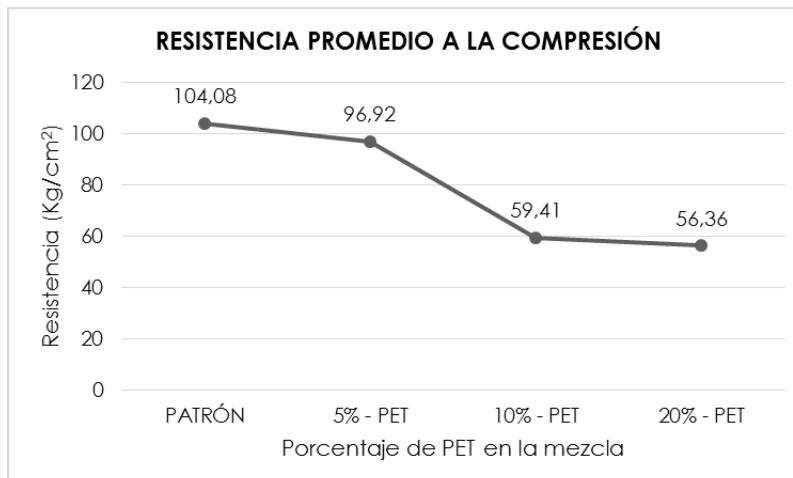


Ilustración N° 30: Resistencia promedio de morteros, varias mezclas. Elaboración: autor

**Análisis de la Resistencia:** A los 28 días se tiene una resistencia promedio a la compresión del mortero Patrón de 104.08 Kg/cm<sup>2</sup>, valor prácticamente el doble del que pide la norma para revestimiento (53 Kg/cm<sup>2</sup>). Para morteros

obtuvo una resistencia a la compresión de 96.92kg/cm<sup>2</sup>; 59.41kg/cm<sup>2</sup>; 56.36 Kg/cm<sup>2</sup>; que en porcentaje corresponden a 93.12%; 57.08% y 54.15% respectivamente (Ilustración N° 29 y 30).

Cada valor corresponde al promedio de 3 probetas ensayadas, para cada una de las mezclas, observándose una disminución importante conforme aumenta la cantidad de PET en el mortero.

La Tabla N.º 31, resume lo dicho anteriormente; es decir, la resistencia a la compresión está asociada directamente a la cantidad de PET que se agregue a la mezcla, el mortero con 20% de PET prácticamente disminuye su resistencia en un 50% con respecto al mortero Patrón que es de cemento arena. Es pertinente destacar que el de menor resistencia no está por debajo del valor que exige la norma técnica ecuatoriana para enlucidos, es decir 53 Kg/cm<sup>2</sup> para morteros tipo N.

### 3.4.1.2. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Se ha elaborado cuatro prismas de 2.60 cm por 2.60 cm, por 28.70 cm de cada mortero; para romperlos en 24 horas, 3, 7 y 28 días, todos ellos curados el mismo periodo de tiempo respectivamente. Para realizar el análisis comparativo se parte de una probeta patrón, luego especímenes con 5%, 10% y 20% de PET en remplazo de la arena. Todos ellos probados en el mismo periodo de tiempo según corresponda a su dosificación (Ilustración N.º 31 a N.º 35) En total se han producido 16 probetas para ser rotos en una prensa hidráulica marca ELE Internacional, ADR Touch Head, Producto N.º 37-4856/09; serial N.º 1887-1-00323.

Los resultados de este ensayo se ilustran en la Tabla N.º 33, donde se evidencia que el mortero de cemento – arena tiene la menor resistencia a la flexión, con respecto a los que contienen PET.

Al contrastar con la Norma Costarricense INTE 06-08-05-09, todas las muestras superan el valor mínimo recomendado, que es 24.61 Kg/cm<sup>2</sup> (INTECO, 2009), proyectando a los 28 días debería alcanzar 33.00 Kg/cm<sup>2</sup>.

Al comparar con los valores obtenidos se supera claramente la Norma.



Ilustración N° 31: Preparación de especímenes para ensayo de resistencia a la flexión. Fuente: autor



Ilustración N° 32: Probetas cubiertas con franela húmeda antes de ensayo a la flexión. Fuente: autor



Ilustración N° 33: Colocación de la probeta en prensa antes de aplicar carga. Fuente: autor

Ilustración N° 36: Diferencia porcentual entre varias mezclas de resistencia a la flexión. Fuente: autor



Ilustración N° 34: Aplicación de carga en el espécimen en ensayo a flexión. Fuente: autor



Ilustración N. ° 35: Muestra fragmentada luego de aplicación de carga a flexión. Fuente: autor

La Tabla N.º 32, da cuenta de la diferencia porcentual con respecto a la mezcla base, valor que dependería de la cantidad de PET que se agregue a la mezcla, es así que, el mortero con 5%, 10% y 20% de PET incrementa su resistencia a la flexión en 20.38%, 18.44%, y un 55.09% respectivamente, con referencia al mortero Patrón elaborado con cemento y arena (Ver Ilustración N° 36 y 37).

**TABLA N° 32 : DIFERENCIA PORCENTUAL DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN A LOS 30 DÍAS-VARIAS MUESTRAS**

TIPO DE MORTERO	ESFUERZO PROMEDIO (kg/cm <sup>2</sup> )	DIFERENCIA PORCENTUAL CON RESPECTO AL PATRÓN
PATRÓN	110,38	100,00%
5% - PET	132,88	120,38
10% - PET	130,73	118,44
20% - PET	171,19	155,09

Elaboración: Autor

Nota: Resistencia a la flexión según ANSI 118,6 , o INTE 06-08-05-09: **24.61** Kg/cm<sup>2</sup> (7 días). Costa Rica



**TABLA N° 33: RESUMEN DE RESULTADOS ENSAYO A LA FLEXIÓN DE MORTEROS**

Mezclas	Flexión a los 30 días				Fecha de confección	Fecha de ensayo		
	Resistencias							
	Kgf/cm <sup>2</sup>							
PF1; 1PF-5; 1PF-10; 1PF-20	119,40	122,65	129,64	170,73				
PF2; 2PF-5; 2PF-10; 2PF-20.	110,45	132,02	131,66	155,26				
PF3; 3PF-5; 3PF-10; 3PF-20.	104,45	143,85	125,53	178,83				
PF4; 4PF-5; 4PF-10; 4PF-20.	107,23	133,02	136,09	179,94				
PROMEDIO	<b>110,38</b>	<b>132,88</b>	<b>130,73</b>	<b>171,19</b>				

Elaboración: Autor

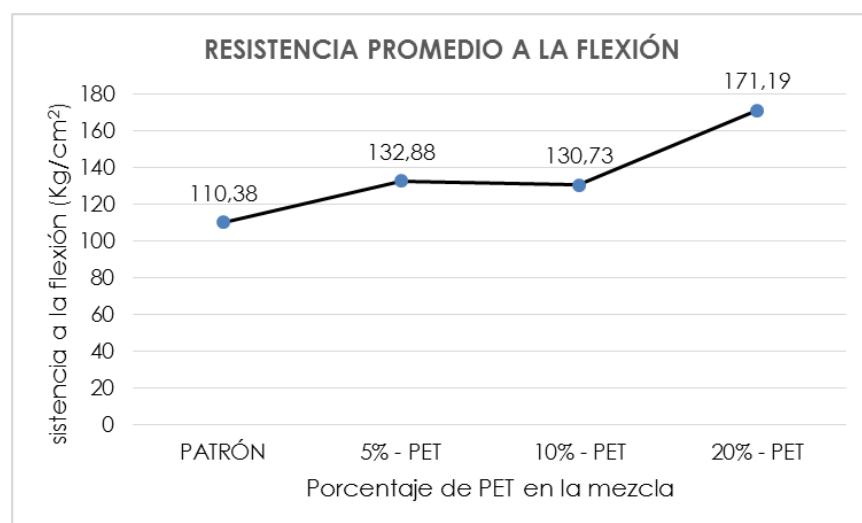


Ilustración N.º 37: Resistencia promedio a la flexión de morteros, varias mezclas. Elaboración: autor


 Ilustración N° 38: Batido de mortero a máquina.  
 Fuente: autor

### 3.4.1.3. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

Se ha elaborado tres probetas de cada mezcla de mortero (Ver Ilustración N.º 38 y 39); para romperlos en 28 días, todos ellos, curados el mismo periodo de tiempo. Para compararlos se inicia con una probeta patrón, luego se produce especímenes con 5%, 10% y 20% de PET en remplazo de la arena. Todos ellos probados en el mismo tiempo según corresponda a su mezcla. (Ilustración N.º 40 a N.º 42). En total se han producido 12 especímenes para ser ensayados en una prensa hidráulica marca General Electric, modelo 5K180HJ204A, del

laboratorio de Geotecnia y materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca (Ilustración N.º 43 y N.º 44).



Ilustración N.º 39: Elaboración de probetas para tracción de morteros. Fuente: autor



Ilustración N.º 42: Rotura de probetas luego de aplicación de carga a tracción. Fuente: autor



Ilustración N.º 40: Aplicación de carga en mortero en ensayo a tracción. Fuente: autor



Ilustración N.º 43: Prensa hidráulica universal de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca. Fuente: autor



Ilustración N.º 41: Ensayo a la tracción de mortero con 20% de PET. Fuente: autor



Ilustración N.º 44: Características técnicas de prensa hidráulica de la Universidad de Cuenca

**TABLA N° 34: RESUMEN DE RESULTADOS, ENSAYO A LA TRACCIÓN DE MORTEROS**

Mezclas	Tracción a los 31 días				Fecha de elaboración	Fecha de ensayo		
	Resistencias							
	Base Kgf/cm <sup>2</sup>	5% PET Kgf/cm <sup>2</sup>	10% PET Kgf/cm <sup>2</sup>	20% PET Kgf/cm <sup>2</sup>				
PT1,1PT-5,1PT-10,1PT-20	20,96	9,43	7,95	3,52				
PT2, 2PT-5, 2PT-10,2PT-20	24,13	9,76	8,20	5,37				
PT3,3PT-5,3PT-10,3PT-20	22,97	10,70	9,22	3,88				
PROMEDIO	<b>22,68</b>	<b>9,97</b>	<b>8,45</b>	<b>4,26</b>	03/04/2017	04/05/2017		

Elaboración: autor

**Análisis de resultados:** Los resultados del ensayo se muestran en la Tabla N.º 34 y N.º 35, observando que el mortero de cemento - arena tiene la mayor resistencia a la tracción, con respecto a los que contienen PET.

Este experimento tuvo un periodo de endurecimiento de 31 días, alcanzándose una resistencia a la tracción promedio del mortero Patrón de 22.68 Kg/cm<sup>2</sup> (Ilustración N.º 44). Para morteros con diferentes cantidades de PET en la mezcla, es decir: 5%, 10% y 20% se obtuvo una resistencia a la compresión de 9.97; 8.45; y 4.26 Kg/cm<sup>2</sup>; que en porcentaje corresponden a 43.96%; 21.38% y 18.78% respectivamente (Ilustración N.º 45, N.º 46 y N.º 47), con respecto al del mortero base. El valor total corresponde al promedio de 4 probetas ensayadas por cada una de las mezclas, observándose una disminución importante conforme aumenta la cantidad de PET en el mortero (Ver Ilustración N.º 48).

El valor de la resistencia a la tracción es aproximadamente de 8% a 12% de su resistencia a la compresión (Méndez, 2012). Con base a este estudio se comparó los valores obtenidos y se concluyó que los mismos están dentro del rango permitido (Ver Tabla N° 36).

**TABLA N° 35 : DIFERENCIA PORCENTUAL DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN A LOS 31 DÍAS-VARIAS MUESTRAS**

TIPO DE MORTERO	ESFUERZO PROMEDIO (kg/cm <sup>2</sup> )	DIFERENCIA PORCENTUAL CON RESPECTO AL PATRÓN
PATRÓN	22,68	0,00%
5% - PET	9,97	43,96
10% - PET	8,45	37,26
20% - PET	4,26	18,78

Elaboración: Autor

**TABLA N° 36 : COMPARACION DE RESULTADOS SEGÚN ESTUDIO SIMILAR**

TIPO DE MORTERO	ESFUERZO PROMEDIO (kg/cm <sup>2</sup> )	VALORES EN BASE A RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
PATRÓN	22,68	8,33 - 12,49
5% - PET	9,97	7,75 - 11,63
10% - PET	8,45	4,75 - 7,13
20% - PET	4,26	4,50 - 6,76

Elaboración: Autor

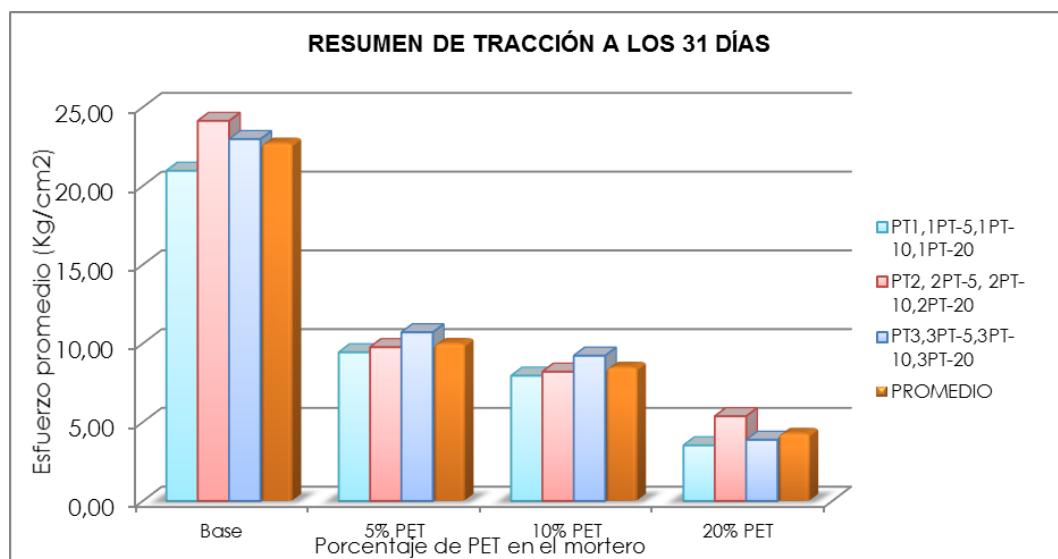


Ilustración N. ° 45: Gráfica de ensayo a la tracción de varias probetas con diferentes porcentajes de PET, agrupadas por cantidad de muestras. Elaboración: autor

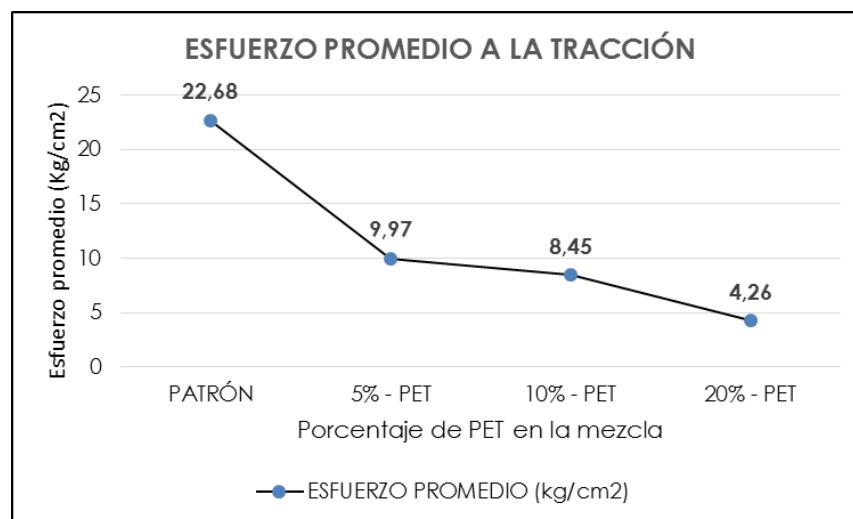


Ilustración N. ° 46: Gráfica de resultados promedio de morteros a la tracción. Elaboración: autor

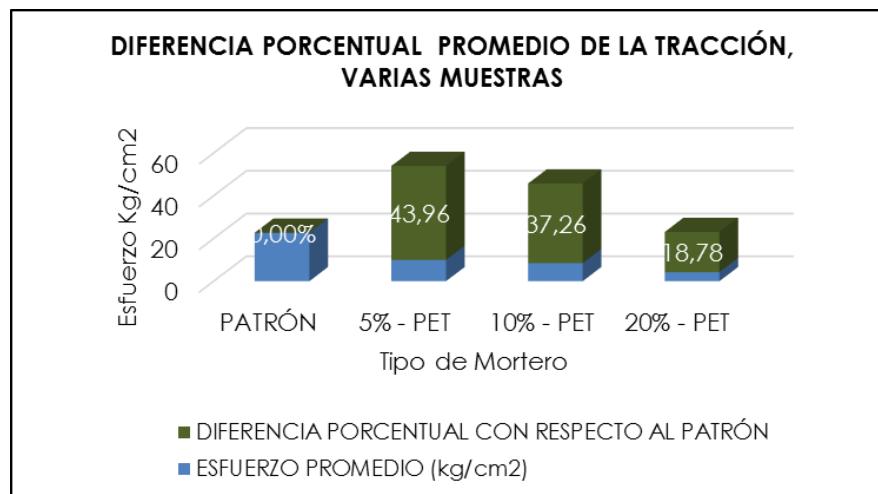


Ilustración N. ° 47: Diferencia porcentual de Resistencia a la Tracción. Elaboración: autor

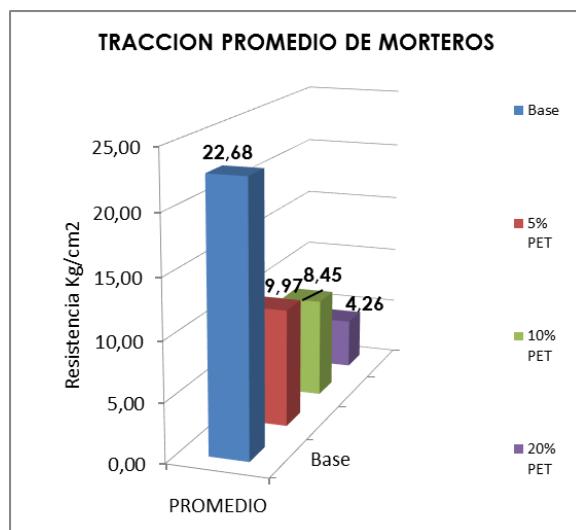


Ilustración n° 48: Esfuerzo promedio de tracción con respecto a cantidad de PET



Ilustración n° 49: 12 Especímenes de ladrillo para ensayo de adherencia



Ilustración N° 50: Especímenes pegados con mortero patrón en forma de cruz. Fuente: autor

### 3.4.1.4. RESISTENCIA A LA ADHERENCIA

Se ha elaborado tres muestras de cada mezcla de mortero; para romperlos en 28 días inicialmente, pero, por falta de disponibilidad de los equipos se realizó a los 42 días. En total se han producido 12 especímenes (Ilustración N.º 49 y N.º 50) para ser probados en una prensa hidráulica.

El procedimiento para ensayarlos fue el que estipula la Norma Técnica de Guatemala; se elaboraron modelos con dos ladrillos en forma de cruz, pegados entre sí por mortero patrón, luego se producen especímenes de las mismas características con 5%, 10% y 20% de PET en remplazo de la arena como mezcla de pega. Todos ellos probados en el mismo tiempo (42 días). Los ensayos realizados se muestran en las Ilustraciones N.º 51 y 52.

**Análisis de resultados:** Los resultados de este experimento se muestran en la Tabla N.º 37, en las cuales se evidencia que existe una diversificación de resultados (Ilustración N.º 53 y 54). La comparación se la enfrenta entre el mortero patrón que solo contiene cemento y arena con los que contienen PET en su mezcla. Para este caso la mejor adherencia es la que se manifiesta para la mezcla con 20% de PET, superando en un 2.5% a la muestra base; la adherencia de ladrillos que se pegan con un mortero que tiene el 5% de PET decrece en un 8.75%; y para el que tiene 10% de PET en su mezcla también baja en un 40%. Cada resultado corresponde a un promedio de tres probetas; para el caso del mortero base y con 20 % de PET a dos ensayos, ya que, el tercero está fuera del promedio aceptable.

En la Tabla N.º 38, se resume la diferencia porcentual con respecto al mortero patrón y que el texto de la norma describe como sigue. “En algunas investigaciones usando este método en los EEUU se han reportado coeficientes de variación entre 15 y 35%” (Comisión

Guatemalteca de Normas (COGUANOR), 2014).

Evidentemente que el valor de adherencia para la mezcla con 10% de PET estaría fuera de lo eventualmente permitido; alcanza un valor de 40% menor a la muestra base. Los demás ensayos están dentro de lo aceptable, es decir, entre 15 y 35%.

Por otro lado, la norma chilena (Nch 2471) sugiere un valor para adherencia de morteros de albañilería de 2.00 Kg/cm<sup>2</sup>, con ensayo de tracción directa. Este dato no diferencia el tipo de mezcla y tampoco la calidad de la unidad para mampostería. Si se comparan con los valores obtenidos ninguno cumpliría, se pueden tomar como referencia porque el ensayo no es igual al implementado por la norma guatemalteca.



Ilustración N° 51: Ensayo de adherencia. Fuente: autor



Ilustración N° 52: Desprendimiento de ladrillos en ensayo de adherencia. Fuente: autor

**TABLA N° 37: DIFERENCIA PORCENTUAL DE RESISTENCIA A LA ADHERENCIA A LOS 42 DÍAS-VARIAS MUESTRAS**

TIPO DE MORTERO	ESFUERZO PROMEDIO (kg/cm <sup>2</sup> )	DIFERENCIA PORCENTUAL CON RESPECTO AL PATRÓN
PATRÓN	1,60	100,00%
5% - PET	1,46	91,25
10% - PET	0,96	60,00
20% - PET	1,64	102,50

Elaboración: Autor

**TABLA N° 38: DIFERENCIA PORCENTUAL DE RESISTENCIA A LA ADHERENCIA ENTRE MEZCLAS**

TIPO DE MORTERO	ESFUERZO PROMEDIO (kg/cm <sup>2</sup> )	DIFERENCIA PORCENTUAL CON RESPECTO AL PATRÓN
PATRÓN	1,60	0,00%
5% - PET	1,46	-8,75
10% - PET	0,96	-40,00
20% - PET	1,64	2,50

Elaboración: Autor

**Adherencia en ladrillos (Promedios)**

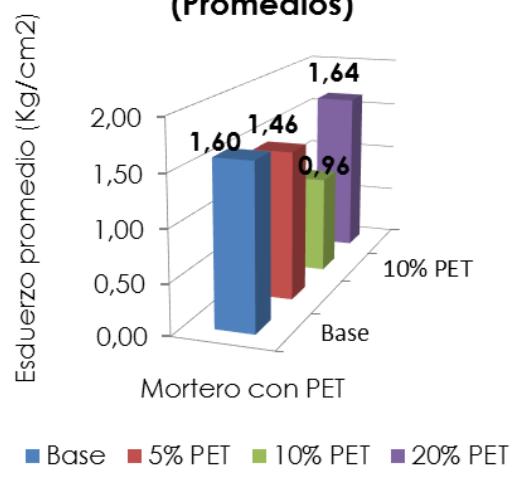


Ilustración N. ° 53: Resumen de los promedios de adherencia. Elaboración: autor

En el país no se tiene una norma que determine el valor mínimo para este tipo de ensayo. Al respecto, se tomó como válidos los valores relativamente cercanos a 2.00 Kg/cm<sup>2</sup> que sugiere la norma chilena por tracción directa (Extracción de núcleo), por lo que, se descarta el mortero con 10% de PET, está muy distante de lo normado. Ver Tabla N.º 39.

La NTE INEN 2518, describe que la adherencia es la propiedad física individual más importante de un mortero, también advierte que es la más variable e impredecible; dependen de múltiples factores para su homogeneización; entonces, se pueden entender como factibles los valores alcanzados y que se muestran en la Ilustración N.º 54.

## RESUMEN DE RESULTADOS

**TABLA N° 39: RESUMEN DE RESULTADOS DE ADHERENCIA EN MORTEROS**

Mezclas	Adherencia a los 42 Días				Tabla Comparativa (Kgf/cm <sup>2</sup> )	
	Resistencias					
	Base Kgf/cm <sup>2</sup>	5% PET Kgf/cm <sup>2</sup>	10% PET Kgf/cm <sup>2</sup>	20% PET Kgf/cm <sup>2</sup>		
AD1; AD5-1; A10-1; AD20-1	1,46	1,33	1,03	1,70		
AD2; AD5-2; AD10-2; AD20-2	1,74	1,45	0,96	1,58		
AD3; AD5-3; AD10-3; AD20-3	0,62	1,62	0,91	0,04		
<b>PROMEDIO</b>	<b>1,60</b>	<b>1,46</b>	<b>0,96</b>	<b>1,64</b>		

Nota: \* Valor corresponde al promedio de dos especímenes

\*

\*

Elaboración: autor

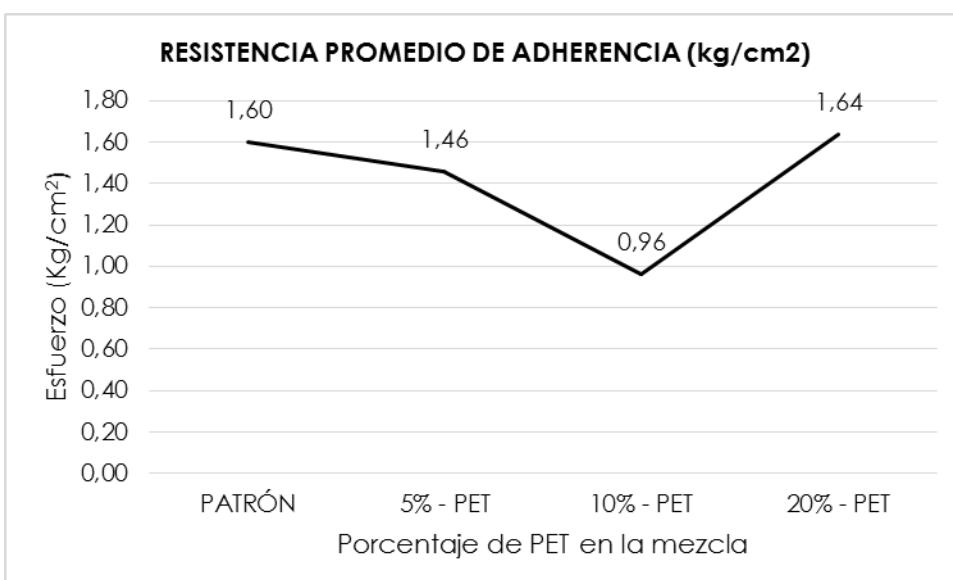


Ilustración N° 54: Resistencia promedio de adherencia del mortero, varias muestras.  
Elaboración: autor

### 3.4.1.5. ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD

Se ha llevado a cabo el ensayo de absorción capilar de 6 especímenes por cada una de las mezclas, con un total de 24 probetas (Ilustración Nº 51 a Nº 52). El estudio realizado por Natalia Alderete, Yuri Villagrán y Ángel Di Maio, *Determinación de la velocidad de succión Capilar del Hormigón a partir de diferentes números de especímenes*, en una de sus conclusiones señala que a partir de 5 probetas resulta una práctica balanceada entre la maximización de probabilidad de obtener un resultado preciso y el pragmatismo del ensayo. Para la elaboración de estas, se siguió el procedimiento establecido en el numeral 3.3.2.2, y para el desarrollo de la experimentación en la norma NTG 41017 h23.

El primer paso antes del ensayo es la elaboración de los especímenes como se ve en las ilustraciones Nº 55 y 56



Ilustración Nº 55: Preparación de mortero en batidora eléctrica



Ilustración Nº 56: Colocación y compactación de mezcla en molde

Una vez curados 28 días, las muestras como es lógico estuvieron húmedas, por tal razón no fue necesario saturarlas nuevamente por tres días; se procedió a medir y pesar las probetas con un margen de error de 0.01 g. (Ilustración Nº 57), para luego colocarlos en horno a una temperatura de  $50^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  por un lapso de tres días, posterior a ello se los pesó nuevamente.



Ilustración Nº 57: Pesaje de probeta antes de empezar ensayo

Concluye la preparación habituando los especímenes a las condiciones del laboratorio en un recipiente con buena ventilación y evitando que toquen las paredes del contenedor; esta ambientación se llevó a cabo por un tiempo entre 10 a 15 días, para el estudio se consideró 12 días (3 al 15 de mayo de 2017). Previo al experimento, se procedió a impermeabilizar para este caso de color blanco las caras laterales de la muestra, se deja secar y se pesa las probetas antes de empezar la prueba propiamente dicha (Ilustración Nº 58 a Nº 60). Los intervalos de tiempo para tomar los pesos de cada probeta son los referidos a la Tabla Nº 8.

La cara inferior sin impermeabilizar de la probeta se debe asentar en un apoyo muy delgado, con la finalidad de que no toque el fondo de la bandeja y sumergirla en agua hasta unos 3 mm sobre la misma, cuidando periódicamente que esta altura se mantenga. Es importante destacar que para cada peso de la muestra fue necesario secar con un paño antes de colocarla en la balanza, anotar el dato

expresado en gramos y volver la probeta a la bandeja con agua inmediatamente; este procedimiento se repite sucesivamente con todos los especímenes y durante el tiempo que estipula la norma correspondiente. Para el cálculo de valores se aplicó la siguiente fórmula:

$$I = \frac{m_i}{a \cdot d}$$

I= Absorción en mm

Mi= Diferencia de pesos en gr

A= área transversal de la probeta en mm<sup>2</sup>

d= densidad del agua 0.001

Los resultados obtenidos de la diferencia de peso que fueron captando cada una de las muestras de acuerdo a los tiempos que establece la norma se visualizan en las Tablas de la N.º 40 la N.º 43. El trabajo experimental tiene dos etapas para el registro de datos; el primero hasta las primeras 6 horas (absorción inicial) y luego de aquello los subsiguientes 7 días (Absorción secundaria) o hasta que la muestra se estabilice o se sature de agua completamente el espécimen (Ver Ilustración N.º 58), esto se produce cuando se observa que aparece una mancha oscura en la parte superior del cubo con respecto a la cara que está en contacto con el agua de la bandeja.

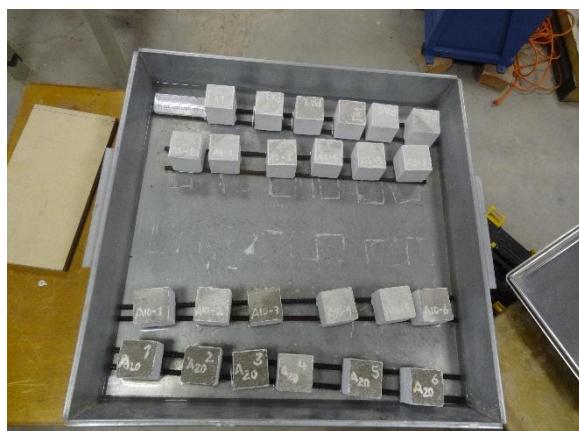


Ilustración n° 58: Saturación de probetas con 20% de PET



Ilustración N.º 59: Proceso de fraguado de probetas



Ilustración N.º 60: Ambientación de las probetas



Ilustración N.º 61: Preparación y ambientación de las probetas para ensayo de absorción



Ilustración N.º 62: Ensayo de absorción de acuerdo a tiempo de la norma y pesaje de probeta.

**TABLA N° 40: PESOS DE CADA PROBETA POR ABSORCIÓN -MORTERO PATRÓN**

Porcentaje de PEI en el mortero	Tiempo de ensayo			Masa (gramos)						Peso promedio	Diferencia de masa (mm)	Absorción (l) masa/Área/densidad del agua = 1	Promedio Área (mm <sup>2</sup> )			
	Días	segundos	√ tiempo (s <sup>1/2</sup> )	PA1 PA2 PA3 PA4 PA5 PA6												
				Código del espécimen	PA1	PA2	PA3	PA4	PA5	PA6						
1	0	0	243,90	243,40	244,10	247,40	252,20	246,20	246,20	0,00	<b>0,0000</b>					
1 minuto	60	8	247,80	247,30	248,60	250,10	255,30	249,30	249,73	3,53	<b>1,3665</b>					
5 minutos	300	17	249,00	248,40	252,00	253,60	259,50	250,50	252,17	5,97	<b>2,3075</b>					
10 minutos	600	24	250,60	250,00	253,10	255,40	260,60	251,60	253,55	7,35	<b>2,8425</b>					
20 minutos	1200	35	251,90	251,60	254,60	256,80	261,80	252,80	254,92	8,72	<b>3,3711</b>					
30 minutos	1800	42	253,50	252,90	256,00	258,60	262,70	253,80	256,25	10,05	<b>3,8867</b>					
60 minutos	3600	60	256,50	254,60	258,20	260,00	264,50	255,90	258,28	12,08	<b>4,6731</b>					
2 horas	7200	85	258,90	256,80	262,40	263,50	267,10	258,30	261,17	14,97	<b>5,7882</b>					
3 horas	10800	104	260,80	259,30	265,30	266,50	269,40	260,90	263,70	17,50	<b>6,7679</b>					
4 horas	14400	120	263,80	262,60	267,80	269,00	272,10	262,70	266,33	20,13	<b>7,7864</b>					
5 horas	18000	134	265,40	265,00	270,30	271,20	274,80	264,60	268,55	22,35	<b>8,6436</b>					
6 horas	21600	147	268,50	267,40	273,50	273,30	276,20	266,20	270,85	24,65	<b>9,5331</b>					
1	92220	304	272,60	270,90	276,00	277,90	280,50	275,00	275,32	29,12	<b>11,2606</b>					
2	193200	440	272,60	271,40	276,90	277,00	280,70	275,20	275,63	29,43	<b>11,3830</b>					
3	268500	518	272,90	271,50	277,20	277,40	280,20	275,60	275,80	29,60	<b>11,4475</b>					
5	432000	657	273,27	271,58	277,31	277,59	280,26	275,73	275,96	29,76	<b>11,5081</b>					
6	527580	726	273,35	271,66	277,29	277,54	280,31	275,75	275,98	29,78	<b>11,5184</b>					
7	622200	789	273,26	271,56	277,22	277,46	280,24	275,73	275,91	29,71	<b>11,4907</b>					
8	691200	831	273,42	271,77	277,39	277,61	280,39	275,82	276,07	29,87	<b>11,5506</b>					

Elaboración: autor

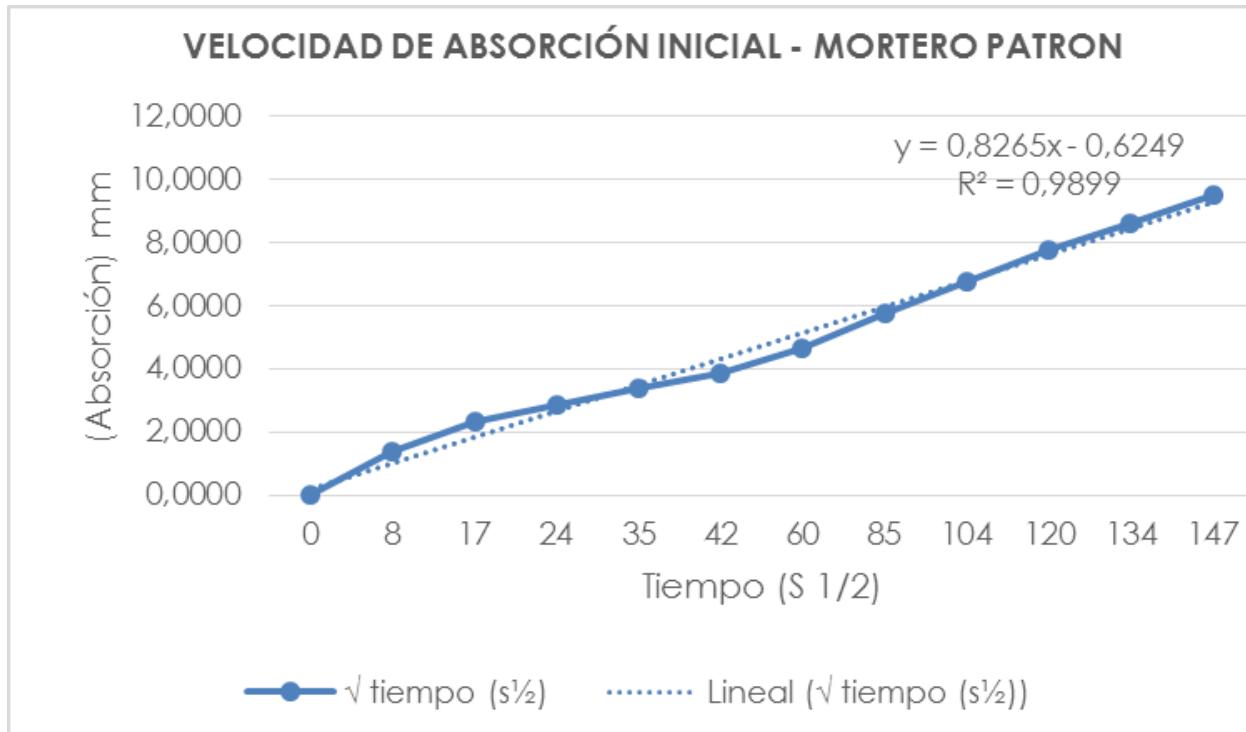


Ilustración N.º 63: Gráfica de la velocidad de absorción inicial – Mortero patrón. Elaboración: autor

Si es posible medir la velocidad de absorción, tomando en cuenta que, el valor de correlación es superior al 98% (Ver Ilustración N.º 63). Esto significa que los datos han sido bien tomados, consecuentemente el experimento tiene validez por haberse ajustado a la normativa. El valor se puede ver en la Tabla N.º 40.

TABLA N° 41: PESOS DE CADA PROBETA POR ABSORCIÓN -MORTERO CON 5% DE PET

Porcentaje de PET en el mortero	Tiempo de ensayo			Masa (gramos)					Peso promedio	Diferencia de masa	Absorción (l) masa/Área/densidad del agua = 1	Promedio	
	Días	segundos	√ tiempo (s <sup>1/2</sup> )	Código del espécimen	A5-1	A5-2	A5-3	A5-4	A5-5	A5-6	(g)	(g)	
1 minuto	0	0	0	231,80	231,80	234,30	232,10	231,50	227,50	231,50	0,00	0,0000	
5 minutos	60	8	232,40	232,60	236,40	234,30	234,00	229,10	233,13	1,63	0,6280		
10 minutos	300	17	233,10	233,50	239,20	236,30	236,00	230,40	234,75	3,25	1,2495		
20 minutos	600	24	233,90	234,10	242,80	238,30	237,70	231,80	236,43	4,93	1,8967		
30 minutos	1200	35	234,70	235,00	244,90	240,40	238,80	233,60	237,90	6,40	2,4606		
60 minutos	1800	42	235,70	236,20	246,60	242,50	240,10	235,10	239,37	7,87	3,0245		
2 horas	3600	60	236,60	237,00	249,10	244,60	242,80	238,20	241,38	9,88	3,7998		
3 horas	7200	85	237,90	238,20	252,70	246,50	244,30	243,70	243,88	12,38	4,7610		
4 horas	10800	104	238,80	239,00	256,30	248,20	246,30	248,60	246,20	14,70	5,6517		
5 horas	14400	120	239,50	239,70	260,90	251,10	248,40	252,50	248,68	17,18	6,6064		
6 horas	18000	134	240,40	240,10	263,90	253,10	250,30	256,00	250,63	19,13	7,3561		
1	21600	147	241,20	241,20	266,10	255,70	253,90	259,00	252,85	21,35	8,2084		
2	92220	304	243,20	242,40	268,50	256,40	255,00	261,80	254,55	23,05	8,8620		
3	193200	440	243,80	242,40	268,50	257,50	255,90	261,80	254,98	23,48	9,0286		
4	268500	518	244,60	242,70	268,70	257,90	256,20	262,10	255,37	23,87	9,1760		
5	432000	657	245,20	243,14	269,06	258,22	256,82	262,51	255,83	24,33	9,3522		
6	527580	726	245,20	243,19	269,02	258,28	256,85	262,57	255,85	24,35	9,3624		
7	622200	789	245,30	243,12	268,94	258,30	256,89	262,53	255,85	24,35	9,3605		
8	691200	831	245,30	243,15	269,16	258,38	256,93	262,71	255,94	24,44	9,3957		

Elaboración: autor

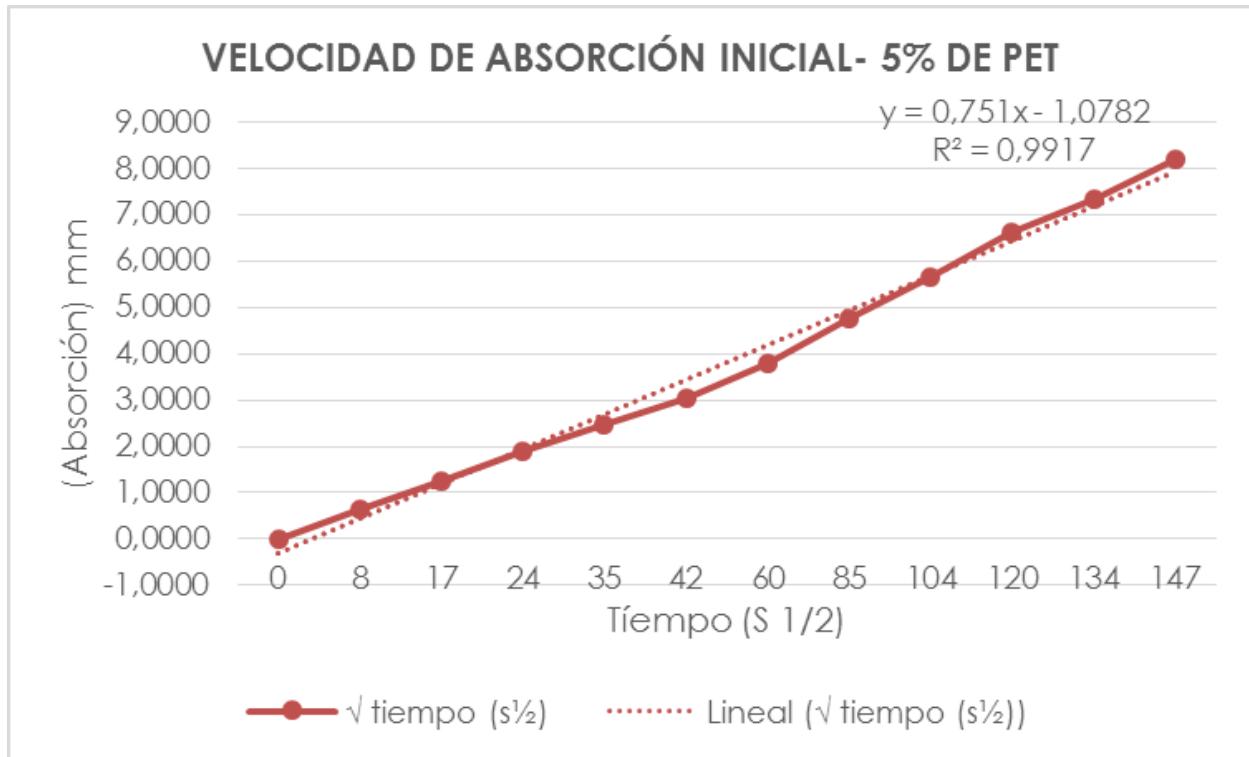


Ilustración N° 64: Gráfica de la velocidad de absorción inicial- Mortero 5% de PET. Elaboración: autor

Si es posible medir la velocidad de absorción; el valor de correlación es superior al 99% (Ver Ilustración N° 64). Esto significa que los valores han sido bien tomados, a saber que, el experimento tiene validez por haberse ajustado a la normativa. El valor se puede ver en la Tabla N° 41.

TABLA N°42: PESOS DE CADA PROBETA POR ABSORCIÓN -MORTERO CON 10% DE PET

Porcentaje de PET en el mortero	Tiempo de ensayo			Masa (gramos)					Peso promedio	Diferencia de masa	Absorción (l) masa/Área/densidad del agua = 1 (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )
	Días	segundos	√ tiempo (s <sup>1/2</sup> )	A10-1	A10-2	A10-3	A10-4	A10-5				
	0	0	202,30	204,50	202,20	202,50	201,60	204,70	202,97	0,00	0,0000	
1 minuto	60	8	207,70	209,50	206,30	205,60	205,70	210,20	207,50	4,53	1,7463	
5 minutos	300	17	211,20	212,70	210,10	208,80	208,60	213,70	210,85	7,88	3,0368	
10 minutos	600	24	214,50	215,80	213,70	211,70	211,50	217,00	214,03	11,07	4,2631	
20 minutos	1200	35	218,80	219,90	218,60	215,50	215,30	221,30	218,23	15,27	5,8811	
30 minutos	1800	42	222,40	223,30	222,70	218,70	218,50	226,80	222,07	19,10	7,3578	
60 minutos	3600	60	228,60	230,30	230,30	224,90	224,90	231,10	228,35	25,38	9,7782	
2 horas	7200	85	236,50	237,90	234,70	234,80	230,90	234,30	234,85	31,88	12,2822	
3 horas	10800	104	240,50	241,30	237,10	238,40	238,30	238,60	239,03	36,07	13,8937	
4 horas	14400	120	240,40	241,20	237,00	238,40	239,50	240,70	239,53	36,57	14,0863	
5 horas	18000	134	240,50	241,30	237,00	238,50	239,70	240,80	239,63	36,67	14,1248	
6 horas	21600	147	240,50	241,40	237,20	238,60	239,80	240,90	239,73	36,77	14,1634	
1	92220	304	240,80	241,70	237,40	238,90	240,00	241,10	239,98	37,02	14,2597	
2	193200	440	240,80	241,80	237,50	239,20	240,10	241,30	240,12	37,15	14,3110	
3	268500	518	241,30	242,10	237,90	239,30	240,40	241,70	240,45	37,48	14,4394	
5	432000	657	241,67	242,58	238,34	239,65	240,76	242,06	240,84	37,88	14,5910	
6	527580	726	241,77	242,67	238,41	239,75	240,87	242,08	240,93	37,96	14,6224	
7	622200	789	241,61	242,57	238,33	239,81	240,99	242,06	240,90	37,93	14,6109	
8	691200	831	241,87	242,76	238,46	239,87	240,97	242,18	241,02	38,05	14,6584	

Elaboración: autor

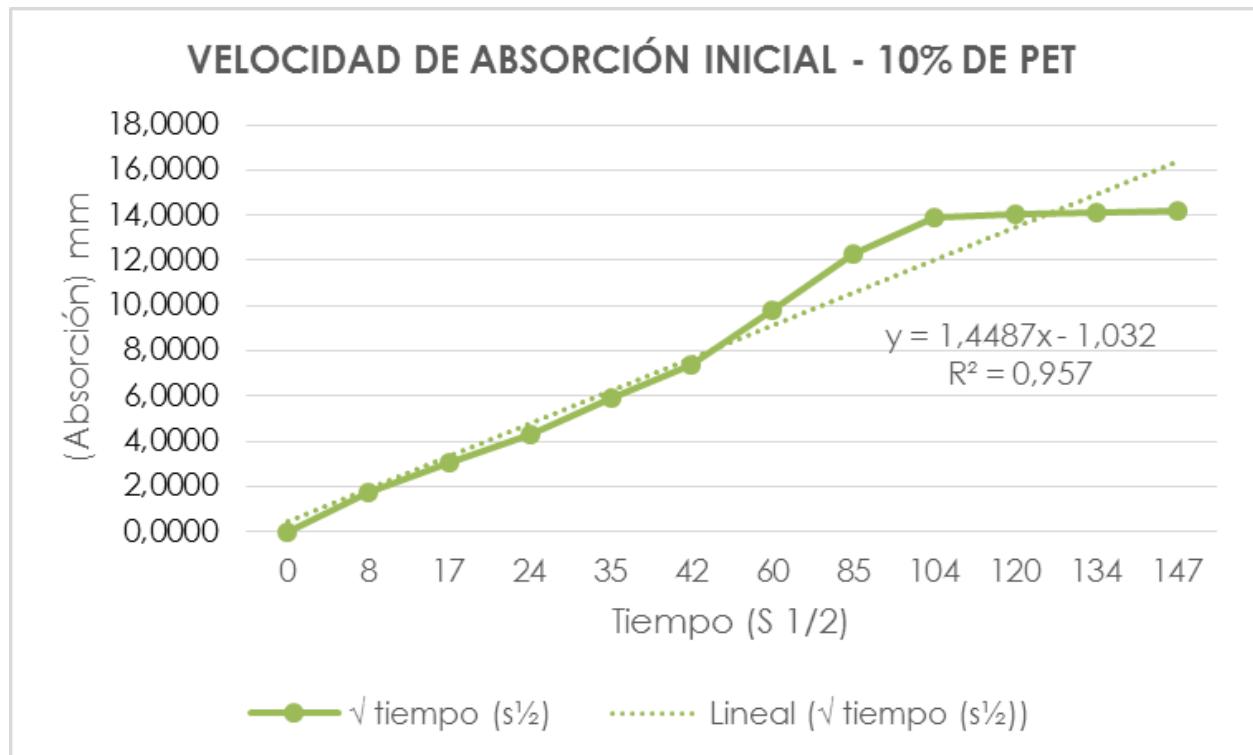


Ilustración N° 65: Gráfica de la velocidad de absorción inicial- Mortero con 10% de PET. Elaboración: autor

TABLA N°43: PESOS DE CADA PROBETA POR ABSORCIÓN -MORTERO CON 20% DE PET

Porcentaje de PET en el mortero	Tiempo de ensayo			Masa (gramos)					Peso promedio	Diferencia de masa	Absorción (l) mas/Área/densidad del agua = 1 (mm)	Promedio				
	Días	segundos	√ tiempo (s <sup>1/2</sup> )	Código del espécimen												
				A20-1	A20-2	A20-3	A20-4	A20-5								
1 minuto	0	0	0	185,10	175,30	179,40	183,50	184,20	184,60	182,85	0,00	0,0000				
5 minutos	60	8	194,50	186,80	188,70	193,80	191,80	192,30	191,32	8,47	3,1863					
10 minutos	300	17	198,40	192,60	193,30	197,10	195,50	196,40	195,55	12,70	4,7795					
20 minutos	600	24	201,20	196,20	197,10	199,50	198,20	199,70	198,65	15,80	5,9461					
30 minutos	1200	35	204,40	200,00	201,40	202,30	201,00	203,30	202,07	19,22	7,2319					
60 minutos	1800	42	206,80	202,40	204,50	204,40	203,20	206,10	204,57	21,72	8,1728					
2 horas	3600	60	210,60	204,60	208,00	208,00	206,90	210,60	208,12	25,27	9,5088					
3 horas	7200	85	213,10	205,40	209,10	212,90	211,10	213,30	210,82	27,97	10,5249					
4 horas	10800	104	213,70	205,70	209,50	215,90	212,20	213,80	211,80	28,95	10,8949					
5 horas	14400	120	214,00	205,90	209,80	216,60	212,50	214,00	212,13	29,28	11,0204					
6 horas	18000	134	214,00	205,90	209,80	216,80	212,60	214,10	212,20	29,35	11,0455					
7 horas	21600	147	214,10	206,10	209,90	217,00	212,70	214,10	212,32	29,47	11,0894					
8 horas	25200	161	214,60	206,60	210,50	217,50	213,20	214,60	212,83	29,98	11,2838					
9 horas	28800	176	214,80	206,40	210,40	217,50	213,40	214,80	212,88	30,03	11,3026					
10 horas	32400	190	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
11 horas	36000	204	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
12 horas	39600	218	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
13 horas	43200	232	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
14 horas	46800	246	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
15 horas	50400	260	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
16 horas	54000	274	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
17 horas	57600	288	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
18 horas	61200	302	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
19 horas	64800	316	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
20 horas	68400	330	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
21 horas	72000	344	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
22 horas	75600	358	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
23 horas	79200	372	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
24 horas	82800	386	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
25 horas	86400	400	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
26 horas	90000	414	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
27 horas	93600	428	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
28 horas	97200	442	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
29 horas	100800	456	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
30 horas	104400	470	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
31 horas	108000	484	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
32 horas	111600	498	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
33 horas	115200	512	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
34 horas	118800	526	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
35 horas	122400	540	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
36 horas	126000	554	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
37 horas	129600	568	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
38 horas	133200	582	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
39 horas	136800	596	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
40 horas	140400	610	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
41 horas	144000	624	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
42 horas	147600	638	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
43 horas	151200	652	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
44 horas	154800	666	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
45 horas	158400	680	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
46 horas	162000	694	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
47 horas	165600	708	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
48 horas	169200	722	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
49 horas	172800	736	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
50 horas	176400	750	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
51 horas	180000	764	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
52 horas	183600	778	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
53 horas	187200	792	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
54 horas	190800	806	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
55 horas	194400	820	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
56 horas	198000	834	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					

Elaboración: autor

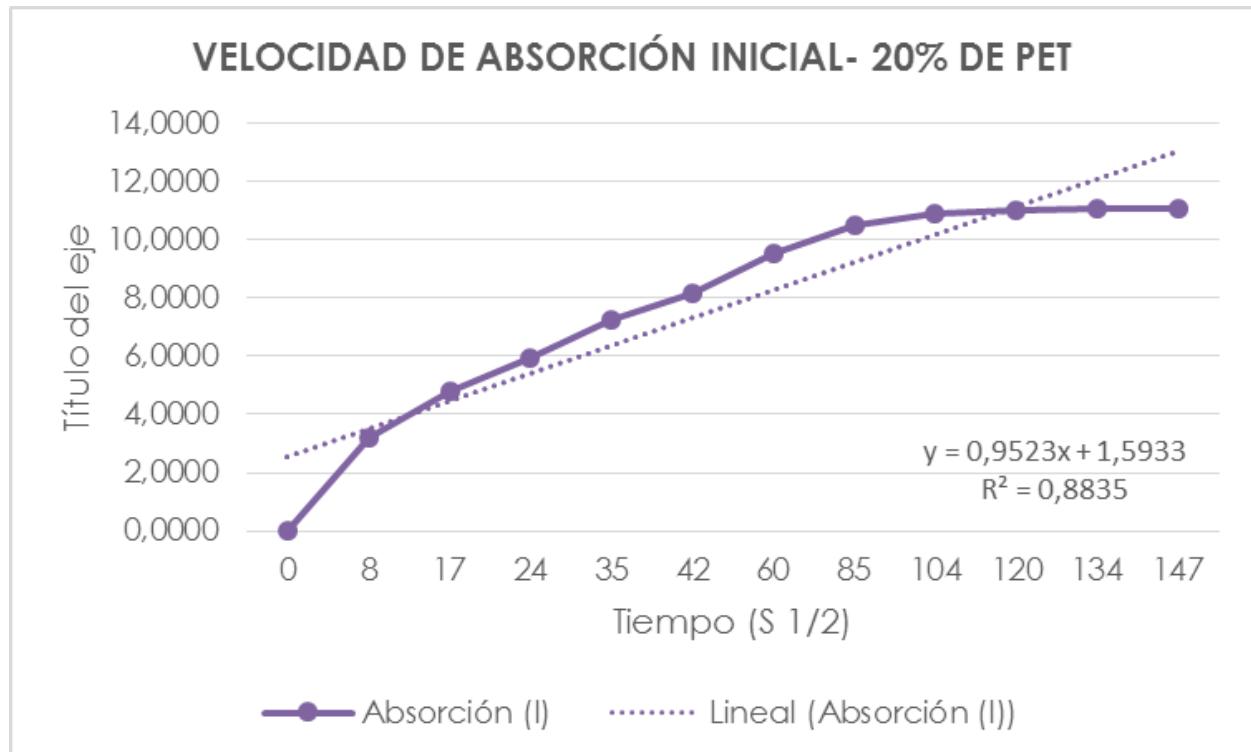


Ilustración N° 66: Gráfica de velocidad de absorción inicial con 20% de PET. Elaboración: autor

TABLA N° 44: RESUMEN DE ABSORCIÓN PROMEDIO PARA VARIOS PORCENTAJES DE PET

Días	segundos	√ tiempo (s <sup>1/2</sup> )	Absorción (l)			
			masa/Área/densidad del agua = 1			
			Mortero patrón	Mortero - 5% PET	Mortero - 10% PET	Mortero - 20% PET
	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1 minuto	60	8	1,3665	0,6280	1,7463	3,1863
5 minutos	300	17	2,3075	1,2495	3,0368	4,7795
10 minutos	600	24	2,8425	1,8967	4,2631	5,9461
20 minutos	1200	35	3,3711	2,4606	5,8811	7,2319
30 minutos	1800	42	3,8867	3,0245	7,3578	8,1728
60 minutos	3600	60	4,6731	3,7998	9,7782	9,5088
2 horas	7200	85	5,7882	4,7610	12,2822	10,5249
3 horas	10800	104	6,7679	5,6517	13,8937	10,8949
4 horas	14400	120	7,7864	6,6064	14,0863	11,0204
5 horas	18000	134	8,6436	7,3561	14,1248	11,0455
6 horas	21600	147	9,5331	8,2084	14,1634	11,0894
1,0000	92220	304	11,2606	8,8620	14,2597	11,2838
2,0000	193200	440	11,3830	9,0286	14,3110	11,3026
3,0000	268500	518	11,4475	9,1760	14,4394	11,4155
5,0000	432000	657	11,5081	9,3522	14,5910	11,5541
6,0000	527580	726	11,5184	9,3624	14,6224	11,5911
7,0000	622200	789	11,4907	9,3605	14,6109	11,3133
8,0000	691200	831	11,5506	9,3957	14,6584	11,5008

Elaboración: autor

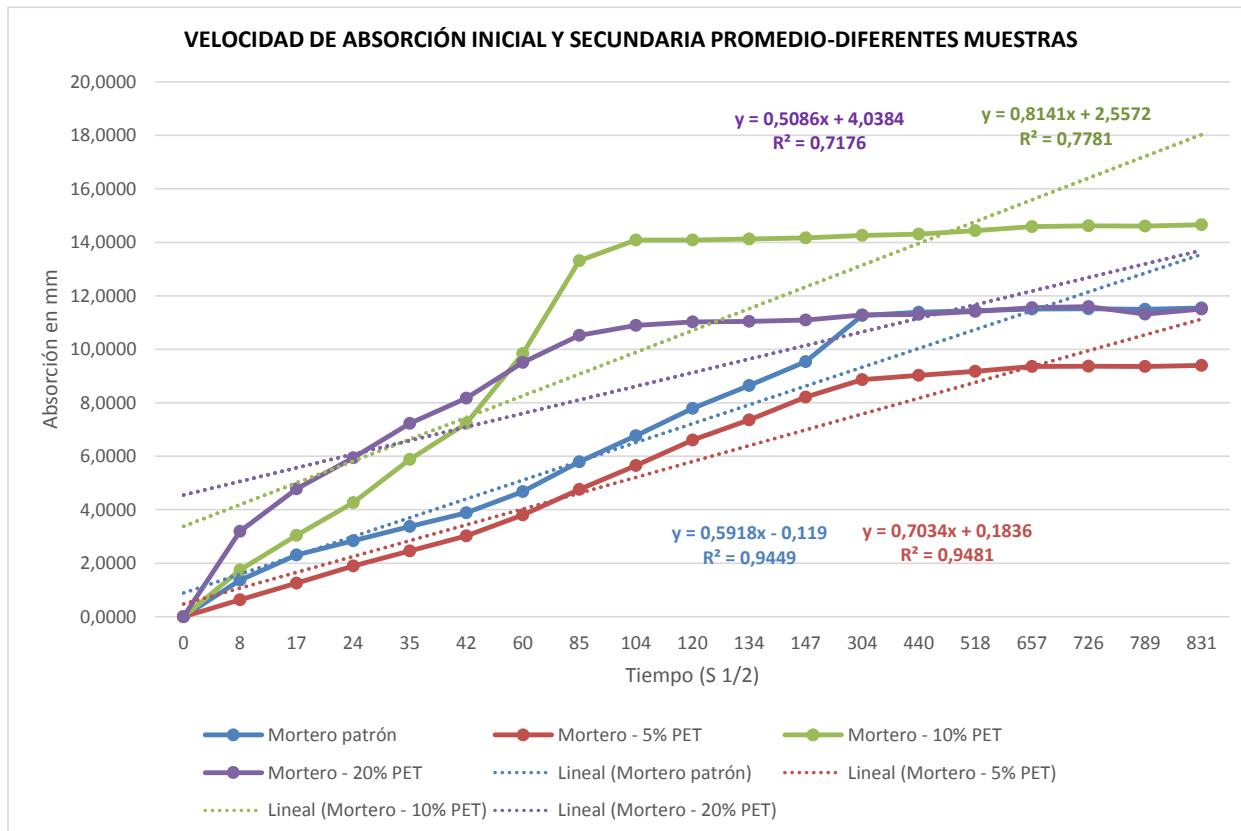


Ilustración N° 67: Gráfica de velocidad inicial y secundaria de absorción, varias mezclas. Elaboración: autor

La Tabla N.º 44, resume los valores del peso promedio de 6 probetas que se ensayaron para cada una de las mezclas, es decir, el mortero patrón, y los que contienen porcentaje de PET (5%, 10%, 20%) en remplazo de la arena.

**Análisis de resultados:** La mezcla que contiene 5% de PET es la que menos agua absorbe y también la que menor velocidad inicial tiene (8.21mm), evidenciándose en la baja pendiente de la curva. La gráfica de mayor inclinación, da a entender que es la que más rápidamente absorbe humedad y corresponde a la mezcla con 10% de PET.

La ilustración N° 67, gráfica el comportamiento de hidratación de los diferentes morteros.

No existe normativa que regule la velocidad inicial y secundaria de absorción para morteros, pero, si se tiene referencia del hormigón de alta resistencia (350kg/cm<sup>2</sup>) en la investigación de Howland donde establece como límite de 5x10<sup>-2</sup> mm/S<sup>1/2</sup> para velocidad de absorción. Para el caso del mortero con 5% de PET estaría cerca de este valor, pues, llega a 5.58 x 10<sup>-2</sup> (Ver Tabla N.º 45).

El mortero con mejores características impermeables es el que contiene el 5% de PET en remplazo de la arena, alcanzó una mejora en 13.90% con respecto a la muestra patrón; y el que mayor permeabilidad tiene siempre con respecto al mortero base es la que contiene 10% de PET, con un 48.57% de más absorción (Ver Tabla N.º 46).

**TABLA N° 45: VELOCIDAD INICIAL DE ABSORCIÓN DE DIFERENTES MORTEROS**

MEZCLA	ABSORCIÓN EN EL PUNTO CRÍTICO (mm)	TIEMPO DEL PUNTO CRÍTICO (s)	VELOCIDAD DE ABSORCIÓN (mm/ S <sup>1/2</sup> )
Mortero patrón	9,53	147,00	6,4851E-02
Mortero - 5% PET	8,21	147,00	5,5839E-02
Mortero - 10% PET	14,16	147,00	9,6350E-02
Mortero - 20% PET	11,09	147,00	7,5438E-02

Elaboración: autor

**TABLA N° 46: DIFERENCIA PORCENTUAL DE ABSORCIÓN**

ABSORCIÓN (mm)					
Tiempo (Seg.)	√ tiempo (s <sup>1/2</sup> )	Mortero patrón	Mortero - 5% PET	Mortero - 10% PET	Mortero - 20% PET
21600	147	9,5331	8,2084	14,1634	11,0894
Diferencia Porcentual		100,00%	86,10%	148,57%	116,32%

Elaboración: autor

# CAPÍTULO 4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 4.1. CONCLUSIONES

4.1.1. Luego de concluir el estudio se puede colegir que es válida la alternativa de buscar el uso de polímeros como adiciones a morteros en reemplazo de parte del componente natural «arena». Esta búsqueda contribuye a bajar la carga de contaminación por botellas de PET que se dan en áreas urbanas.

4.1.2. Debido a la baja densidad del PET los enlucidos son más livianos, es decir, que la estructura de la edificación se ve aliviada, consecuentemente las secciones de los componentes estructurales que conforman el hormigón serán de menor tamaño; aportando a bajar el costo de construcción, así también, menor explotación en ríos y canteras.

4.1.3. El presente trabajo experimental demostró que mientras más PET se agregue a una mezcla menor será la resistencia a la compresión. El mortero que contiene 5% de PET alcanza un 93.12%, y el de 20% apenas representa el 54.15% con respecto al mortero patrón. Cabe señalar que la NTE exige una resistencia a la compresión de 53 Kg/cm<sup>2</sup> para morteros tipo N que es el que se ha escogido para el estudio. Adicionalmente se realizó ensayos de fluidez con 30% de PET pero los valores aparentes que llegaría la resistencia estuvieron fuera de norma, razón por la cual, no se desarrolló la experimentación con ese porcentaje. Concluyéndose entonces que las partículas de PET no servirían para elaborar morteros estructurales, pero si para revestimiento.

4.1.4. Con respecto a la resistencia a la flexión la norma costarricense estipula un valor mínimo de 33.00 Kg/cm<sup>2</sup> y todas las dosificaciones aumentaron el valor

con respecto al mortero patrón. Debido a que el PET tiene una resistencia a la flexión de 1274 Kgf/cm<sup>2</sup>. La mezcla con 5% de PET llegó a un 20.38% más; luego la que contiene 10% alcanzó un 18.44% más; y, finalmente el que tiene un 20% supera el 55%. Esto significa que tendría excelentes resultados para uso en revestimientos exteriores referenciados al cambio de tamaño del revestimiento por temperatura.

4.1.5. El comportamiento a esfuerzos de tracción no son nada alentadores, ya que, todos los morteros probados bajan considerablemente su resistencia; resumiendo los valores encontrados en los ensayos la mezcla con 5% de PET tiene un 43.96%; luego el de 10% llegó a 37.26% y el que tiene 20% un 18.78% siempre comparando con el mortero patrón.

4.1.6. De otro lado, en lo que atañe a la adherencia queda demostrado que los valores también disminuyen mientras más contenido de PET tiene la mezcla, sin embargo, el mortero con 5% de PET decrece en un 8.75% con respecto a la base, el valor extremo que es con 10% baja el 40% con respecto al referente.

4.1.7. La absorción de humedad experimentada demuestra que el mortero con adición de PET, si mejora la impermeabilidad, pues, con un contenido del 5% del polímero a la mezcla se llegó a mejorar esta propiedad. Se ratifica esta característica con la velocidad inicial de absorción de 0.05 mm/s<sup>1/2</sup>. Con los datos obtenidos se deduce que mientras mayor cantidad de adición en PET al mortero el elemento endurecido se vuelve más permeable.

4.1.8. Finalmente, analizados todos los valores obtenidos en la experimentación se puede concluir que el mortero con mejores características impermeables y físico-mecánicas es el que se adiciona 5% de PET a la mezcla en reemplazo de la arena; alcanza alrededor del 14% de mejoramiento en la absorción, objetivo principal de esta investigación; además, supera sustancialmente la resistencia

mínima a la flexión ( $33.00 \text{ Kg/cm}^2$ ) que establece la norma costarricense, en este estudio se llega a  $132.88 \text{ Kg/cm}^2$ ; también se determina que la resistencia a la compresión es aceptable ya que el valor obtenido es de  $96.92 \text{ Kg/cm}^2$ , muy distante al valor mínimo de  $53 \text{ Kg/cm}^2$  que estipula la NTE para morteros tipo N. También queda demostrado que la resistencia a la tracción es de  $9.97 \text{ Kg/cm}^2$ , valor que cumple con la norma por estar en un rango entre  $7.75$  a  $11.63 \text{ Kg/cm}^2$  (Méndez, 2012)

## 4.2. RECOMENDACIONES

La preparación y ensayos fueron realizados en laboratorio, aplicando el curado según la norma, por lo tanto, para alcanzar los resultados del estudio en obra se deberá curar el mortero por lo menos 7 días.

El diseño del mortero se hará con la arena a ser utilizada en la obra y se deberá someter a todos los ensayos practicados en este estudio. Las dosificaciones serán por peso y no por volumen.

Este trabajo permite abrir una amplia posibilidad de investigación en el uso de PET reciclado como adiciones en morteros. Se puede sugerir los siguientes:

4.2.1. Morteros para relleno en mamposterías estructurales

4.2.2. Bloques y tableros alivianados para mamposterías.

4.2.3. Morteros para pisos en áreas interiores y exteriores.

4.2.4. Análisis comparativo de costos con respecto a mamposterías tradicionales.

4.2.5. Pavimentos permeables para áreas exteriores.

4.2.6. Determinar los volúmenes de PET que puede salir del medio natural como aporte ambiental en el uso de adiciones en morteros.

4.2.7. Se recomienda complementar estos estudios con un análisis de costos a fin de comparar con otros impermeabilizantes que ya están en el mercado para ver su pertinencia económica y de ahí motivar el uso en la industria de la Construcción.

## ANEXOS

### ANEXO 1: ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE ARENA LAVADA

#### LABORATORIO DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA

Proyecto de tesis: Mortero Impermeable a base de plástico reciclado para revestimientos de edificaciones de la ciudad de Zamora

Autor: Arq. Luis Zaruma

Ensaya: Granulometría de la arena

Responsable: Arq. Edison Castillo

Fecha: 8 de marzo de 2017

Peso de la muestra	500
tiempo	5 min

**TABLA N° 9: ENSAYO DE GRANULOMETRÍA ARENA FINA LAVADA (Mf=1,46)**

Nro de Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Acumulado	% Pasa	norma 2536
4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00	100
8	2,36	0,91	0,18	0,18	99,82	95 a 100
16	1,18	6,26	1,25	1,43	98,57	70 a 100
30	0,60	40,92	8,18	9,61	90,39	40 a 75
50	0,30	169,15	33,81	43,42	56,58	10 a 35
100	0,15	240,63	48,09	91,51	8,49	2 a 15
200	0,08	37,07	7,41	98,92	1,08	0 a 5
<b>Base</b>	<	5,41	1,08	100,00		
<b>total</b>		500,35	100,00			

Elaboración de ensayo: autor

**Curva Granulometrica de la Arena**

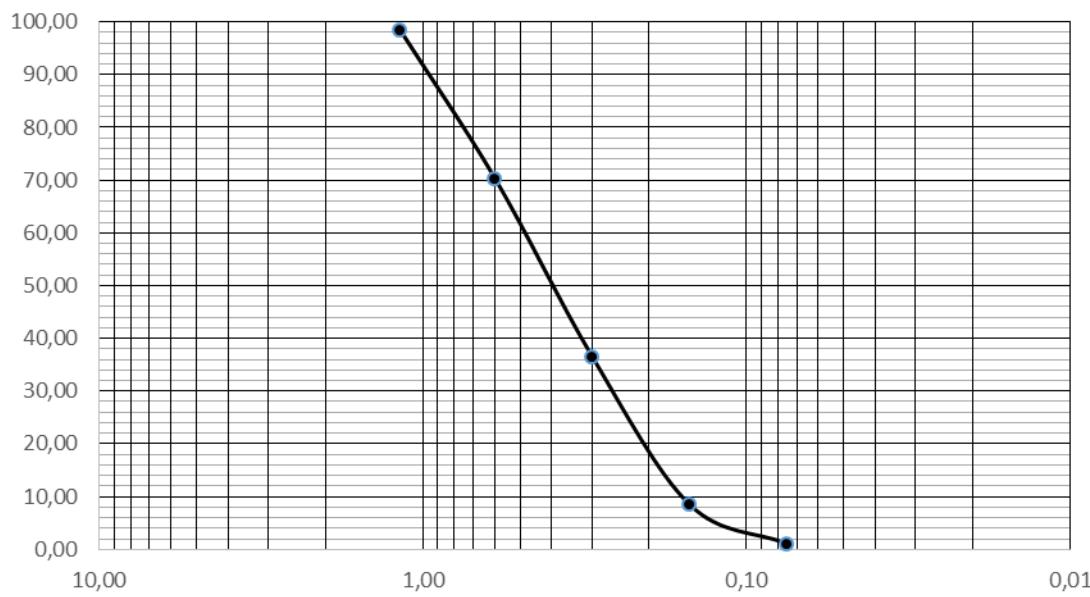


Ilustración N° 66: Curva granulométrica de la arena. Fuente: Arq. Edison Castillo.

Elaboración: autor

## ANEXO 2: ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DEL PET FINO

## LABORATORIO DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA

Proyecto de tesis: Mortero Impermeable a base de plástico reciclado para revestimientos de edificaciones de la ciudad de Zamora

Autor: Arq. Luis Zaruma

Ensayo: Granulometría del PET

Responsable: Arq. Edison Castillo

Fecha: 9 de marzo de 2017

Peso de la muestra	400
tiempo	5 min

TABLA N° 10: ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DEL PET (Mf=2,27)

Nº de Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Acumulado	% Pasa	norma 2536
4	4,75	0,02	0,01	0,01	100,00	100
8	2,36	0,17	0,04	0,05	99,95	95 a 100
16	1,18	3,36	0,84	0,89	99,11	70 a 100
30	0,60	140,37	35,09	35,98	64,02	40 a 75
50	0,30	218,67	54,67	90,65	9,35	10 a 35
100	0,15	33,48	8,37	99,02	0,98	2 a 15
200	0,08	3,32	0,83	99,85	0,15	0 a 5
<b>Base</b>	<	0,61	0,15	100,00		
<b>total</b>		400,00	100,00			

Fuente: Arq. Edison Castillo (Diseño de tabla). Elaboración de ensayo: autor

Curva Granulometrica del PET fino

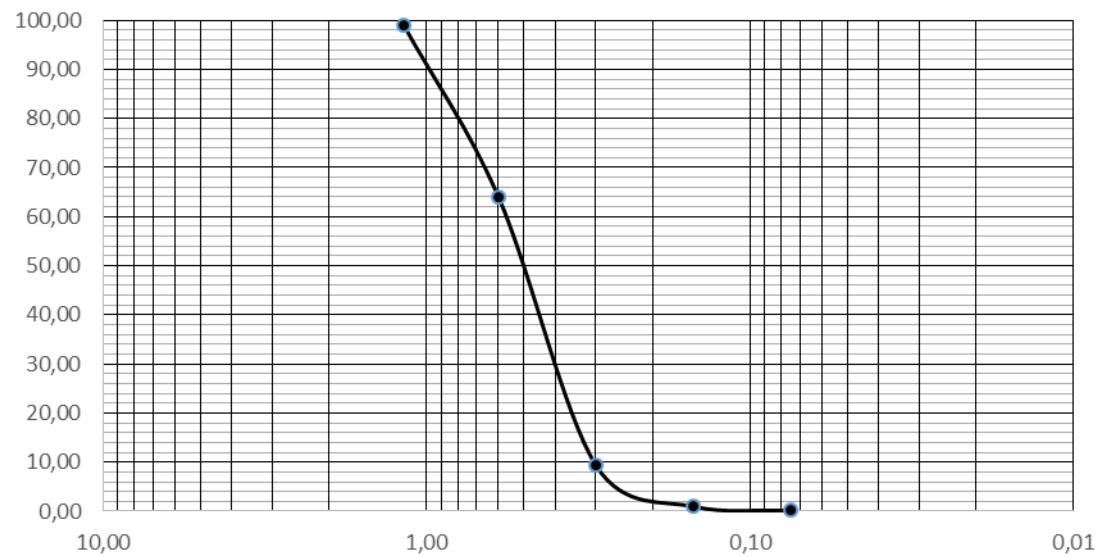


Ilustración N° 67: curva granulométrica del PET. Fuente: Arq. Edison Castillo. Elaboración: autor

## ANEXO 2A: ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DEL PET FINO

## LABORATORIO DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO DE LA UNIVERSIDAD

Proyecto de tesis: Mortero Impermeable a base de plástico reciclado para revestimientos de

Autor: Arq. Luis Zaruma

Ensayo: Granulometría del PET

Responsable: Arq. Edison Castillo

Fecha: 9 de marzo de 2017

Peso de la muestra	400
tiempo	5 min

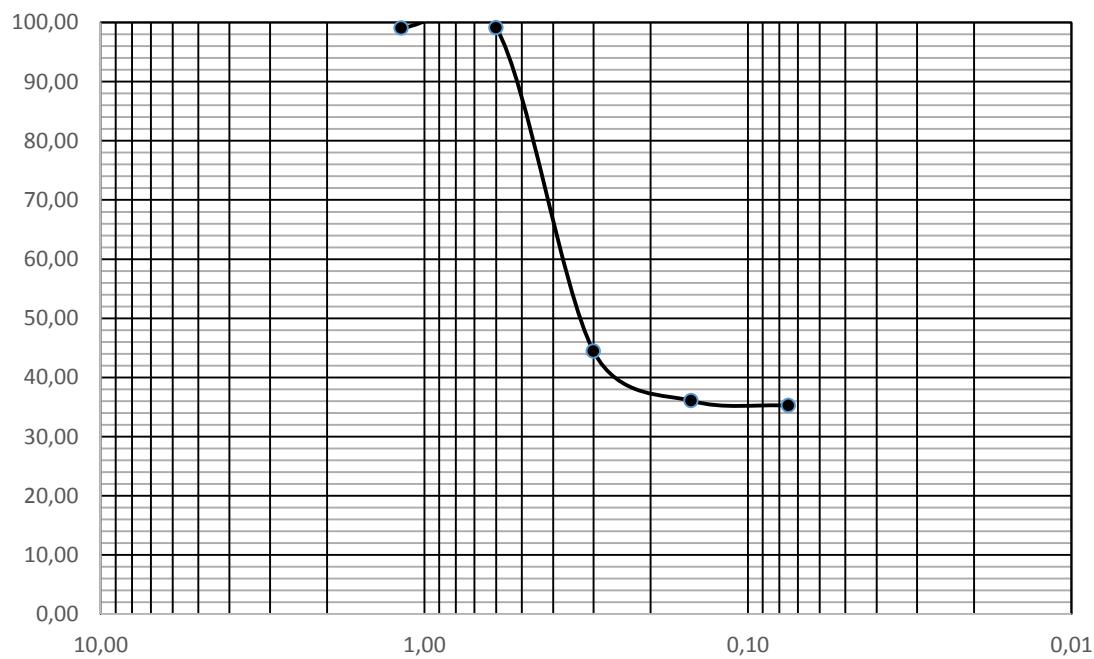
TABLA N° 11: ENSAYO CORREGIDO DE GRANULOMETRÍA DEL PET (Mf=1,21)

Nº de Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Acumulado	% Pasa	norma 2536
4	4,75	0,02	0,01	0,01	100,00	100
8	2,36	0,17	0,04	0,05	99,95	95 a 100
16	1,18	3,36	0,84	0,89	99,11	70 a 100
30	0,60	0,00	0,00	0,89	99,11	40 a 75
50	0,30	218,67	54,67	55,56	44,45	10 a 35
100	0,15	33,48	8,37	63,93	36,08	2 a 15
200	0,08	3,32	0,83	64,76	35,25	0 a 5
<b>Base</b>	<	0,61	0,15	64,91		
<b>total</b>		259,63	64,91			

Fuente: Arq. Edison Castillo (Diseño de tabla). Elaboración de ensayo: autor

D60	0,82
D10	0,58
D30	0,70
Cu	1,41
Cc	1,03
Mf	1,21

Curva Granulometrica del PET fino


 Ilustración N° 68: Curva granulométrica del PET corregido. Fuente: Arq. Edison Castillo.  
 Elaboración: Autor



## ANEXO 3: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, 24 horas, 3, 7 28 días; MORTERO PATRON

**LABORATORIO DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA**

Proyecto de tesis: Mortero Impermeable a base de plástico reciclado para revestimientos de edificaciones de la ciudad de Zamora

Elaboración: Arq. Luis Zaruma

Ensayo: Resistencia a la compresión

Responsable: Arq. Edison Castillo

ENSAYOS DE COMPRESIÓN 24 Horas - PATRON										
Código	Base	Altura	Área	Carga	Esfuerzo	Promedio	Curado (días)	Fecha de confección	Fecha de ensayo	Peso
	cm	cm	cm <sup>2</sup>	Kgf	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>				gr
1Pc	5,00	5,00	25,00	336,10	13,44	13,04	0	29-mar-17	30-mar-17	280,67
2Pc	5,00	5,00	25,00	307,80	12,31		0	29-mar-17	30-mar-17	283,56
3Pc	5,00	5,00	25,00	333,80	13,35		0	29-mar-17	30-mar-17	283,36

ENSAYOS DE COMPRESIÓN 3 DÍAS - PATRON										
Código	Base	Altura	Área	Carga	Esfuerzo	Promedio	Curado (días)	Fecha de confección	Fecha de ensayo	Peso
	cm	cm	cm <sup>2</sup>	Kgf	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>				gr
1Pc	5,00	5,00	25,00	1253,70	50,15	48,21	3	22-mar-17	25-mar-17	278,10
2Pc	5,00	5,00	25,00	1176,00	47,04		3	22-mar-17	25-mar-17	278,35
3Pc	5,00	5,00	25,00	1185,90	47,44		3	22-mar-17	25-mar-17	278,00

ENSAYOS DE COMPRESIÓN 7 DÍAS - PATRON										
Código	Base	Altura	Área	Carga	Esfuerzo	Promedio	Curado (días)	Fecha de confección	Fecha de ensayo	Peso
	cm	cm	cm <sup>2</sup>	Kgf	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>				gr
4Pc	5,00	5,00	25,00	1443,40	57,74	63,78	7	22-mar-17	29-mar-17	275,43
5Pc	5,00	5,00	25,00	1638,90	65,56		7	22-mar-17	29-mar-17	275,53
6Pc	5,00	5,00	25,00	1701,40	68,06		7	22-mar-17	29-mar-17	275,29

ENSAYOS DE COMPRESIÓN 28 DÍAS - PATRON										
Código	Base	Altura	Área	Carga	Esfuerzo	Promedio	Curado (días)	Fecha de confección	Fecha de ensayo	Peso
	cm	cm	cm <sup>2</sup>	Kgf	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>				gr
7Pc	5,00	5,00	25,00	2628,40	105,14	104,08	29	29-mar-17	20-abr-17	276,64
8Pc	5,00	5,00	25,00	2582,40	103,30		29	29-mar-17	20-abr-17	276,47
9Pc	5,00	5,00	25,00	2595,50	103,82		29	29-mar-17	20-abr-17	270,38

## ANEXO 4: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, 24 horas, 3, 7 28 días; MÓRTERO CON 5% DE PET

## LABORATORIO DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA

Proyecto de tesis: Mortero Impermeable a base de plástico reciclado para revestimientos de edificaciones de la ciudad de Zamora

Elaboración: Arq. Luis Zaruma

Ensayo: Resistencia a la compresión

Responsable: Arq. Edison Castillo

ENSAYOS DE COMPRESIÓN 24 Horas - 5% PET										
Código	Base	Altura	Area	Carga	Esfuerzo	Promedio	Curado	Fecha de confección	Fecha de ensayo	Peso
	cm	cm	cm <sup>2</sup>	Kgf	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>	días			gr
1Pc5	5,00	5,00	25,00	185,70	7,43		0	29-mar-17	30-mar-17	260,7
2Pc5	5,00	5,00	25,00	146,70	6,67	7,31	0	29-mar-17	30-mar-17	262,96
3Pc5	5,00	5,00	25,00	195,90	7,84		0	29-mar-17	30-mar-17	260,82

ENSAYOS DE COMPRESIÓN 3 DÍAS - 5% PET										
Código	Base	Altura	Area	Carga	Esfuerzo	Promedio	Curado	Fecha de confección	Fecha de ensayo	Peso
	cm	cm	cm <sup>2</sup>	Kgf	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>	días			gr
Pc5-1	5,00	5,00	25,00	672,60	26,90		3	28-mar-17	31-mar-17	260,13
Pc5-2	5,00	5,00	25,00	637,80	25,51	27,55	3	28-mar-17	31-mar-17	259,92
Pc5-3	5,00	5,00	25,00	776,11	30,24		3	28-mar-17	31-mar-17	261,64

ENSAYOS DE COMPRESIÓN 7 DÍAS - 5% PET										
Código	Base	Altura	Area	Carga	Esfuerzo	Promedio	Curado (días)	Fecha de confección	Fecha de ensayo	Peso
	cm	cm	cm <sup>2</sup>	Kgf	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>				gr
Pc5-4	5,00	5,00	25,00	1128,70	45,15		7	28-mar-17	04-abr-17	260,68
Pc5-5	5,00	5,00	25,00	1058,30	42,33	42,48	7	28-mar-17	04-abr-17	261,04
Pc5-6	5,00	5,00	25,00	998,90	39,96		7	28-mar-17	04-abr-17	262,03

ENSAYOS DE COMPRESIÓN 29 DÍAS - 5% PET										
Código	Base	Altura	Area	Carga	Esfuerzo	Promedio	Curado (días)	Fecha de confección	Fecha de ensayo	Peso
	cm	cm	cm <sup>2</sup>	Kgf	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>				gr
Pc5-7	5,00	5,00	25,00	2406,30	96,25		29	28-mar-17	26-abr-17	261,17
Pc5-8	5,00	5,00	25,00	2327,60	93,10	76,92	29	28-mar-17	26-abr-17	261,82
Pc6-9	5,00	5,00	25,00	2535,00	101,40		29	28-mar-17	26-abr-17	262,82

ENSAYOS DE COMPRESIÓN 28 DÍAS - 5% PET										
Código	Base	Altura	Area	Carga	Esfuerzo	Promedio	Curado (días)	Fecha de confección	Fecha de ensayo	
	cm	cm	cm <sup>2</sup>	Kgf	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>				
Pc5-7	5,00	5,00	25,00	2406,30	96,25		29	28-mar-17	26-abr-17	
Pc5-8	5,00	5,00	25,00	1827,60	73,10	76,92	29	28-mar-17	26-abr-17	
Pc6-9	5,00	5,00	25,00	1535,00	61,40		29	28-mar-17	26-abr-17	



ANEXO 5: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, 24 horas, 3, 7 28 días; MORTERO CON 10% DE PET

**LABORATORIO DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA**

Proyecto de tesis: Mortero Impermeable a base de plástico reciclado para revestimientos de edificaciones de la ciudad de Zamora

Elaboración: Arq. Luis Zaruma

Ensayo: Resistencia a la compresión

Responsable: Arq. Edison Castillo

Código	ENSAYOS DE COMPRESIÓN 24 Horas - 10% PET									
	Base	Altura	Área	Carga	Esfuerzo	Promedio	Curado (días)	Fecha de confección	Fecha de ensayo	Peso
	cm	cm	cm <sup>2</sup>	Kgf	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>				gr
1Pc-10	5,00	5,00	25,00	269,60	10,78	10,80	0	29-mar-17	30-mar-17	253,87
2Pc-10	5,00	5,00	25,00	281,70	11,27		0	29-mar-17	30-mar-17	252,17
3Pc-10	5,00	5,00	25,00	258,60	10,34		0	29-mar-17	30-mar-17	247,13

Código	ENSAYOS DE COMPRESIÓN 3 DÍAS - 10% PET									
	Base	Altura	Área	Carga	Esfuerzo	Promedio	Curado (días)	Fecha de confección	Fecha de ensayo	Peso
	cm	cm	cm <sup>2</sup>	Kgf	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>				gr
Pc10-1	5,00	5,00	25,00	766,50	30,66	31,67	3	22-mar-17	28-mar-17	241,35
Pc10-2	5,00	5,00	25,00	758,70	30,35		3	22-mar-17	28-mar-17	240,25
Pc10-3	5,00	5,00	25,00	850,00	34,00		3	22-mar-17	28-mar-17	243,15

Código	ENSAYOS DE COMPRESIÓN 7 DÍAS - 10% PET									
	Base	Altura	Área	Carga	Esfuerzo	Promedio	Curado (días)	Fecha de confección	Fecha de ensayo	Peso
	cm	cm	cm <sup>2</sup>	Kgf	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>				gr
Pc10-4	5,00	5,00	25,00	912,20	36,49	38,00	7	22-mar-17	29-mar-17	240,43
Pc10-5	5,00	5,00	25,00	981,10	39,24		7	22-mar-17	29-mar-17	242,82
Pc10-6	5,00	5,00	25,00	956,40	38,26		7	22-mar-17	29-mar-17	245,21

Código	ENSAYOS DE COMPRESIÓN 28 DÍAS - 10% PET									
	Base	Altura	Área	Carga	Esfuerzo	Promedio	Curado (días)	Fecha de confección	Fecha de ensayo	Peso
	cm	cm	cm <sup>2</sup>	Kgf	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>				gr
Pc10-7	5,00	5,00	25,00	1576,50	63,06	59,41	28	22-mar-17	19-abr-17	240,31
Pc10-8	5,00	5,00	25,00	1364,80	54,59		28	22-mar-17	19-abr-17	241,70
Pc10-9	5,00	5,00	25,00	1514,10	60,56		28	22-mar-17	19-abr-17	241,62

## ANEXO 6: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, 24 horas, 3, 7 y 28 días; MORTERO CON 20% DE PET

## LABORATORIO DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA

Proyecto de tesis: Mortero Impermeable a base de plastico reciclado para revestimientos de edificaciones de la ciudad de Zamora

Elaboración: Arq. Luis Zaruma

Ensayo: Resistencia a la compresión

Responsable: Arq. Edison Castillo

ENSAYOS DE COMPRESIÓN 24 Horas - 20% PET										
Código	Base	Altura	Area	Carga	Esfuerzo	Promedio	Curado (días)	Fecha de confección	Fecha de ensayo	Peso
	cm	cm	cm <sup>2</sup>	Kgf	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>				
1Pc20	5,00	5,00	25,00	173,60	6,94	6,95	0	29-mar-17	30-mar-17	203,98
2Pc20	5,00	5,00	25,00	159,70	6,39		0	29-mar-17	30-mar-17	205,53
3Pc20	5,00	5,00	25,00	187,90	7,52		0	29-mar-17	30-mar-17	201,97

ENSAYOS DE COMPRESIÓN 3 DÍAS - 20% PET										
Código	Base	Altura	Area	Carga	Esfuerzo	Promedio	Curado (días)	Fecha de confección	Fecha de ensayo	Peso
	cm	cm	cm <sup>2</sup>	Kgf	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>				
Pc20-1	5,00	5,00	25,00	453,60	18,14	17,08	3	28-mar-17	31-mar-17	216,45
Pc20-2	5,00	5,00	25,00	419,60	16,78		3	28-mar-17	31-mar-17	218,88
Pc20-3	5,00	5,00	25,00	408,10	16,32		3	28-mar-17	31-mar-17	215,92

ENSAYOS DE COMPRESIÓN 7 DÍAS - 20% PET										
Código	Base	Altura	Area	Carga	Esfuerzo	Promedio	Curado (días)	Fecha de confección	Fecha de ensayo	Peso
	cm	cm	cm <sup>2</sup>	Kgf	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>				
Pc20-4	5,00	5,00	25,00	665,90	26,64	26,88	7	28-mar-17	04-abr-17	217,08
Pc20-5	5,00	5,00	25,00	631,20	25,25		7	28-mar-17	04-abr-17	216,7
Pc20-6	5,00	5,00	25,00	718,80	28,75		7	28-mar-17	04-abr-17	220,3

ENSAYOS DE COMPRESIÓN 28 DÍAS - 20% PET										
Código	Base	Altura	Area	Carga	Esfuerzo	Promedio	Curado (días)	Fecha de confección	Fecha de ensayo	Peso
	cm	cm	cm <sup>2</sup>	Kgf	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>				
Pc20-7	5,00	5,00	25,00	1346,90	53,88	56,36	29	28-mar-17	26-abr-17	219,6
Pc20-8	5,00	5,00	25,00	1513,20	60,53		29	28-mar-17	26-abr-17	221,01
Pc20-9	5,00	5,00	25,00	1367,20	54,69		29	28-mar-17	26-abr-17	221,16

ANEXO 7: Ensayo de resistencia a la Flexión de morteros

**LABORATORIO DE SUELOS DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA**

Proyecto de tesis: Mortero Impermeable a base de plástico reciclado para revestimientos de edificaciones de la ciudad de Zamora

Elaboración: Arq. Luis Zaruma

Ensayo: Resistencia a la flection

Responsable: Arq. Edison Castillo

Longitud entre Apoyos (cm)= 23

**ENSAYO A LA FLEXIÓN DE MORTEROS**

F. Confección	F. Ensayo	Peso	Lado (a)	Lado (b)	Longitud	Peso/Vol.	Carga	Módulo de Rotura	Nomenclatura
		g	cm	cm	cm	g/cm <sup>3</sup>	Kgf	Kgf/cm <sup>2</sup>	
<b>Flexión Mortero Base (30 Días)</b>									
03/04/2017	03/05/2017	413,71	2,65	2,60	28,70	0,03	62,00	0,00	PF1
03/04/2017	03/05/2017	414,05	2,68	2,60	28,70	0,03	58,00	0,00	PF2
03/04/2017	03/05/2017	401,39	2,63	2,58	28,70	0,03	53,00	0,00	PF3
03/04/2017	03/05/2017	410,94	2,61	2,58	28,70	0,03	54,00	0,00	PF4
<b>Flexión Mortero con 5% de "PET" (30 Días)</b>									
03/04/2017	03/05/2017	379,37	2,62	2,58	28,50	0,03	62,00	0,00	1PF-5
03/04/2017	03/05/2017	377,71	2,61	2,59	28,50	0,03	67,00	0,00	2PF-5
03/04/2017	03/05/2017	381,15	2,61	2,59	28,50	0,03	73,00	0,00	3PF-5
03/04/2017	03/05/2017	383,98	2,60	2,68	28,60	0,04	72,00	0,00	4PF-5
<b>Flexión Mortero con 10% de "PET" (30 Días)</b>									
03/04/2017	03/05/2017	358,4	2,68	2,56	28,50	0,03	66,00	0,00	1PF-10
03/04/2017	03/05/2017	363,27	2,70	2,55	28,50	0,03	67,00	0,00	2PF-10
03/04/2017	03/05/2017	351,17	2,60	2,56	28,50	0,03	62,00	0,00	3PF-10
03/04/2017	03/05/2017	351,24	2,61	2,57	28,50	0,03	68,00	0,00	4PF-10
<b>Flexión Mortero con 20% de "PET" (30 Días)</b>									
03/04/2017	03/05/2017	310,85	2,55	2,58	28,50	0,04	84,00	0,00	1PF-20
03/04/2017	03/05/2017	306,45	2,65	2,59	28,50	0,03	80,00	0,00	2PF-20
03/04/2017	03/05/2017	310,68	2,54	2,60	28,50	0,04	89,00	0,00	3PF-20
03/04/2017	03/05/2017	312,06	2,65	2,58	28,50	0,03	92,00	0,00	4PF-20

**ANEXO 8: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE MORTEROS**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO DE**  
**LA UNIVERSIDAD DE CUENCA**

Proyecto de tesis: Mortero Impermeable a base de plástico reciclado para revestimientos de edificaciones de la ciudad de Zamora

Elaboración: Arq. Luis Zaruma

Ensayo: Resistencia a la tracción

Responsable: Arq. Edison Castillo

**ENSAYO A LA TRACCIÓN DE MORTEROS**

F. Confección	F. Ensayo	Lado (a)	Lado (b)	Carga	Tensión	Código
		cm	cm	Kgf	Kgf/cm <sup>2</sup>	
<b>Tracción Mortero Base (31 Días)</b>						
03/04/2017	04/05/2017	2,58	2,70	146,00	20,96	PT1
03/04/2017	04/05/2017	2,60	2,71	170,00	24,13	PT2
03/04/2017	04/05/2017	2,58	2,70	160,00	22,97	PT3
<b>Tracción Mortero con 5% de PET (31 Días)</b>						
03/04/2017	04/05/2017	2,60	2,65	65,00	9,43	1PT-5
03/04/2017	04/05/2017	2,60	2,68	68,00	9,76	2PT-5
03/04/2017	04/05/2017	2,51	2,68	72,00	10,70	3PT-5
<b>Tracción Mortero con 10% de PET (31 Días)</b>						
03/04/2017	04/05/2017	2,61	2,70	56,00	7,95	1PT-10
03/04/2017	04/05/2017	2,62	2,70	58,00	8,20	2PT-10
03/04/2017	04/05/2017	2,60	2,67	64,00	9,22	3PT-10
<b>Tracción Mortero con 20% de PET (31 Días)</b>						
03/04/2017	04/05/2017	2,58	2,64	24,00	3,52	1PT-20
03/04/2017	04/05/2017	2,55	2,70	37,00	5,37	2PT-20
03/04/2017	04/05/2017	2,58	2,70	27,00	3,88	3PT-20



## ANEXO 9: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA ADHERENCIA DE MORTEROS

**LABORATORIO DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA**

Proyecto de tesis: Mortero Impermeable a base de plástico reciclado para revestimientos de edificaciones de la ciudad de Zamora

Elaboración: Arq. Luis Zaruma

Ensayo: Resistencia a la adherencia

Responsable: Arq. Edison Castillo

ENSAYO DE ADHERENCIA DE MORTEROS								
F. Confección	F. Ensayo	Edad Días	L.1	L.2	Sección	Carga	Esfuerzo	CÓDIGO
			cm	cm	cm <sup>2</sup>	Kgf	Kgf/cm <sup>2</sup>	
<b>Adherencia Mortero Base (42 Días)</b>								
16/05/2017	27/06/2017	42	13,00	13,80	179,4	262	1,46	AD1
16/05/2017	27/06/2017	42	13,10	12,60	165,06	287	1,74	AD2
16/05/2017	27/06/2017	42	13,20	12,90	170,28	105	0,62	*AD3
<b>Adherencia Mortero con 5% de "PET" (42 Días)</b>								
16/05/2017	27/06/2017	42	12,60	13,00	163,8	218	1,33	AD5-1
16/05/2017	27/06/2017	42	12,50	12,50	156,25	226	1,45	AD5-2
16/05/2017	27/06/2017	42	12,00	11,70	140,4	227	1,62	AD5-3
<b>Adherencia Mortero con 10% de "PET" (42 Días)</b>								
16/05/2017	27/06/2017	42	13,00	12,50	162,5	167	1,03	AD10-1
16/05/2017	27/06/2017	42	12,80	12,40	158,72	152	0,96	AD10-2
16/05/2017	27/06/2017	42	12,70	12,30	156,21	142	0,91	AD10-3
<b>Adherencia Mortero con 20% de "PET" (29 Días)</b>								
16/05/2017	27/06/2017	42	13,30	12,80	170,24	289	1,70	AD20-1
16/05/2017	27/06/2017	42	13,00	12,60	163,8	258	1,58	AD20-2
16/05/2017	27/06/2017	42	12,50	13,00	162,5	7	0,04	*AD20-3

**NOTA:** En la muestra \*AD3; AD20-3 la falla se produjo en el ladrillo y no en el mortero de pega.

## ANEXO 10: ENSAYO DE ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD, MORTERO PATRÓN

## LABORATORIO DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA

Proyecto de tesis: Mortero Impermeable a base de plástico reciclado para revestimientos de edificaciones de la ciudad de Zamora

Elaboración: Arq. Luis Zaruma

Ensayo: Absorción de humedad

Responsable: Arq. Edison Castillo

TABLA N° 40: PESOS DE CADA PROBETA POR ABSORCIÓN -MORTERO PATRÓN

Porcentaje de PET en el mortero	Tiempo de ensayo			Masa (gramos)						Peso promedio	Diferencia de masa	Absorción (I) masa/Área/densidad del agua = 1	Área (mm <sup>2</sup> )				
	Días	segundos	√ tiempo (s <sup>1/2</sup> )														
	Código del espécimen			PA1	PA2	PA3	PA4	PA5	PA6								
0		0	0	243,90	243,40	244,10	247,40	252,20	246,20	246,20	0,00	0,000					
	1 minuto	60	8	247,80	247,30	248,60	250,10	255,30	249,30	249,73	3,53	1,3665					
	5 minutos	300	17	249,00	248,40	252,00	253,60	259,50	250,50	252,17	5,97	2,3075					
	10 minutos	600	24	250,60	250,00	253,10	255,40	260,60	251,60	253,55	7,35	2,8425					
	20 minutos	1200	35	251,90	251,60	254,60	256,80	261,80	252,80	254,92	8,72	3,3711					
	30 minutos	1800	42	253,50	252,90	256,00	258,60	262,70	253,80	256,25	10,05	3,8867					
	60 minutos	3600	60	256,50	254,60	258,20	260,00	264,50	255,90	258,28	12,08	4,6731					
	2 horas	7200	85	258,90	256,80	262,40	263,50	267,10	258,30	261,17	14,97	5,7882					
	3 horas	10800	104	260,80	259,30	265,30	266,50	269,40	260,90	263,70	17,50	6,7679					
	4 horas	14400	120	263,80	262,60	267,80	269,00	272,10	262,70	266,33	20,13	7,7864					
	5 horas	18000	134	265,40	265,00	270,30	271,20	274,80	264,60	268,55	22,35	8,6436					
	6 horas	21600	147	268,50	267,40	273,50	273,30	276,20	266,20	270,85	24,65	9,5331					
	1	92220	304	272,60	270,90	276,00	276,90	280,50	275,00	275,32	29,12	11,2606					
	2	193200	440	272,60	271,40	276,90	277,00	280,70	275,20	275,63	29,43	11,3830					
	3	268500	518	272,90	271,50	277,20	277,40	280,20	275,60	275,80	29,60	11,4475					
	5	432000	657	273,27	271,58	277,31	277,59	280,26	275,73	275,94	29,76	11,5081					
	6	527580	726	273,35	271,66	277,29	277,54	280,31	275,75	275,98	29,78	11,5184					
	7	622200	789	273,26	271,56	277,22	277,46	280,24	275,73	275,91	29,71	11,4907					
	8	691200	831	273,42	271,77	277,39	277,61	280,39	275,82	276,07	29,87	11,5506	2585,72				

Elaboración: autor

## ANEXO 11: ENSAYO DE ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD, MORTERO CON 5% DE PET

## LABORATORIO DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA

Proyecto de tesis: Mortero Impermeable a base de plástico reciclado para revestimientos de edificaciones de la ciudad de Zamora

Elaboración: Arq. Luis Zaruma

Ensayo: Absorción de humedad

Responsable: Arq. Edison Castillo

TABLA N° 41: PESOS DE CADA PROBETA POR ABSORCIÓN -MORTERO CON 5% DE PET

Porcentaje de PET en el mortero	Tiempo de ensayo			Masa (gramos)						Peso promedio	Diferencia de masa	Absorción (l) masa/Área/densidad del agua = l	Área (mm <sup>2</sup> )				
	Días	segundos	√ tiempo (s <sup>1/2</sup> )														
				Código del espécimen	A5-1	A5-2	A5-3	A5-4	A5-5	A5-6							
5	0	0		231,80	231,80	234,30	232,10	231,50	227,50	231,50	231,50	0,00	0,000	2601			
	1 minuto	60	8	232,40	232,60	236,40	234,30	234,00	229,10	233,13	1,63	0,6280	1,2495				
	5 minutos	300	17	233,10	233,50	239,20	236,30	236,00	230,40	234,75	3,25	1,8967	1,8967				
	10 minutos	600	24	233,90	234,10	242,80	238,30	237,70	231,80	236,43	4,93	2,4606	2,4606				
	20 minutos	1200	35	234,70	235,00	244,90	240,40	238,80	233,60	237,90	6,40	3,0245	3,0245				
	30 minutos	1800	42	235,70	236,20	246,60	242,50	240,10	235,10	239,37	7,87	3,7998	3,7998				
	60 minutos	3600	60	236,60	237,00	249,10	244,60	242,80	238,20	241,38	9,88	4,7610	4,7610				
	2 horas	7200	85	237,90	238,20	252,70	246,50	244,30	243,70	243,88	12,38	5,6517	5,6517				
	3 horas	10800	104	238,80	239,00	256,30	248,20	246,30	248,60	246,20	14,70	6,6064	6,6064				
	4 horas	14400	120	239,50	239,70	260,90	251,10	248,40	252,50	248,68	17,18	7,3561	7,3561				
	5 horas	18000	134	240,40	240,10	263,90	253,10	250,30	256,00	250,63	19,13	8,2084	8,2084				
	6 horas	21600	147	241,20	241,20	266,10	255,70	253,90	259,00	252,85	21,35	8,8620	8,8620				
	1	92220	304	243,20	242,40	268,50	256,40	255,00	261,80	254,55	23,05	9,0286	9,0286				
	2	193200	440	243,80	242,40	268,50	257,50	255,90	261,80	254,98	23,48	9,1760	9,1760				
	3	268500	518	244,60	242,70	268,70	257,90	256,20	262,10	255,37	23,87	9,3522	9,3522				
	5	432000	657	245,20	243,14	269,06	258,22	256,82	262,51	255,83	24,33	9,3624	9,3624				
	6	527580	726	245,20	243,19	269,02	258,28	256,85	262,57	255,85	24,35	9,3605	9,3605				
	7	622200	789	245,30	243,12	268,94	258,30	256,89	262,53	255,85	24,35	9,3957	9,3957				
	8	691200	831	245,30	243,15	269,16	258,38	256,93	262,71	255,94	24,44						

Elaboración: autor

## ANEXO 12: ENSAYO DE ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD, MORTERO CON 10% DE PET

## LABORATORIO DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA

Proyecto de tesis: Mortero Impermeable a base de plástico reciclado para revestimientos de edificaciones de la ciudad de Zamora

Elaboración: Arq. Luis Zaruma

Ensayo: Absorción de humedad

Responsable: Arq. Edison Castillo

TABLA N° 42: PESOS DE CADA PROBETA POR ABSORCIÓN -MORTERO CON 10% DE PET

Porcentaje de PET en el mortero	Tiempo de ensayo			Masa (gramos)						Peso promedio	Diferencia de masa (gr)	Absorción (I) masa/Área/densidad del agua = 1 (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )			
	Días	segundos	√ tiempo (s½)													
				Código del espécimen	A10-1	A10-2	A10-3	A10-4	A10-5	A10-6						
10	0	0		202,30	204,50	202,20	202,50	201,60	204,70	202,97	0,00	0,0000				
	1 minuto	60	8	207,70	209,50	206,30	205,60	205,70	210,20	207,50	4,53	1,7463				
	5 minutos	300	17	211,20	212,70	210,10	208,80	208,60	213,70	210,85	7,88	3,0368				
	10 minutos	600	24	214,50	215,80	213,70	211,70	211,50	217,00	214,03	11,07	4,2631				
	20 minutos	1200	35	218,80	219,90	218,60	215,50	215,30	221,30	218,23	15,27	5,8811				
	30 minutos	1800	42	222,40	223,30	222,70	218,70	218,50	226,80	222,07	19,10	7,3578				
	60 minutos	3600	60	228,60	230,30	230,30	224,90	224,90	231,10	228,35	25,38	9,7782				
	2 horas	7200	85	236,50	237,90	234,70	234,80	230,90	234,30	234,85	31,88	12,2822				
	3 horas	10800	104	240,50	241,30	237,10	238,40	238,30	238,60	239,03	36,07	13,8937				
	4 horas	14400	120	240,40	241,20	237,00	238,40	239,50	240,70	239,53	36,57	14,0863				
	5 horas	18000	134	240,50	241,30	237,00	238,50	239,70	240,80	239,63	36,67	14,1248				
	6 horas	21600	147	240,50	241,40	237,20	238,60	239,80	240,90	239,73	36,77	14,1634				
	1	92220	304	240,80	241,70	237,40	238,90	240,00	241,10	239,98	37,02	14,2597				
	2	193200	440	240,80	241,80	237,50	239,20	240,10	241,30	240,12	37,15	14,3110				
	3	268500	518	241,30	242,10	237,90	239,30	240,40	241,70	240,45	37,48	14,4394				
	5	432000	657	241,67	242,58	238,34	239,65	240,76	242,06	240,84	37,88	14,5910				
	6	527580	726	241,77	242,67	238,41	239,75	240,87	242,08	240,93	37,96	14,6224				
	7	622200	789	241,61	242,57	238,33	239,81	240,99	242,06	240,90	37,93	14,6109				
	8	691200	831	241,67	242,76	238,46	239,87	240,97	242,18	241,02	38,05	14,6584		2595,9		

Elaboración: autor

## ANEXO 13: ENSAYO DE ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD, MORTERO CON 20% DE PET

## LABORATORIO DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA

Proyecto de tesis: Mortero Impermeable a base de plástico reciclado para revestimientos de edificaciones de la ciudad de Zamora

Elaboración: Arq. Luis Zaruma

Ensayo: Absorción de humedad

Responsable: Arq. Edison Castillo

TABLA N° 43: PESOS DE CADA PROBETA POR ABSORCIÓN -MORTERO CON 20% DE PET

Porcentaje de PET en el mortero	Tiempo de ensayo			Masa (gramos)						Peso promedio	Diferencia de masa (gr)	Absorción (I) masa/Área/densidad del agua = 1 (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )				
	Días	segundos	√ tiempo (s <sup>1/2</sup> )														
				Código del espécimen	A20-1	A20-2	A20-3	A20-4	A20-5								
20	0	0		185,10	175,30	179,40	188,50	184,20	184,60	182,85	0,00	0,0000	2657,2				
	1 minuto	60	8	194,50	186,80	188,70	193,80	191,80	192,30	191,32	8,47	3,1863					
	5 minutos	300	17	198,40	192,60	193,30	197,10	195,50	196,40	195,55	12,70	4,7795					
	10 minutos	600	24	201,20	196,20	197,10	199,50	198,20	199,70	198,65	15,80	5,9461					
	20 minutos	1200	35	204,40	200,00	201,40	202,30	201,00	203,30	202,07	19,22	7,2319					
	30 minutos	1800	42	206,80	202,40	204,50	204,40	203,20	206,10	204,57	21,72	8,1728					
	60 minutos	3600	60	210,60	204,60	208,00	208,00	206,90	210,60	208,12	25,27	9,5088					
	2 horas	7200	85	213,10	205,40	209,10	212,90	211,10	213,30	210,82	27,97	10,5249					
	3 horas	10800	104	213,70	205,70	209,50	215,90	212,20	213,80	211,80	28,95	10,8949					
	4 horas	14400	120	214,00	205,90	209,80	216,60	212,50	214,00	212,13	29,28	11,0204					
	5 horas	18000	134	214,00	205,90	209,80	216,80	212,60	214,10	212,20	29,35	11,0455					
	6 horas	21600	147	214,10	206,10	209,90	217,00	212,70	214,10	212,32	29,47	11,0894					
	1	92220	304	214,60	206,60	210,50	217,50	213,20	214,60	212,83	29,98	11,2838					
	2	193200	440	214,80	206,40	210,40	217,50	213,40	214,80	212,88	30,03	11,3026					
	3	268500	518	214,90	206,60	210,90	217,80	213,80	215,10	213,18	30,33	11,4155					
	5	432000	657	215,16	207,29	211,24	218,11	214,10	215,41	213,55	30,70	11,5541					
	6	527580	726	215,39	207,42	211,36	218,08	214,14	215,51	213,65	30,80	11,5911					
	7	622200	789	214,67	206,43	210,54	217,73	213,37	214,71	212,91	30,04	11,3133					
	8	691200	831	214,38	207,47	211,17	218,09	213,98	215,37	213,41	30,56	11,5008					

Elaboración: autor



## Bibliografía

- Adnan Enshassi1, B. K. (2014). Evaluación de los impactos medio ambientales de los proyectos de construcción. *Ingeniería de construcción*, 21.
- Alesmar Luis, N. R. (2008). Diseños de mezclas de Tereftalato de Polietileno (PET)-Cemento. *Universidad central de Venezuela, Facultad de Ingeniería Civil, Departamento de Ingeniería Estructural*, 10.
- Alvarez Galindo José, M. P. (1995). Historia de los morteros. *Materiales y Técnicas*, 52 - 59.
- ANGUMBA, P. (2016). LADRILLOS ELABORADOS CON PLÁSTICO RECICLADO (PET) , PARA MAMPOSTERÍA NO PORTANTE. CUENCA.
- Argueta Amador, A. (2006). Reciclado de emVases PET. Puebla.
- Cabezas, J. A. (2010). Morteros de larga vida: Diseño y aplicación. Quito.
- Carrasco, M. F. (2014). Tecnología del hormigón. *Ingeniería civil*, (pág. 25). Santa Fe, Argentina.
- Civilgeeks. (Junio de 2016). [www.civilgeeks.com](http://www.civilgeeks.com). Obtenido de <http://www.civilgeeks.com>
- Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR). (2014). Método de ensayo. *Determinación de la resistencia de adherencia por tracción del mortero de pega y las unidades de mampostería*. Guatemala.
- Demetrio Gaspar, T. (1996). Morteros de albañilería, clasificación y

- propiedades. Madrid: Complutense.
- Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica agrícola de ciudad RealL. (s.f.). [www.ingenieriarural.com](http://www.ingenieriarural.com).
- FERNANDEZ, J. (2008). *HUMEDAD PROVENIENTE DEL SUELO EN EDIFICACIONES*. SANTIAGO DE CHILE.
- Fernandez, L. (2001). Durabilidad del hormigón estructural. *Proc. XIV Reunión AATH*, (págs. 1-45). Olavaria.
- Gabriel, B. M. (2015). *Mortero de cemento con nano adiciones de sílice, hierro y alúmina*. Madrid.
- HALL. (1989). "Water sorptivity of mortars and concretes: a review. *Magazine of Concrete*, 51-61.
- INEC. (2010). *FASCÍCULO PROVINCIAL DE ZAMORA CHINCHIPE*. Quito.
- INEN, N. 2. (15 de 01 de 2010). Morteros para unidades de mampostería, requisitos. *NTE INEN 2518:2010*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- INTECO. (21 de 09 de 2009). INSTITUTO DE NORMAS TÉCNICAS DE COSTA RICA. *ESPECIFICACIONES DE MORTEROS PARA JUNTAS DE CEMENTO HIDRÁULICO PARA COLOCAR RECUBRIMIENTOS CERÁMICOS*. San José de Costa Rica, Costa Rica: INTECO.
- Magariños Oscar, A. C. (1998). Estudio de morteros que contienen escamas de plástico procedente de residuos post-industriales. *Materiales de Construcción*, 33-51.
- Méndez, E. A. (2012). *PROPIUESTA PARA SUSTITUCIÓN DE AGREGADOS PETREOS POR AGREGADOS PET, EN DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO CON RESISTENCIA F'c=150 Kg/cm2, USADO PARA BANQUETAS, GUARNICIONES Y FIRMES*. Veracruz, México.
- Mettler, T. (30 de Mayo de 2011). [www.textoscientificos.com/polimeros/pet](http://www.textoscientificos.com/polimeros/pet). Obtenido de <https://www.textoscientificos.com/polimeros/pet>
- MIDUVI. (2012). *PROGRAMA NACIONAL DE VIVIENDA SOCIAL*. Quito.
- Natalia Alderete, Y. V. (2014). Determinación de la velocidad de succión capilar del hormigón a partir de los diferentes números de especímenes. *Determinación de la velocidad de succión capilar del hormigón a partir de los diferentes números de especímenes*, (pág. 9). Buenos Aires.
- Norma Técnica Colombiana, N. (1997). *Ingeniería civil y arquitectura. método para determinar la fluidez de morteros de cemento hidráulico*. Bogotá: ICONTEC.
- Norma Técnica, G. (2013). *Método de ensayo, determinación de la velocidad de absorción de los concretos de cemento hidráulico*. Guatemala.
- NTC92. (15 de 02 de 1995). INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA. *DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA Y LOS VACÍOS ENTRE PARTÍCULAS DE AGREGADOS*. Bogotá, Colombia.
- NTE INEN 2518. (2010). *Morteros para Unidades de mampostería. Requisitos*. Quito.

- NTE INEN 856. (2010). Áridos. *Determinación de la densidad, densidad relativa (Gravedad específica) y absorción del árido fino.* Quito.
- Ortiz, L. (2011). *Influencia de la humedad en el deterioro de las vivendas del barrio obrero de la ciudad de Puyo, cantón Pastaza, provincia de Pastaza. Ambato.*
- Patricia Martínez, P. S. (2005). Evaluación de la humedad por condensación. *INVI N° 55*, 154-165.
- Patricia Martínez, P. S. (2005). Humedad por condensación dentro de viviendas sociales. *REVISTA INVI N° 55*, 155.
- Pozo, A. C. (2012). Estudio de hormigones y morteros aligerados con agregados de plástico reciclado y carga en la mezcla. Barcelona, Cataluña, España.
- QuimiNet. (22 de Noviembre de 2005). [www.quiminet.com/articulos/historia-del-pet-2561181.htm](http://www.quiminet.com/articulos/historia-del-pet-2561181.htm).
- Salamanca, R. (2001). La tecnología de los morteros. *Ciencia e ingeniería neogranadina*, 41-48.
- Sanchez De Guzman, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero.* Bogotá: Bhandar Editores.
- Sánchez de Guzman, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero. Tecnología del Concreto*, 28.
- Sánchez, F. J. (2001). Historia, Caracterización y restauración de morteros. *Textos de doctorado, serie arquitectura, número 25*, 153.
- Shuttleworth, M. (24 de Marzo de 2008). [www.explorable.com](http://www.explorable.com). Obtenido de <http://www.explorable.com>



## INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Ficha técnica del PET

Tabla N° 2. Clasificación de los morteros según fluidez

Tabla N° 3. Especificaciones por dosificación. Requisitos

Tabla N° 4. Especificaciones por propiedades. Requisitos

Tabla N° 5. Tipos de Cementos

Tabla N° 6. Límites granulométricos del árido para el uso de mortero en mampostería

Tabla N° 7. Sustancias perjudiciales en la arena

Tabla N° 8. Tiempo de ensayos para absorción

Tabla N° 9. Ensayo de granulometría de arena fina lavada

Tabla N° 10. Ensayo de granulometría del PET

Tabla N° 11. Ensayo corregido de granulometría del PET

Tabla N° 12. Porcentaje de agua retenida en la arena.

Tabla N° 13. Porcentaje de humedad en la arena.

Tabla N° 14. Ensayo de fluidez con mortero patrón

Tabla N° 15. Ensayo de fluidez mortero - 5% - PET

Tabla N° 16. Ensayo de fluidez mortero - 10% PET

Tabla N° 17. Ensayo de fluidez mortero - 20% PET

Tabla N° 18. Ensayo de fluidez mortero - 30% PET

Tabla N° 19. Dosificación mortero patrón

Tabla N° 20. Dosificación mortero 5% de PET

Tabla N° 21. Dosificación mortero 10% de PET

Tabla N° 22. Dosificación mortero 20% de PET

Tabla N° 23. Resistencia a la compresión 24 horas ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) Mortero patrón

Tabla N° 24. Resistencia a la compresión 28 días – Patrón (curado 28 días)

Tabla N° 25. Resistencia a la compresión 24 horas ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) Mortero 5% de PET

Tabla N° 26. Resistencia a la compresión 29 días – 5% de PET (Curado 29 días)

Tabla N° 27. Resistencia a la compresión 24 horas ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) Mortero 10% de PET

Tabla N° 28. Resistencia a la compresión 28 días – 10% de PET (Curado 28 días)

Tabla N° 29. Resistencia a la compresión 24 horas ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) Mortero 20% de PET

Tabla N° 30. Resistencia a la compresión 29 días – 20% de PET (Curado 29 días)

Tabla N° 31. Resumen de resistencia a la compresión a los 28 días – varias muestras

Tabla N° 32. Diferencia porcentual de resistencia a la flexión a los 30 días – varias muestras

Tabla N° 33. Resumen de resultados ensayo a la flexión de morteros

Tabla N° 34. Resumen de resultados, ensayo a la tracción de morteros

Tabla N° 35. Diferencia porcentual de resistencia a la tracción a los 31 días. Varias muestras

Tabla N° 36. Comparación de resultados según estudio similar

Tabla N° 37. Diferencia porcentual de resistencia a la adherencia a los 42 días – Varias muestras

Tabla N° 38. Diferencia porcentual de resistencia a la adherencia entre mezclas



Tabla N° 39. Resumen de resultados de adherencia en morteros

Tabla N° 40. Pesos de cada probeta por absorción – Mortero patrón

Tabla N° 41. Pesos de cada probeta por absorción – Mortero 5% de PET

Tabla N° 42. Pesos de cada probeta por absorción – Mortero 10% de PET

Tabla N° 43. Pesos de cada probeta por absorción – Mortero 20% de PET

Tabla N° 44. Resumen de absorción promedio para varios porcentajes de PET

Tabla N° 45. Velocidad inicial de absorción de diferentes morteros

Tabla N° 46. Diferencia porcentual de absorción

## NORMAS CONSULTADAS

### Normas INEN

Arena normalizada NTE 873-2009

Determinación de la densidad. NTE 156:2009

Áridos para morteros en mampostería NTE 2536-2010

Áridos. Análisis granulométrico fino y grueso NTE 696-2011

Ensayo a la flexión NTE 198:1987

Morteros NTE 2518-2010

Resistencia a la compresión NTE 488-2009

Áridos. Determinación de la masa unitaria y el porcentaje de vacíos NTE 858-2010

Evaluación previa de morteros para mampostería NTE 2536-2010

Determinación del peso específico y absorción. NTE 857

Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa, (gravedad específica) y absorción del agregado fino. NTE 856:2010

### Normas Internacionales

Norma Técnica Guatimalteca NTG 41017 h3. Método de ensayo. Determinación de la velocidad de absorción de los concretos de cemento hidráulico.

Norma Argentina. IRAM 1871:2001. Velocidad de absorción capilar