

**CONSTRUCCION DE UNA ESTRUCTURA PRIMARIA FUNCIONAL A BASE DE
BOTELLAS PET RECICLADAS**

Autor

NATALIA ALEJANDRA LOPEZ VILLALBA

Proyecto de Grado

INGENIERIA CIVIL

Asesor

MELQUISEDEC CORTÉS ZAMBRANO

Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

TUNJA

2014

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

AGRADECIMIENTOS

La realización de este proyecto fue un reto ya que no existen aún estándares para este tipo de obras sobre todo cuando son estructuras construidas con componentes ecológicos; fue un proceso largo sobre todo en el planteamiento del método constructivo propuesto.

Pero gracias al apoyo de Ingeniero Melquisedec Cortes así como a la asesoría de ESSCO P & C S.A.S la cual guio la evaluación y análisis del presupuesto para cada uno de los métodos constructivos.

De igual forma, agradezco al Gimnasio Galileo Galilei por confiarme esta responsabilidad para desarrollar una estructura funcional con botellas pet recicladas en las instalaciones de la institución educativa, a la comunidad estudiantil y de padres de familia quienes con esfuerzo y dedicación contribuyen en este proyecto.

También reconozco la ayuda que recibí por parte del Ingeniero Jorge Arturo Torres docente especialista en plásticos de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia Sede Duitama con respecto a la elaboración del Policoncreto y a los demás docentes de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomas quienes con su experiencia me asesoraron.

A mi familia por su apoyo, a la comunidad del barrio Soaquira por su colaboración en la recolección de botellas y a las demás personas que directa o indirectamente estuvieron involucradas en el desarrollo de este proyecto.

A DIOS quien me ha dado la orientación espiritual y profesional a lo largo de mi vida y que por su gracia se están viendo los frutos.

“... Mirad, el señor ha llamado a Besalel... y le ha llenado del espíritu de Dios, de sabiduría, inteligencia y habilidad para toda suerte de trabajos.” Éxodo 35:30-33

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCION	12
1. PROBLEMA DE INVESTIGACION	14
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	14
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	15
1.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACION	16
1.4 JUSTIFICACION.....	16
1.5 OBJETIVOS.....	18
2. ESTADO DEL ARTE	19
3. MATERIALES.....	25
3.1 CEMENTO PORTLAND	25
3.2 AGUA PARA EL CONCRETO	29
3.3 AGREGADOS.....	31
3.4 UNIDADES DE MAMPOSTERIA.....	35
3.5 MORTERO DE PEGA.....	40
3.6 ACERO DE REFUERZO	41
4. METODOLOGIA.....	42
5. ANALISIS Y DISCUSION	44
5.1. DISEÑO	44
5.2. CONSTRUCCIÓN – FASE 1	65

5.3.	CONSTRUCCIÓN – FASE 2	67
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91
7.	MARCO TEORICO.....	94
7.1.	APROXIMACION CONCEPTUAL	94
7.2.	GLOSARIO	97
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	100
9.	APENDICES Y ANEXOS	103
9.1.	Anexos.....	103
9.2.	Convenio.....	104
9.3.	Bitácora.....	105
9.4.	Manual Constructivo	105

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación del cemento portland	29
Tabla 2. Clasificación según el tamaño	33
Tabla 3. Ancho de cimentación variable – capacidad portante	51

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.	Proceso de fabricación del cemento	27
Figura 2.	Diseño arquitectonico inicial	45
Figura 3.	Cubierta.....	45
Figura 4.	Diseño arquitectonico final	46
Figura 5.	Ubicación esquematica de la zona de estudio	47
Figura 6.	Geologia regional de la zona de estudio	49
Figura 7.	Perfil estratigrafico.....	50
Figura 8.	Seccion transversal de vigas de cimentacion	52
Figura 9.	Despiece de vigas	52
Figura 10.	Cimentacion en planta.....	53
Figura 11.	Fachada Principal.....	54
Figura 12.	Fachada Lateral	55
Figura 13.	Fachada Posterior	55
Figura 14.	Ensayo a compresion del ladrillo.....	57
Figura 15.	Obtención de nucleo	60
Figura 16.	Ensayo de nucleo extraido	60
Figura 17.	Ensayo a traccion de las tapas de botellas	61
Figura 18.	Ensayo atraccion de los fondos de botellas	62
Figura 19.	Resistencia a la compresion de prisma de mampostería	64
Figura 20.	Presupuesto – Alternativa 1	71

Figura 21.	Adhesivo Sikaflex -1 ^a	73
Figura 22.	Adhesivo silicona transparente	73
Figura 23.	Policoncreto	75
Figura 24.	Union de tapas	77
Figura 25.	Conexión de fondos de botellas	78
Figura 26.	Columnas de botellas.....	79
Figura 27.	Módulo	80
Figura 28.	Estructura de cubierta	82
Figura 29.	Presupuesto – Alternativa 2	84
Figura 30.	Soporte de fondos de botellas.....	86
Figura 31.	Conexión botellas – malla	87
Figura 32.	Presupuesto alternativa 3.....	89

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Estudio Geoténico.....	103
Anexo B. Plano Alternativa 1.....	103
Anexo C. Cálculos de los ensayos	103
Anexo D. Ensayo a compresión de prisma de mampostería.....	103
Anexo E. Plano Alternativa 2.....	104
Anexo F. Presupuesto Alternativa 1.....	104
Anexo G. Presupuesto Alternativa 2.....	104
Anexo H. Presupuesto Alternativa 3.....	104
Convenio	104
Bitácora	105
Manual Constructivo.....	105

RESUMEN

Cada vez más el consumo de productos envasados en botellas plásticas crece, lo cual hace que los residuos que generamos aumenten y no se manejen de la manera adecuada, como es el caso de las botellas PET (Tereftalato de Polietileno), el cual es un plástico amoldable por lo tanto las industrias de envases lo utilizan mucho. De igual forma, produce un daño grave al ser extremadamente durable y puede permanecer en el ecosistema centenares de años. Entonces para mejorar el medio ambiente, se va a edificar una estructura funcional en donde se reutilizarán las botellas PET como material de construcción y ayudaremos a minimizar en cierto grado la problemática ambiental que este tipo de envases produce. Los resultados que se espera tener con la realización de este proyecto son, en primer lugar cumplir parcialmente con la construcción de esta estructura funcional, además hacer que la participación de la comunidad sea cada vez más tenida en cuenta; así mismo generar una conciencia ecológica la cual permita seguir desarrollando proyectos de tipo ambiental en que nos beneficiemos todos. Por último, crear y dar a conocer un manual donde se plasme el proceso constructivo, el cual permita que otras universidades e instituciones se informen a cerca de cómo se construyó una estructura funcional a base de botellas PET recicladas, y la metodología que se llevó a cabo.

ABSTRACT

Increasingly consumption of products packaged in plastic bottles grows, which makes the waste we generate and increase not handled in the proper way, as in the case of PET bottles (polyethylene terephthalate), which is a plastic therefore compliant packaging industries use it much. Similarly, causes severe damage to be extremely durable and can remain in the ecosystem hundreds of years. So to improve the environment is to build a functional structure where PET bottles as building materials were reused and help to minimize some extent environmental issues that produce this type of packaging. The results are expected to have with this project are first partially comply with the construction of this functional structure also make community involvement is increasingly taken into account; likewise generate ecological awareness which allows further develop environmental type projects that we benefit everyone. Finally, create and publish a manual where the construction process, which allows universities and other institutions report about how a functional structure based on recycled PET bottles was built and the methodology used.

INTRODUCCION

El ser humano obtiene energía de los ecosistemas y la utiliza para extraer materias primas minerales, animales, vegetales y otras. En esa extracción se modifica el espacio físico ya que se trasladan materias primas de un lugar a otro; de esta manera los ecosistemas se afectan.

En la transformación de las materias primas se derrocha la energía y el agua necesarias para otros seres vivos; se arrojan residuos a la atmosfera, al suelo y a las corrientes de agua. Estos hechos producen variaciones en la temperatura, la luz, la humedad y las diferentes características del agua, el aire y los suelos. Así se genera la contaminación y lo anterior equivale a la entrada violenta de las actividades del ser humano en la naturaleza.

Entonces es de gran impacto, que tomemos decisiones en pro de contrarrestar los efectos negativos que nosotros mismos hemos aportado al medio ambiente y que mejor manera de hacerlo, que adoptando nuevas formas de utilizar los diferentes residuos que producen las sociedades. Por tal razón, la implementación de botellas plásticas de Polietileno Tereftalato (PET) recicladas en la construcción de estructuras pequeñas pero funcionales, es una forma de generar una conciencia ecológica y el desarrollo de proyectos ambientales que ayuden a disminuir la contaminación que presenta nuestro planeta en estos tiempos. De tal forma el presente trabajo describe el problema de investigación, los objetivos proyectados, los materiales utilizados para el desarrollo del proyecto y la metodología que se formuló para la construcción de los muros de la estructura primaria funcional.

Las generalidades del proyecto se basan en el planteamiento de dos alternativas innovadoras utilizando botellas PET recicladas que se encuentren en buen estado; y una alternativa que propone realizar la construcción de manera convencional, es decir, sin implementar materiales reciclados sino los utilizados comúnmente en las obras de edificaciones.

En estas opciones se evalúan el costo de los materiales, la mano de obra, las herramientas que se utilizaran en cada actividad y el proceso constructivo; para analizar y determinar cuál de las alternativas propuestas es la más ecológica, factible y económica.

1. PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

A través del paso del tiempo se ha evidenciado el desarrollo de la sociedad debido al modo de utilizar los recursos que le brinda la naturaleza, de tal manera que hay un beneficio y se despierta la necesidad de seguir sacando al máximo el provecho del entorno. Sin embargo, aunque se presentan las oportunidades para satisfacer ciertas necesidades de una manera fácil y rápida, es difícil observar las consecuencias de este tipo de novedades “prácticas”, pero así mismo perjudiciales para el medio en el cuál se está viviendo.

Se puede hablar con exactitud de los envases de plástico PET (Tereftalato de Polietileno), el cual es un plástico utilizado en la industria de envases, pero que produce un daño en el medio ambiente porque el proceso de biodegradación de este material es muy lento, provocando un impacto visual y ambiental significativo para el planeta. Por esta razón se decidió tomar en cuenta el hecho de reciclar este tipo de elemento con el fin de disminuir su impacto en el ambiente, “es así que para el año 2009 Japón registró una tasa de reciclaje de botellas PET de un 77,9%, Europa alrededor de un 48,3% de acuerdo a Petcore (Asociación Europea de reciclaje de contenedores PET) y que presenta mayores Estados Unidos de 28% según PETRA (Asociación de Resinas de PET)¹, cifras las cuales evidencian que la resina PET ha dado resultado ya que es la resina que presenta mayores aptitudes para el reciclado

¹ ORTEGA, María Natalia. La Tecnología del Plástico: El Reciclaje PET está en su mejor momento [En Línea]. Disponible en Internet: < <http://www.plastico.com/magazine/TPAUG2011.pdf> > [Citado en 17 Octubre de 2013]

Por otro lado en Colombia la industria de los plásticos es uno de los sectores más dinámicos creciendo a tasas superiores al promedio de otras industrias, aporta insumos para consumo intermedio para muchas aplicaciones, según el DANE creció a tasas superiores al 7% anual en la década del 2000, y registro ventas anuales superiores a \$US 1000 millones e importaciones anuales superiores a los \$US 2500 millones desde el 1996 a 2007.² En cuanto a la disposición final de este material cuando no es reciclado, este proceso se lleva a cabo en la planta de reciclaje de las ciudades, en donde se clasifican las botellas PET por tamaños y marcas y después se compactan. Cuando la ciudad o municipio no cuenta con las instalaciones adecuadas para realizar una correcta clasificación del Teraftalato de Polietileno, este se dispone en el relleno sanitario del distrito.

Anualmente se producen más de 850.000 toneladas y el consumo aparente está entre 40.000 y 700.000 toneladas anuales, convirtiéndola en materia prima para el reciclaje. De todas maneras es necesario entender que aunque se tienen cifras, no se tiene en si la cultura de recuperación de estas botellas plásticas PET, por lo tanto hay que proponer ideas con el fin de hacer que este tema sea aceptado y asimilado por la comunidad de tal forma que haya un aporte que influya en el ambiente social.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Brindar un espacio para la sana integración de los estudiantes del Gimnasio Galileo Galilei y al mismo tiempo ayudar al medio ambiente prolongando el uso de las botellas plásticas PET, reciclándolas y utilizándolas como material de construcción, y de esta manera involucrar y concientizar a la comunidad estudiantil sobre los

² ALUNA CONTRUCTORES LIMITADA. Informe Condensado Del Estudio Nacional Del Reciclaje, Versión Final Julio de 2011. [En Línea] < <http://www.cempre.org.co/Documentos/2.%20Informe.pdf> > [Citado en 17 Octubre de 2013]

daños ecológicos que producen este tipo de embaces plásticos. Además, efectuar un nuevo sistema constructivo en la ciudad de Tunja para implementarlo en otras instituciones y obras pequeñas con carácter sostenible, con el objeto de que la conciencia ecológica siga creciendo y sea parte de nuestra cultura, para que la comunidad tenga una mayor participación en esta clase de proyectos civiles.

1.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACION

¿Qué tan eficiente puede ser la construcción de pequeñas estructuras usando como material principal envases plásticos PET? ¿Cuál es el material apropiado y la manera adecuada para pegar este tipo de elemento? ¿Qué incidencia puede tener este tipo de producto en la disminución de envases plásticos que queden sin ser reutilizados?

1.4 JUSTIFICACION

La construcción sostenible ha tomado gran importancia en el entorno actual, por lo tanto el hecho de tener una consciencia la cuál permita ir más allá de un pensamiento y llevar a cabo acciones, es algo que en este momento más que razonable es necesario.

Existen productos que terminan su vida útil de forma rápida y se podría obtener un mayor beneficio de estos, tal caso se presenta con las botellas plásticas PET, obteniendo utilidades tanto sociales, ambientales, económicas y un impacto humano que se destaca a través de la manejo de esta técnica.

Como punto de partida, se debe tener en cuenta que al utilizarse botellas plásticas en una estructura, se reduce la acumulación de estas en el ambiente por lo tanto va evitar un efecto de contaminación visual y mala disposición de estas en el entorno al tardarse aproximadamente 300 años en biodegradarse, por otro lado al ser utilizada como una técnica de construcción disminuiría por así decirlo los costos en las estructuras que se supone realicen con este modalidad.

Por otro lado, se puede observar el trabajo colectivo que se ha venido realizando con este tipo de proyectos, debido a que involucra directamente a la sociedad, en si a la comunidad interesada a hacer partícipe de la construcción ofreciendo un conocimiento basado en la experiencia y concientizando de esta manera al continuo mejoramiento de la manera de reciclar, y de llevar a cabo este tipo de prácticas. Entonces considerándolo en el sentido pedagógico, imponiendo una cultura ecológica y manejable, donde se presentan las oportunidades para mejorar, para crear y para aportar nuevos procesos constructivos para que la ciudad de Tunja siga creciendo.

Con certeza se dispone de la finalidad de este proyecto para generar más que una estructura, algo material, la posibilidad de crear un paradigma el cual este enfocado al manejo de los recursos y aprovechamiento de este con los hechos, buscando mejores resultados y una mayor cantidad de involucrados ya que la comunidad es un instrumento directo en la realización de este tipo de proyectos, no se trata entonces de un rango de edad se trata de la madurez mental que se pueda manejar y de las acciones que se puedan realizar para que haya un mejor entorno en la comunidad.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General. Llevar a cabo los estudios, el diseño y la construcción parcial de una estructura primaria funcional utilizando botellas plásticas PET recicladas, en la ciudad de Tunja durante el transcurso del año 2013 y 2014.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Determinar factores esenciales para la implementación de botellas plásticas PET como material de construcción.
- Comparar los costos que tiene una estructura primaria elaborada con botellas PET, con los que puede tener una elaborada de manera convencional.
- Establecer los materiales que se complementan mejor con las botellas plásticas PET para desarrollar una metodología en la elaboración de estructuras.
- Generar un manual donde se plasme claramente el proceso constructivo que se llevara a cabo en la realización de esta estructura sostenible.

2. ESTADO DEL ARTE

Se puede entender, que la construcción de este tipo surgió de la necesidad de darle uso a un material el cuál era perjudicial para el medio ambiente y suplir el derecho fundamental de la vivienda a un bajo costo.

El primer referente sobre este tema documentado, son las construcciones desarrolladas por Michael Reynolds en la década de 1970 en Estados Unidos, que se llevaron a cabo con botellas de vidrio. Pero según varios autores se ha declarado que Andreas Froese ideó este sistema de construcción, fundando así en el año 2001 **Ecotec**, donde se proponen soluciones ambientales trabajando principalmente en Honduras, expandiendo sus ideas a diversos países de Latinoamérica.

En el año 2005, el profesor de ciencias físicas Tomislav Radovanovic edificó una casa de 60 m² sustituyendo los ladrillos por 14.000 botellas de plástico rellenas con tierra. De igual forma en 2007, se documenta un templo localizado en Tailandia, el cual fue construido por monjes budistas llamado Wat Pa Maha Chedi Kaew en la provincia de Sisaket; para llevar a cabo su construcción se emplearon más de un millón de botellas recicladas de vidrio.

En sí, la construcción con botellas PET recicladas, se basa en la utilización de botellas de plástico como bloques o ladrillos, así mismo hay que tener en cuenta que estas se encuentren en buen estado, se rellenan con materiales complementarios y los cuales estén disponibles con el fin de obtener un envase lo suficientemente resistente, se procede entonces a levantar el muro atándolas y

entrelazando las tapas. Luego de tener la estructura del muro, se reviste con adobe o con algún material el cuál permita darle un aspecto más común.

En el año 2012 se realizó un estudio comandado por la Universidad Javeriana de Bogotá, donde se elaboraron dos prototipos de muros contruidos con botellas PET rellenas de tierra/arena, con el fin de evaluar la resistencia y el comportamiento de este tipo de material. Construyeron dos marcos: uno de un metro cuadrado sin aglomerante y con amarre sencillo y el otro de 4 metros cuadrados estándar. Los resultados en los dos muros fueron parecidos, por lo cual se especificó que se había presentado una deformación, pero no hubo colapso.³

Por otro lado, Gaggino Rosana, ratifica la importancia de encontrar información acerca de la utilización de botellas plásticas PET en diversas técnicas de construcción, pero de la misma manera es interesante mirar la forma en que se dispone de este recurso, por lo que se plantea reemplazar los áridos de un concreto o mortero por partículas de PET reciclado, lo cual deja en evidencia la importancia que ha tenido al menos este tipo de material en la ciudad de Córdoba (Argentina), lugar donde se plantea la propuesta. Entonces luego de realizar la investigación correspondiente, evaluar los costos y llevar a cabo el proceso correspondiente se llegó a la conclusión de que los beneficios no solo eran económicos, sino que aporta ciertas características a la estructura tales como que sea más liviana, mejor aislamiento térmico y por supuesto ecológica, proponiendo así su uso en viviendas y construcciones de interés social.⁴

³ PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA. Arquitectura y Construcción de Botellas. [En línea] <http://www.javeriana.edu.co/Facultades/Arquidisen/boletin/articuloh.php?mas=51&mes=10>

⁴ GAGGINO, Rosana. "Elementos constructivos con PET reciclado". Revista Tecnología y Construcción. Caracas, Venezuela. Ed. Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción – IDEC- Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Central de Venezuela. 2003. Nº II, Vol. 19, pp. 51 a 64.

Se puede señalar la utilización de materiales como madera, lámina, malla tipo hexagonal, entonces luego de disponer de manera clave estos elementos se ubican las botellas plásticas PET (eco ladrillos) de tal forma que haya una secuencia. Así, luego de haber verificado las posiciones de las botellas se procede a cubrir la malla con cemento y arena rustica, dándole una especie de terminado, como un pañete que quede uniforme.

Entonces, al generarse este tipo de guías para la construcción justifican el hecho de continuar con la investigación en este tema, ya que se está convirtiendo en un tema que puede llegar a ser de gran influencia.⁵

Teniendo en cuenta lo que se ha tratado de implementar, es relevante hablar de las consideraciones primarias que hay que tener en cuenta en este proceso, donde según el Dr. José Pérez las viviendas de este tipo que se construyan en un ambiente urbano requieren de los cimientos tradicionales. Además menciona la ventaja en cuanto al bajo costo de estas que se ve evidenciado en forma positiva en cuanto a la capacidad térmica, la resistencia al desgaste por humedad y la buena acústica. Se menciona que un muro construido en base a botellas plásticas es resistente a la compresión hasta 2 Ton/cm², valor que se obtuvo luego de estudios realizados en el Centro de Investigaciones y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ) de México.⁶

⁵ HEISSE, Susanne. Sistema Constructivo PURA VIDA. **En:** Fundación Pura Vida. Disponible en: <<http://puravidaatitlan.org/images/Sistema%20Constructivo%20Pura%20Vida.pdf>> [Citado en 17 Octubre de 2013]

⁶ PÉREZ BUENO, José de Jesús. El centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ) de México experimenta la construcción de viviendas con botellas de plástico y paja. Disponible en: <http://www.ideassonline.org/public/pdf/CIDETEQMexico_Ideassonline_innovation.pdf> [Citado en 18 Octubre 2013]

Como parte del desarrollo del método de construcción con botellas, también se ha determinado la oportunidad de implementar el material cemento-plástico, lo cual luego de ser el tema de Tesis de Adriana de la Luz Máas Díaz, arrojó como resultado ser una buena alternativa, pero este podría ser mejorado utilizando un aditivo que mejore de manera determinante la adherencia permitiendo que sea más rígido.⁷

De igual forma existen varios artículos en los cuales se trata este tema más a fondo como en la revista *Construction and Building Materials*, la cual publica continuamente escritos que revelan el avance que se tiene en la construcción al implementar este tipo de botellas plásticas.

Uno de estos estudios fue realizado por las facultades de ingeniería civil en Babol Noshirvani University of Technology y en Babol e Islamic Azad University en Rasht, Irán; en el cual analizan la posibilidad de que las propiedades mecánicas del hormigón contengan partículas de botellas PET recicladas.

Lo anterior surge a que este tipo de polímero se utiliza en la mayoría de los países ya sea para fibras de poliéster o para el envasado de alimentos; esto animó a muchos investigadores a encontrar nuevas maneras de reciclar y reutilizar este material. El estudio realizado por estas universidades se enfoca en sustituir en un 5, 10 y 15% la arena para ser reemplazada por partículas finas de PET. Se realizaron diferentes ensayos variando las proporciones de agua, cemento y

⁷ MÁAS DÍAZ, Adriana De La Luz. Desarrollo De Elementos Modulares Utilizando Materiales Alternativos Con Aplicaciones Al Diseño. Trabajo De Grado (Ingeniero De Diseño). Universidad Del Papaloapan. Facultad De Ingeniería. Disponible En: <http://www.unpa.edu.mx/tesis_Loma/tesis_digitales/Tesis_DEMAD_enero2012.pdf> [Citado en 18 Octubre 2013]

agregados. Los resultados obtenidos indicaron que los hormigones que contenían partículas de PET presentaron menor capacidad de trabajo y menor densidad. De igual forma se demostró mediante los ensayos que el hormigón que contenía partículas de Polietileno Teraftalato (PET) demostró menor módulo de elasticidad, en cuanto a la compresión.⁸

Así mismo, diferentes universidades en Korea del Sur como Semyung University y Dongyang University, han realizado diversas investigaciones para conocer los efectos que tiene Polietileno Teraftalato en el concreto. La revista Cement and Concrete Research publicó un artículo en cual se desarrollaron ensayos de resistencia a la compresión y a la tracción en donde se obtuvo resultados satisfactorios ya que la trabajabilidad del hormigón mejora, así como la resistencia a la compresión y la densidad.⁹

Por otro lado, actualmente Escocia es el primer país de la Unión Europea en aceptar oficialmente la edificación de casas ecológicas elaboradas a base de materiales reciclados como botellas, latas de aluminio y llantas de carros; y en muchos otros países realmente se está implementando esta técnica constructiva y Colombia no es la excepción ya que en Medellín, Antioquia se han construido casas con este material.

Lo anterior fue realizado por una fundación llamada Menos Basura, la cual restaura casas que se encuentran en mal estado debido a la pobreza que se vive en las

⁸ E. Rahmani, M. Dehestani, M.H.A Beygi, H. Allahyari, I.M Nikbin .One the mechanical properties of concrete containing waste PET particles. En: Construction and Building Materials. October, 2013, vol. 47. p. 1302-1308.

⁹ Semyung University, Dongyang University. Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete. En: Cement and Concrete Research. April, 2005, vol. 35, p. 776-781.

comunas de Medellín. La estructura de las viviendas está conformada por vigas y columnas en concreto pero los muros están hechos botellas PET recicladas y rellenas de envolturas de dulces y diferentes materiales que generan contaminación y gran impacto al medio ambiente. El proceso constructivo consiste en primer lugar realizar una separación y un conteo de los eco ladrillos (botellas PET), luego se funde la cimentación, las vigas y las columnas, seguido a esto los eco ladrillos se enmallan es decir, son amarrados y se les coloca una malla la cual deja los muros muy compactos para luego hacer un revoque con mortero y finalmente pintar.¹⁰

De acuerdo con todo lo anterior se puede decir que las botellas de plástico PET no solo son utilizadas como material de construcción lo cual beneficia en gran cantidad al medio ambiente sino que dejan de ser basura para convertirse en arquitectura.¹¹

¹⁰ Menos Basura. En: <http://www.culturaemedellin.gov.co/sites/CulturaE/quiero-emprender/Paginas/menosbasura_reciclar_ecoladrillo_medioambiente_medellin_110506.aspx>

¹¹ Escuela Oficial Rural Mixta El Tzala. En: <<http://www.eltzala.org/eco-ladrillos.html>>

3. MATERIALES

A continuación se presentan las propiedades y características de los materiales que se utilizaron para llevar a cabo la construcción de la estructura a base de botellas pet recicladas.

3.1 CEMENTO PORTLAND

Definición

El cemento es un material aglutinante que presenta propiedades de adherencia y cohesión, que permiten la unión de fragmentos minerales entre sí, formando un todo compacto.

El cemento portland es la mezcla de materiales calcáreos y arcillosos u otros materiales que contienen sílice, alúmina o óxidos de hierro, procesados a altas temperaturas y mezclados con yeso. Además, este material tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia del agua, presentándose un proceso de reacción química que se conoce como hidratación.

Proceso de fabricación

El proceso de fabricación empleado generalmente en todas las planta productoras de cemento comprende varias etapas.

Todo comienza con la explotación de materias primas de las respectivas canteras, el cual se hace de acuerdo a las normas y parámetros convencionales. Esto quiere

decir que dependiendo de la dureza de los materiales se pueden usar explosivos, pero en otros casos solo se puede hacer el arrastre del material. Una vez extraídos los materiales, se realiza el proceso de trituración para obtener tamaños máximos de 1", es decir, 25 mm.

Luego sigue la dosificación, molienda y homogeneización. Esta etapa incluye dos procesos, húmedo y seco. En el proceso húmedo las materias primas se llevan a los molinos donde son mojadas y se obtiene una lechada, la cual se lleva a silos de almacenamiento, donde una vez conocidas sus propiedades químicas se dosifican en proporciones definidas para luego obtener la pasta de la calidad especificada.

En el segundo proceso, las materias primas se trituran, se dosifican en proporciones definidas y son llevadas al molino de crudo donde se secan y su tamaño se reduce a pequeñas partículas, obteniendo un material llamado harina el cual se lleva después a los silos de homogeneización, luego por medio de aire a presión se consigue la mezcla de los materiales.

Una vez adquirida la pasta por vía húmeda o seca, se someten a un tratamiento térmico en grandes hornos rotatorios; los cuales son de acero y de gran tamaño, además están recubiertos de material refractario para que puedan conservar mejor el calor. El proceso mencionado anteriormente se llama clinkerización.

En la etapa de enfriamiento, el material transformado en Clinker debe ser enfriado rápidamente a 70°C para garantizar que no presente un cambio en su volumen. La siguiente fase es la de molienda de Clinker, adiciones y yeso; durante este proceso se transforma el Clinker en polvo y en algunos casos se realizan adiciones

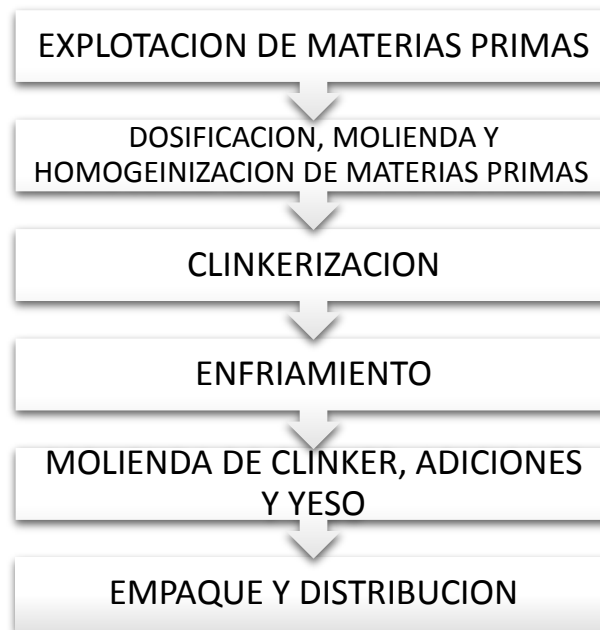
como puzolanas naturales, cenizas volantes o escoria de alto horno. Luego se introduce el yeso, el cual es indispensable para controlar el endurecimiento del cemento cuando entra en contacto con el agua; después de esto se crea propiamente el cemento.

Como proceso final sigue el empaque y la distribución; el cemento resultante del molino de transporta de forma mecánica a silos de almacenamiento y luego de esto se empaca en bultos, generalmente de 50 kg, la operación de empacado se realiza e maquinas especiales que se encargan de llenar los sacos.

Un aspecto importante el cual se debe tener en cuenta es el almacenamiento del cemento, ya que la duración está en funcione del lugar y de las condiciones del clima. Lo ideal es que se almacene en un sitio donde no exista una exposición directa con el agua, lo anterior hace referencia al cemento en sacos, también es recomendable no almacenar grandes cantidades de bultos ya que al cabo de 4 o 6 semanas puede perder el 20% de la resistencia y se perderán varios sacos ya que se puede presentar fraguado por aire.

El almacenamiento del cemento a granel es preferible que en sacos de papel triple, ya que es más barato y permite que el cemento viejo se gaste primero. Adicionalmente no requiere personal para descargarlo y se evita en gran cantidad el desperdicio que se presenta cuando se rompen los sacos. Finalmente, el proceso de fabricación del cemento consta de 6 etapas generales las cuales se mencionan a continuación mediante un diagrama para sintetizar la información dada anteriormente.

Figura 1. Proceso de fabricación del cemento



Fuente: Tecnología del concreto

Clasificación del cemento portland

Existen varios tipos de cementos para satisfacer diferentes necesidades y cumplir propósitos específicos; en la norma NTC 30 se establecen once clases de cemento los cuales se utilizan dependiendo el uso de la estructura u obra que se proyecte construir, estos se muestran en la siguiente página tabla 1:

Tabla 1. Clasificación del cemento portland

Cemento Portland	Uso
Tipo 1	Normal
Tipo 1-A	Normal inclusor de aire
Tipo 1-M	Normal de mayores resistencias
Tipo 1-M A	Normal de mayores resistencias, inclusor de aire
Tipo 2	De resistencia moderada a los sulfatos
Tipo 2-A	De resistencia moderada a los sulfatos, inclusor de aire
Tipo 3	De alta resistencia inicial
Tipo 3-A	De alta resistencia inicial, inclusor de aire
Tipo 4	De bajo calor de hidratación
Tipo 5	De resistencia elevada a los sulfatos
Blanco	Color blanco, normalmente tipo 1 o 3

Fuente: Tecnología del concreto

3.2 AGUA PARA EL CONCRETO

Definición

En un ingrediente fundamental en la elaboración de concreto y mortero debido a que desempeña una función importante en estado fresco y endurecido. Hace referencia a la cantidad de agua requerida para que haya una relación agua/cemento optima acorde con las necesidades de trabajabilidad y resistencia; pero no solamente su cantidad es importante, sino también su calidad química.

Agua de lavado de agregados

Es la utilizada durante el proceso de trituración, para retirar impurezas y exceso de finos presente en los conglomerantes de los que provienen, así como las partículas muy finas formadas durante la trituración.

El agua utilizada en este proceso debe ser lo suficientemente limpia como para no introducir contaminación a los materiales procesados, como puede ser exceso de partículas en suspensión, especialmente de materia orgánica o sales, que posteriormente afectan la calidad del concreto.

Agua de mezclado o amasado

Se adiciona junto con los agregados y el cemento. Se necesita este último para producir una pasta hidratada con una fluidez tal, que permita la lubricación adecuada de la mezcla de concreto cuando se encuentre en estado plástico, esta pasta va estructurándose de forma diferente para producir el gel de cemento.

Dependiendo de la cantidad de agua agregada será mayor o menor la fluidez de la pasta. Si la medida de agua de mezclado aumenta se disminuye la resistencia y el concreto se hace más permeable; por eso es tan importante controlar la cantidad de agua utilizada para hacer la mezcla.

Agua de curado

Una vez el concreto ha fraguado, es necesario adicionarle agua para garantizar una hidratación completa del grano de cemento, esta agua suministrada depende de la temperatura y humedad del ambiente donde se encuentre el concreto, ya que a menor humedad relativa, la evaporación es mayor. El objetivo del curado es mantener el concreto saturado, o lo más próximo posible a la saturación, hasta que

los espacios que inicialmente estaban saturados de agua se llenen con los productos de la hidratación del cemento. El agua que se utiliza en la mezcla la mayoría de veces es apta para el curado, sin embargo, la causa más común de las manchas en la superficie de concreto, es la presencia de una alta concentración de hierro o materias orgánicas.

Calidad del agua

Las exigencias de calidad varían en función de las características propias del cemento; en nuestro país en general, fuera de los perímetros urbanos, se corre el riesgo de utilizar aguas de calidad desconocida, las cuales no son estudiadas para su empleo en la elaboración de hormigones. Debido a lo anterior, es importante tratar de adquirir la mejor información del agua que se utilizara para hacer concreto, ya que se puede afectar la calidad de los hormigones que se pueden generar.

3.3 AGREGADOS

Definición

Los agregados son cualquier sustancia sólida o partículas añadidas intencionalmente al concreto que ocupan un espacio rodeado por pasta de cemento, de tal manera, que en combinación con esta proporcionan resistencia mecánica, al mortero o concreto en estado endurecido, además controlan los cambios de volumen que normalmente ocurren durante el fraguado del cemento.

La calidad de los agregados está determinada por el origen, por su distribución granulométrica, densidad, forma y superficie. La selección del tamaño del agregado grueso para un concreto reforzado está en función del tipo de estructura y la separación de la armadura.

Clasificación según su procedencia

Pueden ser naturales o artificiales. Los agregados naturales se obtienen de la explotación de arrastres fluviales (arenas y gravas de río), o glaciares (cantos rodados) y de canteras de diversas rocas y piedras naturales. Los agregados artificiales son los que se obtienen a partir de procesos industriales, tales como arcillas expandidas, escorias de alto horno, Clinker, limaduras de hierro, entre otros.

Clasificación según tamaño

La forma as empleada para clasificar los agregados naturales es según su tamaño. El cual varía desde fracciones de milímetros hasta varios centímetros en sección transversal. Esta distribución de tamaños se conoce como granulometría. La clasificación más general del agregado para elaborar hormigón se muestra en la página siguiente tabla 2 donde se indican los nombres más comunes.

Tabla 2. Clasificación según el tamaño

TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS EN MM (TAMIZ)	DENOMINACIÓN CORRIENTE	CLASIFICACIÓN COMO AGREGADO PARA CONCRETO
< 0,002	Arcilla	Fracción muy fina
0,002-0,074 (NO. 200)	Limo	
0,075-4,76 (NO. 200) – (NO. 4)	Arena	Agregado fino
4,76-19,1 (NO. 4)-(¾")	Gravilla	Agregado Grueso
19,1-50,8 (¾")-(2")	Grava	
50,8-152,4 (2")-(6")	Piedra	
>152,4 (6")	Rajón	

Fuente: Tecnología del Concreto

Propiedades de los agregados

Las propiedades de los agregados dependen en gran parte de la calidad de la roca madre de la cual proceden, por lo que para su evaluación, el examen petrográfico es de gran utilidad.

Criterios de selección de los agregados

Es importante seleccionarlos cuidadosamente teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- **Carácter de trabajo:** las condiciones que deben cumplir los agregados para presas de concreto, son diferentes a las que se usan para pavimentos en ese material. El anterior es un claro ejemplo para entender este aspecto ya que en las presas, las propiedades importantes del agregado son las que tienen efecto en el contenido de agua de la mezcla. En pavimentos, la resistencia a flexión es lo más importante, por lo cual la forma de las partículas es más relevante.
- **Condiciones climáticas:** se debe prestar una atención especial a la mineralogía y solidez de los agregados usados en concreto colocado en ambientes agresivos, para evitar el deterioro y el rompimiento de estos.
- **Factores que afectan la durabilidad:** estos se tienen en cuenta en condiciones de abrasión y erosión severas, ya que son los agregados los que proporcionan la resistencia y no la matriz del cemento, por lo cual en estructuras hidráulicas o de drenaje, las características más importante de ellos son la dureza, la forma de las partículas y la granulometría.
- **Economía:** los factores económicos que se deben considerar en la selección de los agregados son: el efecto del costo del agregado sobre el precio del concreto basado en la calidad del agregado; el efecto del agregado sobre los costos de construcción asociado con la factibilidad y velocidad de colocación; uso de concreto de menor calidad donde la poca calidad podrá proporcionar una adecuada durabilidad.

3.4 UNIDADES DE MAMPOSTERIA

Unidades típicas con perforación vertical

Se pueden utilizar para construcciones de mampostería estructural de todos los tipos. La perforación vertical tiene como objetivo principal, permitir la colocación de refuerzo a lo largo del elemento con suficiente recubrimiento de mortero.¹² En la norma NRS-10 título D.3.6.4.1 se encuentran los requisitos que deben cumplir las unidades de mampostería de perforación vertical.

Dimensiones de las celdas: < El área de las celdas verticales de la pieza de mampostería en posición normal, no puede ser mayor que el 65% del área de la sección transversal >

< Las celdas verticales u horizontales continuas en donde se coloque el refuerzo no pueden tener una dimensión menor de 50mm, ni menos de 3000 mm² de área >

Según la Norma Sismo Resistente del año 2010 (NSR-10) en el título D.4.2 el refuerzo que se utilice en la mampostería debe cumplir con unos requisitos, los cuales se presentan a continuación.

< Embebido del Refuerzo: todo refuerzo que se emplee en los diferentes tipos de mampostería debe estar embebido en concreto, mortero de relleno o mortero de pega, y debe estar localizado de tal manera que se cumplan los requisitos de

¹² TAKEUCHI, Caori Patricia. Comportamiento en la Mampostería Estructural. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia, 2007, p. 30. ISBN 9789587018899.

recubrimiento mínimo, anclaje, adherencia, y separación mínima y máxima con respecto a las unidades de mampostería >

Tipos de unidades de mampostería según el material

Unidades de arcilla

Las unidades de arcilla pueden ser extruidas o prensadas. En el primer proceso, la masa de un contenido de humedad de aproximadamente un 12 al 15% pasa después del proceso de mezcla, al interior de una máquina que la empuja por presión hasta la salida, haciéndola pasar por una boquilla con la forma final de la pieza. Luego se van formando las unidades individuales y posteriormente llevado al secado y horneado.

El proceso de prensado en seco se adapta a arcillas poco plásticas. La masa se coloca en moldes y es compactada por medio de prensas. Luego pasa a la etapa de secado y horneado.¹³

Según la NTC 4205 las unidades de arcilla se clasifican en:

- Según la exposición al ambiente: unidades de uso interior (unidades no expuestas a la intemperie utilizadas para construcción de muros divisorios o muros exteriores con acabado de protección como pañetes o enchapes) y unidades de uso exterior (unidades utilizadas en muros a la vista expuestos a la intemperie)

¹³ TAKEUCHI, Caori Patricia. Comportamiento en la Mampostería Estructural. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia, 2007, p. 30. ISBN 9789587018899.

- Según el uso: unidades para mampostería estructural (utilizadas para elementos estructurales) y no estructural (utilizadas para muros divisorios o de cierre).¹⁴

Propiedades de las unidades

Masa de la muestra, masa sumergida, masa saturada después de inmersión en agua en ebullición y masa seca

- **Masa de la muestra:** masa de la unidad como se tomó en el muestreo sin realizar ningún procedimiento de inmersión ni de secado. Se utiliza para el cálculo de contenido de humedad.
- **Masa sumergida:** masa determinada después de 24h de esta sumergida la muestra en agua. Se utiliza para el cálculo del volumen.
- **Masa saturada:** masa de una muestra, que se ha sumergido en agua por 24h y que se ha secado superficialmente con un paño húmedo.
- **Masa saturada después de inmersión en agua en ebullición:** masa de una muestra que ha pasado por proceso de agua en ebullición luego de haber sido

¹⁴ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Santafé de Bogotá D.C: ICONTEC, 1996. NTC 4205.

saturada en agua en el procedimiento para determinar el peso saturado y seco superficialmente.¹⁵

Dimensiones, densidad y volumen

- **Dimensiones:** estas se determinan siguiendo los requisitos de la norma NTC 4011.
- **Volumen:** se calcula como la fuerza de empuje sobre el sólido sumergido en un líquido (en este caso agua) dividida por la densidad del líquido.

Absorción de agua

Esta es una propiedad muy importante, debido a que afecta la durabilidad de la unidad y de la mampostería. Si la unidad tiene absorción alta, puede presentar cambios volumétricos significativos o permeabilidad alta a la penetración de agua.

Contenido de humedad

Los requisitos de humedad están asociados con la contracción lineal por secado y con las condiciones de humedad de la obra o el sitio en el que se vayan a usar las unidades.

¹⁵ TAKEUCHI, Caori Patricia. Comportamiento en la Mampostería Estructural. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia, 2007, p. 30. ISBN 9789587018899.

Tasa inicial de absorción

Los poros de la unidad funcionan como capilares en presencia de agua. Cuando se coloca el mortero el mortero de pega, las unidades succionan parte del agua que contiene el mortero. Es por eso que la tasa inicial de absorción afecta tanto el comportamiento del mortero como su adherencia con la unidad. Se debe tener en cuenta que una pobre adherencia no solo afecta la resistencia de la mampostería sino la durabilidad y también la penetración del agua.

Si la tasa inicial de absorción es muy alta y la capa de mortero muy delgada, el mortero pierde parte del agua necesaria para la hidratación y de esto resulta un mortero de pobre comportamiento. Otra consecuencia de que la tasa de que la tasa inicial de absorción sea alta es que el mortero se rápidamente y la colocación de los ladrillo de la siguiente hilada es más difícil.

Cuando la tasa de absorción es alta, es conveniente que las unidades de mampostería permanezcan bajo sombra y sean humedecidas antes de ser colocadas, esto se debe hacer especialmente en climas cálidos. Si la tasa de absorción es baja; cuando el mortero está fresco, el ladrillo tiende a flotar sobre el mortero. Para evitar que lo anterior ocurra, se debe trabajar con morteros secos que tengan baja retención de agua.

Resistencia a la compresión

Se usa como control de calidad del proceso de fabricación para conocer la calidad de los materiales, esto se hace a partir de fórmulas que relacionan las propiedades de la unidad y de los morteros.

La resistencia a la compresión depende de la mezcla utilizada, del control de calidad del proceso de fabricación y del confinamiento que tienen las muestras durante el ensayo. También influye el área de contacto de la muestra con los platos de carga, no solo el área de contacto sino la dimensión longitudinal de contacto en ambas direcciones. La forma del ladrillo influye en la resistencia, ya que la resistencia a compresión es diferente para ladrillos huecos, para una misma mezcla y proceso de fabricación.¹⁶

3.5 MORTERO DE PEGA

La función principal del mortero de pega es unir las unidades individuales formando el mampuesto, el cual debe ser un elemento integral que resista adecuadamente las condiciones de carga y clima, manteniéndose estable con el tiempo. Como las unidades el mortero también influye en las propiedades estructurales de la mampostería. Impide también el paso de la luz, viento y agua al interior del mampuesto y a través de este, con el objetivo de garantizar la durabilidad de la mampostería.

Materiales utilizados para elaborar el mortero de pega

El mortero de pega se elabora con materiales cementantes, agua, agregados y ocasionalmente aditivos. Los morteros utilizan únicamente, cemento Portland, y arena, tienen buena resistencia a la compresión, pero baja retención de agua y pueden tener problemas de plasticidad y manejabilidad. Los muros construidos con este mortero son resistentes. Pero susceptibles al agrietamiento y a la penetración del agua.

¹⁶ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Santafé de Bogotá D.C: ICONTEC, 1996. NTC 4205.

El agua es la que da fluidez permitiendo la manejabilidad del mortero, además hidrata el cemento. Como se mencionó anteriormente, el agua debe ser limpia y libre de sustancias que deterioren el mortero o el acero de refuerzo. Debe cumplir los requisitos de la NTC 3329. La cantidad de agua, debe ser la necesaria para tener un mortero con buena manejabilidad y que satisfaga la tasa de absorción inicial de las unidades de mampostería.

Con respecto a los agregados, son arenas naturales o trituradas. La arena en el mortero es la que ocupa mayor volumen y peso, actúa como relleno que hace que la mezcla sea más económica. Si la arena se encuentra bien gradada, mejora la manejabilidad. El mortero gracias a la presencia arena, mantiene su forma y espesor bajo el peso de la unidad y tiene menos fisuras por retracción, lo anterior si la arena no presenta exceso de finos; ya que estos pueden disminuir la resistencia a la compresión.¹⁷

3.6 ACERO DE REFUERZO

El acero de refuerzo ayuda a la mampostería a resistir los esfuerzos de tensión y de corte que se presentan en los elementos de mampostería, cuando se aplican diferentes condiciones de carga, como el caso de las cargas verticales en vigas de mampostería o cargas horizontales de viento y sismo en muros. El refuerzo aumenta la ductilidad de la estructura y al tener mayor capacidad de almacenar energía, mejora su comportamiento ante las fuerzas de sismo. Debido a lo anterior, para que el elemento de mampostería reforzado se comporte adecuadamente y tenga la resistencia y ductilidad esperada, se debe tener cuidado en la disposición y colocación del acero de refuerzo. Así mismo, se debe proveer al acero de suficiente

¹⁷ TAKEUCHI, Caori Patricia. Comportamiento en la Mampostería Estructural. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia, 2007, p. 30. ISBN 9789587018899.

anclaje y longitud de traslape, como de un recubrimiento adecuado. El acero de refuerzo utilizado en la mampostería estructural, es el mismo que se utiliza en la construcción del concreto reforzado; además se utiliza comúnmente para refuerzo longitudinal y con un esfuerzo de fluencia de 420MPa.¹⁸

4. METODOLOGIA

A continuación se da a conocer la metodología y el proceso que se llevó a cabo para la construcción de la estructura primaria funcional a base de botellas pet recicladas.

Como primer paso, se inició realizando el diseño de la estructura, diseño de la cimentación, plano arquitectónico, estructural y de detalles. Seguido a esto, se procedió a la construcción de esta; iniciando con el descapote y la excavación manual del terreno. Después se fundió la cimentación y la placa de contrapiso. Se continuó sentando el ladrillo que conformaría el antepecho, el cual será soporte para los muros que irán contruidos en botellas.

Luego se instaló la estructura de cubierta, la cual es metálica y después de esto se colocó el plástico de cubierta el cual se encargara de evitar filtraciones de agua a la estructura, así como la fuerte luz del sol, ya que esta será utilizada como un aula auxiliar en el Colegio Galileo Galilei.

¹⁸ TAKEUCHI, Caori Patricia. Comportamiento en la Mampostería Estructural. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia, 2007, p. 30. ISBN 9789587018899.

Seguido a lo anterior, se instaló el marco metálico en el cual van a estar soportados los muros hechos en botellas pet recicladas. Además, se inició a colgar las botellas que hacen también parte de la cubierta, para luego proceder a ubicar los muros y finalmente dar por terminada la estructura ecológica.

Como se puede evidenciar el proceso metodológico descrito anteriormente, se nombró de manera general ya que se profundizará más en el capítulo de Análisis y discusión, donde se presentara paso a paso y detalladamente el proceso de diseño y construcción del kiosco ecológico.

5. ANALISIS Y DISCUSION

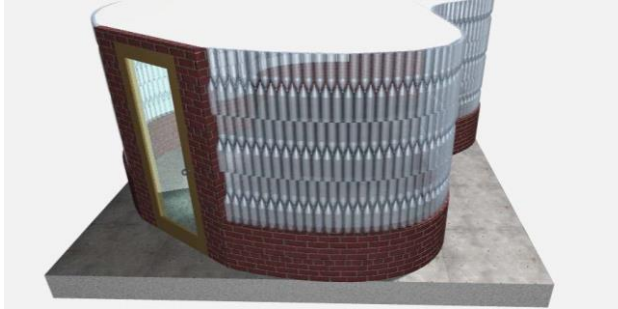
5.1. DISEÑO

El diseño arquitectónico surgió de la implementación de la metodología del Mapa de Gulliver, la cual fue aplicada por la arquitecta Viviana Sanabria en el colegio Galileo Galilei; este método consistió en aplicar encuestas a cerca de como querían que se construyera una estructura funcional en la cual se realizaran actividades diferentes a las académicas, donde se diera un espacio sinigual para que los estudiantes, docentes y padres de familia de la institución pudieran desarrollar su creatividad. Fue así, que se aplicaron talleres prácticos de diseño participativo a estudiantes, docentes y padres; luego de tabular dichos talleres que se representaban en gráficos y conceptos escritos; se procedió a analizar psico-espacialmente, las características espaciales y graficas que dieron como resultado las formas básicas de diseño dando una respuesta a las necesidades espaciales, funcionales y formales que la comunidad educativa expreso sin suposiciones particulares del diseñador (Arq. Viviana Sanabria)

El diseño obtenido representa líneas cursivas entrelazadas, la unión de estas tiene como finalidad formar un instrumento musical (Guitarra). Lo anterior en representación de las artes y los elementos destacados dentro del análisis del taller de diseño participativo.

Seguido a esto, se procedió a plasmar el diseño arquitectónico final de la estructura, el cual se muestra a continuación en la figura 2.

Figura 2. Diseño arquitectónico inicial



Fuente: Convenio de cooperación institucional suscrito entre la Universidad Santo Tomas Seccional Tunja y el Gimnasio Galileo Galilei

En la figura anterior, el diseño planteado inicialmente no poseía estructura de cubierta porque en ese momento no estaba definida. Sin embargo, después de analizar el objetivo del proyecto, se propuso una cubierta ecológica que involucrara también botellas PET recicladas. Entonces se proyectó el siguiente diseño de cubierta que se muestra continuación en la figura 3.

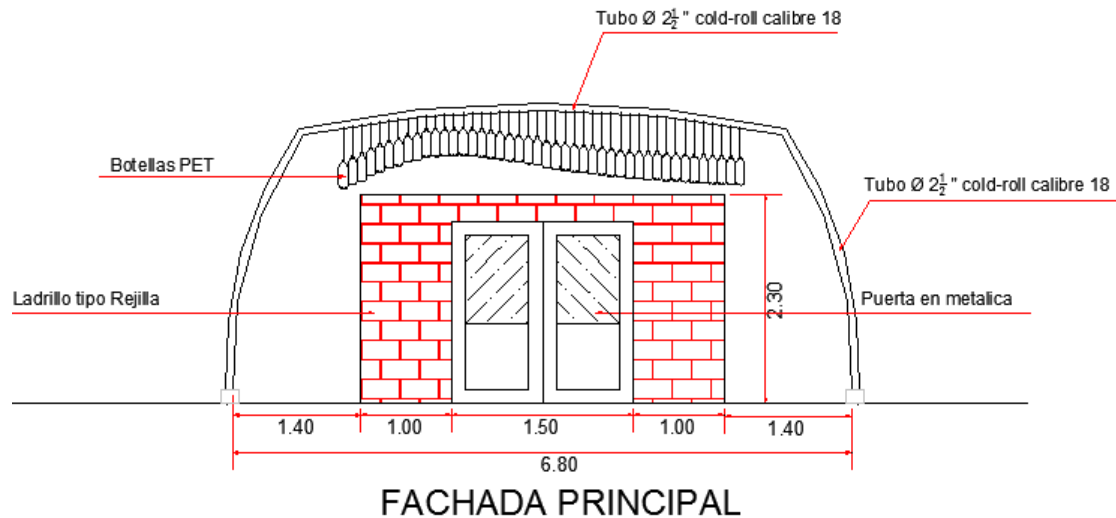
Figura 3. Cubierta



Fuente: Britzman, Garth. "Cubierta Paramétrica", [En línea]. Abril 2013. Disponible en la web: <http://www.plataformaarquitectura.cl/2013/04/06/1500-botellas-recicladas-construyen-cubierta-parametrica-disenada-por-garth-britzman>

Materializar la estructura de cubierta mostrada anteriormente, produjo realizar varias modificaciones en los materiales y la manera en cómo se construiría, ya que se utilizaría para un aula esta tendría que ser mucho más resistente y con mayor seguridad a factores ambientales, viento, lluvia, sol, entre otros. Por tal razón, se realizó un diseño más completo. Entonces el modelo de salón ecológico se resumió en la figura 4, la cual abarca el diseño final así como los materiales en que esta obra se llevó a cabo.

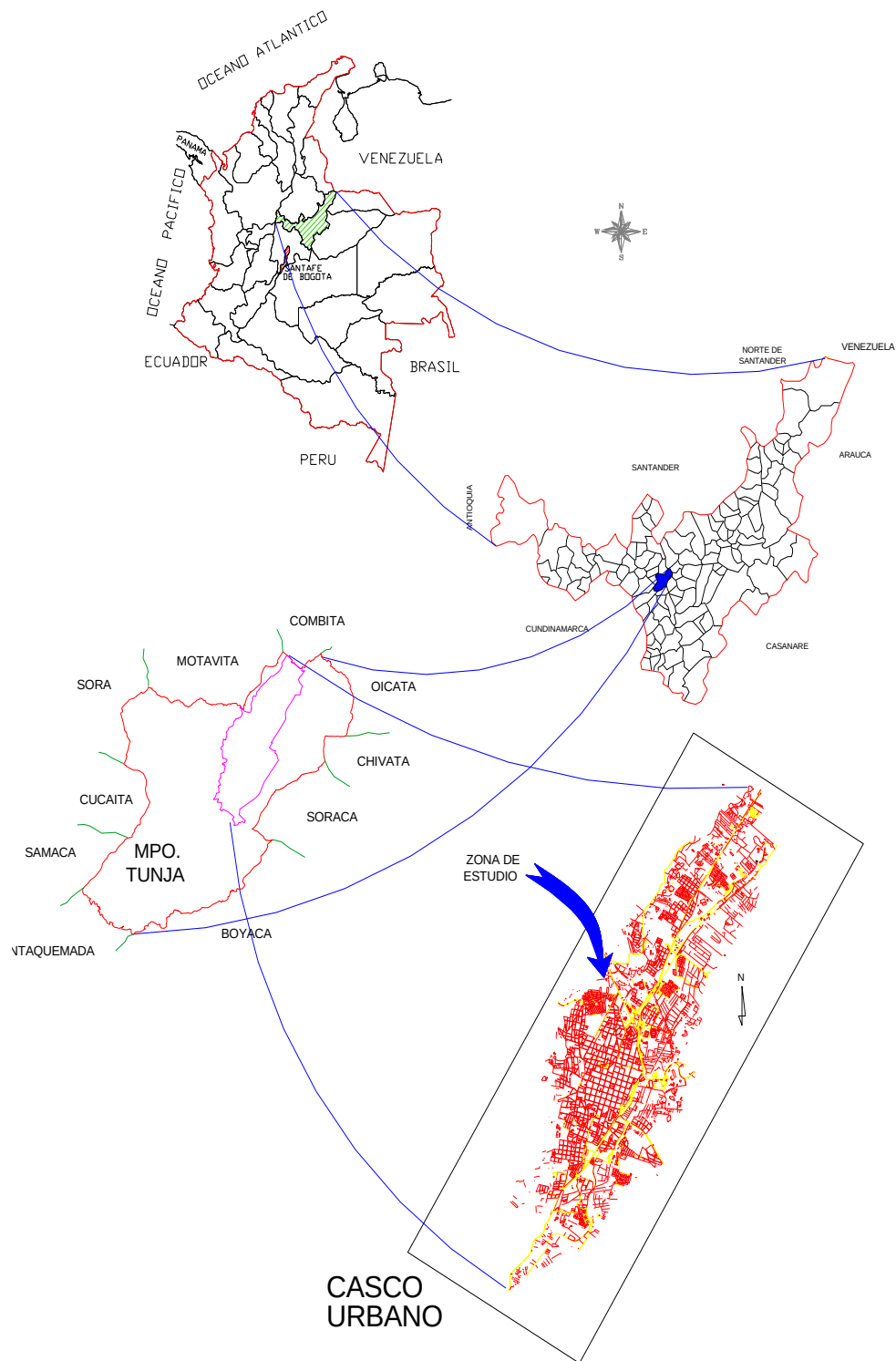
Figura 4. Diseño arquitectónico final



Fuente: Convenio de cooperación institucional suscrito entre la Universidad Santo Tomas Seccional Tunja y el Gimnasio Galileo Galilei

Luego se procedió a realizar el diseño de la cimentación de acuerdo con el estudio geotécnico, el terreno y el área dispuesta para construir este proyecto. Continuo a esto se presentan datos e información relevante para el diseño de la cimentación. En la figura 5 se muestra la zona donde se llevó a cabo el estudio geotécnico para la construcción del colegio Galileo Galilei en el barrio Rincón De La María.

Figura 5. Ubicación esquemática de la zona de estudio



Fuente: Estudio Geotécnico para el Diseño de Cimentación Construcción Colegio Galileo Galilei.

Además de esto, la zona está conformada por rocas sedimentarias que comprenden edades cretáceas a cuaternarias, tiempo en cual se produjo erosión, sedimentación y deformación de las rocas preexistentes lo cual hace que exista variedad de formaciones lito estratigráficas, como las que se presentan a continuación:

Formación Guaduas (TKg): esta formación se encuentra aflorando en el terreno de estudio, en los límites oriental y occidental del sinclinal de Tunja, más que todo en el sector occidental de la Loma San Lázaro.

Formación Cacho (Tc): esta formación se encuentra en contacto fallado con la formación Guaduas en el sector occidental de la estructura sinclinal. Los materiales encontrados en esta formación fueron arenisca cuarzosa, arcillolita limosa y arenisca de color amarillo.

Formación Bogotá (Tb): esta formación aflora en un área bastante extensa y está compuesta por una sucesión de arcillolitas abigarradas.

Formación Tilatá (TQt): está formada alternativamente por arcillas, arenas, capas arenosas y cascajos; posee en el área un espesor aproximado de 72 m y se encuentra discordante sobre la formación Bogotá.

Deposito lacustre: se encuentra localizado en el sector sur-oriental; está constituida por una secuencia de arcillas plásticas, grisáceas y blancuzcas; dicha formación tiene un espesor de más o menos 50 m.

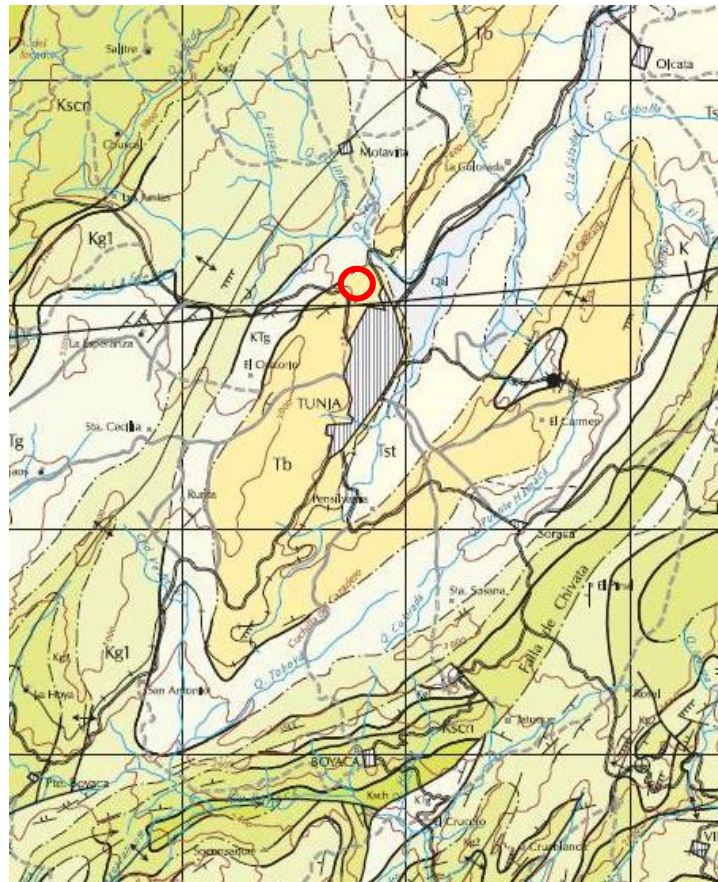
Deposito Aluvial (Qal): la composición de este depósito es esencialmente de fragmentos tamaño grava y gránulos de arenisca blanca y arenisca verdosa; son de forma redondeada a sub-redonda.

Deposito Fluvio-Lacustre (Qac): se encuentra en los valles del rio chulo y la quebrada La Cascada, son depósitos no consolidados y sus componentes son finos distribuidos alternadamente por arenas y arcillas de color gris y café.

Depósitos Coluviales (Qc): se localizan hacia la parte baja y media del límite occidental de la estructura cerca de los barrios Muiscas y Asís. Se compone de fragmentos de arenisca en forma angular y sub-angular.

De acuerdo con lo anterior, se muestra un mapa de la geología de la zona de estudio en la página siguiente Figura 6.

Figura 6. Geología regional de la zona de estudio



Fuente: Estudio Geotécnico para el Diseño de Cimentación Construcción Colegio Galileo Galilei.

El estudio geotécnico realizado, consto de siete sondeos los cuales se distribuyeron en el área total del lote; de lo anterior se obtuvo un perfil estratigráfico promedio el cual se muestra a continuación en la figura 7.

Figura 7. Perfil estratigrafico



Fuente: Natalia Alejandra López Villalba

Mediante el estudio geotécnico realizado, se hizo un análisis a diferentes profundidades considerando un cimiento cuadrado o rectangular, y evaluar la capacidad portante y la carga máxima que se le podría aplicar a la cimentación. Los resultados se muestran en la página siguiente tabla 3:

Tabla 3. Ancho de cimentación variable – capacidad portante

Ancho (m)	PROF. (m)	Therzaghi		Meyerhoff		Hansen	
		σ_{adm} (Kpa)	Carga (KN)	σ_{adm} (Kpa)	Carga (KN)	σ_{adm} (Kpa)	Carga (KN)
0.6	1.0	750	261	1280	460	908	327
0.8		784	501	1243	795	902	576
1.0		822	822	1241	1241	941	941
1.2		860	1238	1258	1811	929	1338
1.5		916	2061	1300	2924	926	2085
2.0		1010	4040	1394	5577	943	3773

Fuente: Estudio Geotécnico para el Diseño de Cimentación Construcción Colegio Galileo Galilei.

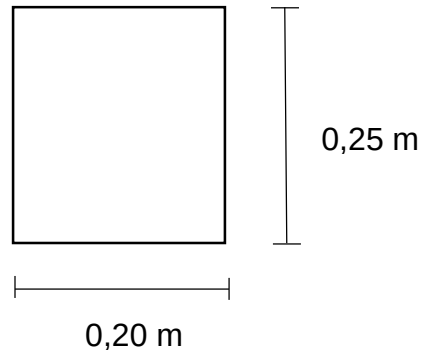
Es así, que según la tabla de resultados anterior y el estudio de suelos en general, la cimentación que se diseñó para la estructura primaria funcional fue de 0,60 m x 0,60 m a 1 m de profundidad; de igual forma se recomienda que las zapatas sean aisladas y de forma cuadrada.¹⁹(Anexo A)

Por otro lado, el proceso que se llevó a cabo para diseñar las vigas no pre-esforzadas de cimentación fue el siguiente. Como primer aspecto, se definió la altura y base de las vigas de cimentación; para definir el ancho de las dos vigas, tomamos el ancho mínimo que es de 0,20 m; entonces la base de la viga tipo 1 y la viga tipo 2 es de 0,20 m y la altura de 0,25 m.

¹⁹ JIMENEZ, Omar Javier. Estudio Geotécnico para el Diseño de Cimentación Construcción Colegio Galileo Galilei.

Teniendo en cuenta que la tipo 1 tiene una longitud de 7 m y la tipo 2 una longitud de 6 m. Finalmente la sección transversal de la viga tipo 1 y 2 es la siguiente:

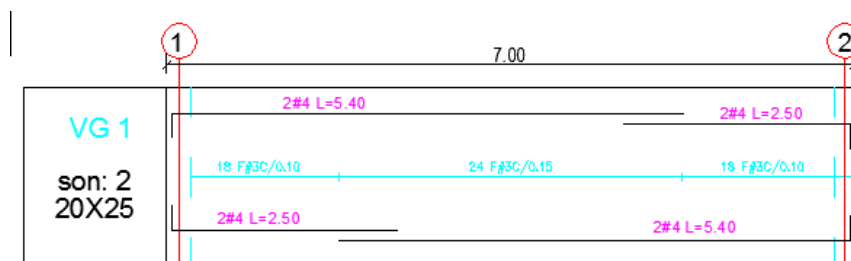
Figura 8. Sección transversal de vigas de cimentación

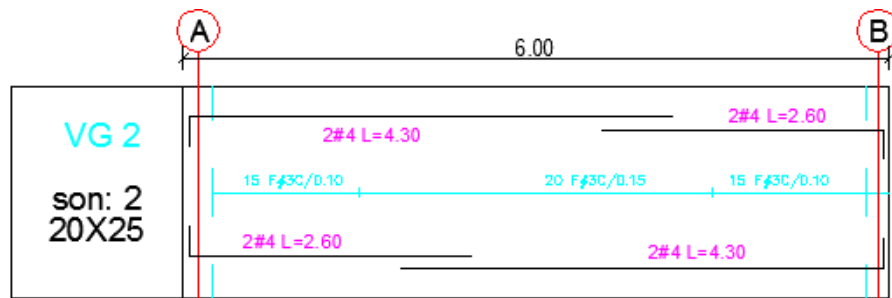


Fuente: Natalia Alejandra López Villalba

Luego se procedió a realizar la distribución de flejes con respecto a cada una de las longitudes mencionadas anteriormente. Lo anterior se hizo tomando una separación de refuerzo transversal de 0,10 m en los extremos de la viga y de 0,15 m en el centro de esta. De igual forma se adoptó un traslape de 0,50 m y un gancho de 0,20 m. A continuación se muestra el despiece de las vigas.

Figura 9. Despiece de vigas

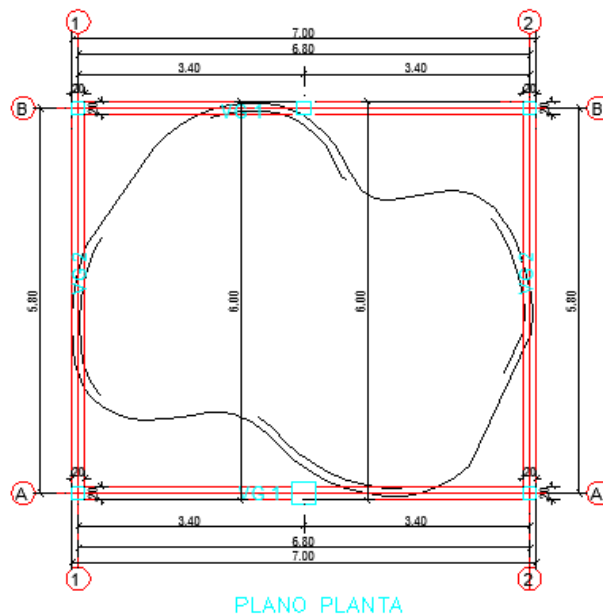




Fuente: Natalia Alejandra López Villalba

Entonces teniendo las zapatas y las vigas se obtiene finalmente la cimentación de la estructura primaria funcional; en la cual va estar soportada la placa de contrapiso que tiene un espesor de 0,20 m y esta reforzada con malla electro soldada Q5 de diámetro de 5.0 mm y un espaciamiento de 0,15 m; esta será dispuesta en un solo sentido; esto se evidencia mejor en la siguiente figura

Figura 10. Cimentacion en planta

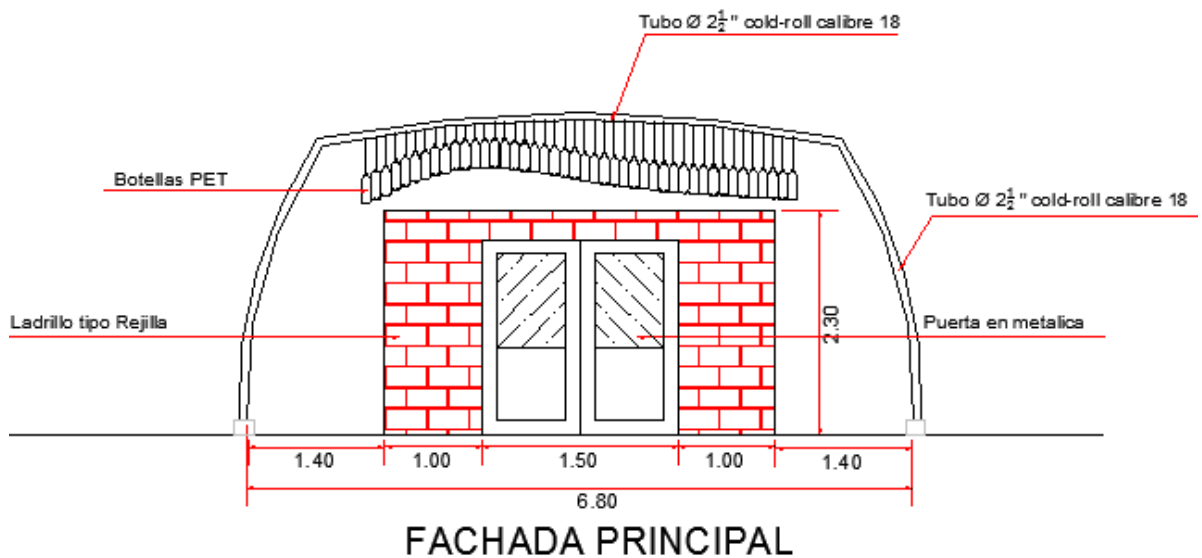


Fuente: Natalia Alejandra López Villalba

Para poder comparar los costos que tiene una estructura primaria elaborada con botellas PET recicladas y una estructura construida de manera convencional es necesario presentar el diseño arquitectónico que se elaboró.

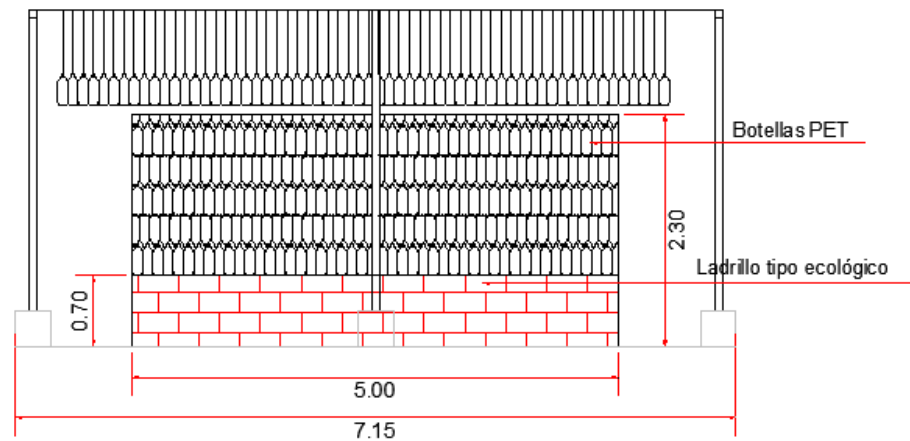
Por lo tanto este se muestra a continuación, en la figura 11. Lo anterior con el fin de analizar tres alternativas constructivas, las dos primeras van de la mano ya que su construcción es orientada a disminuir costos en los materiales y además con un impacto ecológico positivo, debido a que se utilizaran botellas PET recicladas; y la última alternativa es construir la estructura con materiales convencionales, y así poder analizar la diferencia en cuanto a costos de cada alternativa.

Figura 11. Fachada Principal



Fuente: Natalia Alejandra López Villalba

Figura 12. Fachada Lateral

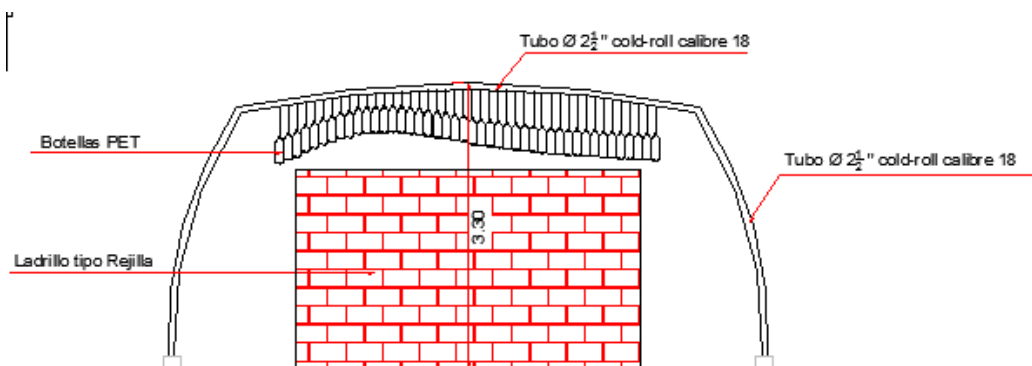


FACHADA LATERAL

Fuente: Natalia Alejandra López Villalba

Sin embargo cada una de las figuras mostradas se pueden observar detalladamente en el Anexo B.

Figura 13. Fachada Posterior



FACHADA POSTERIOR

Fuente: Natalia Alejandra López Villalba

ENSAYOS DE LABORATORIO

Los materiales a los que se les realizó ensayos fueron: unidades de mampostería, núcleo extraído, botellas pet y murete de mampostería.

Inicialmente, se practicaron diferentes ensayos basados en la Norma Técnica Colombiana NTC 4017 Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla en donde se exponen los procedimientos de preparación y selección de la muestra. Los ensayos desarrollados fueron:

Resistencia a la compresión del ladrillo de arcilla f'_{cu}

Este ensayo consiste en llevar la unidad de mampostería a la falla y registrar la carga de rotura en el área de contacto para determinar la resistencia a la compresión del ladrillo mediante la ecuación 1. Para esto se utilizó solo un espécimen.

$$f'_{cu} = \frac{W}{A} \quad (1)$$

Donde:

f'_{cu} = resistencia a la compresión del ladrillo en MPa o kg/cm²

W = carga máxima de rotura en N o kg

A = promedio del área bruta de las superficie superior e inferior del espécimen en cm² excluyendo las cavidades.

La norma NTC 4205 establece en la tabla 1, los valores mínimos de resistencia a la compresión que deben cumplir las unidades de arcilla de mampostería estructural; para unidades de perforación vertical la resistencia mínima es de 15 MPa, es decir, 150 kg/cm² encontrada en un ensayo individual.

Entonces siguiendo la ecuación 1 la resistencia a compresión del ladrillo fue de 103.08 kg/cm²; por lo tanto el espécimen ensayado no cumple con la resistencia mínima establecida. El cálculo de este valor se presenta detalladamente en el Anexo C hoja f'cu.

Figura 14. Ensayo a compresion del ladrillo



Fuente: Natalia Alejandra López Villalba

Tasa inicial de absorción (TIA)

El ensayo consiste en determinar la masa seca y la masa final de un espécimen para luego calcular la TIA dada en g/ cm²/min; para esto la muestra se coloca sobre dos soportes de acero inoxidable con un nivel de agua aproximadamente de 3 mm por encima de la parte inferior del ladrillo. Después de un minuto se retira el ladrillo, se seca con un paño húmedo y se determina la masa final siguiendo los requerimientos de la NTC 4017. Lo anterior realiza mediante la ecuación 2.

$$TIA = \frac{\text{Masa final} - \text{Masa inicial}}{\text{Area de contacto con el agua}} \quad (2)$$

Entonces si reemplazamos en la ecuación los valores obtenidos del espécimen la TIA es de 0.065 g/ cm²/min (Anexo C hoja T.I.A). La norma establece que el valor máximo permitido es de 0.25 g/ cm²/min es decir, que la tasa inicial de absorción presentada por el espécimen ensayado 0.065 g/ cm²/min es aceptable y la pieza no absorberá gran cantidad de agua del mortero sino que permitirá el fraguado del mortero de forma normal, de igual forma indica que las unidades de mampostería no requerirán de un tiempo prolongado de pre humedecimiento.

Absorción de agua

Este ensayo consiste en obtener la masa sumergida en agua durante 24 h de inmersión y restarle la masa seca, esta diferencia se expresa en porcentaje de masa seca (3). La determinación de absorción de agua con ensayo de inmersión por 24 horas se hace siguiendo los requerimientos de la norma NTC 4017.

$$\% \text{ absorción} = \frac{(W_{ss} - W_s)}{W_s} * 100 \quad (3)$$

Donde:

W_{ss} = masa sumergida en agua de ladrillo saturado luego de la inmersión en agua fría por 24 horas, en g

W_s = masa seca del espécimen antes de inmersión, en g

De esta forma, el porcentaje de absorción obtenido es del 16.41 %. (Anexo C hoja Absorción). La Norma Técnica Colombiana 4205 para unidades de mampostería de arcilla estable en la tabla 1, los valores máximos de absorción en 24 horas de inmersión. Para unidades de mampostería de perforación vertical el máximo porcentaje de absorción para muros de uso interior es de 16 % entonces el espécimen analizado sobrepasa un 0.41 % el rango permitido; esto indicar que probablemente el tiempo de cocción al que estuvo sometido la pieza de mampostería pudo ser insuficiente.

Obtención y ensayo de núcleo extraído

Seguido a esto se realizó según la NTC 3658 La obtención y ensayo de núcleos extraídos y vigas de concreto aserradas; el ensayo consiste en efectuar una perforación en obra y extraer un núcleo de concreto de la estructura que se requiera determinar la resistencia a compresión, esto se hace mediante una maquina llamada extractor de núcleos, así que después de obtener el núcleo y conservar la humedad de este se debe esperar 48 h y se procede a determinar la resistencia a la compresión del espécimen extraído en obra.

Figura 15. Obtención de nucleo



Fuente: Natalia Alejandra López Villalba

Figura 16. Ensayo de nucleo extraido



Fuente: Natalia Alejandra López Villalba

La resistencia a compresión obtenida fue de 17,68 MPa ver (Anexo C hoja Núcleo); esto indica que el valor adquirido está por debajo de la resistencia esperada ya que lo correcto es que la resistencia a la compresión de mayor o igual a 28.68 MPa que es igual a 3000 psi ya que es la especificación de los materiales. Entonces debido

a que no cumple se procede a realizar una carta al colegio explicando los ensayos practicados a los materiales y los resultados obtenidos para evaluar qué medidas toma la institución al respecto. Teniendo en cuenta que todos los ensayos practicados se realizaron con la supervisión del Ingeniero Orlando Hernández coordinador de los laboratorios de ingeniería civil

Ensayo a tracción de botellas PET

En cuanto a los ensayos que se practicaron a las botellas se realizó el ensayo de tracción a la conexión de las tapas. El ensayo consiste en sujetar mecánicamente los extremos de dos botellas, las cuales están conectadas por medio de las tapas que están unidas con de remaches ciegos y sus respectivas arandelas; seguido a esto se empieza a aplicar cargas gradualmente y se evalúa el comportamiento de la conexión de las tapas.

Figura 17. Ensayo a traccion de las tapas de botellas



Fuente: Natalia Alejandra López Villalba

El resultado arrojado en el ensayo anterior fue que cada conexión de tapas puede soportar aproximadamente una carga de 70 kg a tracción.

De igual forma se llevó a cabo el ensayo a tracción de los fondos de botellas, los cuales están unidos entre sí con amarres plásticos. Este ensayo consiste en someter a tracción las botellas que están sujetadas de las tapas y se aplican cargas graduales para evaluar que tanto soportan los amarres plásticos que unen los fondos de las botellas antes de fallar.

Figura 18. Ensayo atraccion de los fondos de botellas



Fuente: Natalia Alejandra López Villalba

La carga a tracción que soporto esta conexión de fondo fue de 48 kg.

Lo anterior indica que los resultados obtenidos fueron satisfactorios, es decir, el método que se utilizó para poder unir las tapas de las botellas y los fondos de las unidades de PET se desempeña de manera adecuada y además práctica.

Resistencia a compresión de la mampostería f'_m

Por último, se realizó el ensayo de resistencia a la compresión de prismas de mampostería según la NTC 3495 la cual comprende los procedimientos para la elaboración y ensayo de muretes, así como los procedimientos para determinar la resistencia a la compresión de la mampostería. El ensayo consiste en elaborar un murete siguiendo el método B en el cual se debe reproducir las condiciones con las que se trabaja la estructura en obra (las capas de mortero, el espesor y acabado de las juntas, la aplicación del mortero de relleno y estado de las unidades). Como se realizó por el método B, el prisma permanece en obra 48 horas antes de ser transportado al laboratorio. El refrentado de los prismas se hace colocando una capa de yeso o azufre y material inerte; una vez que el refrentado adquiere la resistencia necesaria, se mide la longitud, altura y espesor del prisma para luego colocarlo en la máquina y aplicar la carga.

La resistencia a la compresión f'_m se calcula con la siguiente ecuación

$$f'_m = \frac{W}{A} \quad (4)$$

Donde:

f'_m = resistencia a la compresión de la mampostería en MPa o kg/cm^2

W = carga última en kg

A = área neta de la sección en cm^2

Figura 19. Resistencia a la compresion de prisma de mampostería



Fuente: Natalia Alejandra López Villalba

La resistencia a la compresión obtenida mediante la realización del ensayo siguiendo las especificaciones de la NTC 3495 fue de 58.0 kg/cm^2 o 5.8 MPa (Ver Anexo D). Como se observa en la figura 20, se presenta una falla de compresión corte, ya que empieza con fisuras verticales en las unidades antes de que se presente el aplastamiento en el mortero. Las fisuras en las unidades se presentan porque el mortero ejerce un esfuerzo de compresión vertical y este estado de esfuerzo es desfavorable para la unidad. Por eso, la falla se presenta en la unidad y no en el mortero.

Este ensayo se llevó a cabo en las instalaciones de López Hermanos Ltda. Una empresa dedicada a la elaboración de estudios de suelos, ejecución de ensayos de laboratorio, diseños de mezclas, entre otros servicios; así que fue de gran ayuda el servicio que esta empresa proporciono a este proyecto.

5.2. CONSTRUCCIÓN – FASE 1

Finalmente, luego de realizar los ensayos pertinentes a los materiales que utilizaran se continua con construcción de la primera fase y luego la implementación y análisis de las alternativas constructivas planteadas para utilizar las botellas de Polietileno Tereftalato (PET) recicladas. De acuerdo con lo anterior, el siguiente paso es derivar cada componente del sistema constructivo.

Como se ilustro anteriormente, la cimentación está compuesta por cuatro zapatas de 0,60 m x 0,60 m, 2 vigas con una longitud de 7 m y dos vigas de 6m de longitud. Pero debido a una reducción en el presupuesto, se realizaron unas modificaciones y la cimentación que se construyó, finalmente quedo de la siguiente manera: se decidió no implementar las zapatas y dejar solamente las vigas de cimentación. Por lo tanto se analizara la propuesta de cimentación para estudiar el comportamiento de esta, el análisis se presentara más adelante detalladamente.

Como se observó en el capítulo 3, se utilizó cemento Portland tipo 1 con un $f'c$ de 21 MPa, tanto para las vigas como para la placa de entrepiso.

Luego de fundir esta estructura, se procedió a cimbrar la forma del aula ecología en la placa de entrepiso, como se mostró anteriormente el diseño del aula es en forma de guitarra; así que después de esto se siguió a colocar las unidades de mampostería de tal manera que las curvas del diseño quedaran suavizadas y se lograra una excelente forma por medio de los ladrillos.

Es importante recordar que solo se construyó en mampostería el antepecho de 0,70 m, para el muro de la parte posterior del aula y el muro que enmarca la puerta. Por lo tanto, después de construir el antepecho se levantó el muro de la parte posterior de la estructura, el cual como se observa en la figura 14 tiene una altura de 2,30 m es decir es un muro completo. Debido a que este es el que proporciona mayor estabilidad a la estructura, se reforzaron las celdas de los extremos derecho e izquierdo con varilla de $\frac{1}{2}$ " y grauting.

Luego, se construyó el muro que enmarca la puerta, las dimensiones de este se pueden observar en la figura 12 en el subcapítulo Diseño. Seguido a esto se realizó el montaje de la estructura de cubierta, se fundieron pedestales en la base de cada uno de los tres arcos y se anclo el marco metálico que dará mayor estabilidad a los muros de botellas.

El paso siguiente fue la implementación del proceso constructivo para crear los muros de botellas PET recicladas. Para esta fase se disponen de dos alternativas, las cuales se evaluarán en cuanto a costos para decidir cuál de ellas es mucho más factible construir si lo que se necesita es economizar materiales pero lograr una muy buena estabilidad en la estructura. Es por eso que a continuación en el subcapítulo siguiente, se dará a conocer la metodología implementada para llevar a cabo el montaje de los muros y la cubierta.

5.3. CONSTRUCCIÓN – FASE 2

5.3.1 Alternativa 1

Inicialmente, se realiza el presupuesto de obra, el cual proviene de un estudio basado en conocimientos reales de precios del mercado de materiales, equipos, personal y método constructivo utilizado.

Para llevar a cabo esto se analizó el capítulo de preliminares, cimentación, estructura, mampostería, pisos, cubierta, carpintería, instalaciones eléctricas y obras exteriores. En todos los ítem se evaluaron los materiales, la mano de obra, el equipo y herramientas, lo anterior teniendo en cuenta el costo de los insumos en el mercado y salario del personal encargado de realizar cada actividad especificada en el presupuesto. El análisis de costos realizado y mostrado a continuación pertenece a la alternativa 1, un método constructivo basado en formar módulos de botellas con 0,50 m de ancho y 1,60 m de largo como puede observarse en el capítulo de diseño figura 3; estas dimensiones dependen de la estructura que se requiera construir con botellas. En este caso se edificaran los muros de un aula ecológica, así que las dimensiones varían de acuerdo al proyecto y al diseño establecido inicialmente.

A continuación se dan a conocer los componentes del presupuesto de obra, según los capítulos establecidos en este.

Dentro del capítulo de Preliminares se evaluaron los siguientes ítems:

1. Localización y replanteo: consiste en demarcar sobre el terreno la localización exacta de la obra de acuerdo con las indicaciones de los planos.

Lo anterior se realiza referenciando los ejes de la edificación y los anchos de cimentación mediante estacas.

2. Descapote: radica en desmontar y limpiar el área donde se construirá la estructura, esto comprende remover la capa vegetal, remoción de troncos de árboles y raíces, para luego retirarlo del sitio de obra y disponerlo en áreas de zonas verdes o de emperadización.
3. Excavación manual para vigas de amarre: consiste en realizar zanjas o excavaciones teniendo en cuenta las dimensiones de las vigas de cimentación indicadas en los planos para dejar listo el terreno para luego proceder a colocar el acero de refuerzo.
4. Relleno en material seleccionado: colocación, extensión, compactación y terminado de material de base sobre una superficie preparada previamente para esta actividad.

El capítulo de Cimentación comprende los siguientes ítems:

1. Concreto pobre: consiste en una base de limpieza hecha en concreto pobre, es decir, de una resistencia muy baja, el cual sirve de protección al concreto de la estructura de cimentación.

2. Cimiento de viga de amarre y pedestal: radica en fundir la estructura de cimentación de acuerdo a las especificaciones de los planos. En este ítem se evaluó el costo de un concreto de 3000 psi.
3. Acero de refuerzo: este ítem comprende el suministro y figurado de acero A-37 que es el de las barras corrugadas es decir, el refuerzo longitudinal y PDR-60 que es el que se utiliza para el refuerzo transversal es decir, para los flejes.

Los siguientes ítems hacen parte del capítulo de Estructura:

1. Placa de contrapiso: es una capa de hormigón que se utiliza como separación entre el piso natural y el piso construido; es una estructura que permite transmitir las cargas del piso al terreno.
2. Malla electro soldada: es un producto formado por dos sistemas de elementos, uno trasversal y otro longitudinal, que se cruzan entre si y cuyos puntos de contacto están unidos mediante soldadura. Se emplean en cimentaciones, muros, placas de contrapiso y entrepiso; ya que es de fácil instalación y además no se requiere de personal especializado para su colocación.

Capítulo de mampostería, compuesto por los siguientes ítems:

1. Muro en ladrillo rejilla prensado: en este ítem se evalúan tanto en m² como ml de muro.
2. Celdas en concreto
3. Muro en botellas PET

El capítulo de pisos, está compuesto por: afinado y alistado de pisos y enchape en porcelana. Seguido a esto se encuentra el capítulo de cubierta el cual contiene, el cordón de amarre de botellas y el plástico protector en polietileno.

Luego se evaluó el capítulo de carpintería, el cual abarca la estructura metálica de cubierta que es en tubo cold rolled y el suministro e instalación de la puerta doble. En último lugar se encuentra el capítulo de instalaciones eléctricas el cual tiene un solo ítem que es: toma corriente general doble y el capítulo de obras exteriores que incluye el aseo general para la entrega de la obra.

Con lo anterior se finaliza el reconocimiento de los componentes del presupuesto de obra planteados para cada una de las alternativas evaluadas en este documento; el cual estuvo supervisado y apoyado por ESSCO P & C S.A.S.

A continuación se da a conocer el cuadro resumen de los costos generados, luego del análisis de los precios del mercado en cuanto a los insumos, herramienta necesaria y mano de obra.

Es así como en la figura 20 se puede observar el presupuesto calculado para la alternativa 1 que se está evaluando, sin embargo en el Anexo F se puede analizar detalladamente el libro de cálculo utilizado para la elaboración del costo general, como se determinó el valor de cada material, como de la mano de obra y las herramientas utilizadas para los capítulos.

Figura 20. Presupuesto – Alternativa 1

PRESUPUESTO ESTRUCTURA FUNCIONAL - ALTERNATIVA 1					
ITEM	DESCRIPCION	UND	CANTIDAD	VALOR UNIT. (\$)	VALOR TOTAL (\$)
1. PRELIMINARES					
1.1	Localización y replanteo	m2	42	5.356	224.968
1.2	Descapote manual y retiro	m3	4,2	13.179	55.350
1.3	Excavación manual de vigas de cimentación	m3	1,7	23.063	39.944
1.4	Relleno en material seleccionado	m3	2,1	76.884	161.456
				TOTAL	481.718
2. CIMENTACION					
2.1	Concreto pobre f'c = 140 kg/cm2	m3	0,432	302.598	130.722
2.2	Cimiento viga de amarre 0,20 m x 0,25 m y pedestal 0,35 m x 0,35 m 3000 psi	m3	2,1215	523.912	1.111.479
2.3	Suministro y figurado de acero A-37	kg	120	3.488	418.590
2.4	Suministro y figurado de acero PDR-60	kg	110	3.488	383.708
				TOTAL	2.044.499
3. ESTRUCTURA					
3.1	Placa de contrapiso 3000 psi e = 0,10 m	m2	42	398.290	1.672.819
3.2	Malla electrosoldada	und	3	14.378	43.134
				TOTAL	1.715.953
4. MAMPOSTERIA					
4.1	Muro en ladrillo rejilla prensado	m2	15	90.205	1.353.075
4.2	Muro en ladrillo rejilla prensado	ml	6,4	55.256	353.637
4.3	Celdas en concreto	ml	6,4		277.729
4.4	Muro en botellas PET	m2	27	10.369	279.971
				TOTAL	2.264.412
5. PISOS					
5.1	Afinado y alistado de piso	m2	25,89		345.295
5.2	Enchape en porcelana corona 0,60 m x 0,60 m	m2	25,89	65.000	1.682.859
				TOTAL	2.028.154
6. CUBIERTA					
6.1	Cordón amarre de botellas	ml	300	400	120.000
6.2	Plástico protector en polietileno	ml	13	40.382	524.968
				TOTAL	644.968
7. CARPINTERIA					
7.1	Tubería cold rolled redonda calibre 18 de 2 -1/2"	ml	54,6	1.000.000	1.000.000
7.2	Suministro e instalación puerta doble en madera entambrada	und	1	435.000	435.000
				TOTAL	1.435.000
8. INSTALACIONES ELECTRICAS					
8.1	Toma corriente general doble con polo a tierra 120	UND	1	50.896	50.896
				TOTAL	50.896
9. OBRAS EXTERIORES					
9.1	Aseo general para entrega	m2	40	3.240	129.600
				TOTAL	129.600
TOTAL					10.795.200

Fuente: Natalia Alejandra López Villalba

Entonces de acuerdo con el análisis y la figura anterior puede observarse que el costo total para la primera alternativa constructiva es de \$ 10'795.200, este valor demuestra que es factible desarrollar estructuras de este tipo ya que el precio no es muy elevado, además se debe tenerse en cuenta el área la cual es de 28,33 m2, es decir, es un área adecuada para albergar un promedio de 25 personas; también se debe analizar el impacto positivo que este tipo de proyectos generan tanto en el ambiente como en las personas beneficiadas.

Seguido a la presentación y análisis del costo general de la primera propuesta que se está evaluando, se procede a explicar el proceso constructivo.

En esta etapa del proyecto se desarrolló el método constructivo con las botellas pet recicladas. Se inició determinando los materiales que pudieran tener una buena compatibilidad con el Polietileno Tereftalato (PET).

Para poder unir las tapas de las botellas y que tuvieran una buena adhesión se experimentó con los siguientes aglomerantes: Sikaflex -1a, el cual es un sellador elástico de alto desempeño con base en poliuretano (PU), para el sello de juntas arquitectónicas o estructurales con fuertes movimientos; este producto tiene buen comportamiento con elementos de concreto, madera, fibrocemento, vidrio, acero y aluminio. Es de fácil aplicación y solo se requiere de una pistola de calafateo, se puede encontrar en color blanco, negro y gris.²⁰

A continuación se muestra la conexión de dos tapas utilizando este tipo de aglomerante, además se ilustra cómo se visualizara cada unión de tapas cuando estén puestas en obra. Por dicha razón el ensayo se realizó con Sikaflex -1ª de color blanco, para que la conexión presentara un aspecto visual agradable.

²⁰ HOJA TECNICA. Sika
<http://www.pisotec.com/index.php/file/GetFile?id=95>

Figura 21. Adhesivo Sikaflex -1^a



Fuente: Natalia Alejandra López Villalba

La Silicona transparente Toolcraft, es un adhesivo sellante de uso general con una formula superior la cual vulcaniza a temperatura ambiente desprendiendo ácido acético. Esta proporciona un sellado duradero y una excelente flexibilidad, resistencia y hermeticidad al clima; puede ser usada en interiores o exteriores, también en lugares donde hay presencia de humedad como cocinas, lavaplatos, duchas, tinas, entre otros, evitando fugas y filtraciones. Al igual que el sellador Sikaflex, la silicona solo necesita ser aplicada con la pistola de calafateo.

La siguiente figura muestra la unión de dos tapas usando este material, como se puede observar la superficie de contacto entre tapas es pequeña, lo cual conlleva a que el adhesivo no pueda generar una unión adecuada.

Figura 22. Adhesivo silicona transparente



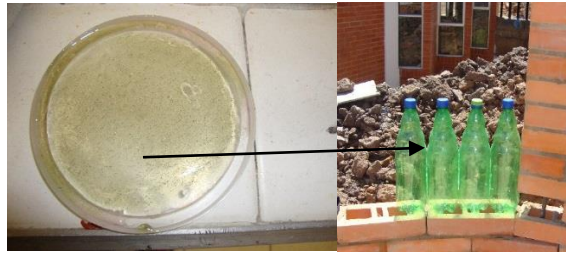
Fuente: Natalia Alejandra López Villalba

Así mismo, se realizaron pruebas con Policoncreto el cual está compuesto por Resina Poliéster Cobaltada, Octoato de cobalto y un catalizador llamado Metil Etil Cetona que se conoce en el mercado como MEC. La preparación de este compuesto consiste en mezclar la resina con el octoato de cobalto y mover continuamente hasta que la mezcla sea homogénea, esta acción no produce en el compuesto variación de color, es decir, luego de mezclar los dos primeros químicos el color que se puede observar es rosado; seguido a esto se adiciona el catalizador (MEC) y se procede a mover hasta que haya homogeneidad, este proceso si ocasiona que la mezcla cambie de color rosado a verde claro u oscuro, la intensidad del color verde depende de la cantidad de catalizador utilizado, por eso en la figura 20 la probeta presenta un color verde un poco oscuro. De esta manera se obtiene el Policoncreto que luego será aplicado sobre las superficies que quieran pegarse. Para hallar la cantidad que debe mezclarse de cada sustancia se debe hallar el volumen de espacio que se va a llenar con este compuesto.

Entonces de octoato de cobalto se adiciona del 0,5 – 1 % del volumen y del catalizador Metil Etil Cetona se adiciona del 1 – 2 % del volumen total que va a aportar adhesión entre dos superficies o elementos. El ensayo realizado con este compuesto fue asesorado por el ingeniero Jorge Arturo Torres Pemberti especialista en plásticos de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia sede Duitama.

La probeta realizada para el ensayo así como la unión de las botellas con este compuesto se muestran a continuación. Como se visualiza en la siguiente figura, el ensayo se realizó con 4 botellas, las cuales fueron unidas lateralmente entre sí, expuestas al sol y a las condiciones climáticas del lugar del proyecto.

Figura 23. Policoncreto



Fuente: Natalia Alejandra López Villalba

Los aglomerantes mencionados anteriormente fueron los que se utilizaron en las pruebas, con estos se quería lograr adherir las tapas para formar hileras de botellas, sin embargo los ensayos no arrojaron resultados muy satisfactorios, ya que las botellas están expuestas a condiciones climáticas, sol, lluvia, viento; esto ocasionó que el comportamiento de los pegantes con las botellas PET no fuera el mejor. El sol y el calor, fueron los principales factores que afectaron la unión de estos dos materiales (adhesivo y botella PET), ya que al momento que se colocaba una cantidad de Sikaflex -1^a o de Silicona transparente Toolcraft en una tapa y luego se unía con otra tapa y se hacía presión la adherencia era buena, pero al tiempo de colocar las botellas en la obra, el sol y el calor producían que las tapas se desprendieran ocasionando que las botellas se derrumbaran.

Lo anterior ocurrió porque las tapas como son de plástico (Polímero) este es buen conductor de calor y no resiste temperaturas elevadas, además, la superficie es muy llana entonces cuando esta superficie se empieza a calentar, el pegante comienza a desprenderse produciendo la desconexión de las tapas; por otra parte el área de contacto es muy pequeña ya que el diámetro de una tapa normal de gaseosa o jugo es de 2,8 cm entonces no había suficiente agarre entre el sellador y las tapas de las botellas para que permanecieran unidas.

En cuanto a los resultados obtenidos con el Policoncreto, estos tampoco cumplieron las expectativas. Esto se produjo igualmente por factores climáticos como el sol y el viento; como se observa en la figura 20, la superficie de contacto que hay entre botellas es muy pequeña y además delgada, esto depende de la forma de las botellas de la curvatura que estas tengan. Por lo tanto, la adherencia del Policoncreto a las botellas era muy poca, sobre todo cuando estas estaban descubiertas al sol y al viento en horas críticas del día, donde el sol estaba en su punto más alto produciendo una temperatura entre 18 – 23 °C, generalmente al medio día.

Así mismo en la figura 20, se muestra que las cuatro botellas permanecen pegadas pero luego, cuando el Polietileno Tereftalato se empieza a calentar las botellas empiezan a contraerse y expandirse, esta reacción ocasiona que las botellas se vayan desprendiendo lentamente una de la otra, por lo tanto, este compuesto no era el mejor para lograr una buena adherencia entre los elementos.

Entonces debido a las razones expresadas anteriormente, se prefirió realizar la conexión de las tapas y las botellas mecánicamente, utilizando remaches ciegos con sus respectivas arandelas y amarres plásticos. Estos elementos brindan mayor agarre y más resistencia al viento, además, realizar el proceso constructivo con estos materiales es mucho más económico que con los aglomerantes mencionados principalmente, al mismo tiempo es mucho más fácil y práctico de armar cada módulo siguiendo este método.

A continuación se expone claramente el proceso para construir los muros de la estructura los cuales son hechos en botellas.

Lo primero que se realiza es la unión de las tapas con remaches ciegos y asegurarlos con arandelas por cada lado de las tapas, esto se hace con una pistola para remachar; como se muestra en la siguiente figura, se forman pares de tapas las cuales después serán puestas en las botellas respectivamente.

Figura 24. Union de tapas



Fuente: Natalia Alejandra López Villalba

Luego se procede a unir las botellas mediante los fondos, estos se conectan con nylon para ataduras de cables llamado también amarres plásticos. La conexión de los fondos se puede visualizar la figura 25 presentada en la página a continuación.

Como se nota los amarres plásticos brindan una buena estabilidad a las botellas y son de color blanco para que el aspecto de la unión sea estético.

Figura 25. Conexión de fondos de botellas



Fuente: Natalia Alejandra López Villalba

También se logra observar que la unión debe hacerse con botellas iguales, es decir, de igual geometría por ejemplo con dos botellas de 2 litros; esto para que los fondos coincidan y el amarre plástico pueda dar firmeza y la conexión quede estable. Para esto lo es mejor es que los amarres se aprieten con alicates y luego se corte la parte sobrante de este.

En seguida de realizar las uniones de las tapas y los fondos, se forman columnas verticales de 4 botellas, estas hileras serán las que conformaran más adelante un módulo.

A continuación, se muestra la figura 23, en la cual se ve claramente cada una de las hileras verticales de botellas conformadas. La cantidad de columnas depende directamente de la cantidad de módulos que se requieran para cubrir un área determinada, así que esto varía según la estructura que se pretenda construir.

Para esta primera alternativa se diseñarían 288 columnas de botellas para cubrir el área requerida; para lograr una apariencia agradable es recomendable formar todas las columnas con un solo tipo de botella PET; las botellas deben estar en buen estado esto para que se vea uniforme y continuo.

Figura 26. Columnas de botellas

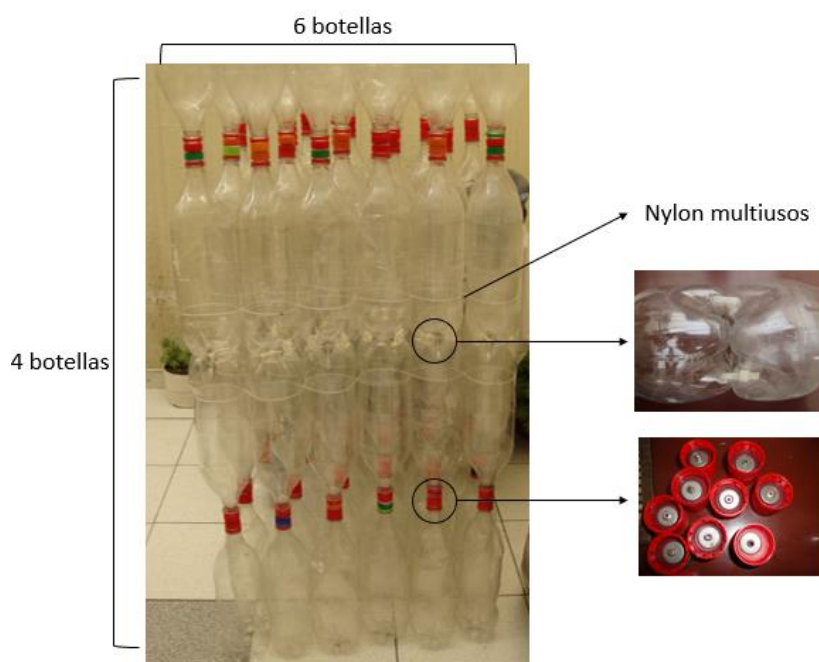


Fuente: Natalia Alejandra López Villalba

Posteriormente, se procede a amarrar y unir con nylon multiusos cada hilera de botellas para obtener un módulo de 24 botellas (6 horizontalmente y 4 verticalmente, depende de la altura y longitud que se requiera), esto equivale más o menos a 0,50 m; es decir, que dos módulos representan 1 m, entonces serían necesarias 48 botellas.

Las botellas están unidas por medio de dos tapas las cuales están enganchadas entre sí con remaches ciegos y arandelas para que el remache cubra mayor área de la tapa. Luego se roscan las tapas a las botellas para que no puedan soltarse fácilmente. Es necesario prever la cantidad total de botellas que se necesitan para tener todo el material listo y así la construcción de los módulos será mucho más rápida.

Figura 27. Módulo



Fuente: Natalia Alejandra López Villalba

Entonces dependiendo del área que se quiera cubrir, se determina la cantidad de botellas necesarias para cada módulo. Se debe tener en cuenta el proceso de limpieza que se le realice a las botellas, quitar las etiquetas, lavar bien el interior y exterior, ya que de esto depende que la estructura se vea limpia y estética.

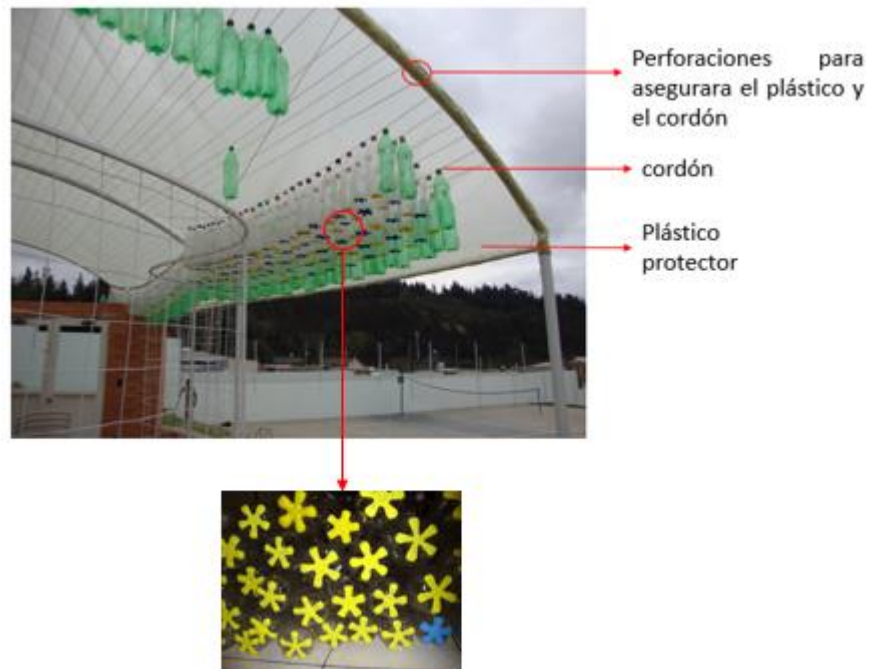
Finalmente, se instalan los módulos en la obra asegurando su estabilidad con un marco metálico; este sería el proceso final para la construcción de los muros.

Luego de construir los muros del aula, se procede a instalar la estructura de cubierta. Como se mostró anteriormente en la figura 5, la cubierta está compuesta por arcos en tubo cold rolled, los cuales son perforados cada 0,10 m (distancia promedio de tapa de botella a tapa de botella) en la parte superior para introducir el cordón del cual estarán suspendidas las botellas que conforman la cubierta ecológica; luego de instalar cada arco, se coloca el plástico protector, el cual impedirá que factores climáticos como la lluvia y el sol penetren agresivamente en la estructura. Este plástico debe ser resistente y de un color adecuado para que la cubierta tenga un verdadero aspecto ecológico, por tal razón se puede implementar plástico para invernadero, el cual tiene las especificaciones adecuadas para el uso que tiene el aula.

Después de colocar el plástico protector, se procede a ponerle a cada botella su correspondiente tapa para poder colgarla, para lo anterior se realizó una perforación en cada tapa de un diámetro pequeño para poder pasar nylon por dicho orificio y así colgar las botellas al cordón que se encuentra dispuesto en los arcos; de igual forma, los fondos de las unidades pet se pintaron para darle un aspecto artístico e innovador a la cubierta.

A continuación se muestra gráficamente en la figura 28 como es el procedimiento mencionado anteriormente.

Figura 28. Estructura de cubierta



Fuente: Natalia Alejandra López Villalba

Como se puede ver, cada botella posee su tapa para que pueda permanecer suspendida del cordón mediante el nylon multiusos. En esta fase se requiere una gran cantidad de botellas PET recicladas, ya que el área que tiene la cubierta es grande y toda será adecuada de esta manera, por eso es importante contar con todas las botellas necesarias para que el proceso de construcción e instalación no se retrase por falta de material.

El método constructivo mencionado previamente surgió entonces luego de estudiar y analizar si había o no una buena adhesión con los sellantes mencionados al inicio por tal razón se determinó que la mejor forma de unir la tapas y las botellas entre si era mediante conexiones mecánicas y no con selladores esto de acuerdo a los argumentos dados. De esta forma finaliza, la explicación del proceso constructivo desarrollado para la primera alternativa.

5.3.2 Alternativa 2

Esta segunda alternativa está compuesta de una manera similar a la alternativa expuesta anteriormente; la variante de esta es que los muros no estarán contruidos solo por módulos de botellas sino que en esta segunda opción los muros estarán contruidos con malla electro soldada la cual será el soporte de los fondos de botellas que serán dispuestos en ella mediante amarres plásticos, la apariencia de estos muros cambiara notoriamente, ya que se percibirá más que todo como un tejido de botellas PET, pero estas no serán puestas enteras sino solo se colocara el fondo. Más adelante se ilustrara mucho mejor lo descrito anteriormente. Por ahora se dará a conocer el presupuesto que se calculó para esta alternativa, el costo varía debido a que se incluyen materiales adicionales, esto se analizara a continuación.

Como se ha mencionado la apariencia de los muros cambia de tal manera en el presupuesto el costo total del capítulo de mampostería se incrementa en menor cantidad con respecto al valor de este mismo capítulo presentado en la alternativa 1, por lo tanto el valor total de la edificación también aumenta; esto debido a la incorporación de la malla electro soldada necesaria para cubrir el área dispuesta para construir los muros de la estructura. Lo anterior se puede evidenciar en la figura 29, la cual muestra el presupuesto evaluado con esta segunda alternativa.

El planteamiento de esta segunda opción se generó luego de analizar las condiciones en las que la estructura primaria funcional a base de botellas PET recicladas estaría expuesta, esto es tanto a condiciones climáticas como a condiciones de uso, ya que la edificación debe ser factible y apta para los estudiantes. Por tal razón, se consideró plantear otro método constructivo el cual estuviera igualmente capacitado para albergar a estudiantes desde el grado de

Párvulos hasta el grado Sexto pertenecientes al Colegio Galileo Galilei. Entonces se estudió y se propuso un diseño de muros los cuales no se deterioraran fácilmente por las actividades escolares de los estudiantes. De tal forma se incluyó este análisis en el presupuesto de obra, teniendo en cuenta las modificaciones realizadas al diseño. A continuación en la figura 26 se permite observar lo descrito anteriormente, el valor del capítulo de mampostería de esta alternativa estudiada incrementa en un costo de \$ 268.528 más que en la alternativa 1. Sin embargo, en el Anexo G se da a conocer el libro de cálculo utilizado para realizar el presupuesto total de obra.

Figura 29. Presupuesto – Alternativa 2

PRESUPUESTO ESTRUCTURA FUNCIONAL - ALTERNATIVA 2					
ITEM	DESCRIPCION	UND	CANTIDAD	VALOR UNIT. (\$)	VALOR TOTAL (\$)
1. PRELIMINARES					
1.1	Localización y replanteo	m2	42	5.356	224.968
1.2	Descapote manual y retiro	m3	4,2	13.179	55.350
1.3	Excavación manual de vigas de cimentacion	m3	1,7	23.063	39.944
1.4	Relleno en material seleccionado	m3	2,1	76.884	161.456
TOTAL					481.718
2. CIMENTACION					
2.1	Concreto pobre f'c = 140 kg/cm2	m3	0,432	302.598	130.722
2.2	Cimiento viga de amarre 0.20 m x 0.25 m y pedestal 0,35 m x 0,35 m 3000 psi	m3	2,1215	523.912	1.111.479
2.3	Suministro y figurado de acero A-37	kg	120	3.488	418.590
2.4	Suministro y figurado de acero PDR-60	kg	110	3.488	383.708
TOTAL					2.044.499
3. ESTRUCTURA					
3.1	Placa de contrapiso 3000 psi e = 0,10 m	m2	42	398.290	1.672.819
3.2	Malla electrosoldada	und	3	14.378	43.134
TOTAL					1.715.953
4. MAMPOSTERIA					
4.1	Muro en ladrillo rejilla prensado	m2	15	90.205	1.353.075
4.2	Muro en ladrillo rejilla prensado	ml	6,4	55.256	353.637
4.3	Celdas en concreto	ml	6,4		277.729
4.4	Tejado en botellas PET	m2	33	17.614	581.272
TOTAL					2.565.713
5. PISOS					
5.1	Afinado y alistado de piso	m2	25,89		345.295
5.2	Enchape en porcelana corona 0.60 m x 0.60 m	m2	25,89	65.000	1.682.859
TOTAL					2.028.154
6. CUBIERTA					
6.1	Cordón amarre de botellas	ml	300	400	120.000
6.2	Plástico protector en polietileno	ml	13	40.382	524.968
TOTAL					644.968
7. CARPINTERIA					
7.1	Tubería cold rolled redonda calibre 18 de 2 -1/2"	ml	54,6	1.000.000	1.000.000
7.2	Suministro e instalacion de puerta metálica, bisagras, chapa	und	1	435.000	435.000
TOTAL					1.435.000
8. INSTALACIONES ELECTRICAS					
8.1	Toma corriente general doble con polo a tierra 120	UND	3	50.896	152.688
TOTAL					152.688
9. OBRAS EXTERIORES					
9.1	Aseo general para entrega	m2	40	3.240	129.600
TOTAL					129.600
TOTAL					11.198.293

Fuente: Natalia Alejandra López Villalba

De esta forma, el costo total de la estructura primaria funcional a base de botellas pet recicladas es de \$ 11'198.293; si se hace la comparación con el valor total del presupuesto obtenido en la alternativa anterior, es decir, la alternativa 1, la diferencia total entre \$ 11'198.293 y \$ 10'929.765 es de \$ 268.528.

Entonces es más económica la primera alternativa propuesta para la construcción de esta aula, al igual es mucho más factible porque se utiliza toda la botella, no se desecha ninguna parte de estas, logrando reutilizarla completamente y minimizar la contaminación que se genera con el Polietileno Tereftalato (PET).

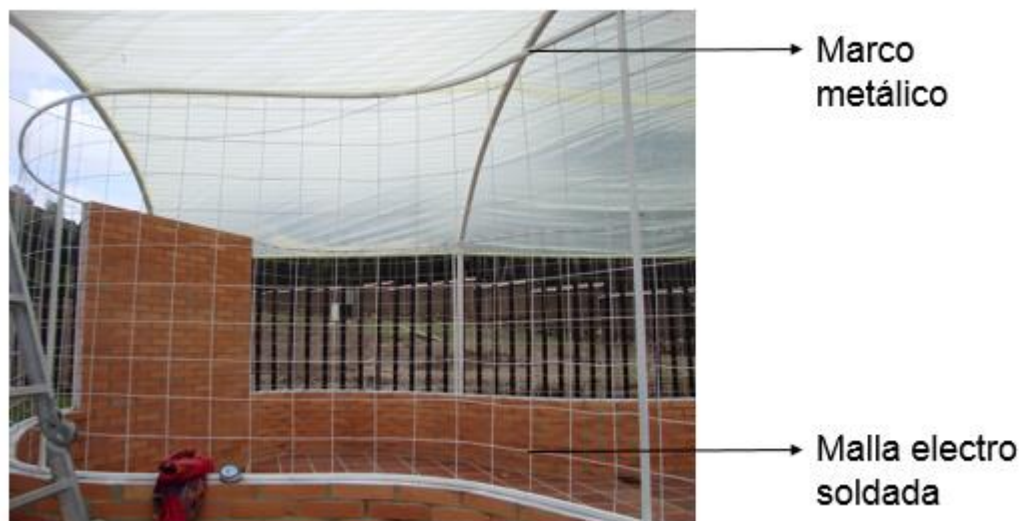
Con respecto a la segunda opción, la que se está analizando, aunque está diseñada para no ser afectada fácilmente, en el proceso constructivo se desecha aproximadamente el 90% de la botella, porque solo se necesitara el fondo de esta, la parte restante no será utilizada en la conformación de los muros. Por lo tanto, es un aspecto negativo, ya que lo ideal es utilizar la mayor cantidad de botellas posibles, para crear una conciencia ecológica y que no se presente tanta contaminación ya sea en lugares públicos o privados. Sin embargo, la alternativa 2 es realizable siempre y cuando la parte de la botella que se desecha sea utilizada como material para otras actividades.

A continuación, se inicia la descripción del método constructivo planteado para construir los muros de la estructura de acuerdo al análisis de funcionalidad que se realizó según el uso de esta aula. Para iniciar, se instala un marco metálico en el área en que se construirán los muros, después se coloca malla electro soldada, esta luego se convertirá en los muros de la edificación.

El diámetro puede ser de 5mm con espaciamiento cada 15cm, es decir, Q5; lo ideal es que no sea muy gruesa para que no se note tanto y así los fondos de las botellas resalten mucho más, y el aspecto de los muros sea el de un tejido de fondos de botellas PET.

En la siguiente figura se expone gráficamente lo mencionado con anterioridad.

Figura 30. Soporte de fondos de botellas

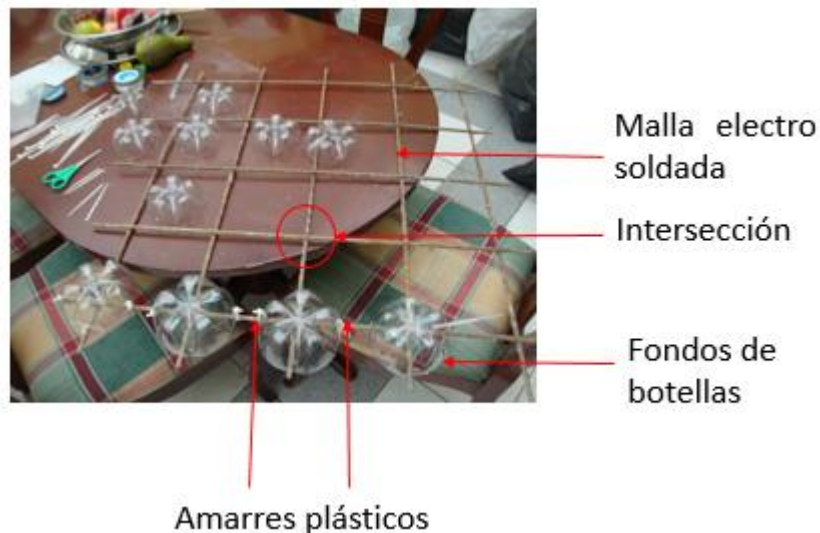


Fuente: Natalia Alejandra López Villalba

Como se puede observar el marco metálico da estabilidad a la malla electro soldada esto se realiza mediante puntos de soldadura para unir la malla a el marco metálico, igualmente estos componentes de los muros son pintados de blanco para que tenga una mejor apariencia estética.

Seguido a esto, se procede a cortar el fondo de las botellas para ubicarlos en las intersecciones de la malla electro soldada. Para este paso, es indispensable contar con todas la botellas necesarias que se ubicaran en los muros. En esta alternativa el método constructivo es mucho más simple pero al mismo tiempo con un grado de complejidad, ya que toma mucho tiempo cortar los fondos de aproximadamente 560 botellas de plástico. En la figura que se presentara a continuación se explicara cómo se hace el amarre de los fondos a la malla electro soldada.

Figura 31. Conexión botellas – malla



Fuente: Natalia Alejandra López Villalba

Como se observa, los elementos son colocados en el punto de intersección de los grafiles que van en dirección vertical y los que van en dirección horizontal; a cada lado del fondo de las botellas se coloca un amarre plástico para asegurar el fondo a la malla. Este procedimiento se realiza en obra una vez la malla esté dispuesta en la estructura y adecuada para instalar las bases de las botellas.

Por lo tanto el resultado de esta metodología son los muros de una estructura contruidos en forma de tejido con bases de botellas plásticas PET.

En cuanto al diseño de cubierta y su método constructivo, este se desarrolla de igual manera a la expuesta en la primera alternativa en la figura 25.

5.3.2 Alternativa 3

En la actualidad se ha comenzado a implementar fuertemente el concepto de Ecología pero de igual forma se ha presentado un auge en la construcción y cada vez más las ciudades crecen; pero este apogeo no es tan relevante en el tema ecológico. Por eso, dependiendo del tipo de obra civil se determina usar o no materiales reciclables. En este caso, la edificación que se está llevando a cabo encierra un concepto de ser compatible con el medio ambiente, ya que se logra disminuir en cierto nivel la contaminación generada por las botellas plásticas PET.

Entonces, la última alternativa consiste en contrastar tanto el impacto económico como ambiental que implica construir el aula completamente con materiales convencionales, es decir, no utilizar ningún material reciclable para la construcción de esta. Por lo tanto, se construiría solo en ladrillo y la cubierta se implantaría en teja termo acústica. Debido a esta razón, el presupuesto de esta alternativa se incrementa en el costo total. Es así, como el valor total del capítulo de Mampostería aumenta considerablemente, ya que los muros se edificarían complemente en ladrillo estructural; de igual forma el capítulo de Cubierta presenta una elevación de costo total.

A continuación se da a conocer el presupuesto que se realizó para esta alternativa y con el fin de comparar que alternativa resulta económica, factible e innovadora. Para conocer más a fondo el presupuesto presentado y asesorado por la empresa ESSCO P & C S.A.S, ver Anexo H.

Figura 32. Presupuesto alternativa 3

PRESUPUESTO ESTRUCTURA FUNCIONAL - ALTERNATIVA 3					
ITEM	DESCRIPCION	UND	CANTIDAD	VALOR UNIT. (\$)	VALOR TOTAL (\$)
1. PRELIMINARES					
1.1	Localización y replanteo	m2	42	5.356	224.968
1.2	Descapote manual y retiro	m3	4,2	13.179	55.350
1.3	Excavación manual zapatas y vigas de amarre	m3	1,7	23.063	39.944
1.4	Relleno en material seleccionado	m3	2,1	76.884	161.456
				TOTAL	481.718
2. CIMENTACION					
2.1	Concreto pobre zapata f'c = 140 kg/cm2	m3	0,432	302.598	130.722
2.2	Cimiento viga de amarre 0.20 m x 0.25 m y pedestal 0,35 m x 0,35 m 3000 psi	m3	2,1215	523.912	1.111.479
2.3	Suministro y figurado de acero A-37	kg	120	3.488	418.590
2.4	Suministro y figurado de acero PDR-60	kg	110	3.488	383.708
				TOTAL	2.044.499
3. ESTRUCTURA					
3.1	Placa de contrapiso 3000 psi e = 0,10 m	m2	42	398.290	1.672.819
3.2	Malla electrosoldada	und	3	14.378	43.134
				TOTAL	1.715.953
4. MAMPOSTERIA					
4.1	Muro en ladrillo rejilla prensado	m2	38	90.205	3.427.790
4.2	Muro en ladrillo rejilla prensado	ml	6,4	55.256	353.637
4.3	Celdas en concreto	ml	6,4		277.729
				TOTAL	4.059.157
5. PISOS					
5.1	Afinado y alistado de piso	m2	25,89		345.295
5.2	Enchape en porcelana corona 0.60 m x 0.60 m	m2	25,89	65.000	1.682.859
				TOTAL	2.028.154
6. CUBIERTA					
6.1	Cubierta en teja termoacustica	und	15	148.020	2.220.305
				TOTAL	2.220.305
7. CARPINTERIA					
7.2	Suministro e intalacion puerta doble en madera entambrada	und	1	435.000	435.000
				TOTAL	435.000
8. INSTALACIONES ELECTRICAS					
8.1	Toma corriente general doble con polo a tierra 120	UND	3	50.896	152.688
				TOTAL	152.688
9. OBRAS EXTERIORES					
9.1	Aseo general para entrega	m2	40	3.240	129.600
				TOTAL	129.600
TOTAL					13.267.073

Fuente: Natalia Alejandra López Villalba

Como puede observarse el valor total es de \$ 13'267.073, esto indica que esta alternativa es la más costosa de las tres opciones descritas y además no poseería un componente ecológico ni innovador.

El sobre costo con respecto a la primera opción es de \$ 2'471.873. También se puede analizar que los capítulos de mayor valor son Mampostería con un costo de \$ 4'059.157 y Cubierta con \$ 2'220.305.

Entonces el aumento de estos ítems se afecta directamente, ya que la esencia del proyecto radica es proponer una nueva forma de construir estructuras funcionales donde prime la utilización de materiales que generan un alto grado de contaminación debido a su extrema durabilidad como son las botellas plásticas PET; lo anterior con el fin de que los beneficiados se involucren fácilmente con el proyecto y se genere esa nueva experiencia de crear algo innovador y que marque la pauta para la generación de nuevas alternativas constructivas que beneficien al medio ambiente.

Por lo tanto la alternativa 3 no es la más factible a desarrollar en este tipo de proyectos, donde se requiere economía, viabilidad y un componente ecológico.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Principalmente, se logró la concientización de la comunidad desde el inicio del proyecto con el taller de diseño participativo y la recolección del material, es decir, de las unidades PET. Estas actividades fueron realizadas en las instalaciones de la institución para que la participación de los estudiantes, docentes y padres de familia fuera constante.

Se determinaron las ventajas de incorporar botellas plásticas PET recicladas en proyectos civiles con un enfoque ecológico y de cuidado ambiental. Entre estas se encuentran la facilidad de adquirir este tipo de material, ya que esta en continua producción, la simple adecuación de los espacios en los cuales se va a utilizar este material, una alta participación social y la generación de una cultura más enfocada a realizar proyectos que sean factibles, económicos y al mismo tiempo innovadores.

Se estableció con que materiales y de qué manera funcionan mejor las botellas PET como parte de una construcción, esto después de haber analizado y ensayado con diferentes glutinosos en diferentes condiciones y haber concluido que la conexión de las botellas es mucho más conveniente realizarla de forma mecánica utilizando remaches para conectar las tapas, amarres plásticos y nylon multiusos para unir las botellas, ya que de esta forma se proporciona una mayor estabilidad contra el viento y existe menor posibilidad de deteriorarse rápidamente.

Se formularon dos sistemas para el uso de botellas plásticas PET recicladas en estructuras funcionales. Así mismo se pudo determinar la factibilidad de desarrollar

obras civiles con componentes ecológicos, los cuales proporcionen un impacto positivo al medio ambiente, y se proporcionaron soluciones constructivas que permitieron innovar pero al mismo tiempo equilibrar la relación entre construcción-ambiente.

Además, se determinó que se utilizarían los dos métodos constructivos propuestos para la realización del aula ecológica, es decir, que en una parte de los muros se implementarían los módulos de botellas y en la otra se colocarían los fondos de las unidades PET. De esta manera, unir las dos metodologías propuestas y generar un aspecto agradable a partir de la combinación de las alternativas.

De igual forma, se llevó a cabo un análisis comparativo entre los costos que tiene una estructura primaria elaborada con botellas PET y una construida de manera convencional. Obteniendo como resultado que construir un aula funcional incorporando botellas PET recicladas, es más económico, más práctico y viable.

Ya que mediante el estudio de costos se pudo determinar el valor total de cada alternativa expuesta; se inicia con la alternativa 1 la cual tiene un costo total de \$10'795.200; la alternativa 2 con un valor de \$11'198.293 y posteriormente la opción 3 con costo total de \$13'267.073. Como se evidencia, la última alternativa es la más costosa y la primera la más económica e innovadora. Por lo tanto, los resultados en cuanto al presupuesto elaborado fueron satisfactorios porque realmente se logró evaluar las ventajas y desventajas económicamente de esta nueva metodología constructiva.

Así mismo, se logró realizar un buen trabajo en conjunto con el Gimnasio Galileo Galilei gracias al convenio de cooperación institucional suscrito entre la Universidad Santo Tomás Seccional Tunja, ya que se contó con el apoyo del ingeniero Carlos Arias en cuanto a la supervisión y recomendación de aspectos técnicos oportunos a implementar en el desarrollo del proyecto.

Además, el desarrollo de esta estructura primaria funcional empleando componentes ecológicos, permitió que la universidad y sobre todo la facultad de Ingeniería Civil se involucrara cada vez más en la realización de proyectos de este tipo, ya que se está llevando a cabo un análisis para implementar ladrillos ecológicos hechos con botellas PET llenas de concreto reciclado y envolturas de dulces para ser utilizados como adoquines en la conformación de senderos en las instalaciones del colegio. Esto indica que el convenio establecido anteriormente se puede ampliar, para que el Gimnasio Galileo Galilei y la Universidad Santo Tomás Seccional Tunja continúen trabajando unidamente en el desarrollo de proyectos con propósitos ambientales. De igual forma, se generó un manual donde se plasma claramente el proceso constructivo que se debe desarrollar para realizar una estructura primaria funcional con botellas PET recicladas. (Véase en Lista de Anexos, Manual Constructivo).

Por otra parte, lo recomendado es que antes de iniciar la implementación de esta nueva metodología constructiva con este tipo de material, se cuente con la cantidad total de botellas necesarias, para evitar retrasos en la obra. Además, se recomienda que el diseño arquitectónico sea único y agradable visualmente pero al mismo tiempo duradero con cimientos tradicionales; para que los directamente beneficiados se sientan en un espacio diferente en donde se puedan desarrollar actividades fuera de lo común; por tal razón se denomina aula o estructura funcional.

7. MARCO TEORICO

7.1. APROXIMACION CONCEPTUAL

7.1.1 Construcción sostenible: El término de construcción sostenible se refiere a la manera como se complementan el entorno y las construcciones que se realizan, estableciendo ciertos parámetros los cuales permiten utilizar los recursos de la mejor manera, reduciendo el impacto ambiental y permitiendo la innovación. Según Aurelio Ramírez el hecho de plantear un desarrollo sostenible urbano conlleva a la eficiencia energética teniendo en cuenta que esto hará de cada lugar algo mejor, donde “La calidad de la edificación es la clave para relanzar el mercado, mejorara las condiciones medioambientales y ahorrar recursos. Esta visión incluye tanto la energía, los materiales, como los sistemas o estrategias que inciden sobre el concepto global de calidad”²¹

La construcción sostenible deberá entenderse como el desarrollo de la construcción tradicional pero con una responsabilidad considerable con el medio ambiente por todas las partes y participantes. Lo que implica un interés creciente en todas las etapas de la construcción, considerando las diferentes alternativas en el proceso de construcción; en favor de la minimización del agotamiento de los recursos, previniendo la degradación ambiental o prejuicios y proporcionar un ambiente saludable tanto en el interior de los edificios como en su entorno.²²

²¹ RAMIREZ, Aurelio. La Construcción Sostenible. **En:** Física Y Sociedad. [En Línea]. Disponible En: <http://www.cofis.es/pdf/fys/fys13/fys13_30-33.pdf > [Citado en 13 De Mayo 2014].

²² KIBERT, Charles. CIB-TG16.**En:** FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE CONSTRUCTION (1994: Florida). Disponible En: < <http://news.ufl.edu/2006/09/13/sarasota-green/> > [Citado en 13 De Mayo 2014].

7.1.2 Desarrollo Sostenible: surge de la necesidad de conservar el sistema ambiental y de ser mucho más respetuosos frente a él, ya que de no tenerlo en cuenta, el mismo modelo actual podrá perder su funcionalidad y también tendrá una vida útil. Desde el siglo XVI se introduce en la humanidad el concepto de modernidad para el cual la ciencia toma el rol fundamental, haciendo uso de herramientas como el plano cartesiano donde se propone modelar variables de la naturaleza en un papel. Como parte adicional, el concepto de desarrollo sostenible fue acoplado inicialmente en el informe Bruntlant denominado Nuestro Futuro Común publicado en 1987, bajo el ideal de que fuera “el que conduce al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de vida y al bienestar social, sin agotar la base de los recursos renovables, en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlos para la satisfacción de sus propias necesidades”²³ Con base en ello se ha buscado llegar a cada término de la tierra concientizando al ser humano como un actor del desarrollo que debe involucrarse de una manera responsable frente a su entorno ambiental.

7.1.3 Reciclaje: se considera un proceso por el cual los materiales de desechos son sometidos a tratamientos que permiten su transformación en nuevas materias primas o productos. Por otro lado según Jorge Martínez el reciclaje se empeña en introducir en el ciclo de producción y consumo por productos materiales obtenidos de residuos, donde el paso clave es destinar cada residuo al tratamiento correspondiente, aunque esta no se considera como la primera opción ante la disminución de residuos.²⁴

²³ PATIÑO, Miguel Posee. Derecho Ambiental Colombiano. Disponible En: < www.engr.colostate.edu/.../Colombia/Colombia/.../ > [Citado en 13 De Mayo 2014].

²⁴ MARTINEZ GUALDRÓN, Jorge. El Reciclaje: La forma más fácil de mantener nuestro planeta vivo. En: GestioPolis [En línea]. Disponible en: < [http://www.gestiopolis.com/administracion-](http://www.gestiopolis.com/administracion-95)

7.1.4 Impacto Ambiental: Se puede decir que es el efecto que causa una actividad humana sobre el medio ambiente, este puede ser positivo o negativo, dependiendo de la acción que se tome. Según Nilson Dauzacker: “La sustentabilidad ambiental es un complemento en cuanto se manejen los recursos económicos y ambientales de la mejor manera, ay que estos dos aportan dinamismo a la sociedad.”²⁵ Sin embargo para Irigaray este tipo de coordinación solo la permiten llevar a cabo los recursos hídricos, pero esto ha llevado a una mala disposición de este recurso.

7.1.5. PET: El Teraftalato de Polietileno se considera como un polímero de condensación termoplástico que se sintetiza a partir del ácido tereftálico y tereftalato de dimetilo y etilen glicol. Material con gran estabilidad, rigidez, buenas propiedades y resistencia a la abrasión. Se utiliza principalmente en el sector textil y de envase/embalaje. Desde su primera aparición en el año 1980 ha ido evolucionando convirtiéndose en una necesidad actual de distribución. Se considera según algunas investigaciones realizadas que el formato de un litro es el de mayor relevancia en el mercado; adicionalmente “los envases de cartón generan un 28% menos de CO₂, utilizan un 51% menos de recursos fósiles y consumen un 24 menos de energía primaria en comparación con las botellas PET.”²⁶ Una de las características de este tipo de botellas es el hecho de su ligereza, por lo que un camión puede transportar alrededor de un 60% más de contenido y un 80% menos

estrategia/reciclaje-fundamental-para-la-sostenibilidad-ambiental.htm> [Citado en 13 De Mayo 2014].

²⁵ DAUZACKER, Nilson. Impacto Ambiental: Reconocimiento y Gestión Contable. Disponible En: <<http://www.econ.uba.ar/www/institutos/secretaradeinv/ForoContabilidadAmbiental/resumenes/dauzacker.pdf>> [Citado en 13 De Mayo 2014].

²⁶ SERRANO, Carlos. Reciclaje de PET. En: PLÁSTICOS DE LAS AMERICAS 2001. 2001: Miami Beach (Florida). Conferencia Reciclaje de PET. Disponible en: <<http://www.arpet.org/docs/Reciclaje-de-PET-Serrano-EEUU.pdf>> [Citado en 13 De Mayo 2014].

7.2. GLOSARIO

Absorción: cantidad de agua que penetra en los poros de la unidad de mampostería en relación al peso seco.

Adherencia: propiedad de la materia por la cual se unen y plasman dos superficies de sustancias iguales o diferentes cuando entran en contacto y se mantienen juntas por fuerzas intermoleculares.

Aglomerante: material capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto, por efectos exclusivamente físicos.

Amarre plástico: elemento para asegurar instalaciones eléctricas y es fabricado en nylon.

Antepecho: muro de altura inferior a la de piso que configura la parte inferior de una ventana, de un balcón.

Arandela: es un disco delgado con un agujero en el centro. Se utiliza para soportar una carga de apriete y asegurar el cierre hermético de una junta.

Área bruta de la sección: área delimitada por los bordes externos de la mampostería en plano bajo consideración.

Área neta de la sección: es el área de la unidad de mampostería incluyendo los morteros de relleno y excluyendo las cavidades, medida en el plano bajo consideración, desde los bordes externos de la mampostería.

Arena: sedimento de grano medio-fino constituido por partículas minerales de composición diversa.

Biodegradable: se aplica al producto o sustancia que puede descomponerse en elementos químicos naturales por la acción de los agentes naturales, como el sol, el agua, las bacterias, las plantas o los animales.

Celda: cavidad continúa interior en la mampostería.

Compresión: presión sometida sobre un cuerpo para reducir su volumen.

Confinamiento: encierro de una cosa material o inmaterial dentro de unos límites.

Contaminación ambiental: presencia en el ambiente de cualquier agente físico, químico o biológico o bien de una contaminación de varios agentes en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población, o bien que puedan ser perjudiciales para la vida vegetal o animal, o impidan el uso normal de las propiedades y lugares de recreación y goce de los mismos.

Eco ladrillos: Son botellas plásticas rellenas con todo tipo de residuos plásticos (bolsas, envases, envoltorios, etc.) o una mezcla de tierra y arena, que se reutilizan para la construcción, muy fáciles de hacer, solo se necesita tener los materiales limpios y en buen estado.

Ecología: ciencia que estudia las relaciones de los seres vivos entre sí y con el medio en que viven.

Malla hexagonal: malla de tejido hexagonal fabricada con alambre galvanizado de alta calidad.

Mampostería: sistema tradicional que consiste en la construcción de muros y paramentos, mediante la colocación manual de elementos que pueden ser ladrillos o bloques.

Murete o prisma: ensamble de piezas de mampostería con mortero de pega inyectadas o no de mortero de relleno como un espécimen de ensayo para determinar las propiedades de la mampostería.

Nylon: es un polímero artificial que pertenece al grupo de las poliamidas. Puede presentarse en forma rígida y de fibra.

Pañete (Mortero de pega): es una pasta de cemento, arena, agua y cal u otro aditivo en ocasiones, que proporcionan plasticidad a la mezcla, logrando producir menos grietas al secado y se utiliza para el recubrimiento de muros.

PET (Teraftalato de Polietileno): Tipo de plástico muy usado en envases de bebidas y textiles.

Reciclaje: Recuperación o aprovechamiento al que se someten materiales usados para que puedan ser nuevamente utilizados en su uso original u otro.

Remache: es un elemento de fijación que se emplea para unir de forma permanente dos o más piezas.

Resistencia a la compresión de la mampostería: mínima resistencia nominal de la mampostería a compresión, medida sobre el área transversal neta y sobre la cual se basa su diseño.

Sostenibilidad: se refiere al equilibrio de una especie con los recursos de su entorno.

Tracción: esfuerzo interno a que está sometido un cuerpo por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto, y tienden a estirarlo.

Unidad de mampostería: elemento de colocación manual, de características pétreas y estabilidad dimensional, que unida con mortero con mortero configura el muro de mampostería.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

PLAZOLA, Alfredo. Arquitectura Habitacional. Segunda Edición. 1990. Pág. 602.

CHING, Francis. Arquitectura Forma, Espacio y Orden. Tercera Edición. 2010. Pág. 429.

COMISION ASESORA PERMANENTE PARA EL REGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES. Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistentes NSR-10.

ROS, Diego. Materiales De Construcción Propiedades Físicas. Primera Edición. Editado por: Diego Marín. 2010. Pág. 188. ISBN 9788484258087.

MATA, Francisco. La Selección Sostenible De Materiales De Construcción. Segunda Edición. Editado por: Revista Tecnología y Desarrollo. 2009. Pág. 16.

MORENO, Juan. Régimen de la evaluación del impacto ambiental. Tercera Edición. Editorial Trívium. 1993. Pág. 304. ISBN 84-7855-892-6.

TAKEUCHI, Caori. Comportamiento en la mampostería estructural. Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá. Facultad de Ingeniería civil.

ASOCRETO, Asociación Colombiana de Productores de concreto. Tecnología del concreto: materiales, propiedades y diseño de mezcla. Editorial Nomos impresores

Construction and Building Materials. One the mechanical properties of concrete containing waste PET particles. <http://www.sciencedirect.com/>

Composite Structures. Used of recycled waste pet bottles fibers for the reinforcement of concrete <http://www.sciencedirect.com/>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas (NTC), (2000). Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos (NTC 4205). 1ra actualización. Bogotá.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas (NTC), (2005). Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla (NTC 4017). 1ra actualización. Bogotá.

<http://www.eltzala.org/eco-ladrillos.html>

http://www.medioambiente.org/2010_03_01_archive.html

http://www.culturaemedellin.gov.co/sites/CulturaE/quiero-emprender/Paginas/menosbasura_reciclar_ecoladrillo_medioambiente_medellin_110506.aspx

<https://sites.google.com/site/lacasadebotellas2/>

http://www.medioambiente.org/2010_03_01_archive.html

<http://www.tidex.com.co/31.pdf>

9. APENDICES Y ANEXOS

9.1. Anexos

Anexo A. Estudio Geotécnico.

En este se encuentra detalladamente el estudio de suelos que se realizó en el Gimnasio Galileo Galilei, para identificar el tipo suelo y determinar los parámetros correspondientes para diseñar la cimentación.

Anexo B. Plano Alternativa 1

En este anexo se presenta el plano arquitectónico y estructural diseñado para la primera alternativa.

Anexo C. Cálculos de los ensayos.

Contiene el libro de cálculo que se formuló para la obtención de los datos necesarios para analizar los materiales utilizados en obra. Cada ensayo se encuentra en una hoja aparte.

Anexo D. Ensayo a compresión de prismas de mampostería

Contiene el informe presentado por la empresa López Hermanos con los respectivos resultados obtenidos del ensayo, así como fotografías de este procedimiento. De igual forma se adjuntan los formatos de laboratorio firmados respectivamente por el coordinador de los laboratorios de la Facultad De Ingeniería Civil.

Anexo E. Plano Alternativa 2

Presenta el plano arquitectónico y estructural de la segunda alternativa propuesta.

Anexo F. Presupuesto Alternativa 1

Es un libro de cálculo el cual contiene el presupuesto detallado de la alternativa 1.

Anexo G. Presupuesto Alternativa 2

Contiene el presupuesto minucioso que se realizó para analizar el costo total de esta segunda alternativa. Está dividido por hojas y capítulos.

Anexo H. Presupuesto Alternativa 3

Presenta el análisis de costo de la última propuesta planteada, así como la mano de obra, equipo y los materiales necesarios para llevar a cabo la construcción de esta.

9.2. Convenio

Da a conocer el documento establecido por las partes interesadas en el desarrollo del proyecto y establece las responsabilidades y obligaciones que cada institución debe asumir.

9.3. Bitácora

Da a conocer todas las actividades que se realizaron para la construcción de la estructura primaria funcional a base de botellas pet recicladas. Se encuentra organizada por fechas y contiene además las fotos respectivas a cada actividad llevada a cabo.

9.4. Manual Constructivo

En este documento se describe paso a paso el procedimiento que se creó para la construcción de los muros de la estructura primaria funcional, así como los materiales necesarios para el desarrollo de cada actividad.