



ISBN: 978-99961-50-23-4

**ESCUELA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA ITCA – FEPADE**  
**DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL**  
**PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN APLICADA**  
**INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN**

**“DISEÑO Y DESARROLLO EXPERIMENTAL DE  
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN UTILIZANDO  
PLÁSTICO RECICLADO”**

**SEDES Y ESCUELAS PARTICIPANTES: ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
SEDE CENTRAL SANTA TECLA**

**AUTOR: ARQ. GUILLERMO JOSÉ ZAVALA ARTEAGA**

**SANTA TECLA, ENERO 2015**





**ISBN: 978-99961-50-23-4**

**ESCUELA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA ITCA – FEPADE**

**DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL**

**PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN APLICADA**

**INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN**

# **“DISEÑO Y DESARROLLO EXPERIMENTAL DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN UTILIZANDO PLÁSTICO RECICLADO”**

**SEDES Y ESCUELAS PARTICIPANTES: ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
SEDE CENTRAL SANTA TECLA**

**AUTOR: ARQ. GUILLERMO JOSÉ ZAVALA ARTEAGA**

**SANTA TECLA, ENERO 2015**

**Rectora**

Licda. Elsy Escolar Santo Domingo

**Vicerrector Académico**

Ing. Carlos Alberto Arriola

**Vicerrectora Técnica Administrativa**

Inga. Frineé Violeta Castillo

**Edición**

**Dirección de Investigación y Proyección Social**

Ing. Mario Wilfredo Montes

Ing. David Emmanuel Agreda

Lic. Ernesto José Andrade

Sra. Edith Cardoza

**Director Coordinador del Proyecto**

Ing. Santos Jacinto Pérez

**Autor**

Arq. Guillermo José Zavala Arteaga

**FICHA CATALOGRÁFICA**

691

Z39d

Zavala Arteaga, Guillermo José

sv

Diseño y desarrollo experimental de materiales de construcción  
utilizando plástico reciclado / Guillermo José Zavala Arteaga. –  
1ª ed. – San Salvador, El Salvador: ITCA Editores, 2015.  
53 p. : il. ; 28 cm.

ISBN: 978-99961-50-23-4

1 Materiales de construcción. 2. Plásticos en la construcción.  
3. Arquitectura bioclimática Título.

Este documento es una publicación de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA–FEPADE, tiene el propósito de difundir conocimiento y resultados de proyectos entre la comunidad académica y el sector empresarial. El contenido de este Informe de Investigación puede ser reproducido parcial o totalmente, previa autorización escrita de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA–FEPADE. Para referirse al contenido, debe citar la fuente de información. El contenido de este documento es responsabilidad de los autores y los docentes investigadores citados.

**Sitio web:** [www.itca.edu.sv](http://www.itca.edu.sv)

Correo electrónico: [bibliotecologos@itca.edu.sv](mailto:bibliotecologos@itca.edu.sv)

PBX: (503) 2132 – 7400 /FAX: (503) 2132 – 7423

Tiraje: 16 ejemplares

ISBN: 978-99961-50-23-4

Año 2015

## CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>6</b>
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>7</b>
1.1 ANTECEDENTES	7
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
1.3 JUSTIFICACIÓN	8
1.4 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	9
1.5 OBJETIVOS	9
1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES	10
1.7 METODOLOGÍA	10
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>11</b>
2.1 CONCEPTOS GENERALES	12
2.2 ORIGEN DEL PLÁSTICO	13
2.3 PROPIEDADES DE LAS BOTELLAS DE PLÁSTICO.	14
2.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS BOTELLAS DE PLÁSTICO.	14
2.5 RECICLAJE DEL PLÁSTICO	15
2.6 INDUSTRIA DEL PLÁSTICO EN EL SALVADOR	17
2.7 EL PLÁSTICO EN LA CONSTRUCCIÓN	18
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>19</b>
3.1 CASOS ANÁLOGOS	19
3.2 MATERIALES Y EQUIPO UTILIZADOS PARA EL DESARROLLO DE LAS PRUEBAS Y ENSAYOS DE LABORATORIO.	24
3.3 ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS A LOS MATERIALES.	27
3.4 DATOS Y ANÁLISIS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS EN BASE A LAS PROPORCIONES ESTABLECIDAS.	32
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>40</b>
4.1 ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS	41
4.2 DISEÑO DE PROTOTIPOS	42
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>44</b>
5.1 CONCLUSIONES	44
5.2 RECOMENDACIONES	45
5.3 BIBLIOGRAFÍA Y SITIOGRAFÍA	46
5.4 ANEXOS	47

## 1. INTRODUCCIÓN

El siguiente documento presenta la investigación realizada sobre el diseño de mortero hidráulico para construcción, elaborado con la mezcla de cemento portland, arena, agua y PET (tereftalato de polietileno, plástico con la que se elaboran los envases plásticos de las botellas de jugos, agua y gaseosa), dicha mezcla pretende ser un modelo para implementarlo como un nueva tendencia en la construcción; considerando al mismo tiempo la utilización de un material no biodegradable que es desechado y que genera una alta contaminación ambiental. Al mismo tiempo la investigación pretende el desarrollo de una construcción más sostenible, buscando mantener el potencial y capacidad de cubrir las necesidades actuales y futuras de la sociedad.

Lo que se busca además en esta investigación, es proporcionar una alternativa de solución al alto grado de contaminación que generamos, integrando la construcción como un eje transversal para minimizar el grave impacto ambiental; basándonos en la implementación de una nueva tecnología que profundice el concepto de Arquitectura Bioclimática, permitiendo diseños innovadores atreves de nuevas tecnologías aplicadas en nuevos materiales. Por lo tanto, la presente investigación está dirigida a desarrollar una nueva tecnología constructiva con el desarrollo de nuevos materiales.

Cabe indicar que se han involucrado estudiantes de las carreras de Técnico en Arquitectura y Técnico en Ingeniería Civil, que cuentan con conocimientos respecto a nuevas tendencias tecnológicas aplicadas en la construcción. En esta investigación se presentan prototipos los cuales pueden ser implementados en las diferentes alternativas de construcción que se desarrollan a nivel nacional e internacional.

# CAPÍTULO 1

## GENERALIDADES

### 1.1 ANTECEDENTES

La contaminación ambiental es la presencia en el ambiente de cualquier agente físico, químico o biológico; o bien de una combinación de varios agentes en lugares, formas y concentraciones que puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población. La contaminación ambiental es también la incorporación de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas, o mezclas de ellas; al ambiente alterando desfavorablemente las condiciones naturales del mismo.

La mayor parte de basura es intratable y no se puede hacer nada más que esconderla bajo el suelo, incinerarla o transportarla en masa a los países pobres. Gran parte de esta basura es el plástico que proviene de todos los envases que desechamos. Este plástico ha formado enorme contaminación en los océanos (son tan grandes que bien podríamos denominarlos “continentes de plástico”) que ponen en peligro no solo la supervivencia de las especies que ahí habitan, sino nuestra propia salud.

El tereftalato de polietileno (PET) que es la materia prima utilizada para la realización de botellas; nace en el año 1941, y desde entonces año con año se consumen millones de toneladas; lo que representa un problema para el medio ambiente, pues solo se recicla un 20%. Los plásticos utilizados en la industria y la vida cotidiana son productos con una limitada capacidad de autodestrucción, quedando como residuos por muchos años; donde el plástico y sus derivados tardan hasta 500 años en degradarse.

En nuestro país los desechos sólidos se han incrementado en la medida que la población y la industria aumenta, por lo que ante la problemática; se han planteado algunas soluciones; una de las más adoptadas es el reciclaje de materiales. En 1970 inicia en nuestro país el reciclado del plástico, debido a que es utilizado como materia prima; propiciando el desarrollo de tecnologías de recuperación que cubrieran las necesidades de los consumidores. Buscando soluciones, se desarrollaron diversos métodos físicos y químicos que permitían optimizar el reciclaje, a partir de la década de los años 90's se ha mejorado el proceso de reciclaje, aumentando la utilización del polietileno de alta y baja densidad; y se considera que es uno los materiales que más desperdicio genera; solo por debajo de la materia orgánica, el papel y el cartón.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La disposición de residuos constituye una preocupación para la población, considerando que cuando la misma se realiza en forma inadecuada, se genera contaminación. El enfoque debe ser minimizar la generación de los mismos, y en tratar de reutilizar (reciclar) la mayor parte posible. Una solución provista por las alcaldías municipales en lo relativo a la disposición final de residuos, es llevarlos a los botaderos municipales, botaderos a cielo abierto; considerando que los camiones de basura, recolectan una parte de los residuos y existe una cantidad de residuos casi igual que se vierte incontroladamente en basurales clandestinos, o quemándolos deteriorando gravemente el medio ambiente, con los riesgos sanitarios consecuentes.

La disposición final de los residuos plásticos tiene un impacto ambiental en la medida en que los residuos sólidos sean eliminados en botaderos a cielo abierto; siendo ésta una práctica que predomina en la mayoría de los municipios. Dicha práctica se ha favorecido por la falta de aplicación de tecnologías alternativas para el tratamiento, aprovechamiento y disposición final de los residuos, la falta de coordinación interinstitucional del tema, la falta de recursos financieros, el poco énfasis en la determinación de los costos de recolección y transporte. Todo lo anterior origina la poca utilización de tecnologías alternas para el manejo de los residuos plásticos.

Considerando esta problemática, como Escuela Especializada en Ingeniería ITCA FEPADE, debemos de aportar y contribuir con la aplicación práctica de conocimiento técnico; así como también con la realización y presentación de propuestas de mejoramiento de sistemas constructivos. Es por ello que la siguiente investigación está enfocada a resolver un problema medio ambiental de tal manera que se reduzca la contaminación generada por las botellas plásticas y estas a su vez sean utilizadas como materia prima en la elaboración de diferentes elementos constructivos; diseñando estos materiales como una alternativa en la industria de la construcción.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Como Escuela Especializada en Ingeniería ITCA - FEPADE, que promueve la Educación Técnica y de Ingeniería en El Salvador, tenemos que velar no solo por el aprendizaje de la educación; si no que también debemos de buscar los medios y las formas de resolver ciertas problemáticas que puedan



afectar directa o indirectamente dicho aprendizaje. Por lo que se vuelve necesario promover alternativas para minimizar la contaminación que a diario generamos.

Es por ello que como institución estamos con la responsabilidad de concientizar a la población del grave problema ambiental que se genera por el mal manejo de los desechos sólidos, y en particular por los materiales biodegradables; puesto que estos agudizan la problemática de contaminación. Como centro de enseñanza estamos preocupados por dicha problemática y buscamos alternativas para minimizarla, en este sentido planteamos la realización de elementos constructivos utilizando las botellas de plástico como materia prima; que permitirían utilizar un material altamente dañino para el medio ambiente en una alternativa para elaborar materiales de construcción.

En este sentido creemos que es necesario comenzar a desarrollar materiales alternativos que bajen los costos de construcción y que permita por medio de ello dar una solución al problema medio ambiental, por lo que con esta investigación lo que se pretende es proporcionar una alternativa de solución para el minimizar el impacto al medio ambiente, basándonos en la implementación de un concepto de reciclaje; que permita la creación y diseño innovador de algunos elementos arquitectónicos; aplicando técnicas de ingeniería y arquitectura para diseñar un elemento donde se convine el reciclaje y la innovación.

## **1.4 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Podemos desarrollar mortero hidráulico utilizando botellas de plástico recicladas como materia prima para elaborar elementos arquitectónicos, ayudando con ello a minimizar el impacto ambiental y el mal manejo de los desechos sólidos a nivel nacional?

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 Objetivo General**

Desarrollar el diseño de morteros hidráulicos, para la industria de la construcción, con enfoque arquitectónico utilizando botellas de plástico reciclado.

## **1.5.2 Objetivos Específicos**

- \* Desarrollar ensayos de laboratorio para estudiar las propiedades de los materiales que permitan diseñar y elaborar morteros hidráulicos.
- \* Describir los procesos utilizados para convertir las botellas plásticas recicladas en agregados para la elaboración de elementos para la construcción.
- \* Diseñar alternativas para elaborar elementos arquitectónicos considerando proporciones, presupuesto, recomendaciones técnicas y construcciones a escala de los elementos.

## **1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES**

### **1.6.1 Alcances**

- \* Presentar una propuesta de algunos elementos elaborados con botellas de plástico reciclado, que sean una alternativa en la industria de la construcción y ayuden a minimizar el impacto ambiental.
- \* Elaborar esquemas donde se presente el diseño de elementos arquitectónicos utilizando plástico reciclado.
- \* Construcción de modelos a escala de los diferentes elementos arquitectónicos.

### **1.6.2 Limitaciones**

- \* El desarrollo de la propuesta enfocado en elementos arquitectónicos como losetas, adoquines, fachaletas, zócalos o ladrillos tipo galleta.
- \* Elaboración de un prototipo por elemento como modelo.

## **1.7 METODOLOGÍA**

La presente investigación está basada dentro de un proceso metodológico como herramienta que nos facilitara el desarrollo de las posibles estrategias de solución a la problemática ambiental buscando alternativas para la reutilización de las botellas de plástico utilizando estas para elaborar elementos arquitectónicos. Dichas herramientas surgen de un proceso de etapas lógicas de investigación el cual se define para tener una comprensión y análisis profundo del problema y así, que éste permita dar una respuesta apropiada; dicha estrategia se plantea de la siguiente manera:

*Capítulo 1: Planteamiento del Problema.* Consiste en la definición y planteamiento del problema, determinando aspectos generales, para obtener la mayor información posible del tema, teniendo como base la problemática y elementos que surjan de la investigación.

*Capítulo 2: Marco Teórico.* Se determinarán los aspectos generales, esto para tener una visión más amplia; a través de términos que ayuden a comprender mejor el tema y así lograr la mejor estrategia que se adecúe a sus necesidades, como también recopilar información, tomada de libros, folletos, revistas, medios informáticos; todos estos, relacionados al tema.

*Capítulo 3: Diagnóstico.* Este capítulo permitirá la evaluación de la información bibliográfica obtenida, pruebas de laboratorio, análisis y cuadros comparativos, fotografías, etc. La información se ordena de acuerdo a un proceso de etapas lógicas, las cuales llevarán a la formulación de conclusiones para elaborar el diseño de los diferentes elementos arquitectónicos.

*Capítulo 4: Propuesta de Diseño.* En este capítulo se presentan las soluciones a la problemática planteada en capítulos anteriores, donde éstas permitirán dar propuestas de diseño de los elementos arquitectónicos ; considerando en ella los factores internos y externos que puedan ayudar a que las propuestas sean un modelo a nivel nacional e internacional.

*Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones.* En este capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones de la investigación; detallando a la vez, la biografía utilizada para el desarrollo del proyecto.

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

En este capítulo conoceremos conceptos generales en el proceso y trabajo del plástico; elementos, tipos y formas de trabajar el plástico y las instituciones que están involucradas o trabajan a nivel nacional o internacional con las botellas de plástico como materia prima para la elaboración de materiales de construcción.

## 2.1 CONCEPTOS GENERALES

Con la finalidad de comprender algunos términos que son utilizados en el desarrollo de esta investigación, se presenta la definición de los siguientes conceptos; los cuales permitirán una mejor comprensión del proyecto a desarrollar.

A) *BOTELLAS DE PLÁSTICO*: Es un envase ligero muy utilizado en la comercialización de líquidos en productos como de lácteos, bebidas o limpia hogares. Sus ventajas respecto al vidrio son básicamente su menor precio y su gran versatilidad de formas.

B) *RECICLAJE*: Proceso de recuperación de elementos físicos o químicos aún útiles, provenientes de materiales que han servido para un propósito específico y que pueden volver a ser usados para el mismo u otro propósito.

C) *PLÁSTICO RECICLADO*: Consiste básicamente en recolectar, limpiar, seleccionar por tipo de material y fundirlos de nuevo para usarlo como materia prima adicional, alternativa o sustituta para el moldeado de otros productos.

D) *PET*: Politereftalato de Etileno; es un tipo de materia prima plástica derivada del petróleo, correspondiendo su fórmula a la de un poliéster aromático; usado en envases de bebidas y textiles.

E) *MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN*: Es una materia prima o con más frecuencia un producto manufacturado, empleado en la construcción de edificios u obras de ingeniería civil. Los materiales naturales sin procesar (arcilla, arena, mármol) se suelen denominar materias primas, mientras que los productos elaborados a partir de ellas (ladrillo, vidrio, baldosa) se denominan materiales de construcción.

F) *BLOQUE*: Es un mampuesto prefabricado, elaborado con hormigones finos o morteros de cemento, utilizado en la construcción de muros y paredes. Los bloques tienen forma prismática, con dimensiones normalizadas, y suelen ser esencialmente huecos. Sus dimensiones habituales en centímetros son: 10x20x40cm, 15x20x40cm, 20x20x40cm.

G) *PANEL*: Elemento o pieza que han sido anteriormente fabricados con concreto hidráulico, es el material resultante de la mezcla de cemento (u otro conglomerante) con áridos (piedra grava, gravilla y arena) y agua. El concreto hidráulico permite rellenar un molde o encofrado con una forma previamente establecida. Este material de construcción tiene dimensiones estándares en centímetros de 5x122x244cm.

H) *ADOQUÍN*: Es una piedra o bloque labrado de forma rectangular que se utiliza en la construcción de pavimentos. El material más utilizado para su construcción ha sido el granito, por su gran resistencia y facilidad para el tratamiento. Sus dimensiones suelen ser de 20cm. de largo por 15cm. de ancho, lo cual facilita la manipulación con una sola mano.

I) *BALDOSA*: Es una losa o loseta manufacturada, fabricada en diferentes tipos y técnicas de cerámica, así como en piedra, caucho, corcho, vidrio, metal, plástico; usado para pavimentos.

## 2.2 ORIGEN DEL PLÁSTICO

La palabra "plástico" no se asocia únicamente a un material, tal y como sucede con el metal, que designa otros materiales además del hierro y del aluminio. La palabra plástico debe entenderse como un término genérico que describe una gran variedad de sustancias, las cuales se distinguen entre sí por su estructura, propiedades y composición.

Los plásticos hacen parte de un grupo de compuestos orgánicos denominados polímeros, los cuales están conformados por largas cadenas macromoleculares que contienen en su estructura carbono e hidrógeno. Principalmente se obtienen mediante reacciones químicas entre diferentes materias primas de origen sintético o natural.

El plástico se origina como resultado de un concurso realizado en 1860 en Estados Unidos, para encontrar el sustituto del marfil para la fabricación de bolas de billar; de ese concurso nace un tipo de plástico llamado celuloide. Con dicho material se comenzaron a fabricar productos de plástico como collares, mangos de cuchillos, cajas, armazones de lentes y películas cinematográficas. En 1909, se descubrió una nueva materia prima, el alquitrán, del que se fabricó otro plástico, la baquelita; usada como aislante eléctrico debido a que es altamente resistente al calor, al agua y a los ácidos.

Por otra parte los químicos a principio del siglo XX comenzaron a conocer mejor las reacciones químicas, esto aceleró la búsqueda de nuevos materiales y así, en el año 1930 comenzó la fabricación de plásticos a partir de derivados del petróleo. Como por ejemplo el nylon y el PVC, que comenzaron su fabricación industrial en la década de los años 30, siendo en la década de los 40 cuando se incorporaron otros como el polietileno, los poliésteres, los poliuretanos y las resinas epóxicas.

### 2.2.1. Clasificación y Uso del Plástico

Los plásticos se clasifican según sea su comportamiento con la variación de la temperatura y los disolventes; y se clasifican en termoestables y termoplásticos. Los termoestables son los plásticos

que no reblandecen ni fluyen por mucho que aumente la temperatura; por tanto sufren modificaciones irreversibles por el calor y no pueden fundirse de nuevo. Los termoplásticos son plásticos que cuando son sometidos a calor se reblandecen y fluyen por tanto son moldeables por el calor cuantas veces se quiera sin que sufran alteración química irreversible. Son más fáciles de reciclar.

Los termoestables son utilizados para fabricar recubrimientos, espumas para colchón, adhesivos, piezas para vehículos y componentes eléctricos. En cambio, los termoplásticos son utilizados para la fabricación de marcos de ventana, tuberías, envases, vasos, cajas, tapones, tarjetas, bolsas y botellas para diferentes líquidos.

### **2.3 PROPIEDADES DE LAS BOTELLAS DE PLÁSTICO.**

Las propiedades físicas del PET y su capacidad para cumplir diversas especificaciones técnicas han sido las razones por las que el material haya alcanzado un desarrollo relevante en la producción de fibras textiles y en la producción de una gran diversidad de envases. Presentando características como las siguientes:

- a) Cristalinidad y transparencia.
- b) Buen comportamiento frente a esfuerzos permanentes.
- c) Alta resistencia al desgaste.
- d) Muy buen coeficiente de deslizamiento.
- e) Buena resistencia química
- f) Totalmente reciclable
- g) Alta rigidez y dureza.

### **2.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS BOTELLAS DE PLÁSTICO.**

En la industria de la construcción es uno de los sectores que se utilizan diversos productos de plástico, los cuales son utilizados en tuberías, instalaciones eléctricas, pisos, mobiliario y otros. Los productos de plástico tienen una gran gama de aplicaciones y es importante conocer cuáles son sus ventajas y desventajas; por lo que se definen algunas de estas características:

### **2.4.1. Ventajas**

- a) Es moldeable, pudiéndosele dar la forma deseada por medio de diferentes técnicas.
- b) Variada flexibilidad dependiendo de las características del material que se requiera.
- c) Una vez instalado el material no requiere constante mantenimiento.
- d) Es muy duradero.
- e) Dependiendo de su uso se puede variar la resistencia del plástico.
- f) Posee una gran resistencia a las sustancias químicas (líquidas y gases).
- g) Soporta altas y/o bajas presiones y temperaturas.

### **2.4.2. Desventajas**

- a) Son desechos de difícil solución.
- b) Poco manejo de la recolección y disposición final de los residuos.
- c) Material poco convencional y poco utilizado en la actualidad como material de construcción.
- d) Material inflamable, por lo que no es recomendable utilizarlo sin recubrimiento.

## **2.5 RECICLAJE DEL PLÁSTICO**

En todo el mundo, existe una preocupación por la contaminación del agua, aire y suelo; ocasionada en gran medida, por los volúmenes de residuos que se generan a diario sin recibir un tratamiento adecuado. Por sus características, los plásticos sintéticos no representan un riesgo para el ambiente; sin embargo si son un problema mayor porque no pueden ser degradados por el entorno.

Los plásticos son sustancias orgánicas de alto peso molecular que se sintetizan a partir de compuestos de bajo peso molecular y se caracterizan por una alta relación resistencia/densidad; que son propiedades óptimas para el aislamiento térmico y eléctrico, también son resistentes a los ácidos, álcalis y solventes. Dichos materiales, entraron al mundo industrial hasta expandirse también en el campo de la construcción; y en la actualidad se emplean en elementos constructivos tales como pisos, cubiertas, tragaluces, falsos plafones o muebles. A causa del crecimiento de la industria de los plásticos, han creado una dependencia sobre estos; generando un problema de tipo ambiental, debido a la acumulación de plásticos como desecho, ya que, sabiendo que pueden transformarse y reutilizarse; son tirados indiscriminadamente a basureros sin importar si son plásticos considerados como reciclables.

En nuestro país no existen espacios físicos para colocar todos los desechos que se generan, los cuales son llevados a botaderos comunes; lo que genera automáticamente la contaminación ambiental. En El Salvador la industria del plástico es una de las más dinámicas de la región; sin embargo está creando serios problemas al ambiente. El Ministerio del Medio Ambiente (MARN) cifró en 3,400 toneladas de basura que se producen en El Salvador; y el plástico alcanza un 20%, la que más se produce después de la basura orgánica. Comparando ese dato con la cantidad que se recicla, tenemos que el reciclaje alcanza nada más el 0.20% del total producido.

### **2.5.1. Etapas del Reciclaje del Plástico.**

Se consideran varias etapas, las cuales se detallan a continuación:

A) *RECOLECCIÓN*: Todo sistema de recolección diferenciada descansa en un principio fundamental, que es la separación de los residuos en dos grupos básicos: residuos orgánicos por un lado e inorgánicos por otro. En los residuos orgánicos irían los restos de comida y de jardín; y en el otro grupo los metales, madera, plásticos, vidrio, aluminio.

B) *CENTRO DE RECICLADO*: Aquí se reciben los residuos plásticos mixtos compactados en fardos que son almacenados a la intemperie. Existen limitaciones para el almacenamiento prolongado en estas condiciones, ya que la radiación ultravioleta puede afectar a la estructura del material, razón por la cual se aconseja no tener el material expuesto más de tres meses.

C) *CLASIFICACIÓN*: Luego de la recepción se efectúa una clasificación de los productos por tipo de plástico y color. Si bien esto puede hacerse manualmente, se han desarrollado tecnologías de clasificación automática, que se están utilizando en países desarrollados. Considerando lo anterior, el reciclaje del plástico es una práctica muy útil para reducir los desperdicios sólidos.

Existen algunas técnicas de reciclado, las cuales dan como resultado 4 tipos:

1) *Reciclado Primario*: Consiste en la conversión del desecho plástico en artículos con propiedades físicas y químicas idénticas a la del material original. El reciclado primario se hace con los termoplásticos, pues las propiedades permiten que el material se funda a bajas temperaturas sin ningún cambio en su estructura.



2) *Reciclaje Secundario*: Convierte el plástico en artículos con propiedades inferiores a las del polímero original. El proceso de mezclado del plástico es representativo, eliminando la necesidad de separarlo.

3) *Reciclaje Terciario*: Es el que degrada al polímero a compuestos químicos básicos y combustibles. Diferente a otros polímeros porque en este existe un cambio químico y no físico.

4) *Reciclaje Cuaternario*: Consiste en el calentamiento del plástico con el objeto de usar la energía térmica liberada por medio de dicho proceso; para integrarlo en otros procesos químicos y físicos.

## 2.6 INDUSTRIA DEL PLÁSTICO EN EL SALVADOR

En nuestro país, la industria del plástico inicia en los años 50, cuando aparecen los peines de plástico, producidos por la empresa Amapola; siendo esta, la pionera de la industria en El Salvador. En 1955 nace la empresa Industrias Plásticas S.A. de C.V.; la cual tuvo dos líneas de fabricación: el moldeo por inyección y el moldeo por extracción.

Es en la década de los 60's, la industria del plástico toma importancia en el país, ya que en esta década se establecieron alrededor de 25 fábricas para manufacturar una diversidad de artículos plásticos. En 1970 inicia el proceso de reciclado del plástico, debido a que el precio de la materia virgen proveniente del plástico, aumento considerablemente teniendo en cuenta que para ese tiempo también aumento el precio del petróleo; por lo que se volvió necesario el desarrollo de tecnologías de recuperación buscando cumplir las necesidades de los consumidores, para solucionar el problema de abasto.

Buscando soluciones para el manejo del plástico en nuestro país, se desarrollaron diferentes investigaciones; y por la ventaja del método físico nace el reciclado del plástico; cobrando importancia en la década de los 80's. Para los años 90's se desarrollan los centros de acopio, donde se recolectan los materiales para su posterior transformación. El plástico que más ha aumentado su utilización es el polietileno, tanto de alta como de baja densidad; y en la actualidad son más de un centenar de empresas que trabajan con el plástico como materia prima o generando productos secundarios por medio de su reciclaje.

## 2.7 EL PLÁSTICO EN LA CONSTRUCCIÓN

El crecimiento constante de población ocasiona diferentes problemáticas, siendo dos las principales relacionadas con la industria de la construcción: la falta de viviendas para la población de bajos recursos y el creciente deterioro ambiental ocasionado por la generación de desechos no biodegradables. Entre las soluciones se encuentra el desarrollo y mejora en la calidad de los elementos de construcción, empleando nuevas tecnologías y materiales que disminuyan el impacto ambiental (reduciendo el gasto de energía y materias primas que requieren los elementos de construcción convencionales), que sean de bajo costo en su elaboración y de procesamiento sencillo; y en este rango se considera el plástico utilizado en la elaboración de botellas PET.

El politereftalato de etileno (PET), proveniente de las botellas plásticas y es utilizado en otros países en la fabricación de viviendas para poblaciones vulnerables y en múltiples materiales para la construcción. Todo surge con la filosofía de aportar a la conservación del medio ambiente, bajo la premisa de darles aplicación y utilización a los residuos plásticos.

Tras años de investigación sobre las propiedades del material reciclado, se lograron desarrollar elementos que anteriormente se fabricaban en madera, concreto y acero; no solo con las mismas características y propiedades mecánicas, sino alcanzando ventajas y beneficios con respecto a los materiales tradicionales. El reciclaje de desechos, ha permitido crear nuevos materiales de construcción, que por lo regular suelen ser sumamente resistentes y económicos. Uno de los materiales que más aplicación tiene en la industria de la construcción es el plástico denominado PET, ya que por sus características y resistencia puede ser utilizado tanto para la construcción de elementos divisorios como muros, celosías y losas; como para construir edificaciones completas.

La utilización de las botellas de plástico como material de construcción permite tener una mayor diversidad de productos y materiales de construcción, considerando además las ventajas que el plástico combinado con el cemento y los agregados poseen; por lo que se pueden mencionar algunas ventajas:

- A) Uso creativo de la basura.
- B) Cuidado de la tierra.
- C) Material de construcción de muy bajo costo.
- D) Construcciones térmicas y de menor peso.
- E) Uso eficiente de recursos disponibles.
- F) Acceso a una vivienda, por parte de personas de bajos recursos económicos.

Existen diferentes elementos que se han creado y diseñado utilizando el PET como materia prima, ejemplo paneles de plástico reciclado, este un sistema de construcción está compuesto por paneles unidos mecánicamente entre sí y anclados al piso con pernos expansibles. Si llegara a ser necesario, la casa puede ser desmontada y reubicada en otro lugar.

Otro ejemplo es el proyecto que incluye la transformación del plástico de las botellas de jugo, gaseosa y agua mediante un proceso en el que se trituran y funden las botellas para que posteriormente se conviertan en piezas modulares traslúcidas que tienen la capacidad de resistir fenómenos naturales como tifones, huracanes o terremotos.

Otro proyecto orientado al reciclaje de botellas PET, es el que transforma las botellas de plástico en bloques o paneles. El proceso de elaboración de los bloques es similar al descrito anteriormente, pues las botellas de plástico, una vez dentro de la máquina, se lavan y son presionados en forma de paneles. Estos bloques o paneles son también altamente resistentes, por lo cual pueden ser utilizados de manera estructural tanto en muros de carga y de contención.

## CAPÍTULO 3

### DIAGNÓSTICO

En este capítulo se presentan algunos proyectos desarrollados en otros países como parte de una nueva tendencia constructiva. Así también se explican todas las pruebas de laboratorio realizadas en esta investigación utilizando el plástico triturado como materia prima en la elaboración de los cubos (5x5x5) cm, de ensayo y elementos constructivos a diseñar; dichas pruebas nos permiten determinar las proporciones a determinar en la elaboración de los prototipos a escala que se construirán y que detallamos posteriormente. Entre las propiedades que estudiaremos están la resistencia a la compresión, el peso específico de los elementos y la cantidad de absorción. Luego de describir cada una de las pruebas realizadas, se presentan los cuadros con los datos y resultados obtenidos.

#### 3.1 CASOS ANÁLOGOS

Los casos análogos son proyectos que se pueden ver y estudiar para analizarlo; el proyecto en estudio es similar al que se desarrolla; por lo que la información que en ellos encontramos sirve para

ver las virtudes y las deficiencias en el proyecto; permitiendo ello, aplicar los criterios necesarios para elaborar de una forma eficiente nuestro proyecto.

### **3.1.1. Componentes Constructivos elaborados con una Mezcla Cementicia y Agregados de Plásticos Reciclados.**

*CENTRO EXPERIMENTAL DE LA VIVIENDA ECONÓMICA (CEVE); CÓRDOBA, ARGENTINA<sup>1</sup>*

Como ente encargado de velar por la vivienda para familias de bajos ingresos en Argentina, aquí se estudian alternativas que ayuden a bajar los costos de construcción y adquisición de viviendas; por lo que para desarrollar esta investigación se reciclan residuos plásticos para la fabricación de componentes constructivos.

Los materiales utilizados fueron: polietileno-tereftalato, procedente de envases descartables de bebidas; y films de plásticos varios: polietileno, polipropileno biorientado y policloruro de vinilo, procedentes de embalajes de alimentos reciclados.

Estos residuos se trituran y se incorporan a una mezcla de cemento Pórtland común, agua y un aditivo químico. Con esta mezcla se fabrican ladrillos, bloques de pared y placas de ladrillos; que se aplican en cerramientos no estructurales de viviendas.

Los componentes desarrollados son ecológicos, porque se utiliza para su elaboración un residuo que hasta el presente se recicla sólo en un bajo porcentaje, siendo su destino habitual basurales en donde se acumula o quema produciendo contaminación; o se entierra en predios sanitarios desaprovechando un recurso valioso.

Las etapas realizadas en este proyecto fueron las siguientes:

1. Estudios bibliográficos para actualización del estado de la técnica sobre el tema.
2. Programación y control de experiencias con fabricación de probetas, tomando como variables: dosificación de materiales, granulometrías, tipo de materiales, procedimientos de elaboración, formas de compactación, métodos de curado, y diseño morfológico de componentes.
3. Realización de ensayos normalizados en laboratorios, a fin de establecer propiedades físicas.

---

<sup>1</sup> [www.ceve.org.ar](http://www.ceve.org.ar)

4. Programación de ajustes en las fórmulas y en el diseño de los elementos constructivos, en base a las fallas observadas. Repetición del ciclo de actividades.
5. Evaluación económica comparativa de los elementos constructivos desarrollados.
6. Construcción de prototipos experimentales.
7. Evaluación final de los elementos constructivos desarrollados desde los puntos de vista ecológico, técnico, económico y social.

El procedimiento utilizado para la fabricación de los elementos constructivos es el siguiente:

Se realiza el triturado del plástico con un molino diseñado para tal fin. Las partículas plásticas se mezclan con cemento Pórtland en una concretara de sitio, luego se agrega agua con un aditivo químico incorporado. Este aditivo aumenta la adherencia de los plásticos a la mezcla cementicia. El ligante que se utiliza es cemento Pórtland común. La cuantía de cemento es de 224,5 kg/m<sup>3</sup> en el caso del ladrillo (sección bruta); y 103 kg/m<sup>3</sup> en el caso del bloque para muro (sección bruta). El aditivo químico se agrega al agua de mezclado, en un porcentaje del 0,5 % del peso del cemento. Cuando esta mezcla adquiere consistencia uniforme, se la vierte en una máquina de moldear ladrillos o bloques, según elemento constructivo deseado.

Después del tiempo de curado, se los retira y se los almacena en pilas a cubierto hasta cumplir los 28 días desde su elaboración. Luego son llevados a obra para su uso en mamposterías de elevación, o bien se los emplea para fabricar placas de ladrillos.

Características de los materiales utilizados: Cemento: tipo Pórtland común. Aditivo químico: Polímeros acrílicos en suspensión. Plásticos: polietilen tereftalato, polietileno, polipropileno biorientado y policloruro de vinilo. Granulometría de las partículas plásticas: módulo de finura 4.25 en el caso de ladrillos y bloques para techo, y 3.85 en el caso de los bloques para muro.

Existen numerosos antecedentes internacionales y nacionales de utilización de plásticos reciclados en elementos constructivos, pero se diferencian de los productos de esta investigación por los materiales constitutivos, la dosificación, los procedimientos de elaboración, el diseño, las propiedades físicas y químicas, sus aplicaciones, y el costo. La contribución científico – técnica del trabajo consiste en el desarrollo tecnológico de nuevos productos y el estudio de sus propiedades.

### 3.1.2. Ladrillo Ecológico como Material Sostenible para la Construcción.

*TESIS DOCTORAL. ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS; NAVARRA, ESPAÑA<sup>2</sup>*

En este proyecto, se propone la realización de un nuevo material constructivo, denominado *ecoladrillo*; inspirado en el tradicional adobe y que sustituya al ladrillo convencional cocido. Para ello se emplea un suelo marginal no empleado hasta el momento para la fabricación de ladrillos. Como aditivos comerciales se emplean el cemento para la realización de las combinaciones de referencia y la menos usual pero igual de eficiente cal hidráulica. Como aditivo resistente se utilizan las cenizas de cáscaras de arroz y como aditivo estructurante las cascarillas también de arroz.

La adición de estos dos últimos aditivos residuales supone la reducción de un gran impacto medio ambiental ya que las cenizas procedentes de la biomasa generada por la combustión de los restos de la cosecha del arroz, permanecen por millones de toneladas en vertederos de todo el mundo. Hasta la definición de este producto se han realizado 4 fases experimentales según se ha ido añadiendo un nuevo aditivo a la muestra.

Para la caracterización de cada combinación propuesta en cada fase, se han ejecutado el ensayo de resistencia a compresión simple, el ensayo de absorción y el ensayo de heladicidad.

Además, se ha realizado un seguimiento de las pérdidas de peso que se producen durante el tiempo de curado y las pérdidas de resistencia que se ocasionan tras inmersión y tras los ciclos de hielo/deshielo. Todas las combinaciones estudiadas se han realizado a tres niveles de compactación relativamente bajos (1, 5 y 10 MPa). No obstante, se descarta la realización de estos ladrillos a 1 MPa, sobre todo, porque la estructura de los mismos es excesivamente abierta. Posteriormente, en la penúltima fase se han descartado las combinaciones a 5 MPa ya que, al contrario de lo que se observa a 10 MPa, no se producen mejoras significativas.

Los resultados obtenidos son totalmente satisfactorios. La cal hidráulica natural es un aditivo sostenible y con capacidad de desarrollar resistencia. Además, combinando la cal con el resto de aditivos las diferencias con la combinación de referencia, realizada con cemento, son mínimas. Las cenizas de cáscara de arroz suponen un gran aditivo que potencia a más del doble la resistencia de la muestra con cenizas que sin ellas, demostrando así que favorecen notablemente el desarrollo de las reacciones puzolánicas. Las cascarillas de arroz disminuyen en más de un 10% la densidad de la combinación con únicamente aditivo comercial.

---

<sup>2</sup> [www.academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/4504/577656.pdf](http://www.academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/4504/577656.pdf)

El *ecoladrillo* además de una buena apariencia responde a criterios ecológicos y sostenibles ya que requiere un bajo nivel de energía para su fabricación y se elimina la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera al ser ladrillos que no requieren de cocción.

### **3.1.3. Desarrollo de Elementos Modulares utilizando Materiales Alternativos con Aplicaciones al Diseño Ladrillo Ecológico como Material Sostenible para la Construcción.**

*TESIS DOCTORAL. UNIVERSIDAD DE PAPALOAPAN; OAXACA, MÉXICO*<sup>3</sup>

El presente estudio se enfocó al diseño de un módulo de ensamble sin adhesivos, a partir del uso del material compuesto cemento-plástico, con el fin de construir muros divisorios de bajo costo y que favorezcan el cuidado del medioambiente. El procedimiento consistió dos etapas básicas; las cuales fueron: desarrollo del material y diseño de módulos autoalineables.

En la primera etapa, se elaboró el material compuesto cemento-plástico para lo cual se utilizaron diferentes relaciones cemento/plástico (0.0156, 0.0468, 0.0936, 0.156, 0.187, 0.3122 y 0.3903) utilizando un tamaño de partícula promedio de 0.8 mm.

Para evaluar la resistencia mecánica del material, se realizaron muestras de mortero de forma cubica con dimensiones 5x5x5 cm (En base a la Norma ASTM-C-140-75). Se dejaron a fraguar por diferentes intervalos de tiempo (1, 3, 7, 14 y 28 días) para determinar el cambio en resistencia mecánica. Adicionalmente se realizaron ensayos de microscopía electrónica de barrido para evaluar cambios estructurales como consecuencia de esfuerzos de carga.

En la segunda etapa, después de que se compararon los resultados de la etapa previa, se seleccionó la muestra más adecuada y se procedió al diseño del módulo autoalineable. Las características básicas que el módulo debía de cumplir son: versatilidad, resistencia, ligereza y ensamble. Se desarrollaron diferentes propuestas de entre las cuales se seleccionó la que se consideró cumplía con las características propuestas.

Después de haber generado el diseño del elemento, se creó el molde en madera, para finalmente crear el módulo real.

---

<sup>3</sup> [www.unpa.edu.mx/tesis\\_Loma/tesis\\_digitales/Tesis\\_DEMAD\\_enero2012.pdf](http://www.unpa.edu.mx/tesis_Loma/tesis_digitales/Tesis_DEMAD_enero2012.pdf)

## 3.2 MATERIALES Y EQUIPO UTILIZADOS PARA EL DESARROLLO DE LAS PRUEBAS Y ENSAYOS DE LABORATORIO.

Para la elaboración de las pruebas de laboratorio es importante conocer cuáles son los materiales que utilizaremos para ello, así como también el equipo de laboratorio a ocupar para cada ensayo.

### 3.2.1. Materiales.

A continuación describiremos los materiales que se utilizaran para la elaboración de los cubos de ensayo.

*A) CEMENTO:* Son materiales formados por la mezcla y calcinación de materiales existentes en la naturaleza, como la piedra de marga; sustancia caliza y arcillosa. Son los únicos conglomerantes hidráulicos normalizados, que, amasados con agua, fraguan y endurecen, tanto expuestos al aire, como sumergidos en agua, por ser los productos de su hidratación estables en tales condiciones.

El cemento Portland es el conglomerante hidráulico que resulta de la pulverización de clinker frío, a un grado de finura determinado; al cual se le adiciona sulfato de calcio natural y agua.

A criterio del productor también pueden incorporarse como auxiliares para impartir determinadas propiedades al cemento. Los cementos Portland son cementos hidráulicos; es un producto que se obtiene mezclando íntimamente materias calizas y arcillas o bien otras que contengan Sílice, Alúmina y óxido Férrico (silicato de calcio hidráulicos). Los cementos hidráulicos fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua. Durante esta reacción, llamada hidratación, el cemento se combina con el agua para formar una pasta de aspecto similar a una roca. Cuando la pasta (cemento y agua) se agrega a los agregados (arena y grava, piedra triturada u otro material granular) actúa como adhesivo y une todas las partículas de agregados para formar así al concreto.

*B) ARENA:* Es un conjunto de partículas de rocas disgregadas. Se refiere a partículas de agregado menores de 4.75 mm, pero mayores de 75 micras (malla No. 200), y resulta de la desintegración natural y de la abrasión de la roca o del procesado de piedra caliza deleznable. El componente más común de la arena, es el sílice, generalmente en forma de cuarzo. Sin embargo, la composición varía de acuerdo a los recursos y condiciones locales de la roca. Gran parte de la fina arena hallada en los arrecifes de coral, por ejemplo, es caliza molida que ha pasado por la digestión del pez loro. En algunos lugares hay arena que contiene hierro, feldespato o, incluso, yeso.



C) *PLÁSTICO*: El término plástico, se aplica a las sustancias de similares estructuras que carecen de un punto fijo de evaporación y poseen, durante un intervalo de temperaturas, propiedades de elasticidad y flexibilidad que permiten moldearlas y adaptarlas a diferentes formas y aplicaciones. Son materiales poliméricos orgánicos, que pueden deformarse hasta conseguir una forma deseada por medio de extrusión, moldeo o hilado. Las moléculas pueden ser de origen natural, por ejemplo la celulosa, la cera y el caucho natural; o sintéticas, como el polietileno y el nylon.

D) *AGUA*: Es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida. El término agua generalmente se refiere a la sustancia en su estado líquido, aunque la misma puede hallarse en su forma sólida llamada hielo, y en su forma gaseosa denominada vapor. Como regla general se puede decir que el agua apta para el amasado y curado del mortero en la mayoría de los casos es el agua potable.

### **3.2.2. Equipo.**

A continuación describiremos el equipo de laboratorio que se utilizara para la elaboración de los cubos de ensayo.

A) *PALA*: Una pala es una herramienta de mano utilizada para excavar o mover materiales con cohesión relativamente pequeña. Consta básicamente de una superficie plana con una ligera curvatura que sirve para cavar en la tierra y de un mango de metal o madera.

B) *CUCHARA*: Es una herramienta usada en albañilería formada por una lámina metálica de forma triangular sujeta por un mango de madera que se emplea para aplicar y manejar el mortero y la argamasa.

C) *CINTA MÉTRICA*: Una cinta métrica es un instrumento de medida que consiste en una cinta flexible graduada y se puede enrollar, haciendo que el transporte sea más fácil, con ella se pueden medir líneas y superficies curvas.

D) *VERNIER O PIE DE REY*: Es una segunda escala auxiliar que tienen algunos instrumentos de medición, que permite apreciar una medición con mayor precisión al complementar las divisiones de la regla o escala principal del instrumento de medida. Instrumento utilizado para medir dimensiones de objetos relativamente pequeños, desde centímetros hasta fracciones de milímetros.

E) *BALANZA*: La balanza es un instrumento que sirve para medir la masa. Para realizar las mediciones se utilizan patrones de masa cuyo grado de exactitud depende de la precisión del instrumento. Al igual que en una romana, pero a diferencia de una báscula o un dinamómetro, los resultados de las mediciones no varían con la magnitud de la gravedad.

F) *TAMIZ*: Utensilio que se usa para separar las partes finas de las gruesas de algunas cosas y que está formado por una tela metálica o rejilla tupida que está sujeta a un aro.

G) *TAMIZADOR MECÁNICO*: Consiste en hacer pasar una mezcla de partículas de diferentes tamaños por un tamiz, cedazo o cualquier cosa con la que se pueda colar. Las partículas de menor tamaño pasan por los poros del tamiz o colador atravesándolo y las grandes quedan atrapadas por el mismo.

H) *HORNO DE SECADO*: Comúnmente usado para deshidratar reactivos, muestras de laboratorio o secar instrumentos. El horno aumenta su temperatura gradualmente conforme pase el tiempo así como también sea su programación, cuando la temperatura sea la óptima y se estabilice, el térmico mantendrá la temperatura; si esta desciende volverá a activar las resistencias para obtener la temperatura programada.

I) *CHAROLA*: Bandeja o recipiente.

J) *GUANTES DE HULE*: su principal uso es en los trabajos relacionados con elementos químicos y/o que requieren limpieza. Para su mantenimiento, se recomienda lavarlos con agua y un poco de amoníaco diluido y secarlos siempre del revés.

K) *ESPÁTULA*: Es una herramienta que consiste en una lámina plana de metal con agarradera o mango similar a un cuchillo con punta roma.

L) *CRONOMETRO*: Es un reloj cuya precisión ha sido comprobada y certificada por algún instituto o centro de control de precisión.

M) *PROBETA*: La probeta es un instrumento volumétrico consistente en un cuadrado rectangular cilíndrico, graduado de vidrio que permite contener líquidos y sirve para medir volúmenes de forma aproximada.

N) *VICAT*: Es un aparato de medida de la dureza. Se emplea en aquellos materiales que no poseen un punto de fusión definido, tal y como algunos plásticos. Se emplea igualmente en la determinación de los tiempos de fraguado de los hormigones

Ñ) *PIPETA*: Es un instrumento volumétrico de laboratorio que permite medir la alícuota de líquido con bastante precisión. Está formada por un tubo transparente que termina en una de sus puntas de forma cónica, y tiene una graduación (una serie de marcas grabadas) con la que se indican distintos volúmenes.

O) *MATRAZ*: Recipiente de cristal donde se mezclan las soluciones químicas, generalmente de forma esférica y con un cuello recto y estrecho, que se usa para contener líquidos.

P) *MOLDE METÁLICO*: Es una pieza, o un conjunto de piezas acopladas; interiormente huecas pero con los detalles e improntas exteriores del futuro sólido que se desea obtener. En su interior se vierte el material fluido que cuando se solidifica adquiere la forma del molde que lo contiene.

Q) *FRANELA*: La franela es un tejido suave, de varios tipos de calidades; hechas de lana, de algodón, o fibras sintéticas.

### **3.3 ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS A LOS MATERIALES.**

En este apartado se describen cada una de las pruebas de laboratorio realizadas a los materiales utilizados en la elaboración de los cubos de ensayo y los prototipos de los elementos arquitectónicos a diseñar.

#### **3.2.3. Arena.**

Las pruebas realizadas a la arena se detallan a continuación:

A) *OBTENCIÓN DEL MATERIAL DE UN BANCO DE PRÉSTAMO*: Selección de la arena procedente del Rio las Cañas, Ilopango. Luego de recoger la muestra en campo, se clasifica la misma a un tamaño adecuado para pruebas; empleando técnicas que permitan minimizar las variaciones en las características que se medirán en la muestra de campo y la de laboratorio. El tamaño de la muestra será el establecido en la norma *ASTM D-75*. Y cuando se vayan a realizar pruebas adicionales, el usuario; por sí mismo deberá determinar cuál es el tamaño de la muestra de campo para poder realizar todas las pruebas.

B) *MÉTODO DEL CUARTEO*: Clasificación de un porcentaje de la arena para realizarle las pruebas de calidad. Dicho método se puede desarrollar ya sea de forma manual o de manera mecánica.

\*\* *MÉTODO DE CUARTEO MECÁNICO*: Los divisores de muestras mecánicas deberán tener un número de ranuras de igual ancho que no sea menor de ocho (8), para agregado grueso; los que descargarán alternadamente a cada lado del divisor. El divisor debe estar provisto de dos recipientes que recogerán cada una de las partes de la muestra dividida, tendrá también una tolva o charola en la parte superior que tendrá un ancho igual o ligeramente superior al ancho total de las ranuras divisoras, por medio de la cual la muestra puede ser vertida a velocidad constante hacia las ranuras.

Se colocó la muestra de campo en la charola, distribuyéndola de manera uniformemente y considerando una cantidad similar de material en cada ranura; teniendo en cuenta la descarga del material en cada una de las ranuras. Luego se reintrodujo la porción de la muestra recogida en uno de los recipientes hasta reducir la muestra al tamaño necesario para realizar la prueba.

**\*\* MÉTODO DE CUARTEO MANUAL:** Para extraer esta muestra es necesario una regla, un cucharón, pala o cuchara, una escoba o cepillo y una lona gruesa de aproximadamente 6 por 8 pies.

Se colocó la muestra de campo en una superficie dura, limpia y nivelada, de tal manera que no se pierda material ni haya contaminaciones accidentales por la adición de materiales extraños; luego se hizo la mezcla el material traspaleando la muestra entera al menos tres veces, en el último traspaleo formar con la totalidad de la muestra una pila cónica, presionando con la pala la parte superior de la pila hasta obtener un espesor y diámetro uniforme de tal forma que cada cuarto de la pila contenga el material que originalmente se encontraba en él. Se considera que el diámetro de la pila debe ser aproximadamente de cuatro (4) a ocho (8) veces su espesor, dividiendo la pila formada con la pala en cuartos aproximadamente iguales y removiendo los cuartos diagonalmente opuestos incluyendo todo el material fino; para luego mezclar y cuartear hasta reducir la muestra al tamaño deseado.

**C) DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD MEDIANTE EL SECADO AL HORNO:** Para determinar la humedad es necesario contar con una charola, un desecador, un par de guantes, un cucharón, una espátula y un horno con capacidad para mantener temperaturas uniformes de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ . La prueba es establecida en la norma *ASTM C 566 – 97*.

Para realizar esta prueba se tuvo que cuartear la arena las veces necesarias hasta obtener el peso mínimo recomendable, colocando en una charola la muestra representativa; se seca el material a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ; para luego pesar la arena nuevamente.

**D) DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO:** Es la relación del peso del agregado al peso de un volumen igual de agua (agua desplazada por inmersión).

Se considera que en el agregado todos los vacíos permeables están llenos de agua pero sin agua superficial. El peso específico se usa para el cálculo en el diseño de mezclas, especialmente para mezclas de concreto; por medio del peso específico obtenemos el volumen de los agregados en la mezcla. La prueba es establecida en la norma *ASTM C 128 – 01*. Para realizar la prueba se ocupó una balanza, un matraz, un molde metálico, una probeta y franela.

Para la prueba se tuvo que preparar la muestra a utilizar considerando que tuvo que secarse al horno para quitarle la humedad natural de la misma, luego se cubrió con agua por 24 horas para luego remover el exceso de agua. Con la muestra seca se desarrollaron las pruebas del cono para la determinación de la humedad superficial de la muestra y la del cono para la determinación de la

humedad superficial del agregado fino que tiene como propósito que el agregado fino este en condición de saturado con la superficie seca.

*E) ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO PARA MORTERO:* El tamaño de la partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre con aberturas cuadradas. Todos los tamices están montados en marcos que se apilan acomodados uno sobre otro en orden de tamaño, con el tamiz más grande en la parte superior. El material retenido en cada tamiz después de haberlo sacudido representa la fracción de agregado más grueso que el tamiz donde se encuentra. La granulometría y los límites de granulometría se expresan como el porcentaje de material que pasa por cada malla. Lo anterior está contemplado en la norma *ASTM C 136 – 01*. Para realizar la prueba se necesitó una balanza, tamices, charolas, cucharas, brochas, agitador mecánico de mallas y un horno de secado.

Dicha prueba consistió en secar la muestra a una temperatura constante de  $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$ ; pesando la muestra luego de secada y seleccionando las mayas según las especificaciones y colocándolas en orden de abertura decreciente; colocando la muestra en la maya superior. Se agitaron las mayas de manera mecánica por un tiempo de 10 minutos para luego pesar el material retenido en cada malla.

Los resultados del análisis granulométrico comúnmente se representan de manera gráfica mediante la curva de granulometría o línea de cribado. En una gráfica de granulometría, sobre el eje de las ordenadas (eje Y) se representa el porcentaje acumulado que pasa a través de los tamices en escala aritmética; y sobre el eje de las abscisas (eje X) se indican las aberturas de los tamices.

*F) DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO EN AGREGADOS:* El peso volumétrico de un agregado, comúnmente conocido como masa unitaria, está definido como la relación existente entre el peso de una muestra de agregado compuesta de varias partículas y el volumen que ocupan esas partículas agrupadas dentro de un recipiente de volumen conocido, de tal manera que al colocar el agregado dentro de un recipiente, se tendrá un acomodamiento de las partículas en el que el menor volumen de espacios entre partícula y partícula se logra cuando se coloca la mayor cantidad posible de piedras, lo cual depende; del tamaño, la granulometría, la forma y la textura del agregado. El peso volumétrico también depende de cuán densamente se haya comprimido el agregado, y se entiende que, para un material de cierta densidad, el peso volumétrico depende del tamaño, distribución y forma de las partículas. Ello está definido en la norma *ASTM C 29 – 03*. Para realizar la prueba se utilizó una balanza, varilla de acero, recipiente y cucharón. Dicha prueba se puede realizar por el método de varillado, sacudido o vaciado con pala.

### 3.2.4. Cemento.

A) *DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO PORTLAND*: El peso específico relativo es la relación entre el peso de un volumen dado de material a cierta temperatura, al peso de un volumen igual de agua a esa misma temperatura. Dicha prueba esta especificada en la norma *ASTM C 188 – 95*. Para realizar la prueba necesitamos balanza, guantes, matraces, charolas, cucharon, probetas y pipetas.

B) *CONSISTENCIA NORMAL DE UNA PASTA DE CEMENTO*: La consistencia se mide por medio del aparato de Vicat, utilizando un émbolo de 10 mm de diámetro y colocándolo en un molde. Enseguida se coloca el émbolo en contacto con la superficie superior de la pasta y se suelta. Por la acción del propio peso del émbolo, éste penetra en la pasta, y la profundidad de penetración depende de la consistencia de la pasta.

La pasta se considera de consistencia normal cuando la sonda penetra 10 milímetros+/- 1 milímetro a los 30 segundos de haber sido soltada. Dicha prueba esta especificada en la norma *ASTM C 187-98*. Para realizar la prueba se necesitó el Vicat, guantes, espátula, cronometro, charolas, probetas, balanza, malla N°40, cucharon. Es de considerar que para el desarrollo de la prueba se calibro el Vicat. Esto se hizo colocando sobre la base del Vicat la placa y el anillo cónico con el diámetro menor hacia arriba, luego se colocó el vástago sobre la parte superior del diámetro menor del anillo cónico aflojando el tornillo del movimiento vertical del vástago y por ultimo; colocamos la flecha indicadora en cero, de la parte superior de la escala.

La prueba consiste en pesar 500 grs de cemento y colocarlo en la charola formando un cono con cráter en el cemento, agregando un 30% agua con relación al peso del cemento (30% de 500), formando una pasta comprimiéndola y amasándola continúa y vigorosamente con las manos enguantadas, procurando una distribución uniforme del agua y evitando la formación de grumos, el tiempo transcurrido desde la colocación del agua y el amasado es de 8 minutos. Concluido el amasado, se formó una bola con la pasta de cemento, la cual se lanza consecutivamente de una mano a la otra con una separación de 15 cm aproximadamente, con la bola en la palma de la mano y el anillo cónico en la otra introducir la bola de cemento dentro del anillo por la base mayor, comprimiéndola hasta llenarlo por completo, se colocó el anillo con la pasta por su base mayor sobre la placa, se quita el sobrante de la base menor e inmediatamente colocamos la muestra (placa, anillo, cónico con la pasta alisada) sobre la base del aparato de Vicat. Con el tornillo que permite el movimiento vertical del vástago, ajustar de manera que la parte inferior del vástago quede rozando la superficie de la pasta, considerando que la flecha este en cero, se suelta el vástago y se afloja el tornillo dejando penetrar la pasta por 30 segundos. Luego se hace la lectura del vástago y se repite el proceso si es necesario hasta que la pasta alcance la consistencia normal, la cual se determina

cuando la penetración es de  $10 \pm 1$  mm en la pasta en un tiempo de 30 segundos. El aparato debe permanecer libre de vibraciones durante la penetración.

C) *DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO:* Las condiciones de tiempo y temperatura durante el proceso de fraguado es otro de los factores que afectan la resistencia del concreto. En climas fríos, el proceso de hidratación del cemento es más lento debido a que el medio ambiente le “roba” parte del calor de hidratación con el subsiguiente retardo del tiempo de fraguado y por lo tanto, la adquisición de resistencia tardía. Por el contrario, cuando la temperatura es elevada, se aumenta la resistencia a muy temprana edad, pero se disminuye aproximadamente después de los 7 días. La razón de este fenómeno, ocurre porque una rápida hidratación inicial de los granos de cemento es superficial y parece formar pasta con una estructura física más pobre y posiblemente más porosa. La norma que controla dicho proceso es la *ASTM C 191 – 01*. Para realizar la prueba se utilizó el Vicat, guantes, espátula, cronometro, charolas, probetas, balanza, malla N°40, cucharon.

Esta prueba se desarrolló pesando 500 grs de cemento y mezclarlo con el porcentaje de agua requerido para obtener la consistencia normal, formando una pasta comprimiéndola y amasándola de forma continua y vigorosamente con las manos enguantadas, procurando una distribución uniforme del agua y evitando la formación de grumos, el tiempo transcurrido desde la colocada del agua y el amasado es de 8 minutos. Después de amasada, se formó una bola con la pasta de cemento, la cual se lanza consecutivamente seis veces de una mano a la otra con una separación de 15 cm aproximadamente, se colocó la bola dentro del anillo comprimiendo hasta llenarlo, quitando el sobrante, para luego colocar la muestra (placa, anillo, cónico con la pasta alisada) sobre la base del aparato de Vicat; Con el tornillo que permite el movimiento vertical del vástago, ajustamos de manera que la parte inferior de la aguja quede rozando la superficie de la pasta, se verifico que la flecha estuviera en cero y se mantuvo el espécimen en la cámara húmeda durante 30 minutos después de moldeado para realizar la primera prueba, de ahí en adelante cada 15 minutos (cada 10 minutos para cementos tipo III). Para realizar la penetración soltamos el vástago aflojando con mucho cuidado el tornillo que permita el movimiento vertical y dejar penetrar la aguja por su propio peso por 30 segundos, se hizo la lectura y se registraron los resultados de todos los ensayos de penetración, los cuales fueron interpolados para determinar el tiempo que corresponde a una penetración de 25 mm.

### **3.3.1. Plástico PET.**

Con relación a las botellas de plástico reutilizable, estas pasan por un proceso básico y sencillo para su reutilización; el cual se detalla a continuación.

1. Acopio de Material.
2. Clasificación y separación de Material.
3. Limpieza y secado de Material.
4. Peletizado, molido o triturado de Material.

### **3.4 DATOS Y ANÁLISIS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS EN BASE A LAS PROPORCIONES ESTABLECIDAS.**

Los materiales utilizados en el proceso de elaboración de los prototipos fueron adquiridos en distintos centros de distribución a nivel nacional, el cemento Holcim de fabricación industrial, la arena de la extracción del río “Las Cañas”, el plástico comprado a la empresa “Ecoloplastic”. Materiales seleccionados de tal manera que cumplieran los estándares mínimos requeridos para poder ser utilizados en cada una de las pruebas; de tal manera que estos fueran los materiales que permitieran resultados acordes a las especificaciones tradicionales.

A continuación se presentan las tablas con las cantidades y las pruebas realizadas a los materiales que fueron utilizados en la elaboración de los cubos de ensayo. Para diseñar los cubos además de los materiales tradicionales como cemento, arena y agua; se utilizó plástico molido y plástico triturado, que fueron incorporados a la mezcla tradicional elaborada.

#### **3.4.1. Pruebas a los Materiales**

A continuación se presentan las pruebas de laboratorio realizadas a cada uno de los materiales utilizados en la elaboración de los cubos de ensayo; esto con el fin de certificar y comprobar la calidad de los materiales para desarrollar los prototipos a escala. Dichas pruebas están normalizadas y son recomendadas para la elaboración de mortero hidráulico.



A) DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA ARENA, MEDIANTE EL SECADO AL HORNO

RECIPIENTE NO.	13	17	22	20
PESO SUELO HÚMEDO + TARA (grs)	97.6	92.4	108.7	139.5
PESO SUELO SECO + TARA (grs)	85	80	106.1	136.4
PESO DE RECIPIENTE (grs)	15.1	13	13.2	14.7
PESO DE AGUA (grs)	12.6	12.4	2.6	3.1
PESO SUELO SECO (grs)	69.9	67	92.9	121.7
CONTENIDO DE HUMEDAD %	18.03	18.51	2.80	2.55
<b>PROM. CONTENIDO DE HUMEDAD %</b>	<b>18.3</b>		<b>2.7</b>	

Cuadro 1. Análisis de la arena. Prueba de Laboratorio realizada en el taller de Ingeniería Civil y Arquitectura ITCA – FEPADE; Sede Central.

B) DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

Matraz	Peso de matraz + agua (gr)	Peso de matraz + agua + arena (gr)	Peso de arena seca (gr)	Peso específico	Absorción %
21	679.3	952.2	485.35	2.14	3.02
8	660.4	918.8	485.9	2.01	2.9

Cuadro 2. Análisis de la arena. Prueba de Laboratorio realizada en el taller de Ingeniería Civil y Arquitectura. ITCA – FEPADE; Sede Central.

C) ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO

PESO BRUTO gr	870	TARA gr	113.5
PESO NETO gr	756.5		

Cuadro 3. Análisis de la arena. Prueba de Laboratorio realizada en el taller de Ingeniería Civil y Arquitectura. ITCA – FEPADE; Sede Central.

AGREGADO FINO					
MALLA NO. (PULG)	ABERTURA (MM)	PESO RET. PARCIAL (GR)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
NO. 4	4.75	76	10.05	10.05	89.95
NO. 8	2.36	52.7	6.97	17.01	82.99
NO. 16	1.18	65	8.59	25.60	74.40
NO. 30	0.6	95.8	12.66	38.27	61.73
NO.50	0.30	159.5	21.08	59.35	40.65
NO.100	0.15	221.4	29.27	88.62	11.38
NO. 200	0.075	67.2	8.88	97.50	2.50
FONDO		18.9	2.50	100.00	0.00
<b>SUMA</b>		<b>756.5</b>	<b>100</b>		

*Cuadro 4. Análisis de la arena. Prueba de Laboratorio realizada en el taller de Ingeniería Civil y Arquitectura. ITCA – FEPADE; Sede Central.*

CONCEPTO	PESO (gm)
Peso de matraz	178.20
Peso de matraz + cemento	327.90
Peso de cemento	149.70
Peso de matraz + cemento + kerosene	683.20
Peso de kerosene	355.30
Volumen de kerosene	444.13
Volumen de cemento	55.87
Peso específico del cemento (gr/cm3)	2.68

Cuadro 5. Análisis de la arena. Prueba de Laboratorio realizada en el taller de Ingeniería Civil y Arquitectura. ITCA – FEPADE; Sede Central.

D) DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO PORTLAND

<b>PESO ESPECÍFICO DEL KEROSENE</b>	
Peso de matraz	181.10
Peso de matraz + kerosene	581.10
Peso de kerosene	400.00
Volumen de kerosene (Cm3)	500.00
Peso específico del kerosene (gr/cm3)	0.80

Cuadro 6. Análisis del cemento. Prueba de Laboratorio realizada en el taller de Ingeniería Civil y Arquitectura. ITCA – FEPADE; Sede Central

E) CONSISTENCIA NORMAL DE UNA PASTA DE CEMENTO

	<b>CEMENTO</b>		
	1	2	3
Muestra			
Tipo de Cemento	PORTLAND 1	PORTLAND 1	PORTLAND 1
Marca de Cemento	HOLCIM	HOLCIM	HOLCIM
Temperatura Inicial ( °C )	0	0	0
Cantidad de Agua (ml)	150	200	175
Peso de Cemento (gr)	500	500	500
Lectura inicial (mm)	0	0	0

Lectura final (mm)	17	40	10.5
Penetración del embolo en 30.0seg.	17	40	10.5
Temperatura final (°C)	30	31	31
Relación agua / cemento (%)	30	40	35

*Cuadro 7. Análisis del cemento. Prueba de Laboratorio realizada en el taller de Ingeniería Civil y Arquitectura. ITCA – FEPADE; Sede Central*

### 3.4.2. Pruebas a los prototipos

Para la elaboración de los cubos de ensayo se utilizaron cuatro (4) proporciones, las cuales fueron la de 1:0.25, 1:0.50, 1:0.75 y la de 1:1 considerando que lo que se iba aumentando era la cantidad del agregado arena-plástico.

A continuación detallamos el proceso de elaboración de los cubos de ensayo, desde la determinación de las proporciones y el armado de los moldes hasta la prueba de compresión realizada en cada uno de ellos. Con dichas pruebas logramos determinar el peso y la resistencia de los elementos elaborados.



*Foto 1 y 2. Preparación de Moldes.*

*Foto 3 y 4. Preparación de Mezclas.*

*Proceso realizado en el taller de Ingeniería Civil y Arquitectura. ITCA – FEPADE; Sede Central*



Foto 5 y 6. Llenado de Moldes.

Foto 7 y 8. Curado de Cubos Elaborados.

Proceso realizado en el taller de Ingeniería Civil y Arquitectura ITCA – FEPADE; Sede Central.



Foto 9, 10 y 11. Prueba de Compresión. Proceso realizado en el taller de Ingeniería Civil y Arquitectura. ITCA – FEPADE; Sede Central



Foto 12, 13 y 14. Resultado de la Prueba de Compresión. Proceso realizado en el taller de Ingeniería Civil y Arquitectura. ITCA – FEPADE; Sede Central

### 3.4.3. Tablas y Resultados de los Ensayos.

A continuación se muestran las tablas con las diferentes proporciones de material utilizado y los resultados obtenidos en cada uno de ellos en cuanto a volumen, peso y resistencia alcanzada en los cubos de 5cms elaborados.

Se considera que para la elaboración de cada uno de los cubos se desarrolla una mezcla cementicia a la cual se le agrega el plástico reciclado previamente procesado y el porcentaje de agua; con lo cual se genera el mortero que se vierte en los moldes elaborados.

#### A) PROPORCIÓN CEMENTO – PLÁSTICO TRITURADO

Tabla 1. Calculo de pesos y resistencias. Prueba de Laboratorio realizada en el taller de Ingeniería

CALCULO PESO VOLUMETRICO Y RESISTENCIA DE MORTERO (14 Dias)								
No.	PROPORCIÓN	DIMENSIONES DE LA MUESTRA			Volumen cm <sup>3</sup>	Peso gr	Peso Volumetrico gr/cm <sup>3</sup>	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>
	Cemento - PET Triturado	Ancho cm	Largo cm	Altura cm				
1.00	01 - 1.0	5.30	5.10	5.00	135.15	116.60	0.86	5.10
2.00	01 - 0.75	5.10	5.70	5.10	148.26	155.70	1.05	18.33
3.00	01 - 0.50	5.10	5.40	5.10	140.45	182.90	1.30	32.63
4.00	01 - 0.25	5.20	5.10	4.60	121.99	205.50	1.68	47.33

Civil y Arquitectura. ITCA – FEPADE; Sede Central.

Tabla 2. Calculo de pesos y resistencias. Prueba de Laboratorio realizada en el taller de Ingeniería

CALCULO PESO VOLUMETRICO Y RESISTENCIA DE MORTERO (28 Dias)								
No.	PROPORCION	DIMENSIONES DE LA MUESTRA			Volumen cm <sup>3</sup>	Peso gr	Peso Volumetrico gr/cm <sup>3</sup>	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>
	Cemento - PET Triturado	Ancho cm	Largo cm	Altura cm				
1.00	01 - 1.0	5.20	5.10	5.20	137.90	114.90	0.83	11.76
2.00	01 - 0.75	5.20	5.20	5.00	135.20	157.00	1.16	28.35
3.00	01 - 0.50	5.20	5.20	5.00	135.20	180.40	1.33	41.57
4.00	01 - 0.25	5.20	5.20	5.10	137.90	234.00	1.70	58.42

Civil y Arquitectura. ITCA – FEPADE; Sede Central.

### B) PROPORCIÓN CEMENTO – PLÁSTICO MOLIDO.

Tabla 3. Calculo de pesos y resistencias. Prueba de Laboratorio realizada en el taller de Ingeniería

CALCULO PESO VOLUMETRICO Y RESISTENCIA DE MORTERO (14 Dias)								
No.	PROPORCION	DIMENSIONES DE LA MUESTRA			Volumen cm <sup>3</sup>	Peso gr	Peso Volumetrico gr/cm <sup>3</sup>	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>
	Cemento - PET Molido	Ancho cm	Largo cm	Altura cm				
1	01 - 1.0	5.20	5.20	5.10	137.90	115.10	0.83	7.10
2	01 - 0.75	5.40	5.20	5.10	143.21	135.10	0.94	13.26
3	01 - 0.50	5.20	5.20	5.20	140.61	168.10	1.20	34.60
4	01 - 0.25	5.30	5.20	5.10	140.56	184.30	1.31	35.52

Civil y Arquitectura. ITCA – FEPADE; Sede Central.

Tabla 4. Calculo de pesos y resistencias. Prueba de Laboratorio realizada en el taller de Ingeniería

CALCULO PESO VOLUMETRICO Y RESISTENCIA DE MORTERO (28 Dias)								
No.	PROPORCION	DIMENSIONES DE LA MUESTRA			Volumen cm <sup>3</sup>	Peso gr	Peso Volumetrico gr/cm <sup>3</sup>	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>
	Cemento - PET Molido	Ancho cm	Largo cm	Altura cm				
1	01 - 1.0	5.20	5.20	5.20	140.61	120.50	0.86	21.40
2	01 - 0.75	5.10	5.20	5.10	135.25	134.00	0.99	42.75
3	01 - 0.50	5.20	5.20	5.10	137.90	168.10	1.22	62.66
4	01 - 0.25	5.20	5.20	5.10	137.90	184.30	1.34	72.20

Civil y Arquitectura. ITCA – FEPADE; Sede Central.

Considerando los datos obtenidos de las pruebas de laboratorio realizadas a los materiales, la procedencia del material, el tipo de plástico utilizado para cada mezcla, la granulometría obtenida comparada con las tablas normativas que las rigen, el procedimiento realizado para la elaboración de los prototipos, las proporciones ensayadas y los resultados obtenidos; optamos por utilizar la mezcla Cemento – PET Molido con proporción 01 - 0.50 (1 proporción de cemento y 0.50 proporción de plástico) como modelo para la elaboración de los prototipos a escala; dado que dicha proporción está sobre de los parámetros mínimos de resistencia para elementos arquitectónicos definidos en las normas, teniendo en cuenta que dicha mezcla da ventajas constructivas si lo comparamos con los elementos tradicionales.

## CAPÍTULO 4

### PROPUESTA DE DISEÑO

Partiendo de los resultados de los ensayos realizados a los cubos de laboratorio, en este capítulo se considera el diseño de elementos constructivos a base de la mezcla cemento y PET; como una alternativa innovadora para la reutilización de las botellas plásticas y dar una nueva tendencia en la construcción. Dichas pruebas han permitido obtener elementos ligeros y con mejores propiedades que las del concreto convencional considerando utilizar la mezcla para elaborar elementos arquitectónicos.



#### 4.1 ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS

Podemos considerar como elementos arquitectónicos a aquellos que cumplen funciones decorativas o estéticas, dicha definición la ampliamos en nuestra investigación e incluimos para ello aquellos elementos que aunque no hagan una función estrictamente estética, no cumplen funciones estructurales dentro de las edificaciones; de las cuales podemos mencionar: paneles, losetas, divisiones, aceras peatonales adoquinadas, zócalos. Todo ello con el propósito de tener una gama más amplia a la hora de definir los elementos que se diseñaran como prototipo.

Para la elaboración de cada uno de los elementos debemos considerar la cantidad de material que utilizaremos para cada uno, tomando en cuenta el volumen del elemento diseñado. Tomamos como parámetro que para un metro cubico (1m<sup>3</sup>) de mortero se necesitan 12kg de cemento y 6kg de plástico molido, en base a la proporción antes descrita.

Por lo anterior, se detalla a continuación una tabla donde se especifican los elementos considerados y las medidas estándar de cada uno de ellos, aclarando que en el caso de los adoquines son para áreas de circulación peatonal.



*Foto 15. Adoquín colocado en una vía de circulación peatonal central. Residencial Las Arboledas, Lourdes, Colón.*


N°	ELEMENTO	DIMENSIONES			CANTIDAD DE MATERIAL PARA ELABORAR PROTOTIPO (kg)*	
		LARGO	ANCHO	ESPESOR	CEMENTO	PLÁSTICO (PET)
1	Adoquín Tradicional**	28	18	5	3.02	1.51
2	Adoquín Romano**	24	22	8	5.07	2.53
3	Adoquín Corbatín**	24	12	6	2.07	1.03
4	Adoquín Rectangular**	40	20	6	5.76	2.88
5	Adoquín Cuadrado**	20	20	6	2.88	1.44
6	Gramoquín Diagonal**	40	40	8	15.36	7.68
7	Gramoquín Ecológico**	40	25	6	7.2	3.6
8	Fachaleta	28	14	5	2.35	1.18
9	Panel	244	122	2	87.34	43.67
10	Zócalo	40	8	3	1.15	0.58
* Según diseño del prototipo						
** Como elemento para áreas de circulación peatonal.						


*Tabla 5. Listado de Elementos Arquitectónicos que se pueden elaborar a partir de la mezcla Cemento – PET. ITCA – FEPADE; Sede Central.*


## 4.2 DISEÑO DE PROTOTIPOS


Considerando la proporción de la mezcla 01-0.50 (1 de Cemento y 0.50 de Plástico), se han elaborado algunos prototipos a partir de la tabla mostrada con las opciones y cantidades de material a utilizar para cada muestra. Se elaboraron y llenaron los moldes para cada prototipo elegido.

A continuación se muestran los prototipos elaborados.


CARACTERISTICAS			ELEMENTO
Nombre:	Adoquin Cuadrado		
Dimensiones (cms):	20x20x4		
Volumen (cms3):	1600		
Cantidad de Material (kg)	Cemento	1.92	
	PET	0.96	

CARACTERISTICAS			ELEMENTO
Nombre:	Gramoquin Ecologico		
Dimensiones (cms):	30x30x5		
Volumen (cms3):	4500		
Cantidad de Material (kg)	Cemento	5.4	
	PET	2.7	

CARACTERISTICAS			ELEMENTO
Nombre:	Fachaleta		
Dimensiones (cms):	25x5x3		
Volumen (cms3):	3.75		
Cantidad de Material (kg)	Cemento	0.45	
	PET	0.225	

CARACTERISTICAS			ELEMENTO
Nombre:	Adoquin Corbatin		
Dimensiones (cms):	20x12x5		
Volumen (cms3):	1200		
Cantidad de Material (kg)	Cemento	1.44	
	PET	0.72	

CARACTERISTICAS		ELEMENTO
Nombre:	Adoquin Diagonal	
Dimensiones (cms):	40x40x8	
Volumen (cms <sup>3</sup> ):	3000	
Cantidad de Material (kg)	Cemento	3.6
	PET	1.8



## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- \* Los elementos creados con cemento y PET en proporción 1.0:0.50, tiene un peso específico de 1.22gr/cm<sup>3</sup>; que es entre un 15% y 20%, menor que los creados con cemento y arena.
- \* Los elementos creados con cemento y PET en proporción 1.0:0.50, tiene una resistencia a la compresión de 62.66kg/cm<sup>2</sup>; que equivale a un promedio del 40% menos que la que tienen los creados con cemento y arena; por lo que su uso se limita a espacios de circulación peatonal.
- \* La cantidad de agua utilizada en los elementos con proporción 1.0:0.50 cemento y PET es de 175ml; lo que equivale a un 11.5% menos que la utilizada en los creados con cemento y arena.
- \* Los elementos creados con cemento y PET tienen una alta resistencia al fuego por lo que se considera un material combustible de muy baja propagación.
- \* La geometría irregular de las partículas plásticas influye directamente en el comportamiento de la mezcla; por tanto, entre más fina sea la partícula habrá mayor adherencia, afectando la cantidad de agregado fino en la mezcla de mortero generada.

- \* Esta tecnología con plástico reciclado es una alternativa posible para utilizarla en elementos arquitectónicos interiores de viviendas, considerando que son elementos que no soportan cargas importantes.
- \* Los elementos constructivos desarrollados son más ecológicos, más livianos; y ofrecen una mayor aislación térmica que otros tradicionales; mejorando la acústica. Con una resistencia suficiente para su aplicación en la construcción de elementos no estructurales.
- \* La utilización de esta tecnología a base de plástico reciclado contribuye al proceso de disposición final de los residuos plásticos contaminantes, lo que ayuda a minimizar el impacto ambiental; reduciendo la cantidad de botellas que actualmente se acumulan o entierran y minimizando al mismo tiempo los gastos en recolección y disposición final de residuos.
- \* La elaboración de elementos constructivos con esta tecnología tiene un costo similar al de otros elementos constructivos tradicionales.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- \* Utilizar materiales no contaminados o con basura, y preparar la mezcla cementicia en una superficie limpia.
- \* Realizar las pruebas de laboratorio apegados a las normas técnicas y procesos vigentes para las mezclas utilizadas; de tal manera que se tengan criterios más óptimos y resultados más eficientes a la hora de elegir la dosificación.
- \* Utilizar materiales con PET en los casos y áreas donde se busque un menor peso y resistencia de la construcción.
- \* Utilizar materiales elaborados a base de cemento y PET en paredes o divisiones que no soporten carga estructural.
- \* Crear diseños arquitectónicos bajo la mezcla cemento y PET para desarrollar elementos que puedan ser colocados como losetas, fachaletas, enchapes, topes, zócalos y/o jardineras.

- \* Mantener en la mezcla cemento y PET agregados tradicionales, como arena o chispa; para que el diseño del compuesto creado sea más consistente.
- \* Utilizar algún aditivo, aglomerante o electro malla que mejore la capacidad de adherencia entre los materiales y la resistencia a la compresión.
- \* Colocar colorantes en el cemento para mejorar la presentación estética de los elementos creados.

### 5.3 BIBLIOGRAFÍA Y SITIOGRAFÍA

- \* *Cuanto tiempo tarda la naturaleza en transformarse.*  
Publicación digital del Programa México Limpio.  
Septiembre del 2004. Ciudad de México.
- \* *Componentes Constructivos elaborados con una mezcla cementicia y agregados de plásticos reciclados.*  
Arq. Rosana Gaggino. Instituto de investigación del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la República argentina (CONICET).  
2004, Córdoba, República Argentina.
- \* *Diseños de mezcla de tereftalato de polietileno (pet) – cemento*  
Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela  
Marzo 2008, Caracas; República Bolivariana de Venezuela.
- \* *Reciclaje Plástico*  
Asociación de la Industria del Plástico, ASIPLASTIC; El Salvador.  
Boletín Informativo 12/2012 y 01/2013.
- \* *Cómo se recicla el PET.*  
Plásticos Mexicanos.  
Febrero 2005, México.
- \* [www.ceve.org.ar](http://www.ceve.org.ar)
- \* [http://www.elecs2013.ufpr.br/wp-content/uploads/anais/2007/2007\\_artigo\\_026.pdf](http://www.elecs2013.ufpr.br/wp-content/uploads/anais/2007/2007_artigo_026.pdf)
- \* <http://planetatequieroverde.org/bloques-que-estan-hechos-de-plastico-reciclado/>

## 5.4 ANEXOS

### 5.4.1. Normas ASTM Consultadas en la investigación

#### - ARENA

Muestreo de agregados ASTM D 75-03

(Reaprobada 2003).

Reducción de muestras de agregados a tamaño de ensayo ASTM C 702-88

(Reaprobada 2003).

Contenido de humedad mediante el secado al horno ASTM C 566-87

(Reaprobada 2004).

Determinación del peso específico y absorción del agregado fino ASTM C 128-04a

(Reaprobada 2004).

Análisis granulométrico de agregado para concreto ASTM C 136-06

(Reaprobada 2004).

Determinación del peso volumétrico de agregados ASTM C 29/C29M-97

(Reaprobada 2003).

#### - CEMENTO

Determinación del peso específico del Cemento Portland ASTM C 188-95

(Reaprobada 2003).

Consistencia normal de una Pasta de Cemento ASTM C 187-04

(Reaprobada 2003).

Determinación del tiempo de fraguado del cemento ASTM C 191-04b

(Reaprobada 2003).

[www.itca.edu.sv](http://www.itca.edu.sv)



# UN FUTURO LLENO DE OPORTUNIDADES

Escuela Especializada  
en Ingeniería

**ITCA**  **FEPADE**

SANTA TECLA - ZACATECOLUCA - SAN MIGUEL - SANTA ANA - LA UNIÓN

**megatec**  
EDUCACIÓN TÉCNICA,  
TECNOLÓGICA Y SUPERIOR

MINISTERIO DE EDUCACIÓN

GOBIERNO DE

**EL SALVADOR**

UNÁMONOS PARA CRECER



**Sede Central Santa Tecla**  
Km. 11 Carretera a Santa Tecla.  
Tel. (503) 2132-7400  
Fax. (503) 2132-7599

**Centro Regional  
MEGATEC La Unión**  
C. Santa María, Col. Belén, atrás  
del  
Instituto Nacional de La Unión.  
Tel. (503) 2668-4700

**Centro Regional  
MEGATEC Zacatecoluca**  
Km. 64 1/2, desvío Hacienda El  
Nilo, sobre autopista a  
Zacatecoluca y Usulután. Tel.  
(503) 2334-0763, (503) 2334-0768  
Fax. (503) 2334-0462

**Centro Regional San Miguel**  
Km. 140, Carretera a Santa Rosa  
de Lima.  
Tel. (503) 2669-2292, (503) 2669-  
2299  
Fax. (503) 2669-0961

**Centro Regional Santa Ana**  
Final 10a. Av. Sur, Finca Procavia  
Tel. (503) 2440-4348, (503) 2440-  
2007  
Tel. Fax. (503) 2440-3183

**Escuela Especializada  
en Ingeniería**

**ITCA**  **FEPADE**