



**UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN**

**DESARROLLO DE ELEMENTOS MODULARES  
UTILIZANDO MATERIALES ALTERNATIVOS CON  
APLICACIONES AL DISEÑO**

**Tesis Profesional para la obtención del Título de Ingeniero en Diseño**

**Presenta:**

**ADRIANA DE LA LUZ MÁAS DÍAZ**

**Con la Dirección de:**

**Dra. Laura Patricia Rivas Vázquez**

**LOMA BONITA, OAXACA, ENERO, 2012**

# Agradecimientos

## **A la Universidad del Papaloapan**

Por haber guiado mi educación profesional y brindarme las instalaciones para llevar a cabo los experimentos.

A mi directora de tesis **Dra. Laura Patricia Rivas Vázquez**, por su paciencia y enseñanzas.

Al **Dr. Eduardo Ramírez Vargas** del Centro de Investigación de Química Aplicada por su apoyo en la observación de las muestras por microscopía electrónica de barrido.

Al **Dr. Enrique Rocha Rangel** de la Universidad Autónoma Metropolitana por apoyo en la realización de ensayos de compresión

A mis maestros **M. C. Edwin Aquino Bolaños**, **M. D. I. Alejandro Dávila Palmieri**, **Dr. Roberto Suárez Orduña** y **M. Arq. José Hugo Tlachi García** por su ayuda en la revisión, sus consejos y apoyo en la tesis.

## **Dedicatoria**

### **A Dios**

Por no dejarme sola y darme la fuerza para terminar una etapa más de mi vida

### **A mis padres**

E. Adriana Díaz Sel y Serapio Máas y Hoíl

Porque a pesar de los obstáculos siempre me brindaron su apoyo, disposición y consejos para que pudiera lograr una carrera que me hará crecer como profesionalista.

Gracias por haberme ayudado a realizar uno más de mis objetivos.

Los amo

A mis amigas: Gis, Mary, Mar, Shey, Faty y Elo, por su apoyo y consejos

En especial a Javier por ser parte importante de mi desarrollo profesional gracias por tu apoyo incondicional.

“El creciente deterioro del medio ambiente, a causa de la contaminación producida por desperdicios y residuos desechables, hizo que comenzara a desarrollar nuevos materiales de construcción más económicos, de fabricación simple, a cargo de pequeñas empresas comunitarias y cooperativas de los propios usuarios, con maquinarias y herramientas de bajo costo, mano de obra intensiva, escaso uso de capital, fácil difusión y simple aprendizaje para su fabricación y aplicación.”

**Rosana Gaggino**

# Índice

RESUMEN .....	IX
ABSTRACT .....	XI
<b>CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES .....</b>	<b>1</b>
1.1. RESIDUOS PLÁSTICOS. UN PROBLEMA AMBIENTAL .....	2
1.2. USO DE DESECHOS PLÁSTICOS COMO AGREGADO AL CEMENTO .....	3
1.3. USO DE LA MEZCLA CEMENTO-PLÁSTICO EN ELEMENTOS MODULARES (BLOQUES) PARA LA CONSTRUCCIÓN.....	4
1.3.1. Principales referencias de utilización:.....	5
1.4. CONSTRUCCIÓN DE MUROS DIVISORIOS CON ELEMENTOS MODULARES. ....	6
1.5. PROPUESTA: MATERIAL COMPUESTO CEMENTO-PLÁSTICO EN MÓDULOS DE ENSAMBLE, PARA LA CREACIÓN DE MUROS DIVISORIOS. ....	7
<b>CAPÍTULO 2 EXPERIMENTACIÓN SOBRE EL MÓDULO A PARTIR DEL COMPUESTO     CEMENTO-PLÁSTICO .....</b>	<b>9</b>
2.1. MATERIAL Y EQUIPO.....	10
2.2. CARACTERIZACIÓN .....	14
<b>CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>15</b>
3.1. MATERIAL COMPUESTO CEMENTO-PLÁSTICO .....	15
3.1.1. Densidad.....	16
3.1.2. Resistencia a la compresión.....	19
3.1.3. Microestructura.....	22
3.2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL DISEÑO DEL MÓDULO .....	25
3.2.1. Propuesta 1 .....	25
3.2.2. Propuesta 2 .....	29
3.2.3. Propuesta 3 .....	30
3.2.4. Propuesta 4 .....	33
3.2.4.1. Módulo Moño .....	35
3.2.4.2. Módulo de término en base y superficie .....	36
3.2.4.3. Módulo esquina.....	38
3.2.4.4. Módulo esquina base y superficie.....	39
3.2.4.5. Módulo de cierre lateral.....	40
3.2.4.6. Módulo de cierre lateral en base y superficie.....	41
3.2.4.7. Módulo de remate .....	43
<b>CAPÍTULO 4 DISEÑO DEL MOLDE PARA MÓDULO PROTOTIPO.....</b>	<b>46</b>
<b>CAPÍTULO 5 ELABORACIÓN DE MÓDULO PROTOTIPO.....</b>	<b>51</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>59</b>

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	60
ANEXO I.....	62
ANEXO 2 .....	65

# Índice de figuras

Figura 1.1. Izquierda: Piezas de Lego [9]; Derecha: Foto tomada en Seye, Yucatán; rocas calizas sobrepuestas sin ningún cementante, calzadas con pequeñas cuñas.....	8
Figura 2.1. Diagrama de flujo del procedimiento experimental.....	9
Figura 2.2. Molino de cuchillas Brabender, 1992 Type S 10/9 empleado para la molienda de plásticos. (a) Tapa roscas de Polietileno (b) Secciones de Polietileno; Materiales obtenidos después de la molienda; (c) Polietileno (d) Polietilentereftalato.....	11
Figura 2.3. Moldes para el vaciado de las muestras durante el proceso experimental. (a) Se aprecian divisiones de acrílico (b) Vista superior de las muestras a 1 día de fraguado. (c) Muestra después del molde.....	13
Figura 2.4. Muestras sumergidas en agua durante el período de hidratación.....	13
Figura 2.5. Fotografía del ensayo de compresión uniaxial de la muestra (cúbica) de material compuesto cemento-plástico.....	14
Figura 3.1. Densidad de las muestras de muestras de materiales compuestos cemento-plástico (Polietileno) con tiempo de fraguado de 28 días con Tamaño de agregado de 1 mm.....	16
Figura 3.2. Densidad de las muestras de materiales compuestos cemento-plástico (Polietilentereftalato) con tiempo de fraguado de 28 días con Tamaño de agregado de 1 mm.....	17
Figura 3.3. Densidad de las muestras de los compuestos cemento plástico en función del tiempo de fraguado a diferentes relaciones PE/cemento (●) 0.0468, (■) 0.1561 y (◆) 0.3122.....	18
Figura 3.4. Densidad de las muestras de los compuestos cemento plástico en función del tiempo de fraguado a diferentes relaciones PET/cemento (●) 0.0468, (■) 0.1561 y (◆) 0.3122.....	18
Figura 3.5. Resistencia a la compresión de las muestras en función a la relación plástico/cemento para un tamaño de agregado (Polietileno) de 1/25 in de diámetro, a un tiempo de fraguado de 28 días.....	19
Figura 3.6. Resistencia a la compresión de las muestras en función la relación plástico/cemento para un tamaño de agregado (Polietilentereftalato) de 1/25 in de diámetro, a un tiempo de fraguado de 28 días....	20
Figura 3.7. Resistencia a la compresión de las muestras de material compuesto en función del tiempo de fraguado para un tamaño de agregado (Polietileno) de 1/25 de in de diámetro, a diferentes relaciones plástico/cemento: (●) 0.046, (■) 0.156 y (◆) 0.312.....	21

Figura 3.8. Resistencia a la compresión de las muestras de material compuesto en función del tiempo de fraguado para un tamaño de agregado (Polietilentereftalato) de 1/25 de in de diámetro, a diferentes relaciones plástico/cemento: (●) 0.046, (■) 0.156 y (◆) 0.312.....	21
Figura 3.9. Microscopia electrónica de barrido de la superficie de fractura del compuesto con agregado polietileno; tamaño de partícula de 1/25 in, para un tiempo de fraguado de 28 días, con relación cemento/plástico de a) 0.0468, b) 0.1561 y c) 0.3122.....	23
Figura 3.10. Microscopia electrónica de barrido de la superficie de fractura del compuesto con agregado Polietilentereftalato con tamaño de partícula de 1/25 in, para un tiempo de fraguado de 28 días, con relación cemento/plástico de a) 0.0468, b) 0.1561 y c) 0.3122.....	24
Figura 3.11. Módulo de ensamble machihembrado o por pivotes.....	26
Figura 3.12. Modelado virtual del módulo propuesta inicial, pared divisoria.....	27
Figura 3.13. Modelo en papel batería.....	28
Figura 3.14. Forma de ensamble del módulo.....	28
Figura 3.15. (Propuesta No. 2) Boceto.....	29
Figura 3.16. Modelado en AutoCAD, el cuál proyecta otra forma en su unión.....	30
Figura 3.17. Módulo apilable, rígido y similar a la forma del ladrillo convencional.....	31
Figura 3.18. Arriba: pieza base, vista superior e inferior. Abajo: piezas de cambio de dirección, vista superior, inferior y lateral.....	32
Figura 3.19. Modelado virtual. Cambio de dirección y amarre tradicional ocupado comúnmente en la construcción.....	33
Figura 3.20. Módulo moño: ensamble, ligero, autoalineable.....	34
Figura 3.21. Módulo moño, vista frontal.....	35
Figura 3.22. Módulo de termino en base y superficie, vista frontal.....	36
Figura 3.23. Módulo moño y termino en base y superficie, vista ortogonal.....	37
Figura 3.24. Módulo esquina, vista frontal.....	38
Figura 3.25. Módulo esquina base y superficie, vista frontal.....	39
Figura 3.26. Módulos de esquina, vista ortogonal.....	40
Figura 3.27. Módulo de cierre lateral, vista frontal.....	41

Figura 3.28. Módulo de cierre en base y superficies, vista frontal.....	42
Figura 3.29. Módulos de cierre lateral, vista ortogonal.....	42
Figura 3.30. Módulo de remate, vista frontal.....	43
Figura 3.31. Módulo de remate para las piezas de cierre y cambio de dirección, vista ortogonal.....	44
Figura 3.32. Uso de las piezas base, cierre y calce, en la construcción de un muro unilateral.....	45
Figura 3.33. Uso de las piezas base, cambio de dirección y de remate en la construcción de muros.....	45
Figura 4.1. Vista en isométrico, molde completo.....	47
Figura 4.2. Vista en isométrico del molde y sus componentes.....	47
Figura 4.3. Vista superior del molde y sus distintas partes.....	48
Figura 4.4. Pieza base que da, la forma al modelo de prueba.....	49
Figura 4.5. Piezas separadas, los dos bloques que generan los orificios del bloque son piezas unidas a la base principal.....	50
Figura 4.6. Fotografía del molde, tomada en el laboratorio de la Universidad.....	50
Figura 5.1. Vaciado del módulo de cerramiento base.....	51
Figura 5.2. Módulo de cerramiento base en molde al inicio del proceso de desmolde (Vista Superior).....	52
Figura 5.3. Módulo de termino en base prototipo.....	53
Figura 5.4. Módulo de termino en base prototipo en proceso de desmolde.....	54
Figura 5.5. Vaciado del módulo moño.....	55
Figura 5.6. Molde asegurado con prensa.....	56
Figura 5.7. Segunda pieza base del módulo moño.....	56
Figura 5.8. Fotografía de los prototipos módulo moño y de termino base.....	57
Figura 5.9. Piezas de amarre, sobrepuesta en las piezas base.....	58
Figura 5.10. Fotomontaje, un ejemplo de uso de los módulos en un espacio interior.....	58
Figura A-1. Esquema de las necesidades que debe cubrir el módulo.....	63
Figura A-2. Izquierda: Bloques Bramstone. Derecha: Vallas de hormigón por el diseñador Sergej Kuckir... 64	

## ***Resumen***

En la actualidad, el crecimiento constante de población ha ocasionado diferentes problemáticas en todo el país, entre las cuales se encuentran: falta de viviendas para la población, especialmente para familias de bajos recursos y por otro lado el creciente deterioro ambiental ocasionado por la generación de desechos no biodegradables. En este sentido, se requieren propuestas viables para contrarrestar estos problemas. Entre las soluciones que se han propuesto es el desarrollo y mejora en la calidad de los elementos de construcción, empleando nuevas tecnologías y materiales que disminuyan el impacto ambiental, de bajo costo en su elaboración y de procesamiento sencillo.

El presente estudio se enfocó al diseño de un módulo de ensamble sin adhesivos, a partir del uso del material compuesto cemento-plástico, con el fin de construir muros divisorios de bajo costo y que favorezcan el cuidado del medioambiente.

El procedimiento consistió dos etapas básicas: desarrollo del material y diseño de módulos autoalineables. En la primera etapa, se elaboró el material compuesto cemento-plástico para lo cual se utilizaron diferentes relaciones cemento/plástico (0.0156, 0.0468, 0.0936, 0.156, 0.187, 0.3122 y 0.3903) utilizando un tamaño de partícula promedio de 0.8 mm. Para evaluar la resistencia mecánica del material, se realizaron muestras de mortero de forma cubica con dimensiones 5x5x5 cm (En base a la Norma ASTM-C-140-75) y se dejaron a fraguar por diferentes intervalos de tiempo (1, 3, 7, 14 y 28 días) para determinar el cambio en resistencia mecánica. Adicionalmente se realizaron ensayos de microscopía electrónica de barrido para evaluar cambios estructurales como consecuencia de esfuerzos de carga.

En la segunda etapa, después de que se compararon los resultados de la etapa previa, se seleccionó la muestra más adecuada y se procedió al diseño del módulo autoalineable.

Las características básicas que el módulo debía de cumplir son: versatilidad, resistencia, ligereza y ensamble. Se desarrollaron diferentes propuestas de entre las cuales se seleccionó la que se consideró cumplía con las características propuestas. Después de haber generado el diseño del elemento, se creó el molde en madera, para finalmente crear el módulo real (escala 1:1).

## *Abstract*

At present, the continuous growth of population has caused various problems across the country, among which are: lack of adequate housing for the population, especially for low-income families and increasing environmental degradation caused by the generation of waste not biodegradable. In this sense, feasible proposals are needed to counteract these problems. Among the solutions being proposed is the development and improvement in the quality of building components using new technologies and materials that reduce environmental impact, low cost production and easy processing.

This study aimed to design a module assembly without adhesives, through the use of cement-plastic composite material, in order to build low-cost partition walls that will promote environmental care.

The procedure consisted of two basic stages: development of material and design of aligning modules. In the first stage, we prepared the cement-plastic composite material which is used for different cement / plastic ratio (0.0156, 0.0468, 0.0936, 0.156, 0.187, 0.3122 y 0.3903) using an average particle size of 0.8 mm. To evaluate the mechanical strength of material, mortar samples were made in a cube with dimensions 5x5x5 cm (According to ASTM-C-140-75) and allowed to set for different time intervals (1, 3, 7, 14 and 28 days) to determine the change in mechanical strength. Additionally, tests were performed by scanning electron microscopy to assess structural changes as a result of load.

In the second stage, after comparing the results of the previous stage, the sample was selected best and proceeded to form self-aligning design. The basic features that the module must meet are: flexibility, strength, lightness and ease of assembly. Various proposals were developed among which was selected to be considered met with the

desired properties. Having raised design element, the mold was made of wood, to finally create the actual module (scale 1:1).

# Capítulo 1 Antecedentes

El crecimiento constante de población ha ocasionado diferentes problemáticas en el País, en primera, la falta de viviendas para la población, especialmente para familias de bajos recursos y en segundo, el creciente deterioro ambiental ocasionado por la generación de desechos no biodegradables [1], por lo que se requieren propuestas ecologistas que aminoren estos problemas. Entre las soluciones se encuentra, el desarrollo y mejora en la calidad de los elementos de construcción, empleando nuevas tecnologías y materiales que disminuyan el impacto ambiental (reduciendo el gasto de energía y materias primas que requieren los elementos de construcción convencionales), de bajo costo en su elaboración y de procesamiento sencillo [2].

Diversas organizaciones, empresas, equipos de investigación e iniciativas ecologistas preocupadas por solucionar estas problemáticas, han comenzado a promover, desarrollar y experimentar con algunos materiales, tradicionalmente considerados como desechos (orgánicos e inorgánicos), como son residuos de madera (viruta, aserrín), fibras de henequén, piña, coco, cenizas del carbón, plásticos, entre otros, utilizándolos como agregados y mezclándolos con cemento para obtener nuevos materiales de construcción. Estos “desechos” constituyen insumos potenciales para el desarrollo de nuevas tecnologías de construcción de viviendas [3].

El presente proyecto está enfocado en el estudio del material compuesto cemento-plástico empleado como elemento de construcción, así como el desarrollo de propuestas de diseño de módulos autoalineables, desarrollados a partir del material obtenido.

## 1.1. Residuos plásticos. Un problema ambiental.

En México y en general, en todo el mundo, existe una preocupación por la contaminación del agua, aire y suelo, ocasionada en gran medida, por los volúmenes de residuos que se generan a diario y que recibe escaso o nulo tratamiento adecuado. Por sus características, los plásticos sintéticos no representan un riesgo para el ambiente, sin embargo si son un problema aun mayor, porque no pueden ser degradados por el entorno [4].

Los plásticos son sustancias orgánicas de alto peso molecular que se sintetizan a partir de compuestos de bajo peso molecular; se caracterizan por una alta relación resistencia/densidad, que son propiedades óptimas para el aislamiento térmico y eléctrico, también son resistentes a los ácidos, álcalis y solventes. Dichos materiales, entraron al mundo industrial durante la segunda guerra mundial, hasta expandirse también en el campo de la construcción [4]. En la actualidad ya se emplean utilizándolos en diferentes formas, ya sea en elementos constructivos tales como pisos, cubiertas de muebles, tragaluces, falsos plafones, etcétera, o en utensilios desechables, como recipientes, botellas, frascos, bolsas, entre otras aplicaciones [5]. Sin embargo a causa del crecimiento exponencial de la industria de los plásticos, han creado una dependencia sobre estos utensilios, generando un problema de tipo ambiental, debido a la acumulación de plásticos como desecho, ya que, aun sabiendo que pueden transformarse y reutilizarse, son tirados indiscriminadamente a basureros sin importar si son plásticos considerados como reciclables (termoplásticos) [6].

Para entender lo anterior debemos saber que los plásticos se clasifican en dos grupos, de acuerdo a su comportamiento térmico, en **termofijos o termoestable y termoplásticos** [6]. Los termofijos se endurecen y descomponen en presencia de temperatura, y los

termoplásticos son aquellos que al someterse a calentamiento se reblandecen y es posible modificar su forma. Estos últimos son a los que hacemos referencia en el párrafo anterior y de los cuales puede darse un aprovechamiento reciclando y reutilizando los desechos para darle nuevas aplicaciones. Esto sería en beneficio del medio ambiente ya que los desperdicios plásticos tienen velocidades de degradación extremadamente lentas que varían desde 5 años, para plásticos que se consideran como biodegradables, hasta más de 5 000 años, para plásticos no degradables [7]. Aun así los plásticos considerados biodegradables necesitan condiciones específicas para facilitar su degradación, como son determinadas cantidades de luz solar y humedad. Algunos de los plásticos que son considerados no degradables como el poliestireno (PS), polipropileno (PP), polietilentereftalato (PET), son los que podemos encontrar comúnmente en los utensilios desechables, por lo que necesitamos darle un nuevo uso para evitar la basura que causa contaminación en el medio ambiente.

## **1.2. Uso de desechos plásticos como agregado al cemento.**

Anteriormente se mencionaba sobre algunas organizaciones y empresas que comenzaron a desarrollar nuevos materiales de construcción, como el AVE (Asociación de la Vivienda Económica de Argentina), el INVI (Instituto de la Vivienda de México) y el CEVE (Centro Experimental de la Vivienda Económica de Córdoba, Argentina), que en conjunto con algunas universidades, han realizado investigaciones con diferentes tipos de plástico, empleándolo como un agregado al cemento, sustituyendo los agregados comúnmente utilizados (arena, grava) o mezclándolo en conjunto, resultando una nueva mezcla que es empleada en los elementos de construcción tales como ladrillos, placas, mampuestos y cerramientos [8]; obteniendo elementos ligeros y con

mejores propiedades que las del concreto convencional. Entre las propiedades que se ven mejoradas son la resistencia a la compresión, peso y el aislamiento acústico y térmico [1].

En diferentes experimentos se han utilizado diferentes tipos de residuos plásticos, tales como, polietilentereftalato (PET) [1], poliestireno expandido (PS) [9], polipropileno, cloruro de polivinilo (PVC) [10], polietileno de baja densidad (PE) [10], caucho, hule, entre otros. A cada plástico se le dio un tratamiento similar, y todas coinciden en los mismos resultados, mayor resistencia mecánica, a la compresión, aislamiento acústico y térmico.

### **1.3. Uso de la mezcla cemento-plástico en elementos modulares (bloques) para la construcción.**

El bloque o modulo “es una pieza o conjunto unitario de piezas que, en una construcción, se repiten para hacerla más sencilla, regular y económica” [11]. El conjunto de módulos (elementos modulares) forma un sistema donde todas sus partes tienen una relación que hace que el objeto pueda ser estable.

Existe una gran variedad de elementos modulares realizados en diferentes materiales, tales como arcilla cocida, tierra (adobe), vidrio, concreto entre otros. Sin embargo, al igual que el cemento, la elaboración del bloque con cada uno de los materiales antes mencionados, provocan un problema ambiental, un ejemplo es el bloque elaborado con tierra ya que su extracción debilita la capa fértil ocasionando una erosión del suelo. Es por ello que como se mencionó anteriormente, el uso de materiales alternativos, tales como es el plástico reciclado, que agregado al cemento genera una serie de propiedades y características positivas que mejoran la calidad del bloque.

Los bloques realizados con la mezcla cemento-plástico han demostrado ser prácticos, de fácil instalación, resistentes, ligeros y sobre todo económicos, ya que la materia prima utilizada (plástico) es considerada basura después de su uso.

A continuación mencionaremos algunas propuestas de bloques hechos con el material compuesto cemento-plástico, sin embargo es importante aclarar que estos proyectos no son los únicos y que existen diferentes investigaciones relacionadas con el tema y el material.

### ***1.3.1. Principales referencias de utilización:***

En Argentina ya se han realizado bloques con esta mezcla y se ha construido un prototipo experimental de 12 m<sup>2</sup> en el CEVE. Es una habitación cuyas paredes fueron realizadas con mampostería de 15 cm. de espesor con función de oficina. También se ha construido un galpón (Techumbre) de 156 m<sup>2</sup> donde funcionará la Planta de Recolección Diferenciada de Residuos en Unquillo, Provincia de Córdoba, propiedad de la Municipalidad de dicha localidad. En está techumbre se construyeron muros de 15 cm. de espesor. Los dos prototipos con fecha de ejecución: 2005 [12].

Los bloques que se generaron tienen dimensiones constantes (5,5 cm x 12,5 cm x 26,2 cm), fabricado con cemento Pórtland, el plástico denominado PET (polietilentereftalato) procedente de envases descartables de bebidas triturados además de otros tipos de plástico como PE (polietileno), BOPP (polipropileno biorientado) y PVC (policloruro de vinilo), procedentes de embalajes de alimentos reciclados y aditivos [3].

Este tipo de tecnologías de producción de blocks permite utilizar materiales no tradicionales (plásticos reciclados) en forma tradicional para constituir bloques que se utilizarán para construir muros.

Otro ejemplo de bloques es el sistema constructivo de aislamiento permanente para encofrados “perdidos” para concreto armado de espuma de poliestireno en bloques térmico-acústico, denominado EPS SmartBlockPlus™ ICF que ofrece importantes ventajas gracias a su diseño modular de los elementos que lo caracterizan [13].

Como última referencia tenemos la aplicación de residuos de las llantas (caucho) utilizado en la producción de concreto ligero prefabricado, en bloques de albañilería. El estudio es parte de un proyecto de investigación patrocinado por la National Environment Agency (NEA) de Singapur [14].

Estas propuestas generan la construcción de mampostería tanto en exteriores como interiores. Sin embargo daremos relevancia a la construcción de interiores, enfocándonos en la creación de muros divisorios.

#### **1.4. Construcción de muros divisorios con elementos modulares.**

Hoy en día muchas familias, empresas u organizaciones, por necesidad o expansión, requieren el uso de muros divisorios permitiendo personalizar y zonificar un espacio que servirá para desarrollar diferentes actividades, logrando el aprovechamiento del sistema constructivo.

Los muros divisorios, son aquellos que separan los espacios, además no soportan las cargas estructurales y son generalmente ligeros. Estos muros se pueden clasificar, según los materiales que lo constituyen, como: estructurales, que son recubiertos de diversos productos y muros de bloques, y aglutinantes de constitución ligera, que deberán contar con cualidades térmicas, acústicas, impermeables, de acuerdo a las necesidades y actuar ya sea interna o externamente en variados espacios; pueden ser prefabricados o hecho en obra.

La función de los muros divisorios es separar y aislar; sus peculiaridades pueden ser: acústicas, aislantes, térmicas e impermeables. Los materiales para hacer este tipo de construcción son diversos: tabique rojo, de piedra pómez, hueco, de tezontle, de cemento hueco, de cal hidra, de siporex; madera, metal y plástico, etc. [15].

Cada día se requiere utilizar materiales que faciliten la construcción, no solo de muros, sino elementos en general, de manera rápida, sencilla, limpia y sobre todo barata. Es por eso, que el uso de elementos modulares hechos con el material compuesto cemento-plástico para la construcción de muros divisorios, es una alternativa viable ya que se generan bloques ligeros y baratos. Sin embargo, actualmente aún no se tienen registros del uso de este tipo de elementos para la construcción de muros divisorios.

### **1.5. Propuesta: Material compuesto cemento-plástico en módulos de ensamble, para la creación de muros divisorios.**

En la actualidad existen diferentes materiales para generar muros divisorios, sin embargo la mayoría de los elementos modulares utilizados en la realización de este, requieren de adhesivos que ayuden al elemento a ser más estable; lo que a su vez hace que la construcción requiera de mayor tiempo para su construcción y mano de obra especializada. Para evitar esto, se necesita generar un módulo o bloque de ensamble que no requiera de adhesivos para su unión y por lo tanto limpia, rápida y de fácil construcción.

En la vida cotidiana se observan sistemas modulares de ensamble (sin adhesivos) que facilitan la construcción de muebles, casas, bardas y hasta juguetes. Un ejemplo de sistema modular sin adhesivos son los bloques marca lego los cuales durante años se ha manejado en la industria del juguete y ha tenido buena aceptación por el público. Este tipo de módulos funcionan como elementos arquitectónicos, donde sus bloques se

ensamblan para crear de manera sencilla, estructuras rígidas, que pueden ser desmontables. Otro ejemplo de ensamble más rustico, son las albarradas o lo que conocemos como bardas, comúnmente utilizadas en algunos estados del sur de nuestro país, como Campeche, Yucatán y Quintana Roo, los cuales podemos ver en zonas rurales o colonias. Dichas albarradas son montadas de rocas calizas de forma irregular y de diferentes tamaños, calzadas con piedras pequeñas (de la misma roca) llamadas cuñas, las cuales deben su estabilidad a su peso. Dichos elementos son sacados del suelo, por medio de una técnica tradicional que es la explosión con dinamita. Las albarradas no miden más de 1.50 de alto y son necesarias para delimitar los lotes de cada terrateniente (ver Figura 1.1).



Figura 1. 1. Izquierda: Piezas de Lego [9]; Derecha: Foto tomada en Seye, Yucatán; rocas calizas sobrepuestas sin ningún cementante, calzadas con pequeñas cuñas

De acuerdo a lo anterior y teniendo en cuenta las mejoras que produce el compuesto cemento-plástico en las propiedades de los elementos de construcción, en este proyecto se propone el uso de dicho compuesto utilizando dos tipos de plástico: PET (poliuretano) y PE (polietileno), para la realización de un módulo de ensamble, sin adhesivos, que genere un sistema modular, en este caso, muro divisorio.

## Capítulo 2 Experimentación sobre el módulo a partir del compuesto cemento-plástico.

A continuación se presenta el desarrollo experimental seguido para obtener el material compuesto cemento Portland-Plástico. En la Figura 2.1 se observa el esquema detallado de esta experimentación.

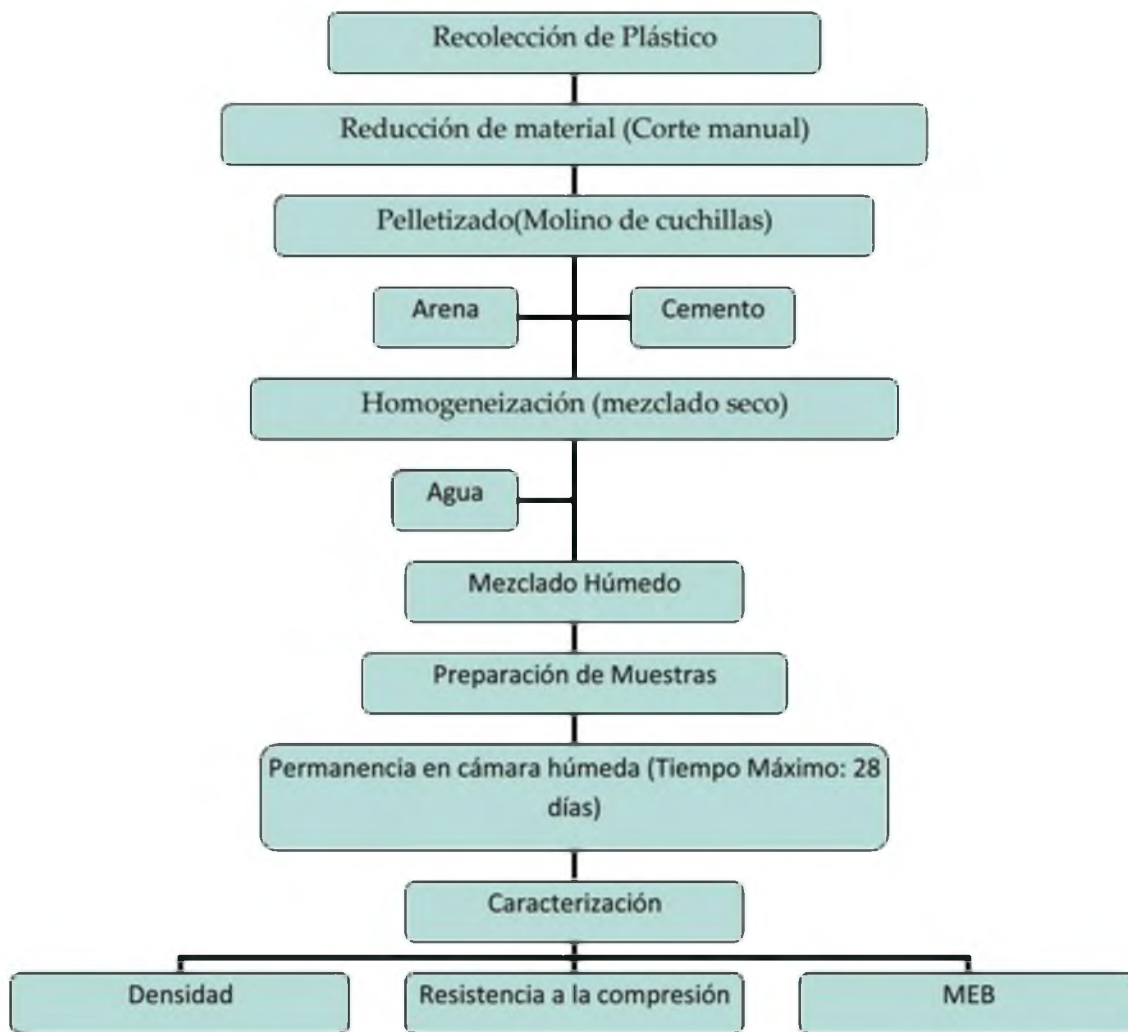


Figura 2.1. Diagrama de flujo del procedimiento experimental

## 2.1. Material y equipo

Durante la etapa de experimentación se recolecto 2 diferentes plásticos de desecho, específicamente los que se conocen como termoplásticos. Los plásticos seleccionados fueron el polietilentereftalato (PET) y el polietileno (PE), los cuales encontrar como materia prima en la elaboración de envases de refresco (el envase y la tapa, respectivamente).

Los plásticos recolectados fueron seleccionados por color y tipo, ya que la adición de los colorantes a la formulación del plástico, genera un cambio en las propiedades. En el caso de los envases se cortaron en forma de láminas y se separaron las partes más gruesas del material, debido principalmente para homogeneizar el espesor del material. El material que se selecciono fue sometido a un proceso de molienda en un molino de cuchillas Brabender, 1992 Type S 10/9 Se obtuvo un tamaño de partícula de 0.8 mm (Ver Figura 2.2).

Como siguiente etapa, se realizó el diseño de los moldes para el vaciado de las muestras durante el proceso experimental. Cabe aclarar que dichos moldes están constituidos de polietileno y acrílico, el cual facilito el desmolde de las muestras dada la baja afinidad de estos plásticos con el cemento, ya que sus paredes son lisas y hace que el material no se adhiera.

Los bloques a los cuales se le realizaron los ensayos de compresión, fueron realizados con un agente cementante (cemento portland), el cual es la composición de cemento más utilizada. El plástico y el cemento fueron mezclados en seco para homogeneizar los sólidos, así mismo se usó arena, realizando el mismo proceso. La mezcla de sólidos se obtuvo en base a diferentes relaciones plástico/cemento Pórtland, las cuales fueron: 0.0156, 0.0468, 0.0936, 0.156, 0.187, 0.3122 y 0.3903, siendo el cemento y la arena

constantes en las proporciones. El proceso de mezclado se llevó a cabo en un intervalo de tiempo de 15 minutos para asegurar la homogeneidad de la mezcla.

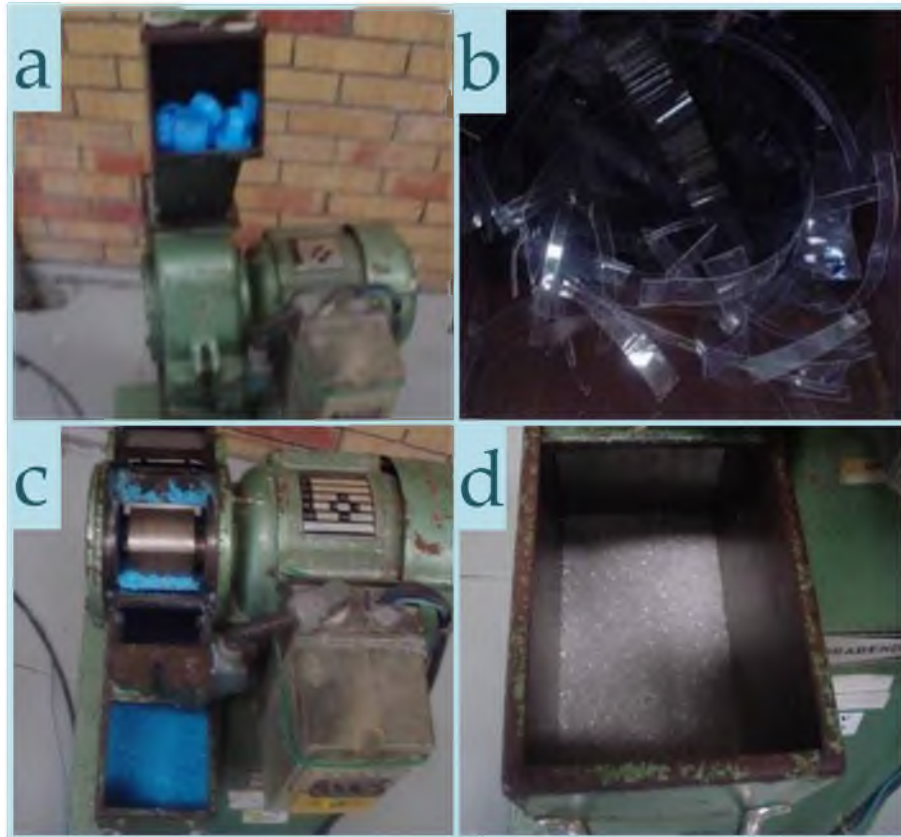


Figura 2. 2. Molino de cuchillas Brabender, 1992 Type S 10/9 empleado para la molienda de plásticos. (a) Tapa roscas de Polietileno (b) Secciones de Polietileno; Materiales obtenidos después de la molienda; (c) Polietileno (d) Polietilentereftalato.

La mezcla de sólidos homogéneamente preparada fue a su vez mezclada en fase húmeda utilizando un agente de hidratación y fraguado (agua destilada), el cual también se utilizó la misma proporción, relación agua/sólido fue de 0.20 en todos los casos. El mezclado se efectuó hasta alcanzar la completa humectación de las fases sólidas (en intervalo de 10 minutos aproximadamente). Una vez que se mezclaron los componentes, se vació la pasta resultante en los moldes de polietileno con divisiones de acrílico, previamente armados (Ver Fig. 2.3). Las medidas de cada muestra fueron de

5 x 5 x 5 cm aproximadamente, de acuerdo a la norma americana ASTM C 150 y la norma mexicana M-MMP-2-02-004/04. Dichos bloques se mantuvieron en los moldes hasta que adquirieron una consistencia sólida y pudieron ser desmoldados sin romperse (fraguado de 1 día). Las muestras, fueron marcadas con un número de serie y posteriormente fueron sumergidas en agua (ver Figura 2.4), con el fin de conservar un nivel de humedad constante durante toda la prueba (se sacaron muestras a intervalos de tiempo constantes hasta un periodo de 28 días, el cual es el tiempo en el que el cemento alcanza su resistencia máxima). Este tipo de muestras son realizados para morteros, los cuales sirvieron de indicativo para determinar las mejores condiciones de mezclado y fraguado, determinados por los valores más altos de resistencia.

El proceso fue el mismo para todas las pruebas que fueron realizadas por intervalos de 1, 3, 7, 14 y 28 días y las muestras obtenidas fueron pesadas (de acuerdo a la humedad obtenida por cada muestra), etiquetadas y enviadas a la Universidad Autónoma Metropolitana en el Distrito Federal, donde las caracterizaron mediante un ensayo de resistencia a la compresión en una máquina de ensayos universales (SATEC Systems INC, Type Universal Testing Machine, model 400 WHV, 400,000 lb capacity, serial 400 WHV-1039). A partir de los ensayos de compresión se realizaron otro tipo de caracterizaciones tales como microscopia electrónica de barrido.

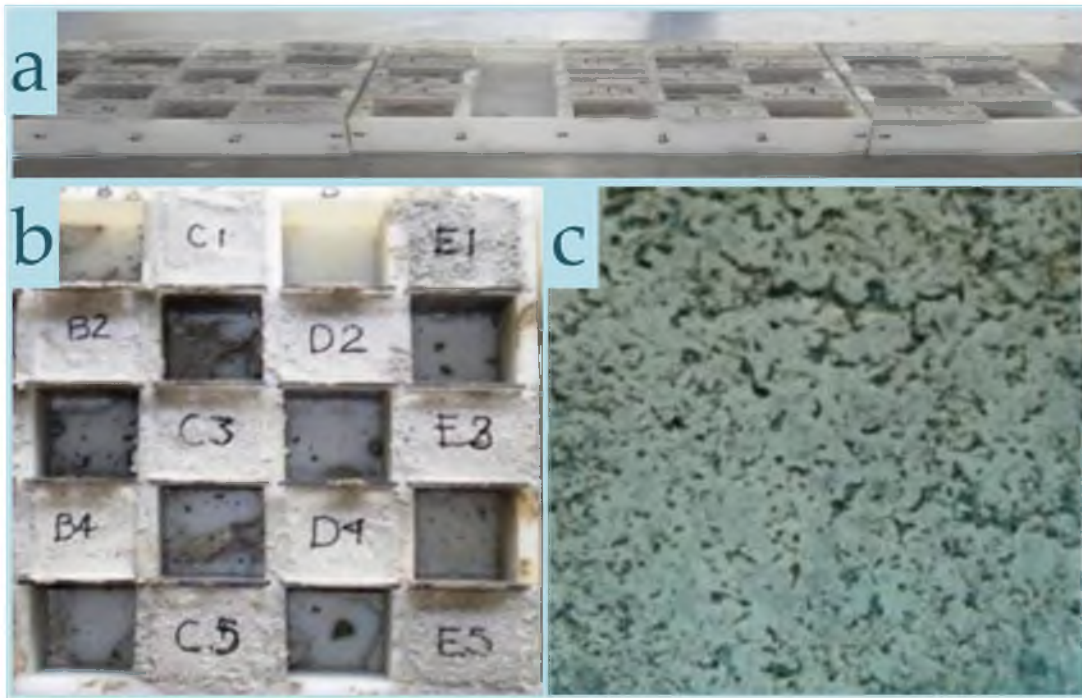


Figura 2.3. Moldes para el vaciado de las muestras durante el proceso experimental. (a) Se aprecian divisiones de acrílico; (b) Vista superior de las muestras a 1 día de fraguado; (c) muestra después del desmolde.



Figura 2. 4. Muestras sumergidas en agua durante el período de hidratación.

## 2.2. Caracterización

La densidad de bulto de las muestras del compuesto PET-Cemento Pórtland fue determinada mediante el principio de Arquímedes a partir del peso y volumen de la muestra. Por otro lado se evaluaron aspectos mecánicos de los cubos del material compuesto en una máquina de ensayos universales SATEC Systems INC Modelo 400WHV, serial 400WHV-1039 con capacidad de 400,000 lb (Ver Figura 2.5). Después de realizar los ensayos de compresión en las muestras (cubos), se seleccionó un fragmento de muestra para su caracterización en un microscopio electrónico de barrido (MEB). Las muestras a ser observadas en el MEB fueron recubiertas con una capa ultra fina de oro-paladio. Las imágenes de las morfologías de las muestras fueron obtenidas en un Microscopio electrónico de barrido EDAX con detector TOP-CON SM-510 a un voltaje de 15kV.

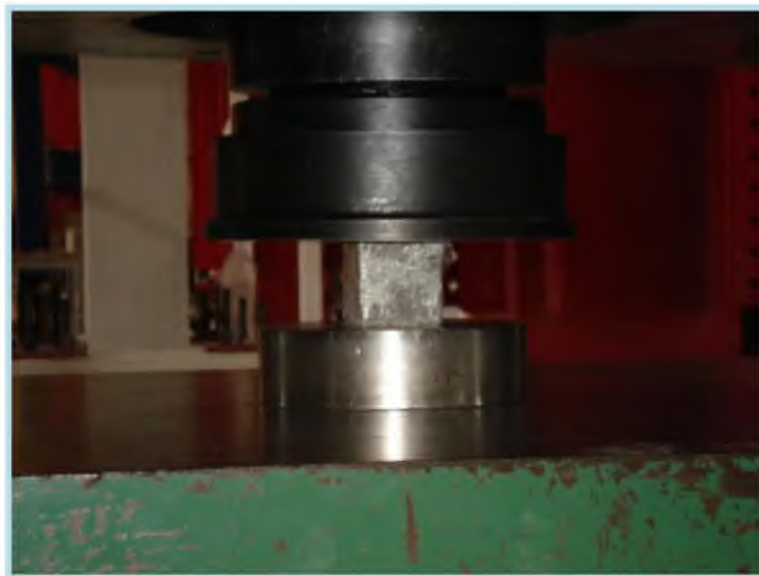


Figura 2. 5. Fotografía del ensayo de compresión uniaxial de la muestra (cúbica) de material compuesto cemento-plástico.

## Capítulo 3 Resultados y Discusión

### 3.1. Material Compuesto cemento-plástico.

A continuación se presentan los resultados experimentales relacionados con el material compuesto cemento-plástico. En la Tabla 3.1 se presentan las condiciones experimentales en las cuales se efectuaron los materiales compuestos.

Tabla 3.1 Condiciones experimentales

Agregado Plástico	Relación Plástico/Cemento	Tiempo de Fraguado (días)	Agregado Plástico	Relación Plástico/Cemento	Tiempo de Fraguado (días)
---	Sin agregado	28	-----	Sin agregado	28
PE	0.0468	3	PET	0.0468	3
PE	0.1561	3	PET	0.1561	3
PE	0.3122	3	PET	0.3122	3
PE	0.0468	7	PET	0.0468	7
PE	0.1561	7	PET	0.1561	7
PE	0.3122	7	PET	0.3122	7
PE	0.0468	14	PET	0.0468	14
PE	0.1561	14	PET	0.1561	14
PE	0.3122	14	PET	0.3122	14
PE	0.0156	28	PET	0.0156	28
PE	0.0468	28	PET	0.0468	28
PE	0.0936	28	PET	0.0936	28
PE	0.1561	28	PET	0.1561	28
PE	0.1873	28	PET	0.1873	28
PE	0.3122	28	PET	0.3122	28
PE	0.3903	28	PET	0.3903	28

### 3.1.1. Densidad

En las Figura 3.1 y 3.2 se muestra la variación en la densidad de las muestras que contienen polietileno y de polietilentereftalato, respectivamente, plásticos de rehusó que se emplearon como agregado plástico al cemento y cuyo tamaño de agregado fue de 1/25 de pulgada de diámetro (1 mm) para diferentes relacione plástico/cemento para un periodo de hidratación de 28 días. En general, se observó que la densidad de las muestras disminuye gradualmente con el incremento de la relación plástico/cemento, esto ocasionado al bajo peso de la fase plástica (polietileno y polietilentereftalato) el cual tiene una relación baja peso/volumen.

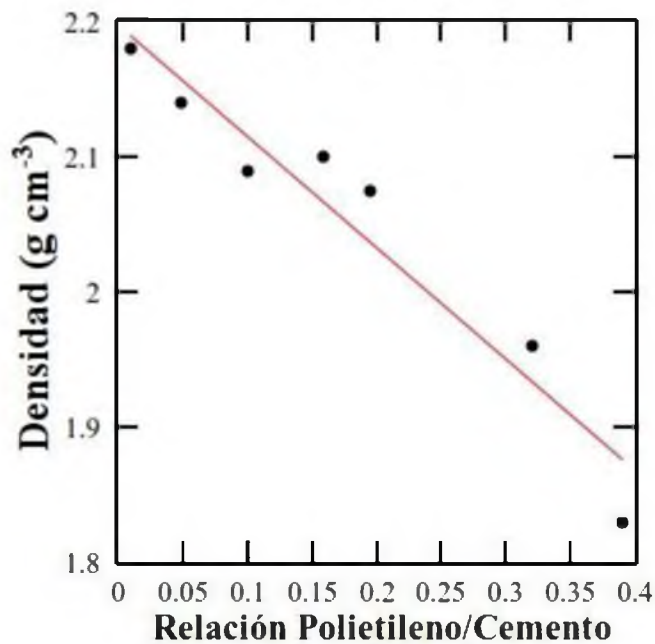


Figura 3. 1. Densidad de las muestras de materiales compuestos cemento-plástico (Polietileno) con tiempo de fraguado de 28 días con Tamaño de agregado de 1 mm.

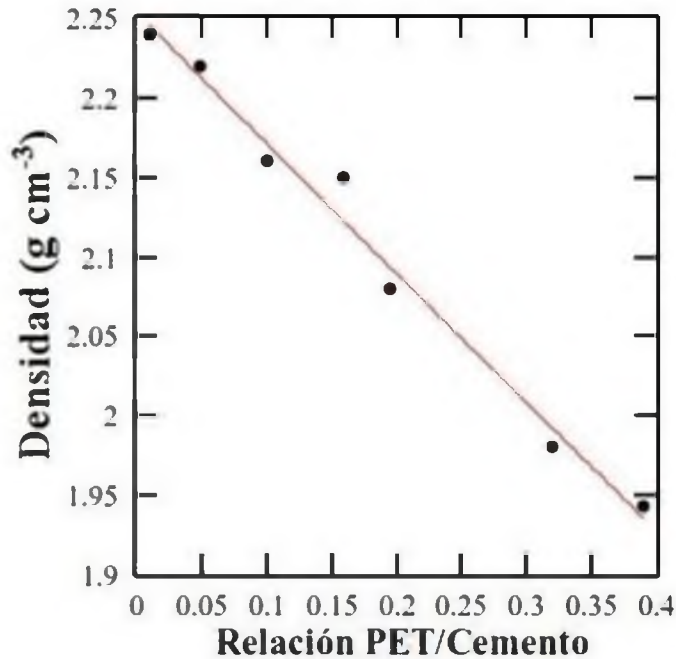


Figura 3. 2. Densidad de las muestras de materiales compuestos cemento-plástico (Poliétilentereftalato) con tiempo de fraguado de 28 días con Tamaño de agregado de 1 mm.

En las Figuras 3.3 y 3.4 se muestran el comportamiento de la densidad con el nivel en el periodo de hidratación, para diferentes relaciones polietileno/cemento y polietilentereftalato/cemento. En estas gráficas se observa que no existen variaciones considerables en cuanto a la densidad en función del tiempo, esto es debido a que el agregado interviene de forma activa en el desarrollo microestructural en las diferentes fases del cemento.

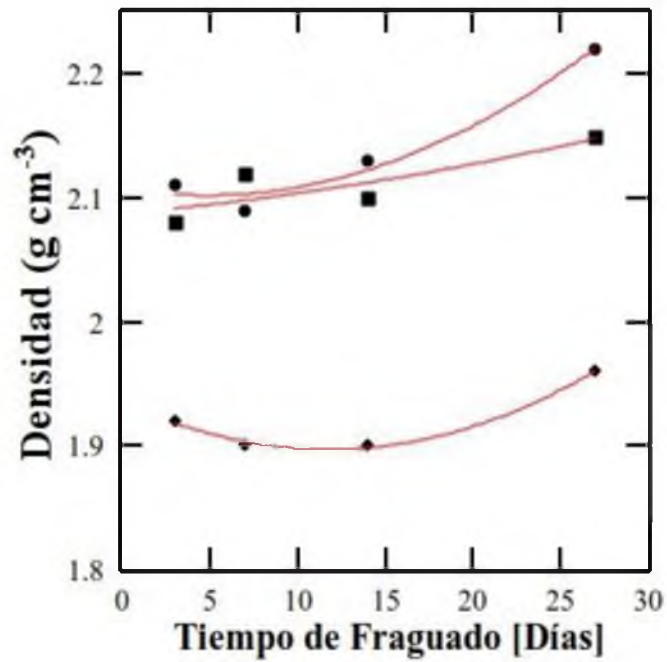


Figura 3. 3. Densidad de las muestras de los compuestos cemento plástico en función del tiempo de fraguado a diferentes relaciones PE/cemento (●) 0.0468, (■) 0.1561 y (◆) 0.3122

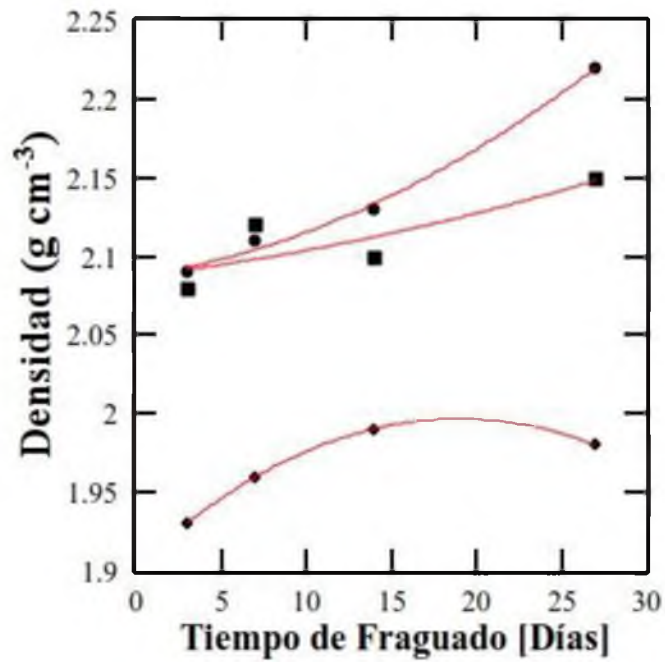


Figura 3. 4. Densidad de las muestras de los compuestos cemento plástico en función del tiempo de fraguado a diferentes relaciones PET/cemento (●) 0.0468, (■) 0.1561 y (◆) 0.3122.

### 3.1.2. Resistencia a la compresión

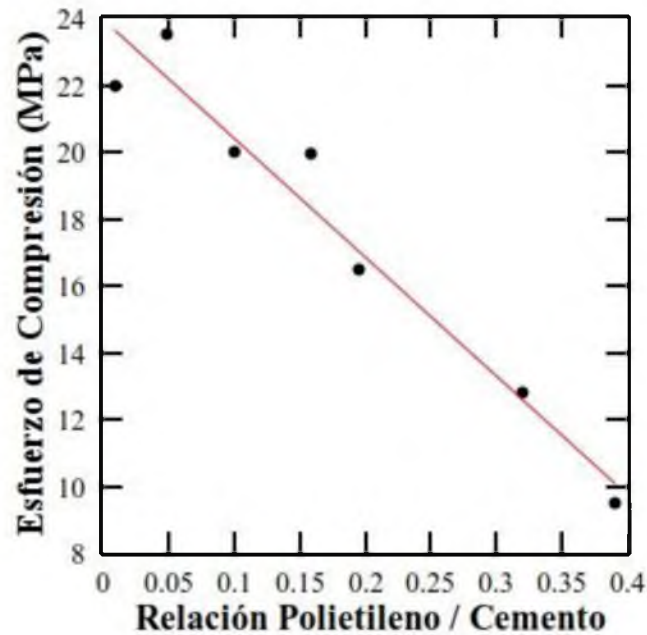


Figura 3. 5. Resistencia a la compresión de las muestras en función a la relación plástico/cemento para un tamaño de agregado (Polietileno) de 1/25 in de diámetro, a un tiempo de fraguado de 28 días.

Las Figuras 3.5 y 3.6 muestran el comportamiento del esfuerzo de compresión de las muestras de material compuesto con diferentes proporciones de agregado plástico (polietileno), para un tiempo de fraguado de las muestras de 28 días. Tomando como referencia la muestra testigo, la cual no contiene agregado plástico se observó que el plástico ayuda a incrementar la resistencia mecánica. La muestra testigo obtuvo una resistencia a la compresión de 7.5 MPa. Esta conducta es debida al mecanismo de reforzamiento del agregado plástico en el cual la fuerza aplicada es distribuida y transmitida hacia el plástico a través de las fases de cemento. Por otro lado se observa que el incremento en la resistencia alcanza su límite máximo a una relación polietileno/cemento menor a 0.05 observando que a relaciones mayores, la resistencia a

la compresión disminuye, presumiblemente debido a la baja adherencia en la interface polietileno/cemento

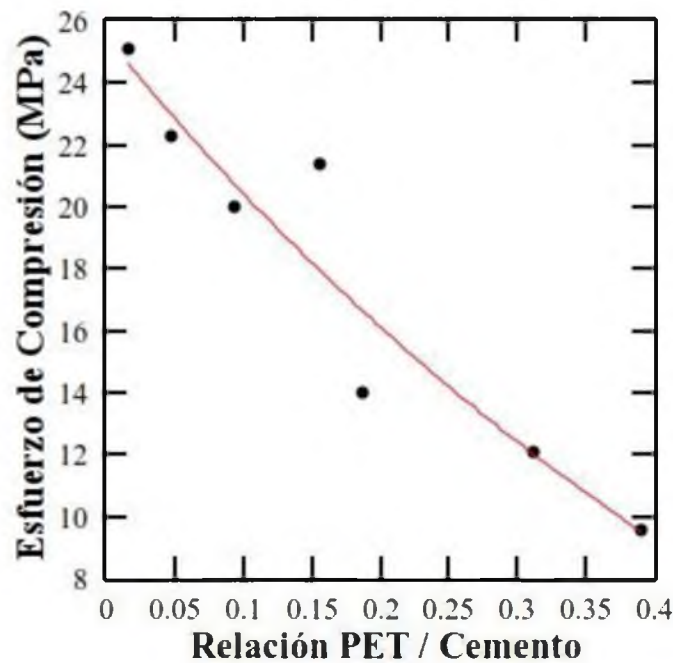


Figura 3. 6. Resistencia a la compresión de las muestras en función la relación plástico/cemento para un tamaño de agregado (Polietilentereftalato) de 1/25 in de diámetro, a un tiempo de fraguado de 28 días.

La Figuras 3.7 y 3.8 muestran la conducta de la Resistencia a la compresión con el nivel del periodo de hidratación, para diferentes proporciones de plástico agregado (polietileno). En contraste con el comportamiento de la densidad, la resistencia mecánica si se ve afectada por el incremento en el contenido de polietileno, esto debido a la poca interacción en la interface polietileno-cemento, por otro lado, aunque la resistencia del material compuesto incrementa como función del tiempo, este incremento se ve reducido con el incremento en la relación plástico/cemento. Este cambio se da presumiblemente por una disminución en los procesos de hidratación de las diferentes fases del cemento, debido a la ausencia de actividad química por parte del polietileno en presencia de agua, lo que reduce y limita el incremento en la resistencia mecánica.

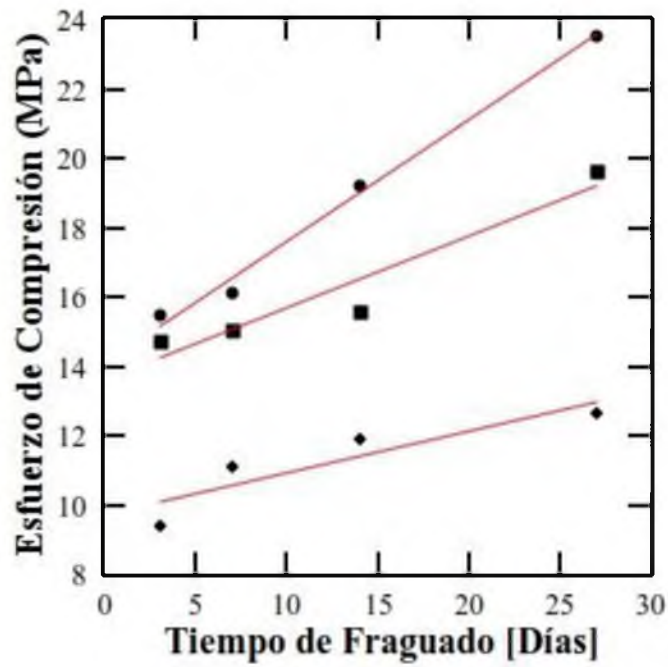


Figura 3. 7. Resistencia a la compresión de las muestras de material compuesto en función del tiempo de fraguado para un tamaño de agregado (Polietileno) de 1/25 de in de diámetro, a diferentes relaciones plástico/cemento: (●) 0.046 (■) 0.156 (◆) 0.312.

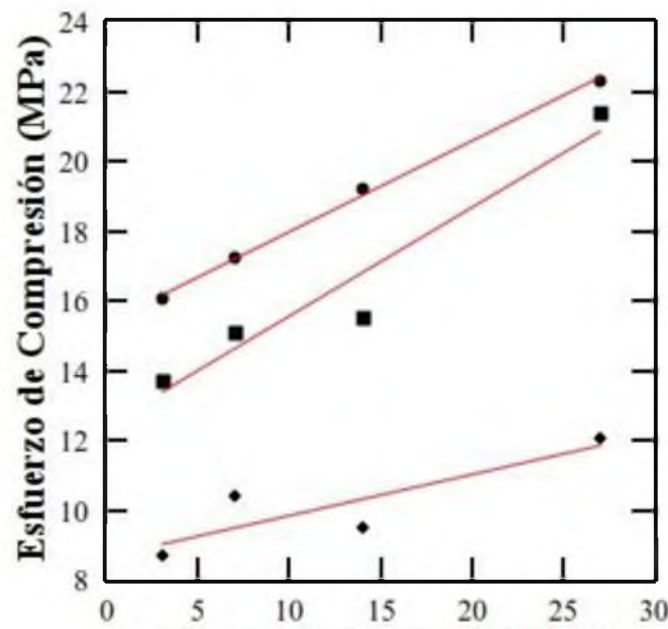


Figura 3. 8. Resistencia a la compresión de las muestras de material compuesto en función del tiempo de fraguado para un tamaño de agregado (Polietilentereftalato) de 1/25 de in de diámetro, a diferentes relaciones plástico/cemento: (●) 0.046 (■) 0.156 (◆) 0.312.

### **3.1.3. Microestructura**

En las figuras 3.9 y 3.10 se observan las imágenes obtenidas por MEB para el material compuesto que tiene como agregado Polietileno y Polietilentereftalato, respectivamente las cuales tienen tamaño de agregado de 1/25 in de diámetro, después de un periodo de hidratación de 28 días con tres diferentes relaciones de plástico/cemento Portland.

En la Figura 3.9a correspondiente a la muestra con relación plástico/cemento de 0.0468, se observa una distribución relativamente homogénea de Polietileno en la mayor parte de la muestra.

Las dimensiones del Polietileno son de un tamaño más heterogéneo en relación a la muestra de la Figura 3.9b con relación plástico/cemento de 0.1561. Esta muestra presenta fibras de Polietileno. La dispersión de tamaño de partícula de Polietileno es más abierta que la muestra de la Figura 3.9b. Además existe mayor compatibilidad entre la matriz de concreto y la segunda fase ya que se observa mayor adherencia entre ambas fases.

Por otro lado, en la Figura 3.9b correspondiente a la muestra con relación plástico/cemento de 0.1561, en la micrografía se observa una distribución relativamente homogénea del Polietileno en la mayor parte de la muestra. El tamaño de la segunda fase Polietileno en términos generales es homogéneo. En esta muestra no se observaron fibras de Polietileno. Así mismo, se aprecia en la zona de la interface una separación entre el Polietileno y el concreto. No existe unión entre ambas fases.

La figura 3.10a muestra que a una relación cemento/plástico de 0.0468 existe buena compatibilidad entre los materiales, pues no se observa separación entre ambas fases. Con el incremento en el contenido de polietilentereftalato (figura 3.10b), se observa la presencia de agrietamientos, sin embargo, las fases presentes del cemento aparecen adheridas homogéneamente con el polietilentereftalato. En la figura 3.10c, se observa que aun existe una buena compatibilidad entre las fases, lo cual es indicativo de que en

ciertas condiciones, el PET tiene muy buena adherencia al concreto, ocasionado principalmente por la rugosidad superficial del material plástico.

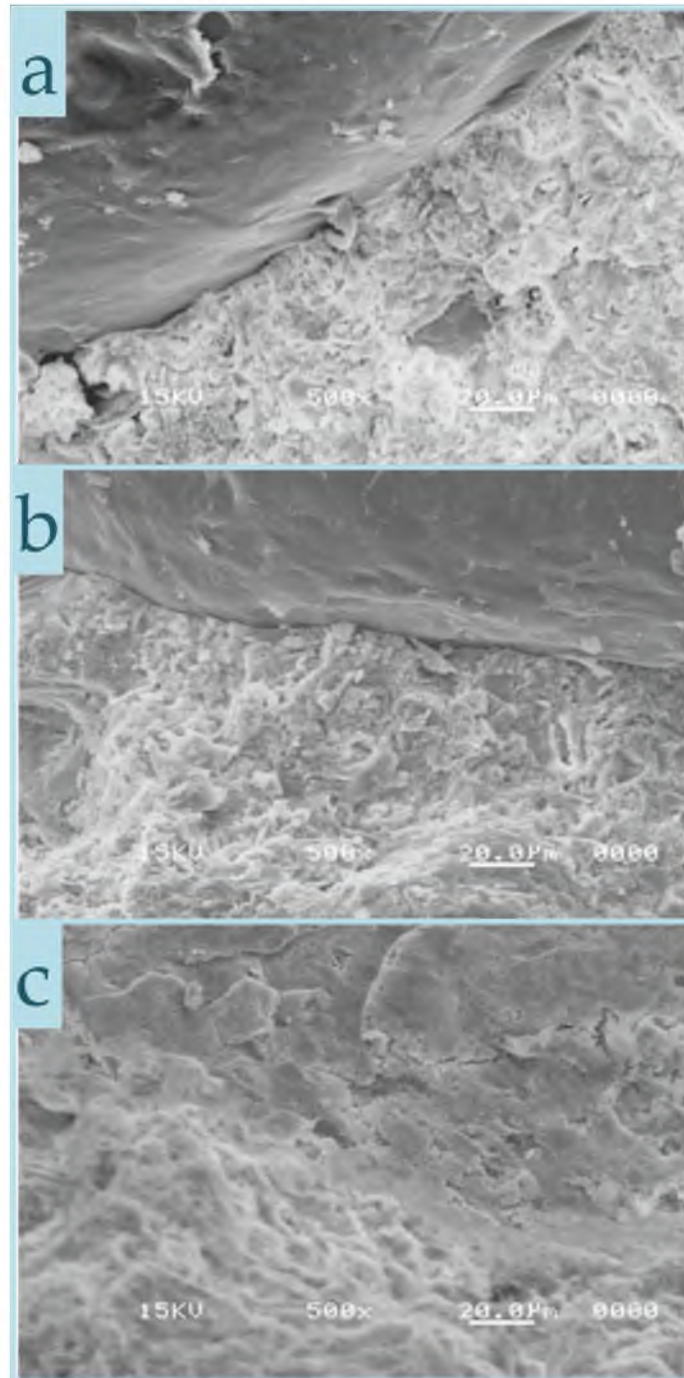


Figura 3. 9. Microscopia electrónica de barrido de la superficie de fractura del compuesto con agregado polietileno, tamaño de partícula de 1/25 in, para un tiempo de fraguado de 28 días, con relación cemento plástico de a) 0.0468, b) 0.1561 y c) 0.3122.

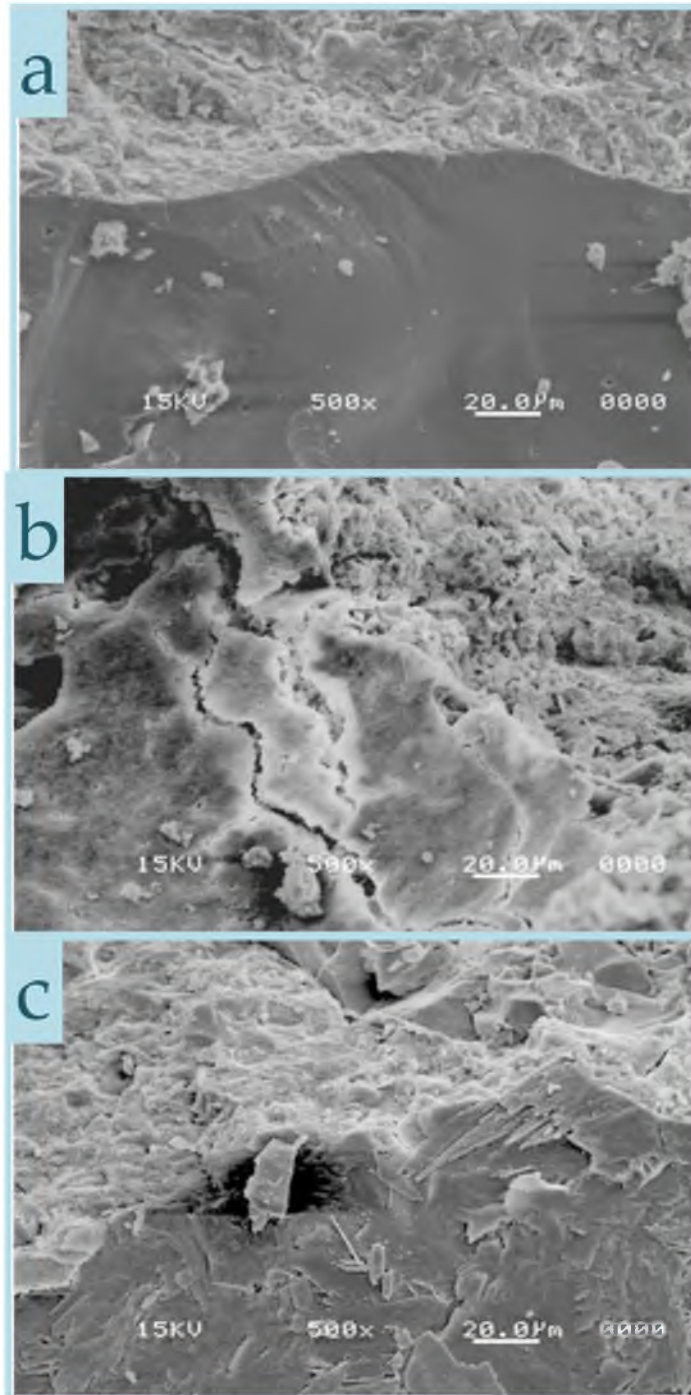


Figura 3. 10. Microscopia electrónica de barrido de la superficie de fractura del compuesto con agregado polietilentereftalato, tamaño de partícula de 1/25 in, para un tiempo de fraguado de 28 días, con relación cemento/plástico de a) 0.0468, b) 0.1561 y c) 0.3122.

## **3.2. Resultados y discusión del diseño del módulo**

Después de determinar cuál es la muestra con las mejores propiedades de resistencia mecánica, se procedió a diseñar el elemento modular. En este paso se generó una serie de características que debía cubrir el módulo o la propuesta final, las cuales básicamente son: versatilidad, ligereza, funcional y estético. En el anexo 1 se presentan con mayor detalle cada uno de los elementos característicos, que se evaluaron para el diseño y generación de las propuestas del módulo.

A continuación se muestran los bocetos de las cuatro propuestas realizadas en el proceso y modeladas de manera virtual (renders), mediante el software AutoCAD:

### ***3.2.1. Propuesta 1***

En la figura 3.11, se muestra el boceto de la primera propuesta la cual consiste en un bloque de ensamble machihembrado. Sus dimensiones son de 40 cm de largo, 15 cm de ancho y 12 cm de altura, y consta de pivotes, cuyas dimensiones son de 3 cm de diámetro por 4 cm de largo, que permiten el ensamble entre sí. Su forma orgánica genera una textura ondulada una vez ensamblado los módulos.

Posterior al boceto de la propuesta inicial, se realizó un modelo virtual (Ver. Figura 3.12) y se elaboró un modelo físico en papel batería el cual se manejó en escala 1:1 (ver Figura 3.13).

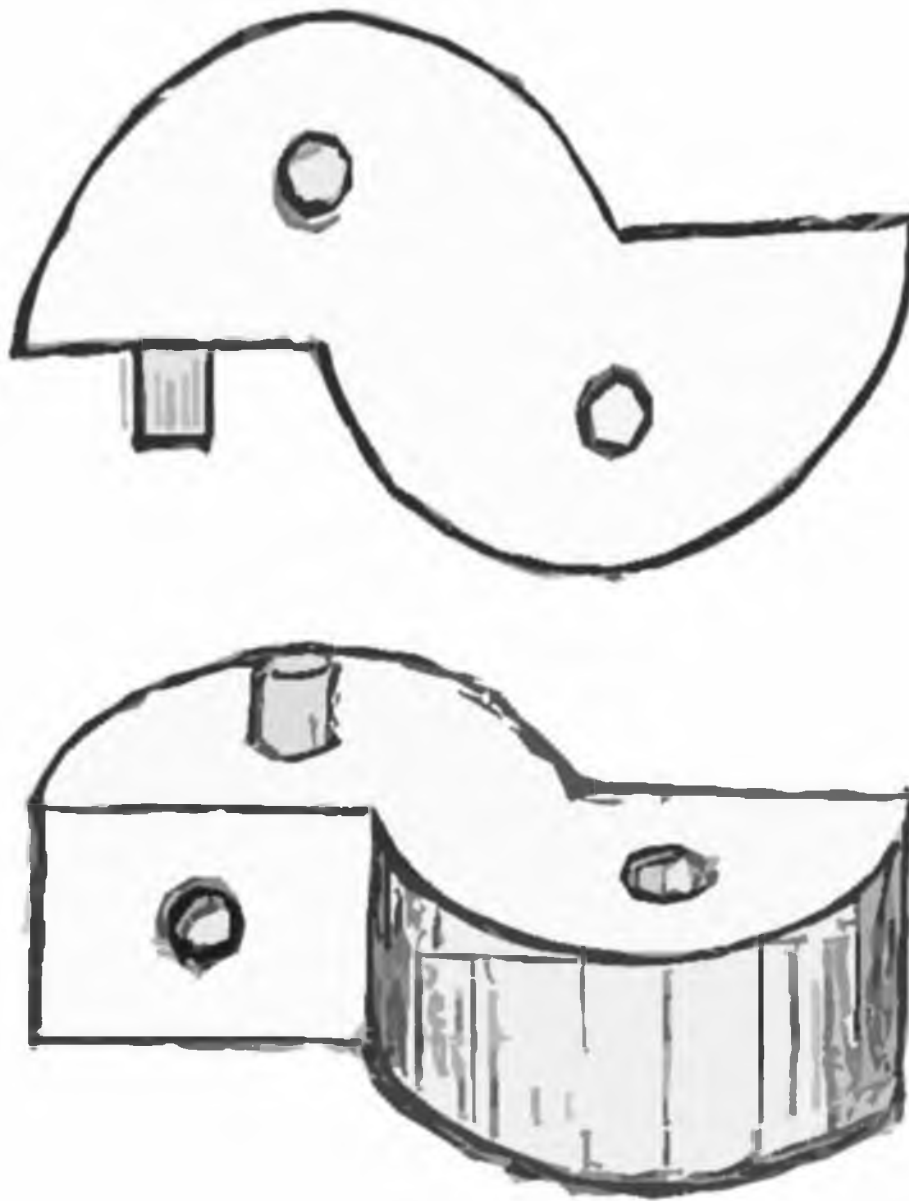


Figura 3.11. Módulo de ensamble machihembrado o por pivotes.

Durante el análisis, realizado al modelo de prueba (maqueta), se detectó un problema referente al mecanismo de unión, observando que en las extremidades (pivotes) se producía una obstrucción cada vez que se insertaba un nuevo elemento, es decir, al colocar una línea base con "x" longitud, se necesitaba colocar toda una hilera completa

de módulos previamente unidos con esa misma longitud para poder montarlos, o viceversa, generando columnas y uniéndolas una por una hasta formar el largo de la pared deseada. Esto es imposible a menos que se tuviera la ayuda de varias personas, concluyendo que este tipo de módulo carece de facilidad de manejo y de ensamble. Otra observación fueron las dimensiones del pivote (4 cm de largo, 3 cm de diámetro), lo cual genera fragilidad e inestabilidad y la forma cilíndrica de difícil manipulación (ver Figura 3.14).

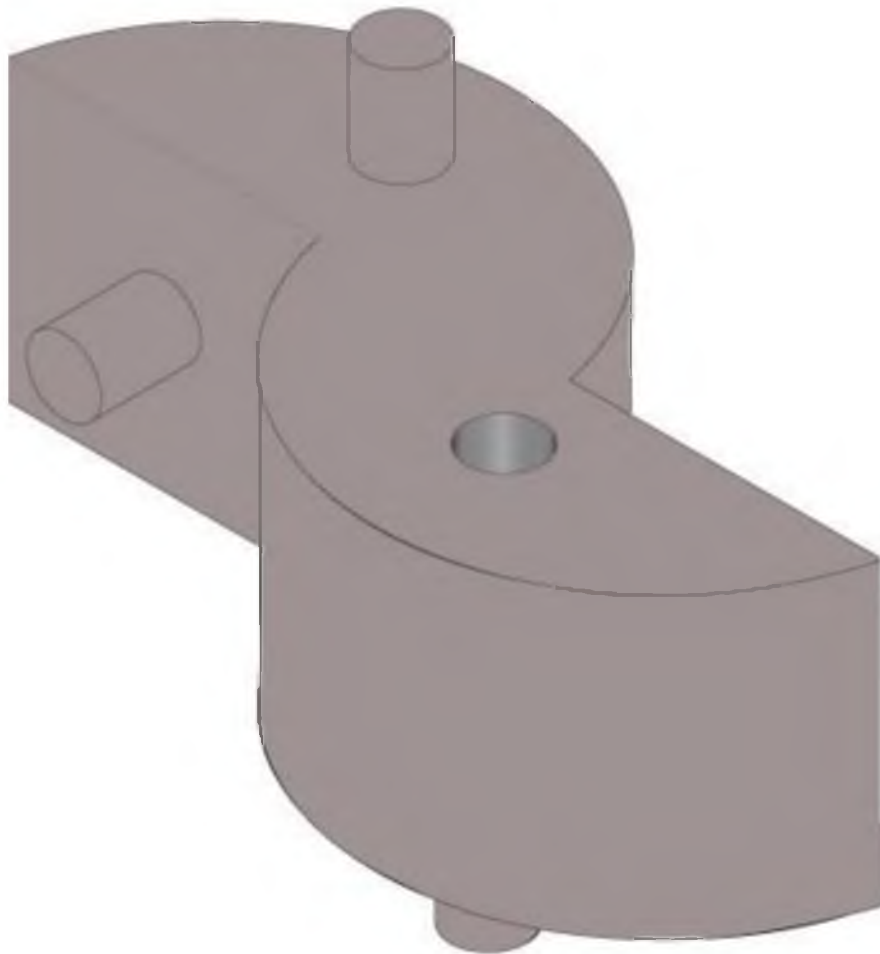


Figura 3.12. Modelado virtual del módulo propuesta inicial, pared divisoria.

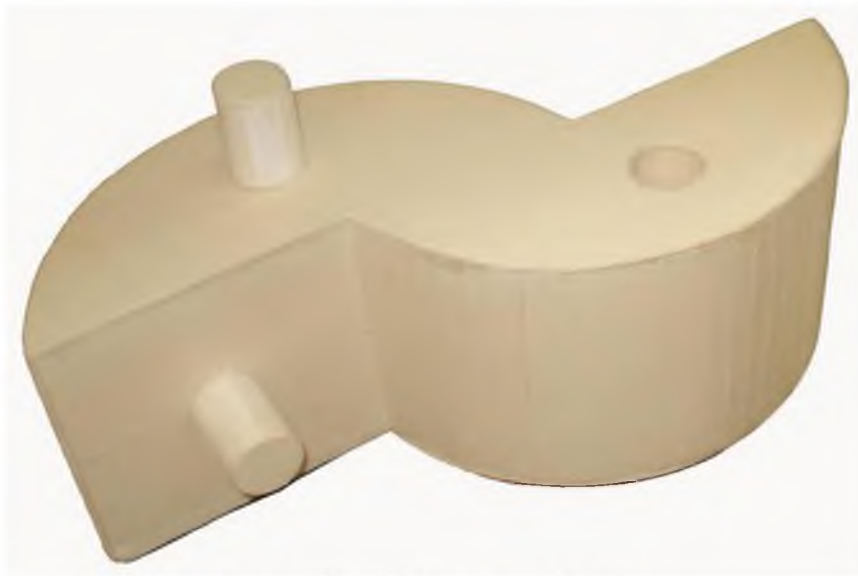


Figura 3.13. Modelo en papel batería.



Figura 3.14. Forma de ensamble del módulo.

### 3.2.2. Propuesta 2

En la Figura 3.15, se muestra el boceto de una segunda propuesta del módulo; dicha propuesta consistió en la modificación del primer boceto y en emplear para el ensamble de módulos la unión a través de caja y espiga eliminando los pivotes para el ensamble, con la finalidad de poder apilar los módulos de forma vertical y horizontal y generar un amarre o ensamble tipo cadena.

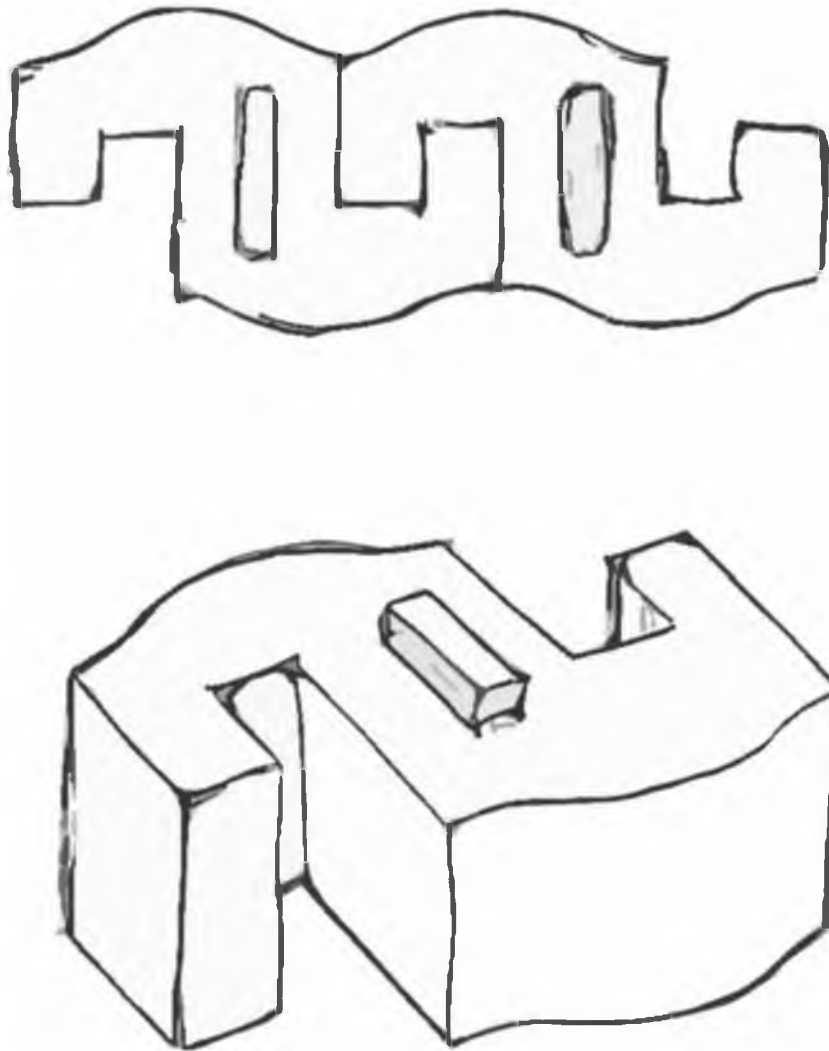


Figura 3.15 (Propuesta No. 2) Boceto.

Sin embargo la idea fue ambigua ya que el elemento con el que se ensamblaba también presento el problema de inestabilidad y fragilidad. Otro factor que salió a relucir fue el cambio de dirección de ensamble en Z, la cual hasta el momento solo se había propuesto en X y Y (horizontal y verticalmente), Ver Figura 3.16



Figura 3.16 Modelado en AutoCAD, el cual proyecta otra forma en su unión.

### ***3.2.3. Propuesta 3***

En la Figura 3.17 se presenta el boceto de la tercer propuesta del módulo, en donde se plasmó un elemento más uniforme y similar a los bloques convencionales, con la diferencia que sus extremos sirven para sobreponer y no se generó ningún sistema de

caja y espiga o machihembrado, como en las dos propuestas anteriores. La Figura 3.18 se observan las dimensiones de este módulo.

En esta propuesta se tomó en cuenta el cambio de dirección y el amarre entre cada módulo, como lo que se hace comúnmente en la edificación con bloques o ladrillos, eso es primordial, ya que está comprobado la estabilidad de los elementos generados con esa técnica.

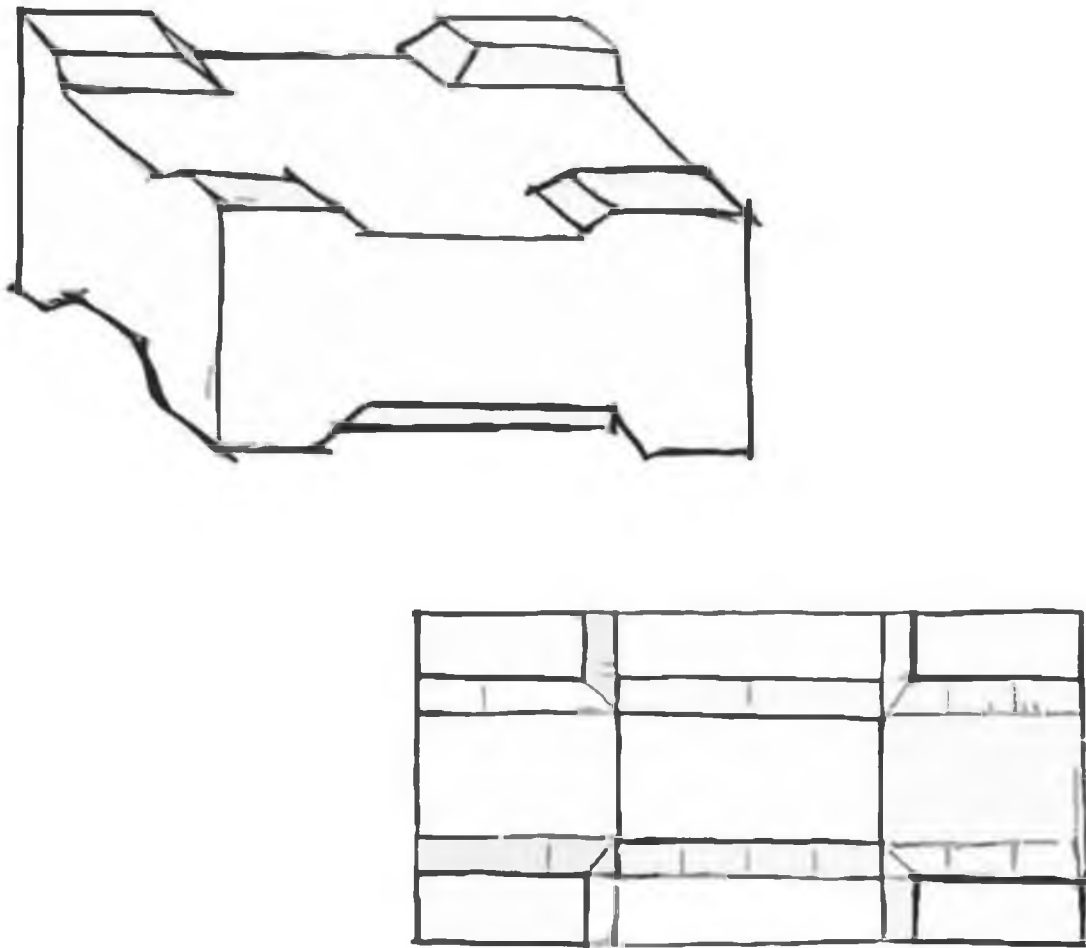


Figura 3.17. Módulo apilable, rígido y similar a la forma del ladrillo convencional.

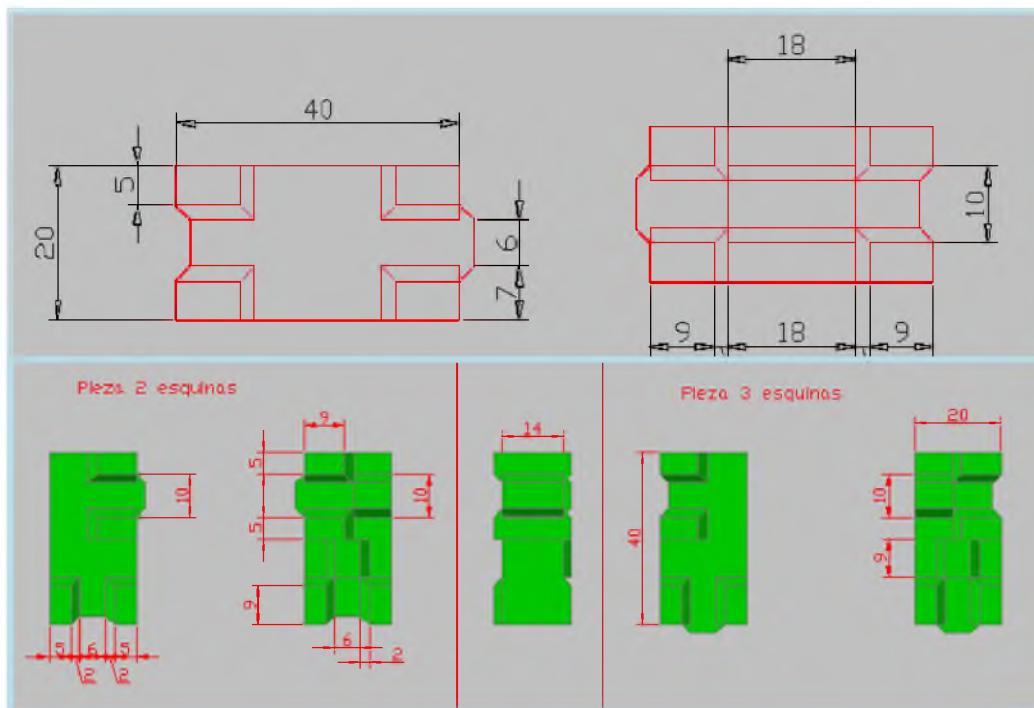


Figura 3.18. Arriba: pieza base, vista superior e inferior. Abajo: piezas de cambio de dirección, vista superior, inferior y lateral.

En el diseño del presente módulo se tomó en cuenta el factor el peso de la pieza. De acuerdo a los cálculos realizados sacamos el volumen del bloque que fue de 12 455.27 cm<sup>3</sup>, el cual utilizamos en la siguiente fórmula:

La cual se despeja y queda de la siguiente forma:  $m = d.v$

La densidad fue obtenida de la relación de cemento-plástico de 0.3903 la cual contiene mayor cantidad de plástico. La densidad fue de 1.83496 gr./cm<sup>3</sup>, por lo tanto el peso total fue de 22 854.92 gr., convertida a kg. resulta un peso de 22.85 kg. Por lo tanto se concluye que el peso del módulo es demasiado pesado para una persona, en este caso el módulo no cumple con la característica de ligereza. La razón es en parte por sus dimensiones y principalmente por ser un elemento totalmente sólido.

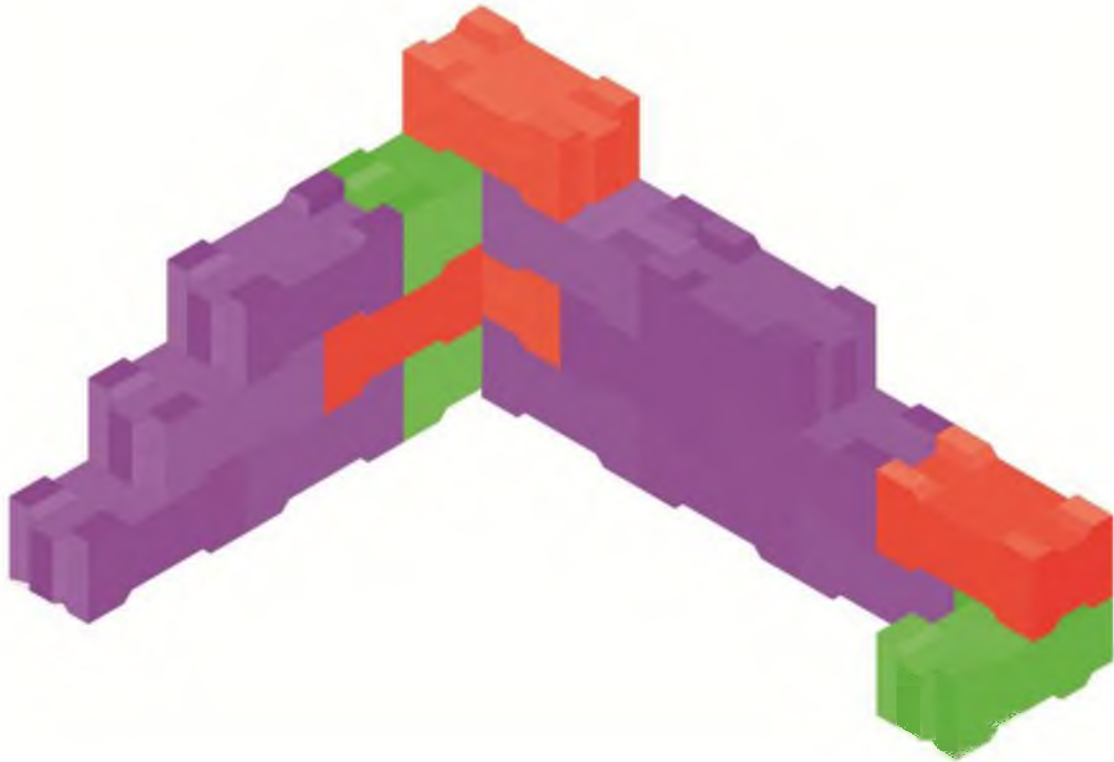


Figura 3.19. Modelado virtual. Cambio de dirección y amarre tradicional ocupado comúnmente en la construcción.

#### ***3.2.4. Propuesta 4***

Se realizó una cuarta y última propuesta de módulo, la cual está basada en el diseño de la propuesta 3 y consistió en hacer un módulo hueco para generar ligereza cuidando que fuera versátil en el cambio de dirección logrando un ensamble a lo largo, ancho y alto. Aquí no solo se intentó quitar peso, generando una estructura hueca, si no también, se buscó obtener una pieza acústica y térmica.

Otro aspecto importante de este elemento es que es autoalineable y esta es una característica importante para facilitar su uso en la construcción y su funcionalidad. (Ver Figura 3.20)

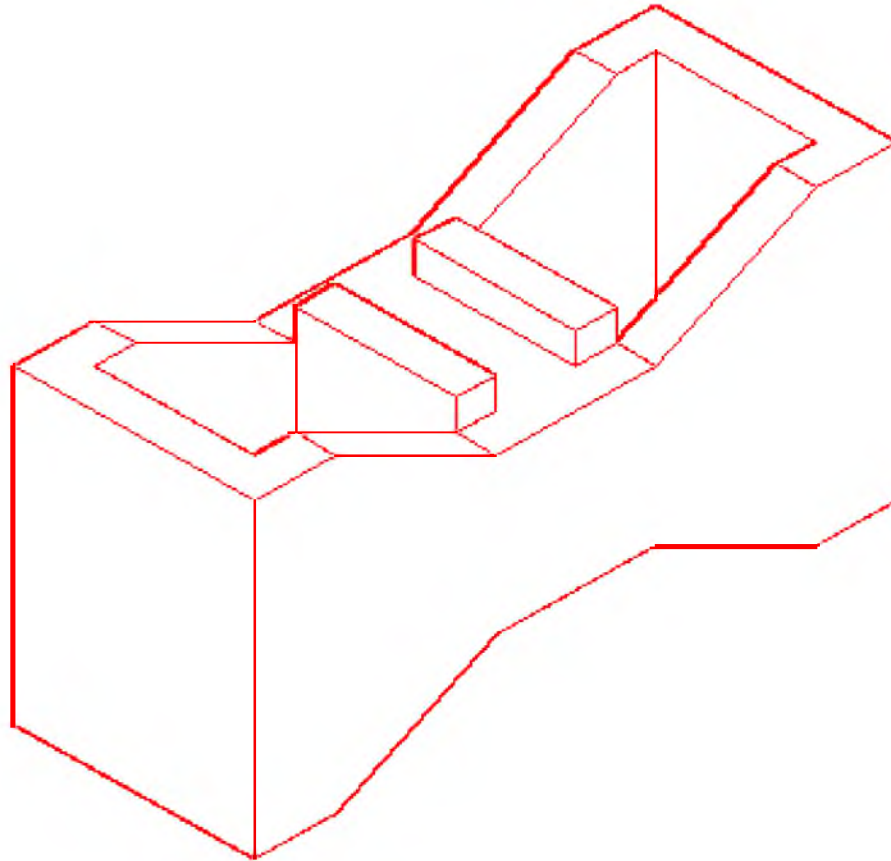


Figura 3.20 Módulo moño: ensamble, ligero, autoalineable.

Las características de la forma del módulo facilitan su ensamble, incluyendo los pivotes, que juegan un papel importante para evitar movimiento, amarrando los elementos entre sí sin necesidad de adhesivos. De aquí se propuso generar un sistema el cual está constituido por 3 pares de piezas y 1 sola que determina la estabilidad y cierre, que son: módulos base, centrales (moño), cierre, cambio de dirección y remate, que a continuación se muestran:

### 3.2.4.1. Módulo Moño

Este elemento es el que genera la estructura central de la pared. Como su nombre lo indica, tienen forma de moño y consta de 4 pivotes ya que es un elemento central y necesita unirse por los dos lados para lograr una estructura estable. (Véase Figura 3.21 y Lámina No.1 en el anexo 2). El módulo moño tiene dimensiones de 40 cm de largo por 15 cm de ancho y 20 cm de alto.

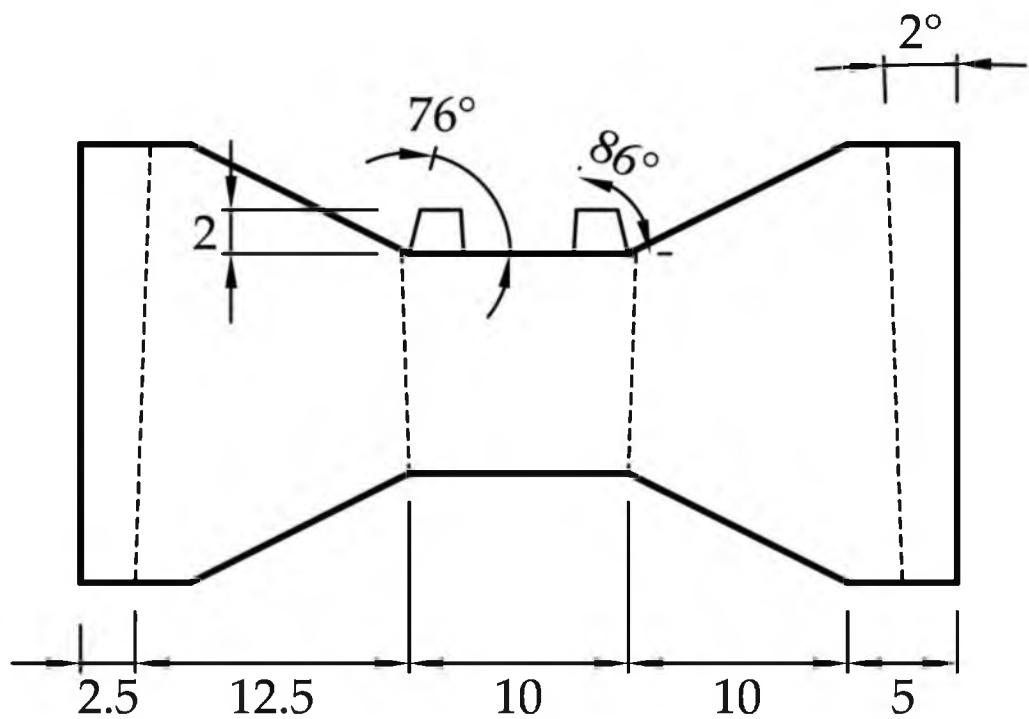


Figura 3.21. Módulo moño, vista frontal.

### 3.2.4.2. Módulo de término en base y superficie

Es el modulo que mantendrá el elemento divisorio estable, pero también, volteando el elemento, es parte del término en superficie, la cual generará visualmente una pared regular al ensamblar todas las piezas en conjunto. Este no es totalmente hueco ya que principalmente para el módulo de termino en base, la parte interna-inferior, va atornillada con pernos para fijar al piso y hacerlo seguro al momento de empezar a ensamblar los elementos en él (véase Figura 3.22 y Lámina No.2 del anexo 2).

En la Figura 3.23 se presenta el isométrico del módulo moño y módulo termino en base y superior.

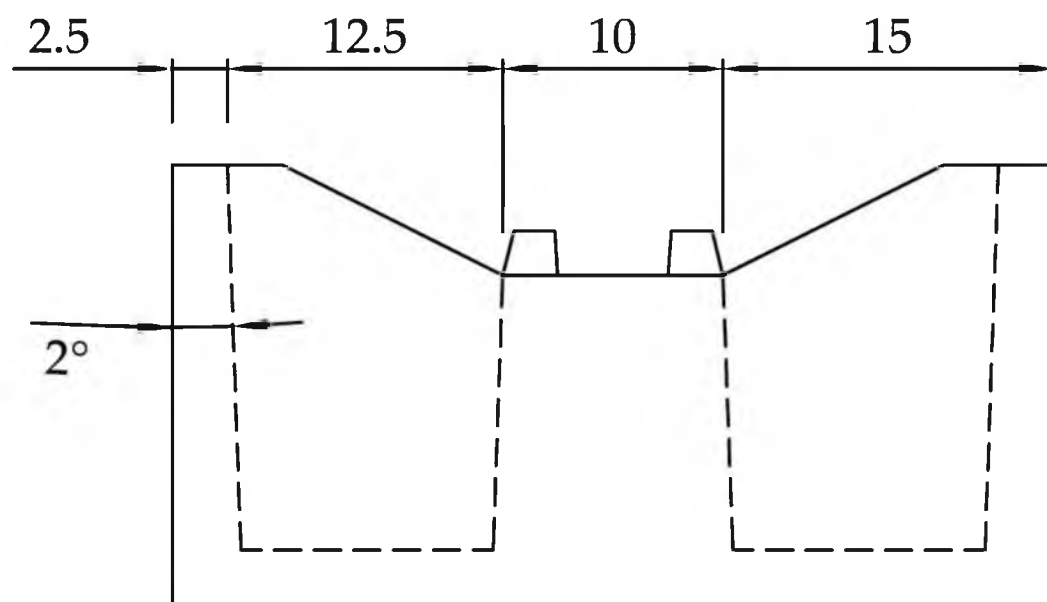


Figura 3.22. Módulo de termino en base y superficie, vista frontal.

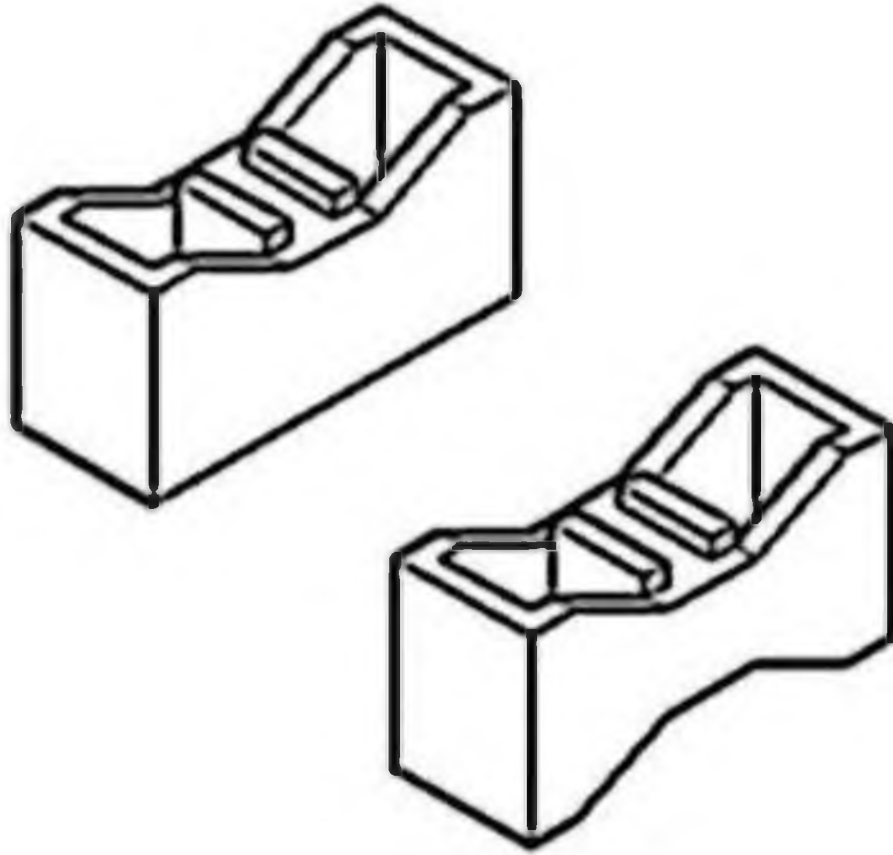


Figura 3.23. Módulo moño y termino en base y superficie, vista ortogonal.

Los módulos moño y termino en base y superficie que se mostraron en la Figura 3.23 al ensamblarse tienen la función de dividir un espacio, así mismo para poder generar mayor dinamismo en un interior se requieren módulos de cambio de dirección los cuales a continuación se explican (módulo esquina y módulo de cierre lateral).

### 3.2.4.3. Módulo esquina

Este elemento constructivo se generó mediante la unión gráfica, de dos módulos moño, con el fin de permitir un cambio de dirección del elemento divisorio para crear espacios opcionales. En la Figura 3.24 se presenta la vista frontal del módulo esquina y en la Lámina 3 del anexo 2 se puede observar sus vistas, dimensiones así como su isométrico.

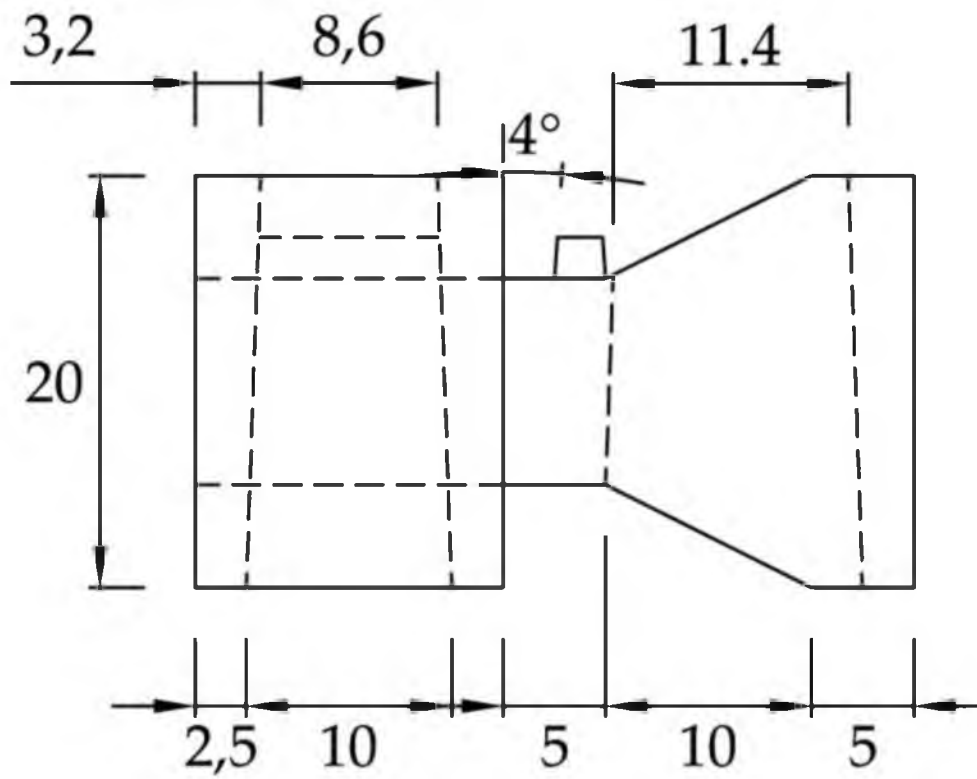


Figura 3.24. Módulo esquina, vista frontal.

#### 3.2.4.4. Módulo esquina base y superficie

Al igual que el módulo esquina, esta se creó a partir de la unión de dos elementos, en este caso, módulos base. Sin embargo, esta pieza como se observa en las imágenes, no es hueca, por las misma razón que el módulo de termino base, ya que este ira anclado al piso y dará termino en la parte superior, a la pared. (Figura 3.25 Lámina 4 del anexo 2)

En la Figura 3.26, se puede apreciar las diferencias entre los módulos, como por ejemplo, en la esquina de cada módulo, tienen un boquete en forma de prisma. La finalidad del hueco en el centro, es sobreponer el módulo de remate que más adelante se describe.

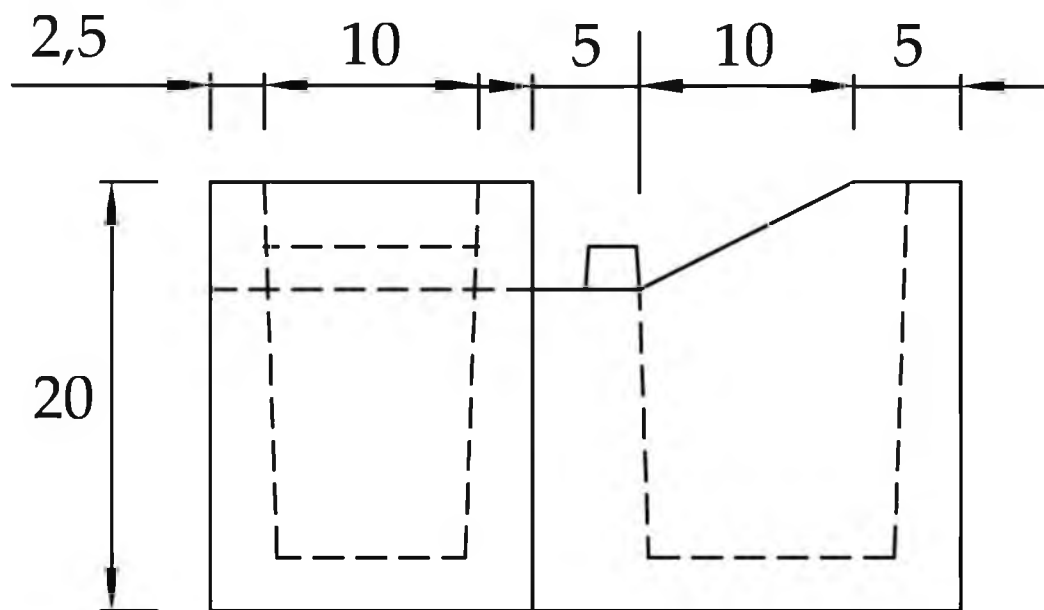


Figura 3.25. Módulo esquina base y superficie, vista frontal.

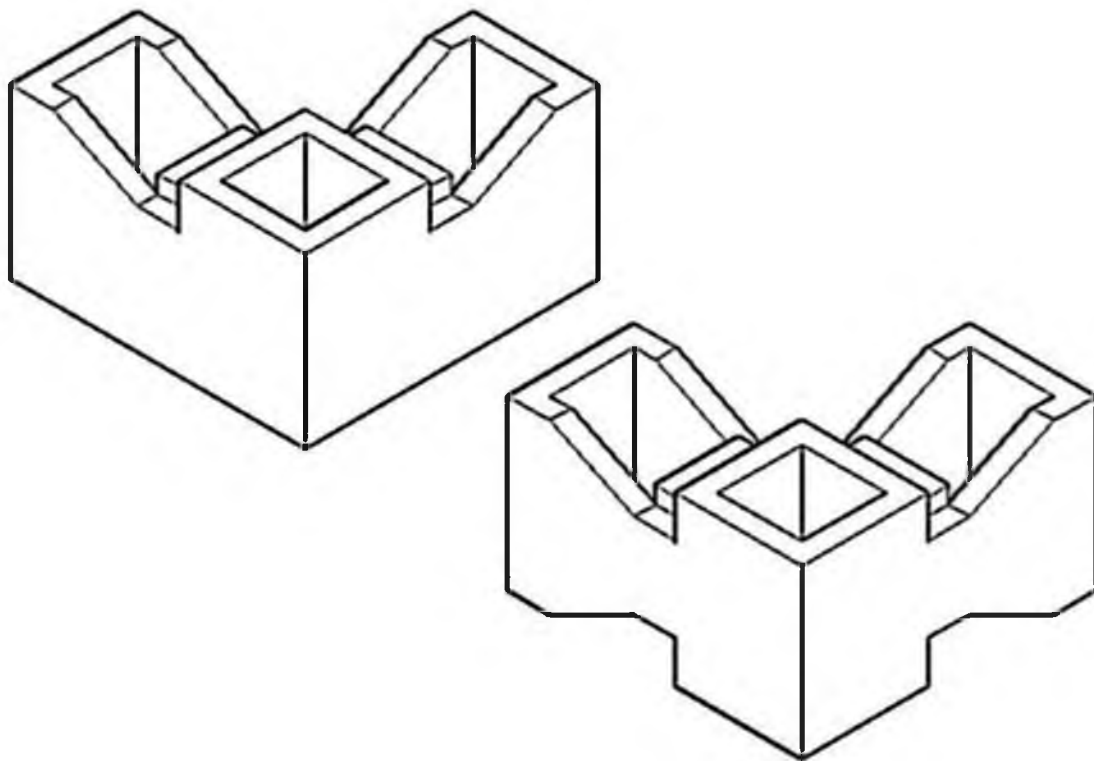


Figura 3.26. Módulos de esquina, vista ortogonal.

#### ***3.2.4.5. Módulo de cierre lateral***

Su función es el de dar termino al elemento divisorio, pero lateralmente, con el fin de dar regularidad, principalmente por si se quiere unir a algún otro elemento constructivo como las paredes de un edificio, puerta, casa entre otros (ver módulo en la Figura 3.27 y Lámina No. 5).

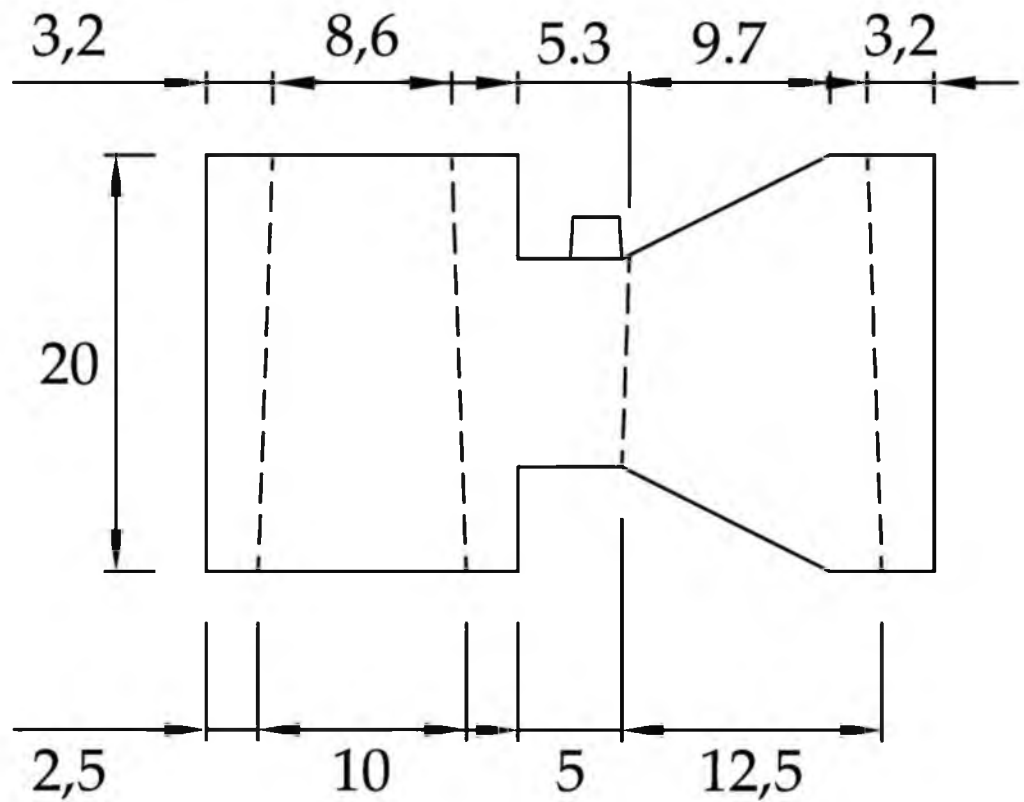


Figura 3.27. Módulo de cierre lateral, vista frontal.

#### 3.2.4.6. Módulo de cierre lateral en base y superficie

La función de este módulo, es similar a los elementos base ya mencionados anteriormente, la única variante es la forma, por la cual se le da el nombre (ver Figura 3.28, Lámina No. 6 del anexo 2).

En la Figura 3.29 se presentan los módulos de cierre lateral y en base y superficie, dichos módulos son importantes para lograr que el final de una pared sea regular. Estos módulos al igual que los elementos o módulos de cambio de dirección tienen un boquete en el cual irá el módulo de remate para definir una pared regular.

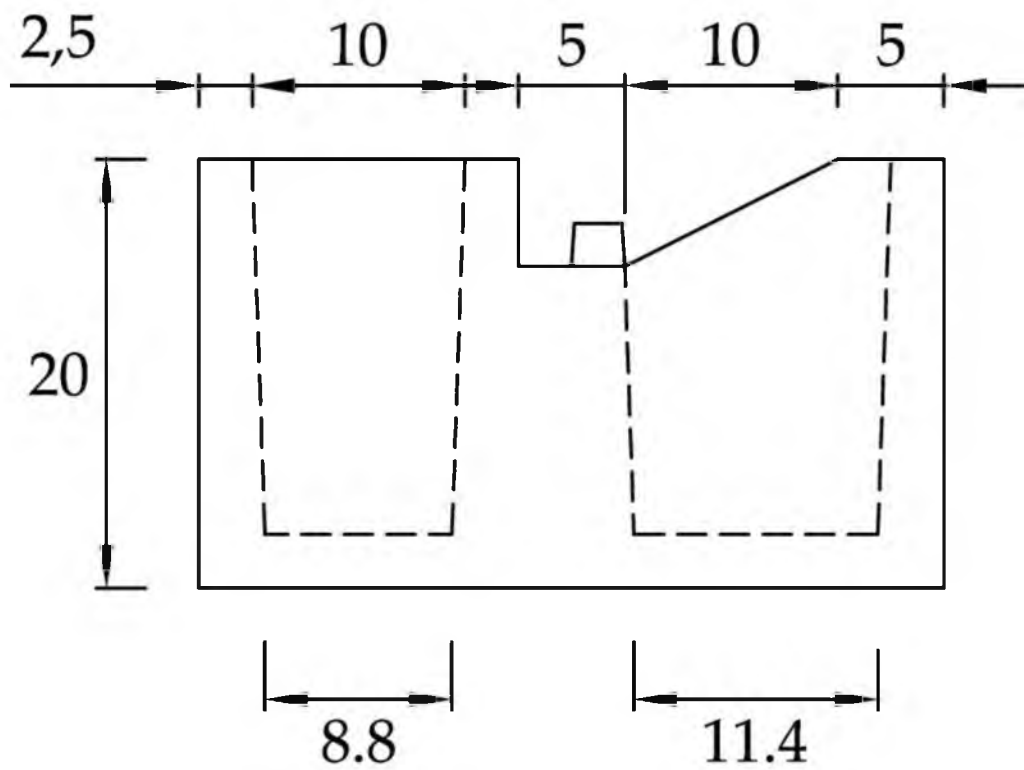


Figura 3.28. Módulo de cierre lateral en base y superficie, vista frontal.

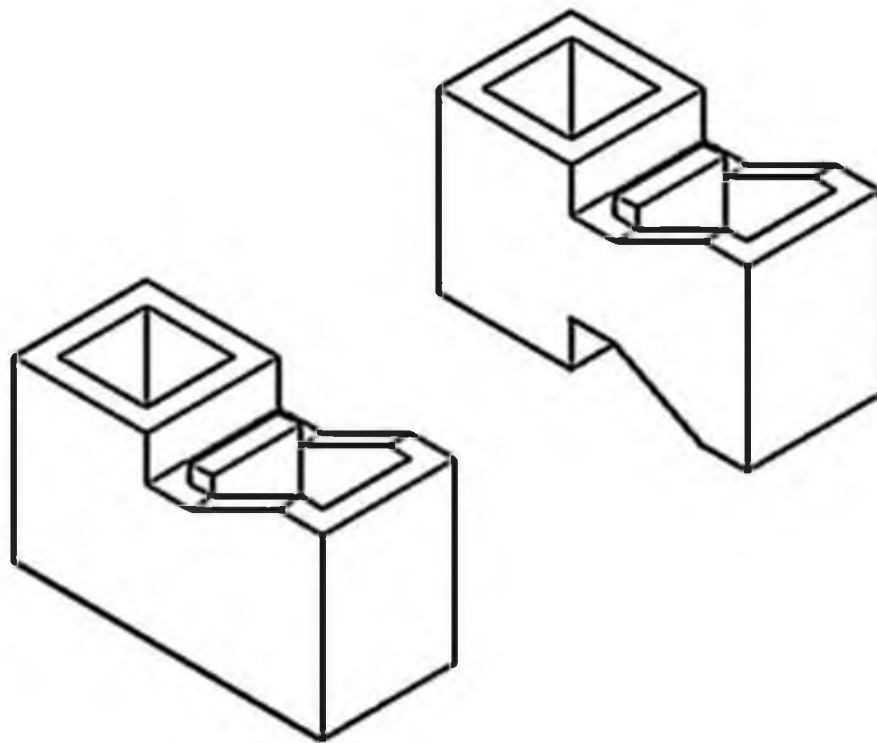


Figura 3.29. Módulos de cierre lateral, vista ortogonal.

### 3.2.4.7. Módulo de remate

Este elemento es la pieza que irá entre los módulos esquina y cierre lateral, logrando así una pared o división firme y sólida. Como parte del muro divisorio, juega un papel importante dándole firmeza, estabilidad y detallando el elemento para evitar que queden huecos entre los módulos que conforman el muro. Dicho módulo se ilustra en la Figura 3.30 y Lámina No. 7 del Anexo.

Como se puede apreciar en la Figura 3.31, la pieza es sólida, pero por sus medidas, el tamaño y el peso es mínimo.

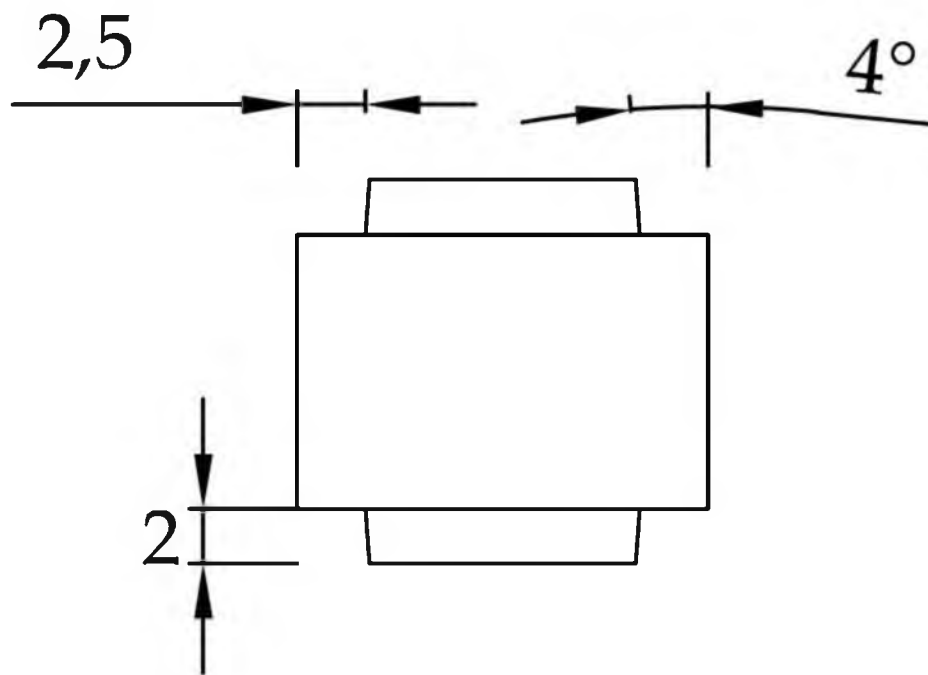


Figura 3.30. Módulo de remate, vista frontal.

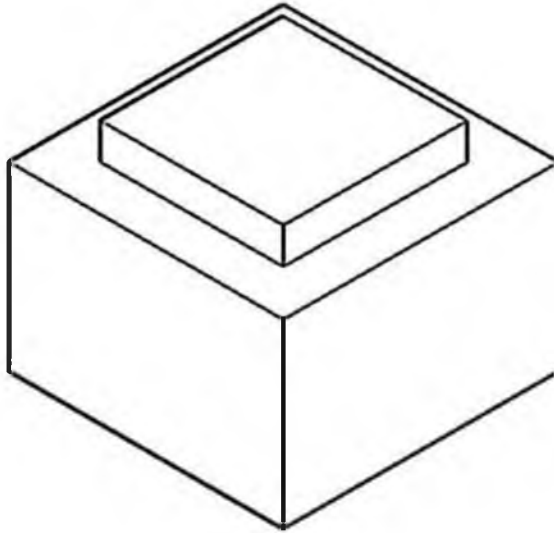


Figura 3.31. Módulo de remate para las piezas de cierre y cambio de dirección, vista ortogonal.

En la Figura 3.32, se muestra un ejemplo de ensamble de las piezas base, cierre y de remate, el cual solo genera paredes unilaterales, creando espacios sencillos.

En el ejemplo de la Figura 3.33 se puede observar el ensamble de los módulos base, cambio de dirección y de remate, con estos elementos se puede construir una pared bilateral o generar opciones de construcción de acuerdo con las necesidades del usuario.

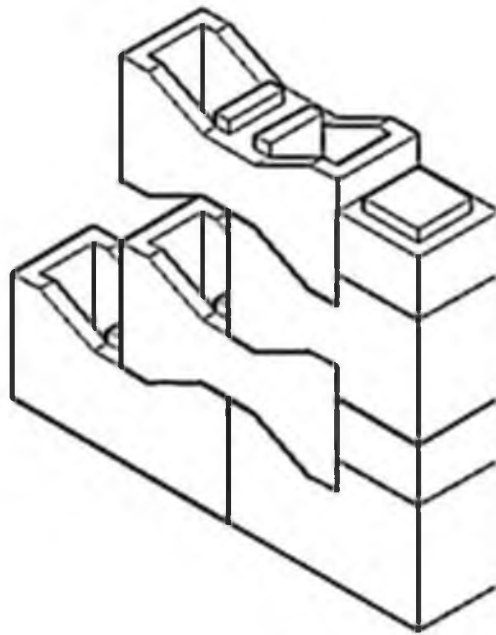


Figura 3.32. Uso de las piezas base, cierre y calce, en la construcción de un muro unilateral.

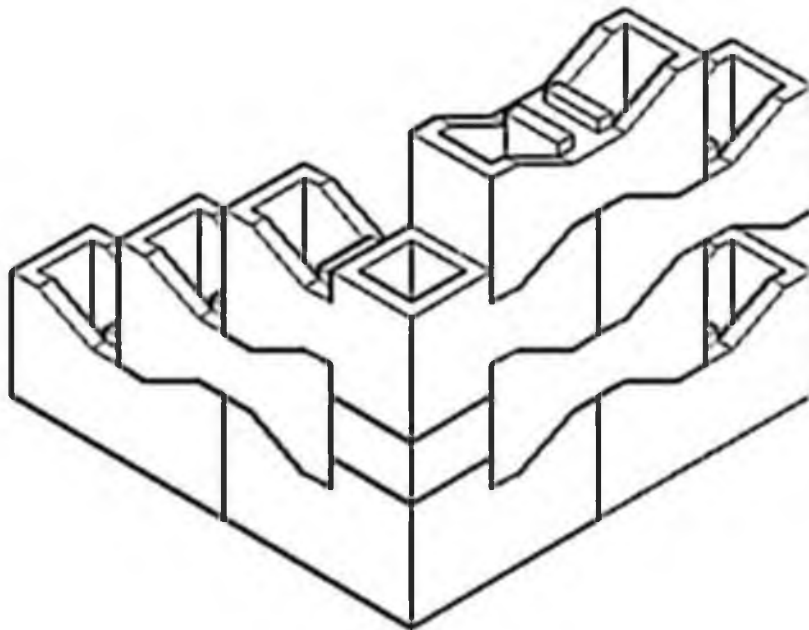


Figura 3.33. Uso de las piezas base, cambio de dirección y de remate en la construcción de muros.

## Capítulo 4    Diseño del molde para módulo prototipo

En el capítulo anterior se explicó el desarrollo de 4 propuestas de tipos de módulo. La última propuesta consta de siete tipos diferentes de módulos. En este capítulo se explica el diseño del molde que se empleó para poder obtener 2 tipos de bloque (módulo) prototipo es decir el módulo de término base y el módulo moño los cuales se ven en la Figura 3.23. Y en el siguiente capítulo se explica la realización de los 2 módulos prototipo en escala 1:1 empleando el material estudiado.

Inicialmente se planeó el molde considerando las dimensiones del módulo prototipo. El trazo del diseño del molde se llevó a cabo en el software AutoCAD y posteriormente se editó la imagen en programa sketchbook. Posterior al diseño, se procedió a la elaboración del molde prototipo empleando como material madera y triplay. En la Figura 4.1, 4.2 y 4.3 se muestra el isométrico de dicho molde, la vista superior del molde y las partes que lo conforman, respectivamente.

Cabe hacer mención que las medidas generales del molde son 40.32x15.32x20.16 (largo, ancho, alto, respectivamente); el molde está constituido por un cajón y la pieza base que da la forma del módulo. El cajón consta de cuatro piezas separadas, las cuales se unen por medio de tornillos, para dar la forma rectangular al módulo, y la pieza base consta de dos bloques de madera unidos por medio de tornillos.

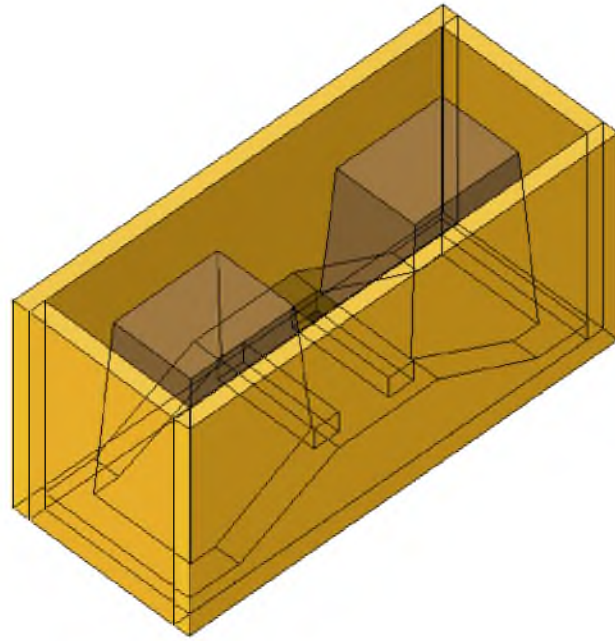


Figura 4.1. Vista en isométrico, molde completo.

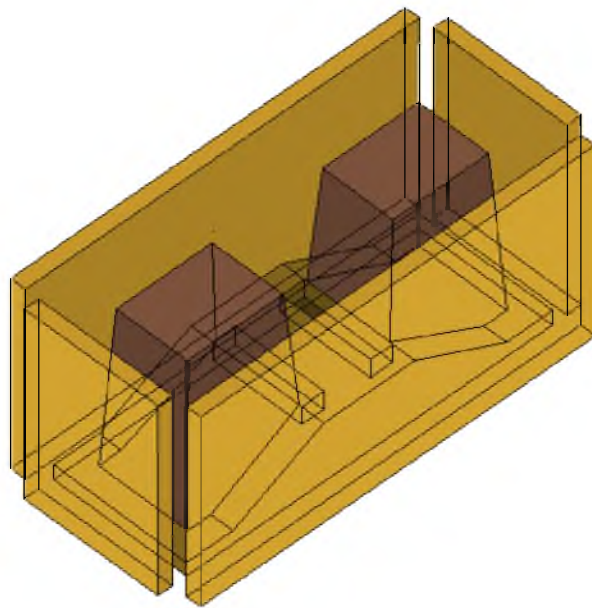


Figura 4.2. Vista en isométrico del molde y sus componentes.

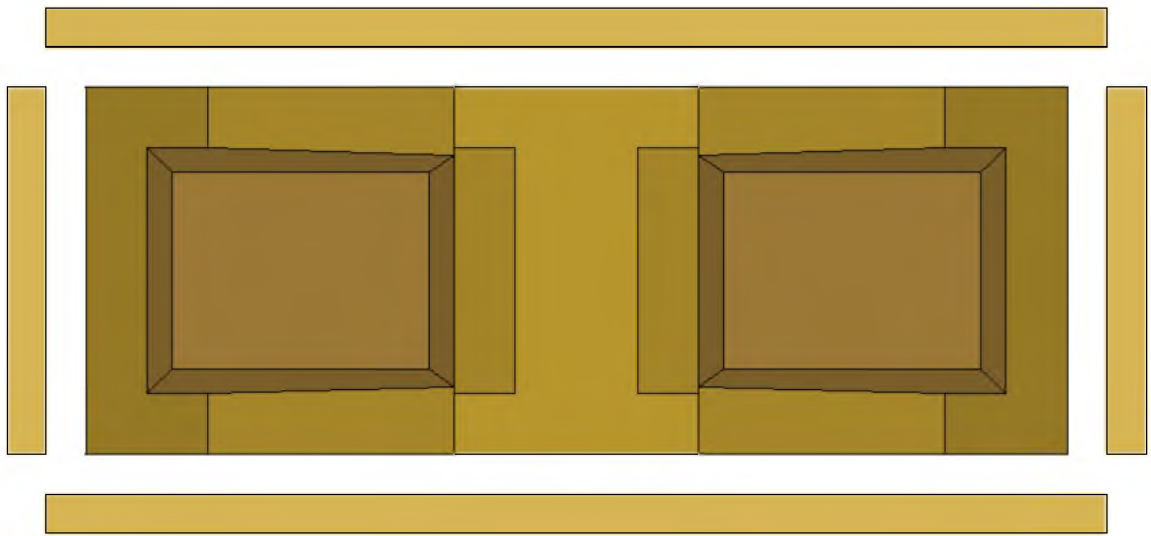


Figura 4.3 Vista superior del molde y sus distintas partes.

La pieza principal (base) que se ilustra en la Figura 4.4, muestra los componentes realizados con materiales diferentes, como se puede apreciar en la diferencia de color, los bloques (color oscuro) son de madera de roble y la base en donde están asentados dichos bloques (color claro) son de triplay de pino, al igual que las piezas del cajón.

En la Figura 4.5 se observa con mayor detalle las partes que en conjunto forman la pieza base. En la parte superior deben ir incrustados los tornillos para unir ambas piezas. Esta pieza base se realizó por duplicado para poder elaborar el molde de la pieza módulo moño, empleando el mismo cajón para las paredes.

Los cortes de la madera y del triplay para la realización de los moldes se llevaron a cabo con el equipo siguiente, la sierra circular, canteadora y sierra de inglete. La parte interna del molde fue cubierta con resina para evitar el deterioro del molde por las condiciones climáticas y por la humedad del material compuesto.

En la Figura 4.6 se ilustra físicamente el molde que se elaboró para la pieza con forma de moño.

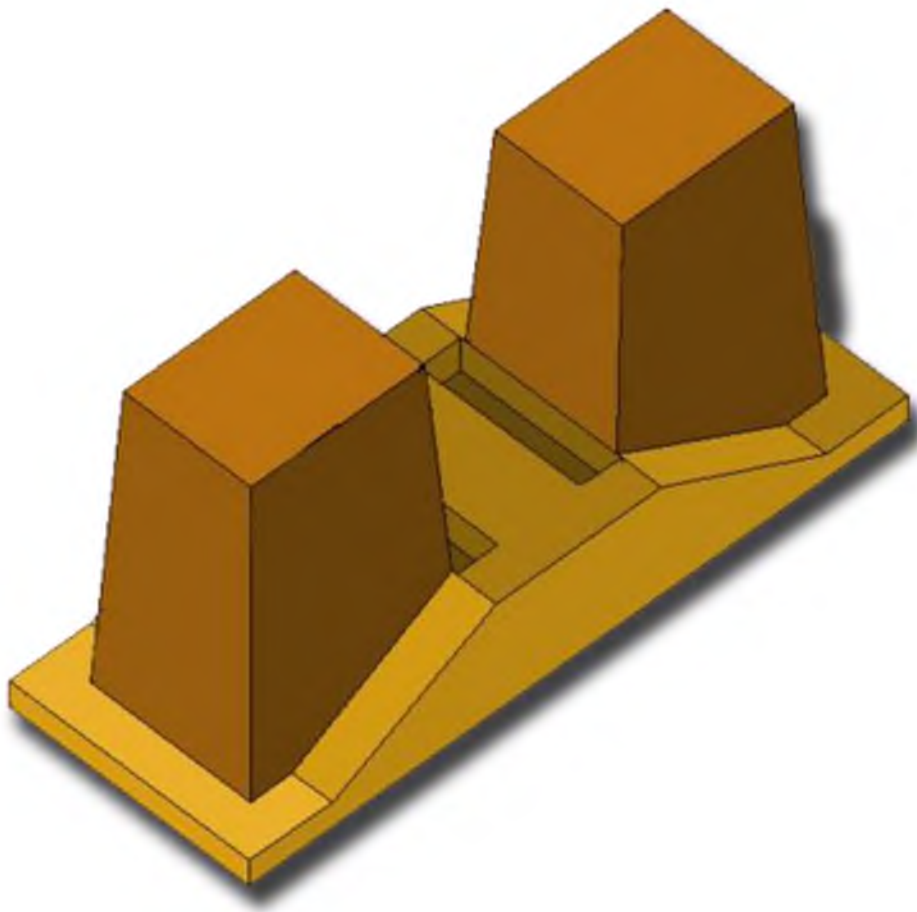


Figura 4.4 Pieza base que da, la forma al modelo de prueba.

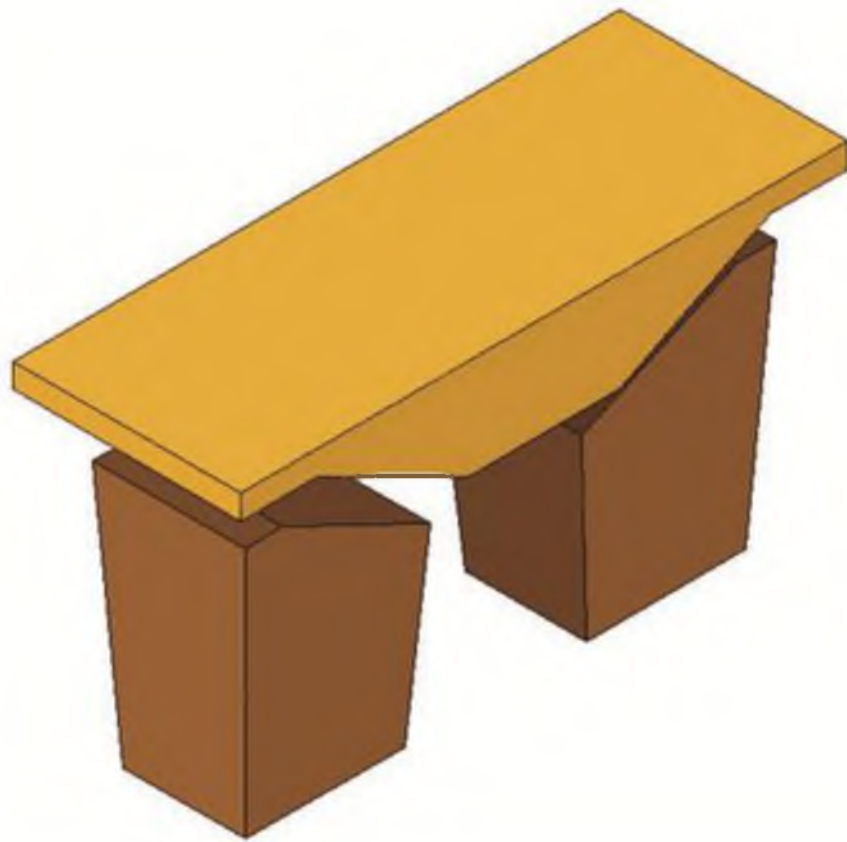


Figura 4.5. Piezas separadas, los dos bloques que generan los orificios del bloque son piezas unidas a la base principal.



Figura 4.6. Fotografía del molde, tomada en el laboratorio de la Universidad.

## Capítulo 5 Elaboración de módulo prototipo

Los módulos prototipo se elaboraron empleando el molde que se describe en el capítulo 4. La mezcla empleada en la realización del molde es la que tiene relación cemento/plástico 0.3903 la cual resulto con una resistencia a la compresión 10 MPa y una densidad de 1.82 gr/cm<sup>3</sup> El plástico que se empleó como agregado fue polietileno.

Se procedió a realizar la mezcla como se describe en el capítulo 2, sección 2.1.1. Previamente el molde fue cubierto con un desmoldante.

La mezcla del material compuesto se vertió en el molde previamente recubierto con un desmoldante. Una vez vaciado se dejó reposar, mientras fraguaba el material compuesto (cemento-plástico), para poder desmoldar la pieza. En la Figura 5.1 se puede apreciar el vaciado del módulo de término base, en donde se observa la mezcla en la parte superior (correspondiente a la base del molde).



Figura 5.1. Vaciado del módulo de cerramiento base.



Figura 5.2. Módulo de cerramiento base en molde al inicio del proceso de desmolde (Vista Superior).

El proceso de desmolde inicio primeramente en voltear el molde previo al vaciado. Para que la base del módulo quedara en dirección al piso. Posteriormente se quitó la pieza que corresponde a la tapa del molde (Ver Figura 5.2). En la Figura, se muestra la vista

superior del módulo de término base prototipo y de la tapa que contiene los bloques de madera para generar las 2 secciones huecas del módulo.

Como último paso en el proceso del desmolde se procedió a quitar las tapas laterales del molde (las piezas que conforman lo que denominamos cajón). Después de este procedimiento podemos observar la fotografía del módulo de término en base prototipo (Figura 5.3). La pieza o módulo de término en base fue posteriormente hidratada durante 28 días, recordando que la resistencia máxima del material compuesto (cemento-plástico) se alcanza después de un tiempo de hidratación de 28 días.



Figura 5.3. Módulo de término en base prototipo.

El proceso para la elaboración de la pieza prototipo se repitió para ver que el proceso de desmolde tenga respetabilidad, además de ver la propuesta de ensamble de tres bloques o módulos (2 módulos de cerramiento base y 1 módulo moño), dicha propuesta se describe más adelante. En la Figura 5.4 podemos observar 2 bloques de término base, a la derecha de la figura se observa el modulo en el molde y en el lado izquierdo de la figura se aprecia el módulo previamente desmoldado.

Se aprecia (ver Figura 5.4) que el molde no tuvo cambios dimensionales debido a la resina puesta en el interior para evitar la adherencia de la mezcla del módulo a las paredes del molde, además de evitar la absorción de la humedad en el molde de la pieza.



Figura 5.4 Módulo de término en base prototipo en proceso de desmolde.

Posteriormente se realizó la elaboración del módulo moño con la finalidad de lograr el ensamble (amarre) entre los dos módulos elaborados previamente.

El proceso de elaboración para esta pieza resulto ser más complejo debido a la geometría de la pieza. En la Figura 5.5 podemos ver el vaciado de la mezcla para la elaboración del módulo, se puede apreciar que el vaciado de la pieza se realizó por una cara lateral de la pieza. El molde fue cubierto completamente con la mezcla, y para evitar la separación de las paredes del molde se empleó una prensa para sujetar las piezas laterales del molde como se observa en la Figura 5.6.

Al igual que en el diseño del módulo término en base, se inició el desmolde con la primera pieza base correspondiente al módulo moño, a las 24 horas se retiraron las piezas que corresponden al cajón (ver Figura 5.7) y finalmente se desmolde la segunda pieza base.



Figura 5.5. Vaciado del módulo moño.



Figura 5.6. Molde asegurado con prensa.



Figura 5.7. Segunda pieza base del módulo moño.

El módulo moño funciona como pieza clave del ensamble de los dos módulos de término en base, lo cual se puede observar en la Figura 5.8 y Figura 5.9. Se estima que este tipo de ensamble genere la unión de bloques y la propuesta es que no se emplee algún tipo de adhesivo o mortero para su colocación.

Finalmente se muestra un ejemplo de uso en un espacio arquitectónico. Con el diseño de estos módulos se logra una construcción limpia que no requiere de ningún tipo de adhesivo ni que se tenga que romper la construcción en la que se anida el muro. Este simplemente se amarra al piso con tornillos para fijar y sobreponer cada módulo obteniendo una pared que genera divisiones y oportunidad de personalizar y aprovechar cada espacio. Inicialmente se propuso como muro divisorio de estilo brutalista, sin embargo puede ser empleado en cualquier otro estilo, utilizando otros materiales de recubrimiento que eliminen las posibles imperfecciones del módulo. (Ver Figura 5.10.)



Figura 5.8. Fotografía de los prototipos módulo moño y de término base.



Figura 5.9. Piezas de amarre, sobrepuesta en las piezas base.



Figura 5.10. Fotomontaje, un ejemplo de uso de los módulos en un espacio interior.

## Conclusiones

Por sus propiedades y los resultados generados en las pruebas de resistencia y microscopia, el material compuesto cemento-plástico, resultó ser una alternativa más para el desarrollo de bloques, sin embargo este compuesto aún puede ser mejorado sustituyendo el agregado arena por algún aditivo que mejore la adherencia entre los componentes haciéndolo más rígido y que ayude a reducir considerablemente el peso del módulo.

Respecto al módulo se lograron desmoldar con éxito 3 piezas, corroborando que estos si son ensamblables entre sí, por lo tanto son funcionales, estables por su geometría autoalineable, versátiles por el cambio de dirección en x-y-z, pudiendo generar espacios sin ningún problema tanto para una casa como para la oficina, y estético en términos del estilo Brutalista. Ahora bien, los módulos de término en superficie, deberán ser modificados quedando sólo la mitad de su volumen para disminuir la carga que se encontrará en la parte superior del muro divisorio.

En cuanto al molde, esté a pesar de estar creado con madera y triplay fue lo suficientemente resistente para lograr su reutilización hasta 3 veces. Como es un material noble, barato y fácil de conseguir fue sencillo trabajar y generar sus componentes. El molde puede ser mejorado si se consiguen materiales más resistentes a la humedad, que proporcionen mayor facilidad de desmolde y sobre todo que facilite la manufactura a gran escala.

En general, tanto el material como el módulo lograron cubrir las características que se requerían en nuestro estudio, sin embargo el módulo puede ser rediseñado, hasta obtener mejoras en la geometría y generar la alternativa más óptima para la generación de muros divisorios sin adhesivos.

## *Referencias Bibliográficas*

- [1] Berretta Horacio, Arguello Ricardo, Gatani Mariana, Gaggino Rosana, Nuevos materiales para la construcción: Los plásticos reciclados, proyecto del Centro Experimental de la Vivienda Económica (CEVE) e Instituto de investigación del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la República argentina (CONICET), 2004, Córdoba Capital, República Argentina, pagina web: [www.ceve.org.ar](http://www.ceve.org.ar)
- [2] Sawyers, John. Method for recycling plastic into cementitious building products, USA Patent 5, 422, 051, 6 de junio de 1995.
- [3] Ladrillos de plástico reciclado, una propuesta ecológica para la vivienda social, 2° ed, Horacio Berreta.
- [4] Hornbostel, Caleb. Materiales para construcción, tipos, usos y aplicaciones, Ed. Limusa Wiley, Grupo Noriega editores, Balderas 95, México, D.F. cp. 06040, pp. 249 a 255, 763 a 764, 770 a 771.
- [5] Callister, W.D. "introducción a la ciencia e ingeniería de materiales" Ed. Reverte, p.514-515, Barcelona 2003
- [6] Lokensgard, Industria del Plástico. Plástico Industrial, 1er edición, P.p. 600, Madrid, 1999
- [7] Moderns Plastics Magazine (editor), Plastics Handbook, Mcgraw-Hill, EUA, 1994.
- [8] Diario La Nación, Productos desechados de plástico y PET se convierten en placas, bloques y viguetas, Artículo publicado en Buenos Aires, República Argentina, el 30 de junio de 2002

[9] **GAGGINO** Rosana. “Un nuevo desafío: construir con materiales reciclados” *Revista Vivienda Popular*. Montevideo, Uruguay. Ed. Facultad de Arquitectura de la Universidad de la República. 2004. N° 14, pp. 59 a 62.

[10] Gaggino Rosana, Nueva tecnología constructiva usando materiales reciclados para casos de emergencia habitacional, boletín del Instituto de la vivienda, mayo 2003, año/vol. 18, número 047, Universidad de Chile, Santiago Chile, pp. 122-134.

[11] <http://definicion.de/modulo/>

[12] **BERRETTA** Horacio, **ARGUELLO** Ricardo, **GATANI** Mariana, **GAGGINO** Rosana. “Nuevos materiales para la construcción: los plásticos reciclados”. En: *Seminario Iberoamericano de Tecnología de Materiales. Subprograma VIII* Ed. CYTED. La Habana, Cuba. 2005.

[13] [http://www.isospanplus.co.uk/index.php?option=com\\_content&view=article&id=69&Itemid=58&lang=es](http://www.isospanplus.co.uk/index.php?option=com_content&view=article&id=69&Itemid=58&lang=es)

[14] <http://www.asocem.org.pe/web/actual/neumaticos.pdf>

[15] *Materiales y Procedimientos Constructivos*. Universidad De La Salle. México: Diana.

## *Anexo I*

Durante el proceso de diseño se tomaron en cuenta diferentes características a evaluar, requeridas para la generación del módulo, citadas a continuación:

- ❑ Versatilidad: Estas son las funciones que el objeto pueda cumplir.
- ❑ Resistencia: La resistencia a la compresión que anteriormente se demostró.
- ❑ Ligereza: El peso adecuado para que sea manejable por una persona.
- ❑ Ensamble: Piezas montables como el lego y sin usar adhesivos
- ❑ Estético: Módulos estéticos, que puedan ocuparse al natural

De acuerdo al proceso del diseño, se creó un esquema más elaborado, que incluyen las características y propiedades físicas del módulo (Ver figura A-1) que posteriormente se explican:

**Tecnológico.** Aquí se evaluó el tipo de material con el que se realizó el módulo. Al material alternativo cemento-plástico, se le realizaron pruebas de resistencia a la compresión, el cual está comprobado; el material es ligero y es buen aislante acústico y térmico.

**Funcional.** En este punto entra lo que es la versatilidad del módulo. Se mencionan algunas de sus aplicaciones de acuerdo al contexto en que se manejará dicho elemento. El ensamble es fundamental, el que las piezas se monten sin adhesivos y sean autoalineable genera la facilidad de crear una construcción y el objetivo se cumple.

**Estético.** Generar un estilo de diseño en el cual nuestro objeto encaje es fundamental. De acuerdo con el material el estilo seleccionado es el Brutalismo ya que este maneja los elementos constructivos en textura y color natural del material. Por lo tanto el material ha sido creado para usarlo en su color y texturas originales.

Comercial. Aquí se busca que el usuario pueda controlar su propia construcción sin generar gastos extras por mano de obra especializada, para lo cual el elemento debe permitir que la edificación sea fácil, rápida, limpia y sencilla.

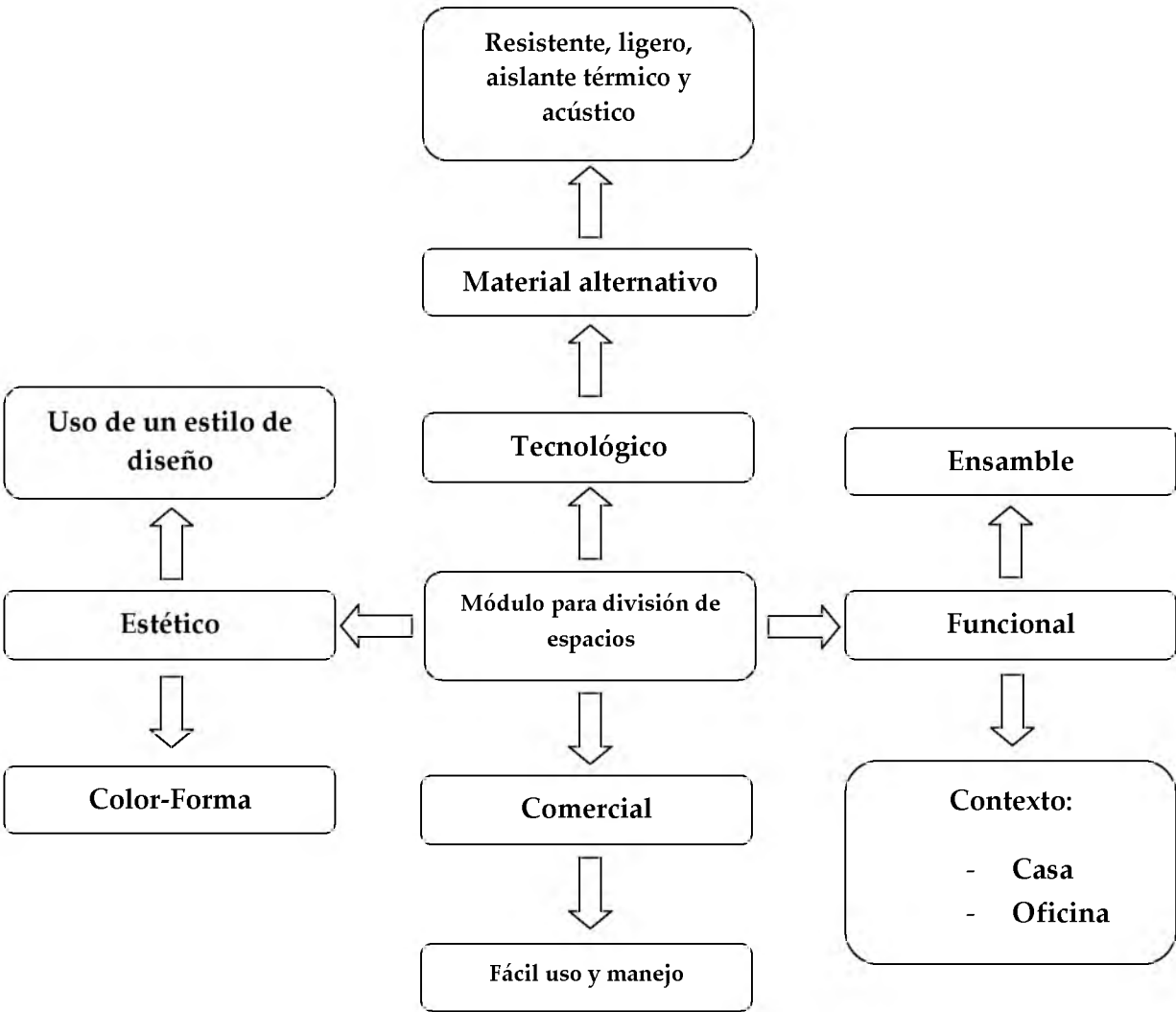


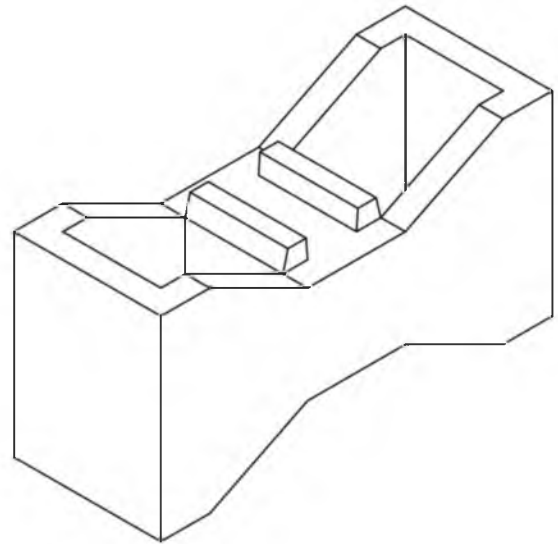
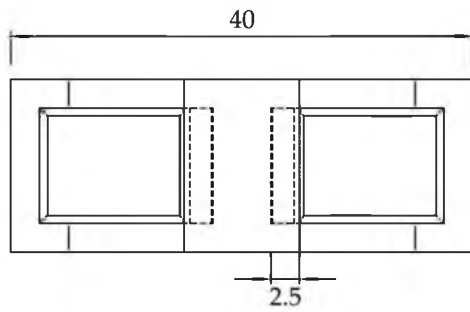
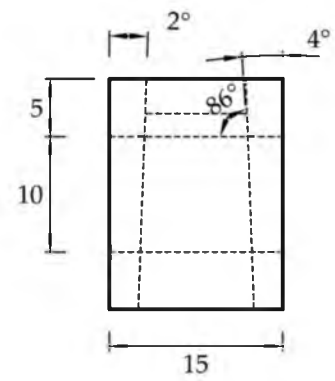
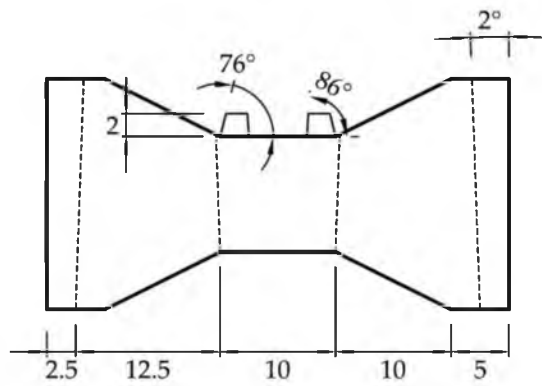
Figura A-1. Esquema de las necesidades que debe cubrir el módulo.

Tomando en cuenta las características ya mencionadas, se procedió a esbozar el módulo experimentando a partir de geometrías regulares, las cuales fueron generadas de elementos similares (ver Figura A-2) que fueron tomadas como ejemplos para la creación de propuestas que pulieran la idea hasta llegar al diseño final.



Figura A-2. Izquierda: Bloques Bramstone. Derecha: Vallas de hormigón por el diseñador Sergej Kuckir.

# *Anexo 2*



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

ESCALA: S/ESC

COTAS: CM

LUGAR: LOMA BONITA

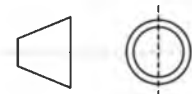
NO. DE LAMINA

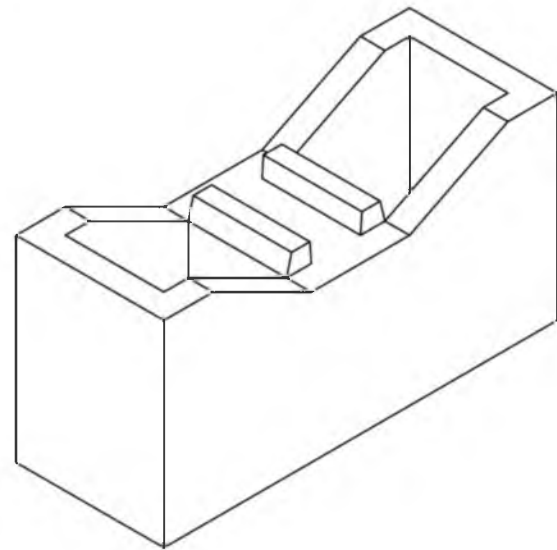
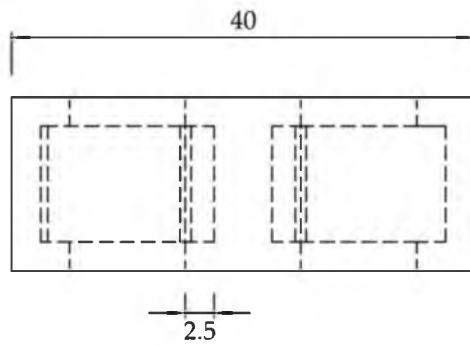
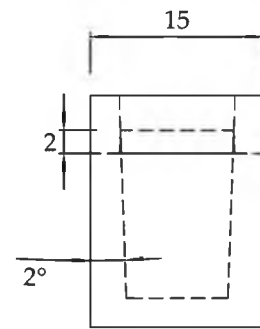
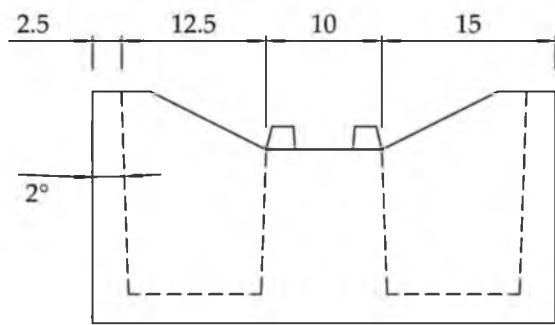
ADRIANA DE LA LUZ MÁAS DÍAZ

SISTEMA

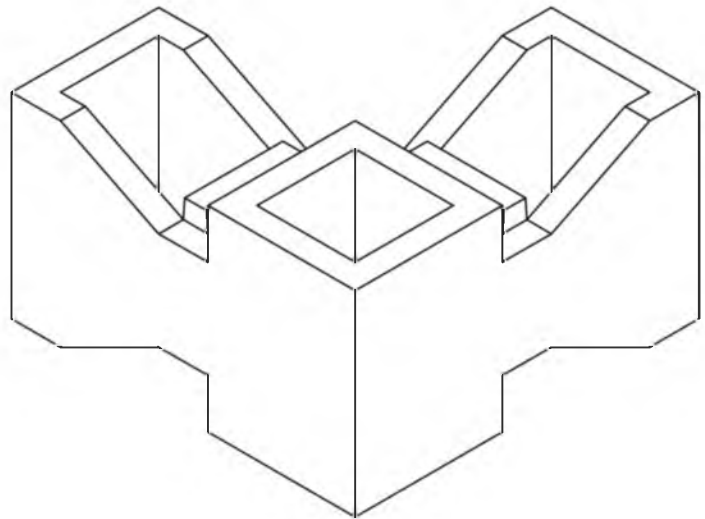
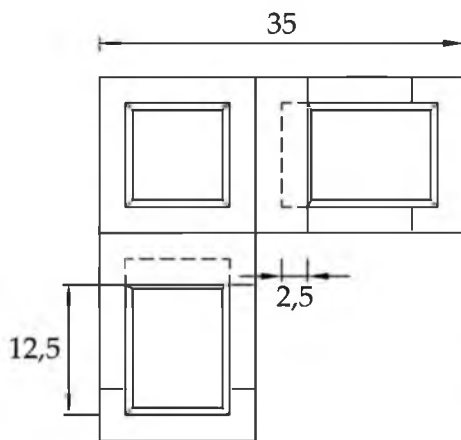
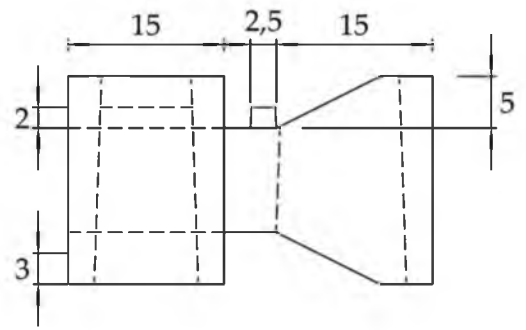
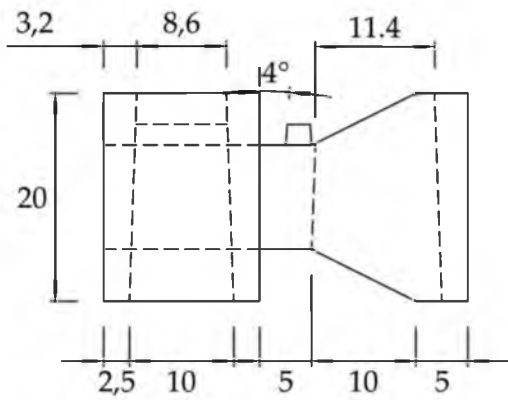
1

MODULO MOÑO

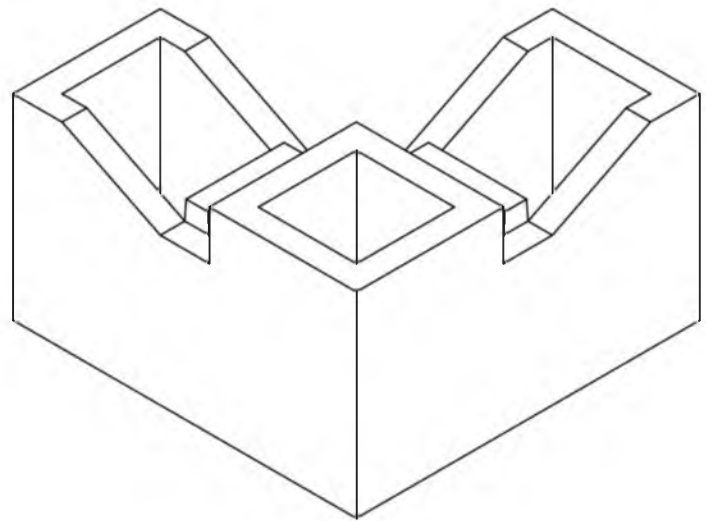
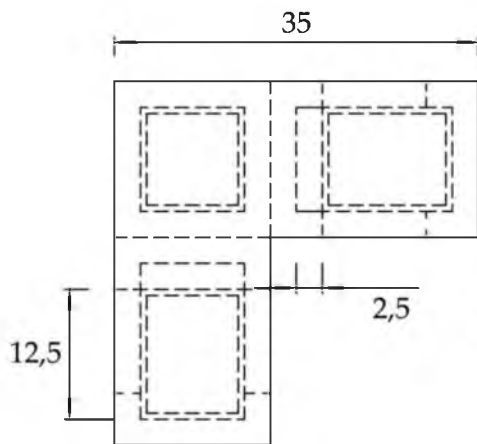
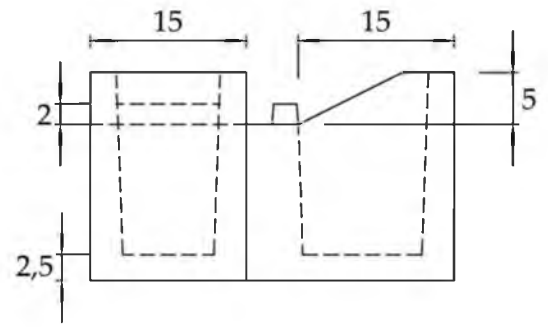
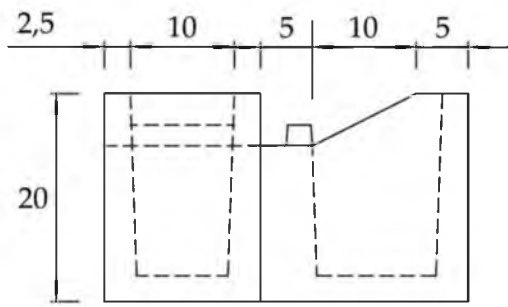




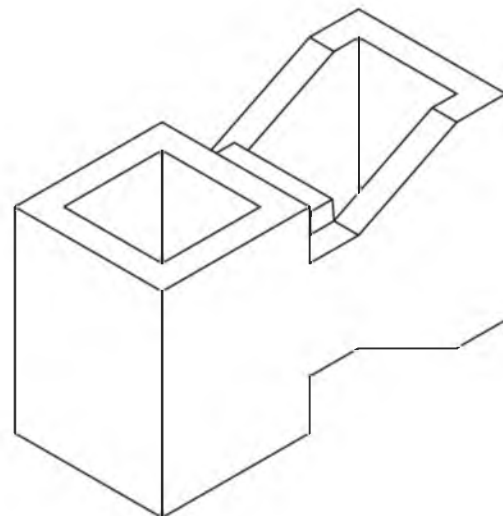
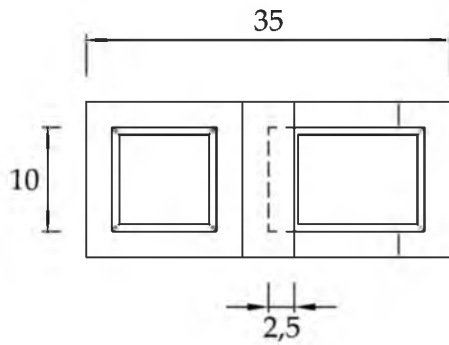
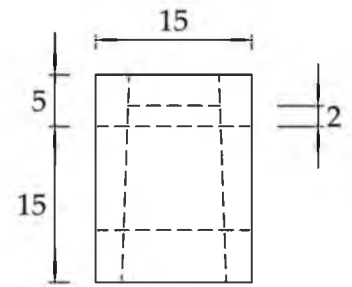
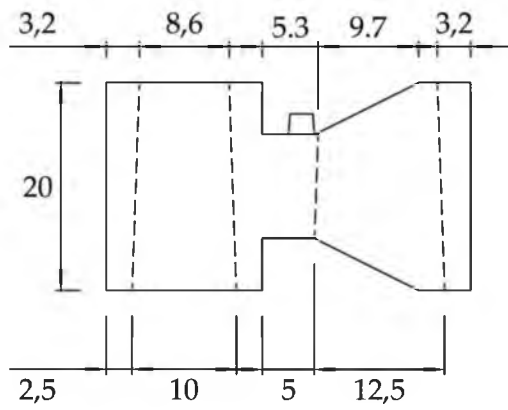
UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN		
ESCALA: S/ESC	COTAS: CM	LUGAR: LOMA BONITA
NO. DE LAMINA	ADRIANA DE LA LUZ MÁAS DÍAZ	SISTEMA
2	<b>MODULO DE TERMINO EN BASE Y SUPERFICIE</b>	



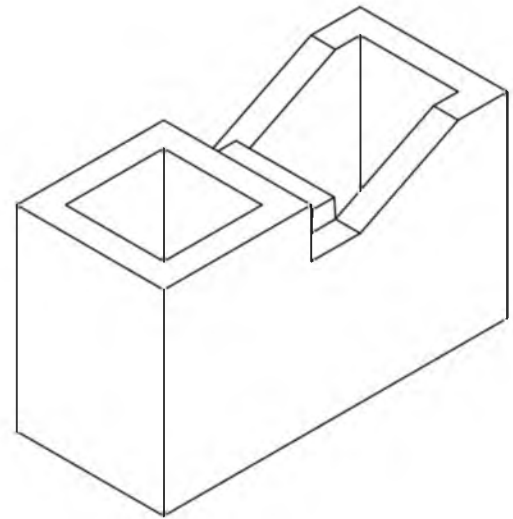
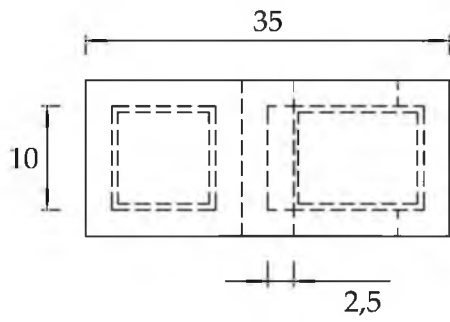
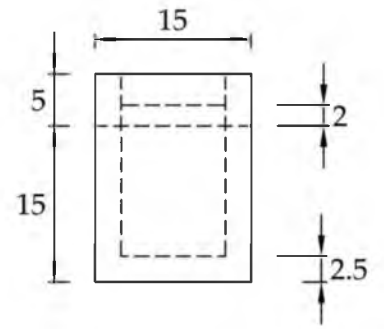
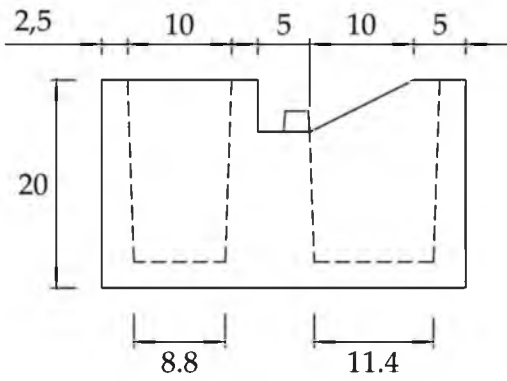
UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN		
ESCALA: S/ESC	COTAS: CM	LUGAR: LOMA BONITA
NO. DE LAMINA	ADRIANA DE LA LUZ MÁAS DÍAZ	SISTEMA
3	MODULO ESQUINA	



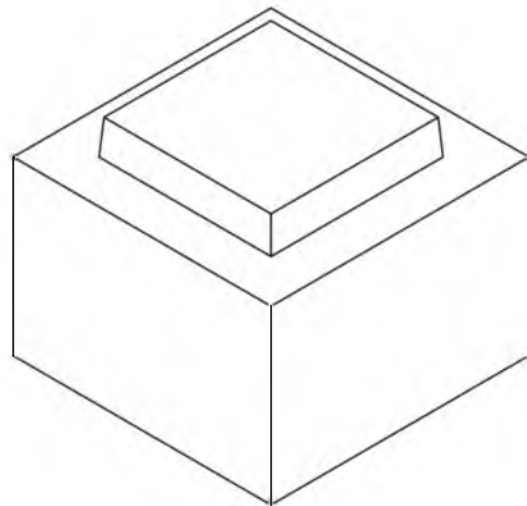
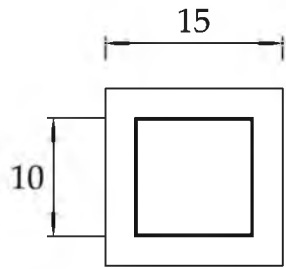
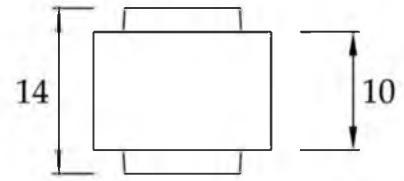
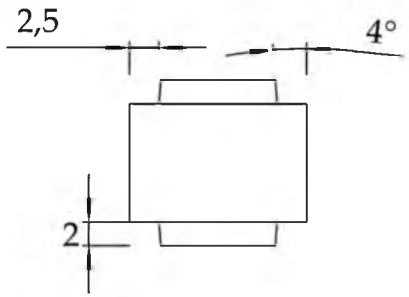
UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN		
ESCALA: S/ESC	COTAS: CM	LUGAR: LOMA BONITA
NO. DE LAMINA	ADRIANA DE LA LUZ MÁAS DÍAZ	SISTEMA
4	MODULO ESQUINA EN BASE Y SUPERFICIE	



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN		
ESCALA: S/ESC	COTAS: CM	LUGAR: LOMA BONITA
NO. DE LAMINA	ADRIANA DE LA LUZ MÁAS DÍAZ	SISTEMA
5	MODULO DE CIERRE LATERAL	



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN		
ESCALA: S/ESC	COTAS: CM	LUGAR: LOMA BONITA
NO. DE LAMINA	ADRIANA DE LA LUZ MÁAS DÍAZ	SISTEMA
6	MODULO DE CIERRE EN BASE Y SUPERFICIE	



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

ESCALA: S/ESC

COTAS: CM

LUGAR: LOMA BONITA

NO. DE LAMINA

ADRIANA DE LA LUZ MÁAS DÍAZ

SISTEMA

7

MODULO CALCE

