



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA  
ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS  
NATURALES NO RENOVABLES  
DIRECCIÓN



Instituto Superior Politécnico  
José Antonio Echeverría  
**cujae**

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

MAESTRÍA EN CONSTRUCCIÓN CIVIL Y DESARROLLO SUSTENTABLE

TÍTULO DE TESIS

**ELABORACIÓN DE PANELES LIGEROS A BASE DE BAGAZO DE  
CAÑA DE AZÚCAR AGLOMERADO CON CEMENTO PÓRTLAND**

AUTOR: Marco Antonio Cevallos Orbe

DIRECTORA: Ing. Mg.Sc. Emperatriz Isabel Bailón Abad

FECHA: Mayo del 2011

**LOJA - ECUADOR**

INGENIERA CIVIL Mg.Sc. EMPERATRIZ ISABEL BAILÓN ABAD, DOCENTE  
INVESTIGADORA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

CERTIFICA:

**Que el Ing. MARCO ANTONIO CEVALLOS ORBE, realizó la investigación de la Tesis de Maestría “ELABORACIÓN DE PANELES LIGEROS A BASE DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR AGLOMERADO CON CEMENTO PÓRTLAND” con mi dirección y asesoría; y, una vez cumplida su consolidación, sistematización y análisis de resultados, así como esclarecidas las observaciones e incorporadas la sugerencias, autorizo su presentación, por cumplir con los requisitos exigidos para estudios de cuarto nivel por parte de la Universidad Nacional de Loja.**

**Loja, abril de 2011**

**Ing. Mg.Sc. Emperatriz Isabel Bailón Abad**

AUTORIA:

**Las ideas y propuestas vertidas en la presente tesis de grado son responsabilidad exclusiva del autor.**

**Marco Antonio Cevallos Orbe**

## **AGRADECIMIENTO**

**Deseo expresar mi agradecimiento a todas las personas que de una u otra manera contribuyeron en la consecución de esta meta, de manera especial a:**

**A Dios, por todo lo que me ha permitido tener y por su presencia en todo momento.**

**A mis padres Birmania y Marco, por su ejemplo y contribución permanente en mi formación profesional y sobretodo personal.**

**A mi esposa Narcisa, por su paciencia, espera y cariño**

**A mis hijos: Marco Antonio, Pablo Daniel y María Alejandra, por el tiempo que les he quitado**

**A la Ing. Emperatriz Bailón Abad, por su dedicación y sus valiosos consejos**

**Al profesor Jorge Acevedo Catá, por su importante apoyo y orientación**

**A la universidad Nacional de Loja, específicamente al Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, por su acertada gestión y desarrollo del Programa de Maestría.**

**A todos los profesores y compañeros del Programa de Maestría por su meritoria contribución.**

## **DEDICATORIA**

**Con mucho cariño a mis padres, a mi esposa e hijos por todo lo que significan para mí.**

**A Patricia, por esa muestra de fortaleza y por enseñarme que todo es posible cuando se tiene fe.**

**Marco**

## INDICE DE CONTENIDOS

ITEM	DESCRIPCIÓN	Pág.
	<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
	<b>ABSTRACT</b>	<b>2</b>
	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>4</b>
1.	CAPITULO I: MARCO TEÓRICO	8
1.1.	<b>LA NECESIDAD DE VIVIENDA E INFRAESTRUCTURA</b>	<b>9</b>
1.1.1.	<b>EL PROBLEMA DE LA VIVIENDA AMÉRICA LATINA</b>	<b>11</b>
1.1.2.	<b>EL PROBLEMA DE LA VIVIENDA EN EL ECUADOR</b>	<b>12</b>
1.2.	<b>EL DESARROLLO SOSTENIBLE Y LA CONSTRUCCIÓN</b>	<b>13</b>
1.2.1.	<b>EVOLUCIÓN Y NUEVAS TENDENCIAS EN LA CONSTRUCCIÓN</b>	<b>14</b>
1.2.2.	<b>TECNOLOGÍAS Y MATERIALES APROPIADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS</b>	<b>16</b>
1.2.3.	<b>IMPORTANCIA DE LAS PAREDES O TABIQUERÍA EN UNA VIVIENDA Y LOS MATERIALES UTILIZADOS</b>	<b>17</b>
1.2.4.	<b>PAREDES DE PANELES DE FIBRO-CEMENTO</b>	<b>18</b>
1.3.	<b>MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRAS</b>	<b>20</b>
1.3.1.	<b>GENERALIDADES</b>	<b>20</b>
1.3.2.	<b>PROPIEDADES DE PANELES COMPUESTOS CON FIBRAS</b>	<b>21</b>
1.3.2.1.	<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>	<b>21</b>
1.3.2.2.	<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>	<b>22</b>
1.3.2.3.	<b>DURABILIDAD</b>	<b>23</b>
1.3.3.	<b>PANELES DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR CON MATRIZ DE CEMENTO PORTLAND</b>	<b>25</b>
1.3.3.1.	<b>MATRIZ</b>	<b>25</b>
1.3.3.2.	<b>REFUERZO</b>	<b>26</b>
1.3.3.4.	<b>ATAQUE ALCALINO A LAS FIBRAS</b>	<b>27</b>
1.3.3.5.	<b>MÓDULO DE ROTURA POR FLEXIÓN</b>	<b>27</b>

2.	CAPITULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	29
2.1.	<b>DISEÑO DE MEZCLAS</b>	<b>30</b>
2.1.1.	<b>CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES</b>	<b>30</b>
2.1.1.1.	<b>MATRIZ</b>	<b>30</b>
2.1.1.2.	<b>REFUERZO</b>	<b>31</b>
2.1.1.3.	<b>ATAQUE ALCALINO A LAS FIBRAS</b>	<b>32</b>
2.2.	<b>DISEÑO DEL EXPERIMENTO Y SELECCIÓN DE LAS VARIABLES Y RANGOS</b>	<b>32</b>
2.3.	<b>METODOLOGÍA PARA LA FABRICACIÓN DE LAS MEZCLAS</b>	<b>33</b>
2.4.	<b>DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES A EVALUAR Y LAS EDADES DE ENSAYO</b>	<b>34</b>
2.4.1.	<b>MÓDULO DE ROTURA POR FLEXIÓN</b>	<b>34</b>
2.4.2.	<b>PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS COMPUESTOS</b>	<b>38</b>
2.5.	<b>DURABILIDAD</b>	<b>39</b>
2.5.1.	<b>COEFICIENTE DE ABLANDAMIENTO</b>	<b>39</b>
2.6.	<b>EQUIPO REQUERIDO</b>	<b>40</b>
3.	CAPITULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
3.1.	<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>42</b>
3.1.1.	<b>MÓDULO DE ROTURA POR FLEXIÓN</b>	<b>42</b>
3.1.2.	<b>PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS COMPUESTOS</b>	<b>44</b>
3.1.3.	<b>DURABILIDAD DEL COMPUESTO</b>	<b>46</b>
3.2.	<b>ANÁLISIS DE COSTOS DE LOS PANELES FABRICADOS</b>	<b>47</b>
3.3.	<b>PROCESO DE FABRICACIÓN DE PANELES</b>	<b>50</b>
4.	CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
4.1.	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>54</b>
4.2.	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>55</b>
5.	CAPITULO V: BIBLIOGRAFÍA	56
6.	CAPITULO VI: ANEXOS	59
A.1.	<b>DESARROLLO DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO</b>	<b>60</b>
A.2.	<b>DIMENSIONES DE LOS ELEMENTOS ENSAYADOS</b>	<b>62</b>
A.3.	<b>CARGAS DE ROTURA DE LOS ELEMENTOS FABRICADOS</b>	<b>63</b>

<b>A.4.</b>	<b>COSTO UNITARIO DE FABRICACIÓN DE UN PANEL</b>	<b>64</b>
<b>A.5.</b>	<b>COSTO UNITARIO DE SOLUCIÓN DE PARED CON PANELES</b>	<b>65</b>
<b>6.1.</b>	<b>ANEXO FOTOGRÁFICO</b>	<b>66</b>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA  
ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS  
NATURALES NO RENOVABLES  
DIRECCIÓN



Instituto Superior Politécnico  
José Antonio Echeverría  
**cujae**



Armado y montaje de viviendas sistema Homi-2

---

# INTRODUCCIÓN

## **RESUMEN**

### **ELABORACIÓN DE PANELES LIGEROS A BASE DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR AGLOMERADO CON CEMENTO PÓRTLAND**

A partir del año 1900 en el que el ingeniero austriaco Ludwig Hatschek ideó el fibrocemento, varios han sido los intentos por introducir el uso de fibras como refuerzo en matrices frágiles como las que se obtienen con el cemento portland, la mayoría muy poco alentadores especialmente en lo que se refiere al tema de durabilidad; sin embargo de ello y con el transcurrir de los años, países como Cuba, Brasil y México han alcanzado logros significativos en la búsqueda de nuevos materiales para la construcción en los que incorporan el uso de fibras vegetales.

En la presente investigación se realiza un análisis del diseño de mezclas en el que se considera como variables, las relaciones agua – cemento (A/C) y fibra – cemento (F/C); y, su influencia en las características físicas y mecánicas de los elementos elaborados. Por otra parte y en razón de que la incompatibilidad física y química de la matriz con la fibra son los principales agentes de degradación de este tipo de materiales, se incorpora el uso del silicato de sodio como neutralizante de este fenómeno.

En consecuencia, la investigación permite corroborar que con un diseño adecuado de mezclas a base de cemento Pórtland y fibras de bagazo de caña de azúcar y empleando una tecnología alternativa de fabricación, se puede obtener un material durable y competitivo en el mercado, con propiedades físicas y mecánicas adecuadas para la fabricación de paneles ligeros para ser utilizados en la construcción de paredes en viviendas.

## ABSTRACT

### **ELABORATION OF LIGHT PANELS USING SUGAR CANE COMPOST AGGLOMERATE WITH PORTLAND CEMENT**

Since the year 1900 in which the Austrian Engineer Ludwig Hatschek discovered the fibrocement, There have been many attempts to introduce the fiber use like reinforcement in fragile casts similar to the ones that are obtained with the Portland cement, the majority of the results have been very little encouraging especially the ones concerning with the durability subject; nevertheless with passing of the years, countries like Cuba, Brazil and Mexico have reached significant profits in the search of new materials used for the construction in which they incorporate the vegetal fiber use.

In the present investigation an analysis of the design of mixtures is done in which it is considered like variables, the relations water - cement (A/C) and fiber - cement (F/C); and, its influence in the physical and mechanical characteristics of the elaborated material. On the other hand and regarding with the physical and chemical mutual incompatibility of the cast with the fiber as main agents of degradation of this type of materials, the use of sodium silicate is gotten up like a neutralizing of this phenomenon.

Consequently, this investigation allows corroborating that a durable and competitive material can be obtained with a suitable design of mixtures with Portland cement and sugar cane compost fibers as well as using an alternative technology of manufacture. The physical and mechanical properties adapted to it can be used to make light panels used in the construction of walls in houses.

## INTRODUCCIÓN

El uso de materiales de construcción tradicionales es muy acentuado en la fabricación de viviendas en Ecuador, lo que supone un alto consumo de energía, elevados costos de transporte y por consiguiente influye negativamente en la posibilidad de acceso a una vivienda propia especialmente en las familias de bajos ingresos económicos.

La solución a este difícil problema es muy compleja y debe ser enfrentado de manera sistémica, sin lugar a dudas los costos de materiales tradicionales para la fabricación de soluciones de pared juegan un papel decisivo a la hora de establecer el presupuesto para la construcción de la vivienda. En este contexto el uso de paneles para la construcción de paredes es una alternativa que tiene muy buena acogida tanto por su rapidez de instalación así como por la versatilidad con que pueden ser usados estos elementos.

Por otra parte, el uso de fibras vegetales como refuerzo en matrices a base de materiales cementicios, ha despertado gran interés principalmente en países desarrollados debido a su bajo costo, disponibilidad de materia prima, ahorro de energía en la producción y mínima afectación negativa a la naturaleza.

Australia es sin lugar a dudas el país pionero en la investigación de materiales cementicios reforzados con pulpa de celulosa (Coutts, 1986); a esta tarea se le suma Nueva Zelanda que fue el primer país en el mundo en introducir materiales de fibrocemento totalmente libres de amianto.

En la actualidad se estima que la producción mundial de materiales cementicios reforzados con fibras de celulosa y plástico bordea las 1.40 millones de toneladas al año (Rougxi, 1995); esta producción está localizada en su mayor parte en EE.UU., Europa, Oceanía, Asia y África del Sur.

Experiencias obtenidas en otros países como Brasil, México y Cuba, dan cuenta de los beneficios que conlleva el uso de las fibras orgánicas como refuerzo en un compuesto con una matriz de cemento portland en la elaboración de elementos de albañilería como son los paneles ligeros.

Por lo expresado anteriormente y tomando como referencia los resultados obtenidos en otros lugares, este trabajo pretende generar una propuesta para la fabricación artesanal de paneles ligeros a base de bagazo de caña de azúcar y cemento portland con la finalidad de usarlos como elementos de mampostería, sin descuidar las características técnicas y de control de calidad a las que se rigen los materiales tradicionales que se comercializan en nuestro medio.

Los objetivos y la hipótesis de la presente investigación son:

**Objetivo General:**

Demostrar que con las mezclas de cemento portland y fibras de bagazo de caña de azúcar, empleando una tecnología alternativa de fabricación, se puede elaborar un material durable y competitivo, con propiedades físicas y mecánicas adecuadas, para la fabricación de paneles ligeros a ser utilizados en la construcción de paredes en viviendas.

**Objetivos específicos:**

- 1) Determinar mediante un diseño experimental la dosificación óptima de cemento portland, bagazo de caña y agua, para que cumpla con las propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad, requeridas por los paneles usados para la construcción de paredes.
- 2) Diseñar una tecnología alternativa para la producción de paneles de forma competitiva.

- 3) Demostrar la viabilidad económica de la fabricación de los paneles a base de bagazo aglomerados con cemento portland.

### **Hipótesis:**

Esta investigación se fundamenta en la siguiente presunción:

*Con un diseño adecuado de mezclas a base de cemento portland y fibras de bagazo de caña de azúcar y empleando una tecnología alternativa de fabricación, se puede obtener un material durable y competitivo en el mercado, con propiedades físicas y mecánicas adecuadas para la fabricación de paneles ligeros para ser utilizados en la construcción de paredes en viviendas.*

Para su presentación, el documento que consolida la investigación se la organizó en los siguientes capítulos:

**INTRODUCCIÓN:** Se explica el sustento de la investigación, el objetivo general así como los objetivos específicos, hipótesis y estructura de presentación del documento.

**CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO:** Corresponde a la información secundaria del tema en estudio, se hace un análisis de la situación de la vivienda tanto a nivel de América Latina como a nivel local, se expone sobre las soluciones de pared comúnmente empleadas y se presenta todo lo relacionado con las características técnicas y propiedades de los materiales que se usan en el desarrollo del trabajo de investigación planteado.

**CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS:** Se describe la metodología empleada tanto para la confección de las probetas como para la ejecución de ensayos de laboratorio que permitieron establecer las propiedades mecánicas como de durabilidad del elemento en estudio.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN: En este capítulo se hace un análisis de los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio así como un estudio de costos por m<sup>2</sup> de solución de pared construida con los elementos elaborados, además se presenta un gráfico del proceso de fabricación de los paneles y finalmente se propone a manera de esquema una planta para la fabricación de estos elementos de manera artesanal.

CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO 5. BIBLIOGRAFÍA

CAPÍTULO 6. ANEXOS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA  
ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS  
NATURALES NO RENOVABLES  
DIRECCIÓN



Instituto Superior Politécnico  
José Antonio Echeverría  
**cujae**



Vivienda de paneles de bagazo de caña de azúcar en Cuba

# CAPITULO I

---

## MARCO TEORICO

## 1.1. LA NECESIDAD DE VIVIENDA E INFRAESTRUCTURA

El Informe Mundial publicado en 1996 por el Centro de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (Hábitat), señala que: más de 1.000 millones de personas en todo el mundo viven en condiciones inadecuadas, sin acceso a los servicios de: agua segura, electricidad, vías de comunicación, salud y educación de calidad; y de estos, unos 500 millones de habitantes urbanos carecen de vivienda digna y generalmente están alojados en condiciones precarias.

Para el Dr. Wally N'Dow, Director de Hábitat y Secretario General de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre los Asentamientos Humanos (Hábitat II – 1996), *"Los problemas mundiales más apremiantes con que nos enfrentamos en el presente siglo, desde el punto de vista ambiental, económico y social, se producen en las ciudades"*, además señala que: *"En la raíz de todos estos problemas está la carencia de hogar o las condiciones precarias de alojamiento. Las zonas urbanas disponen de recursos para resolver los problemas de alojamiento - las ciudades representan del 50 al 80% del producto nacional bruto en la mayor parte de los países en desarrollo - pero sus esfuerzos se ven entorpecidos por el despilfarro y una gestión deficiente de los recursos urbanos"*

El problema se agrava debido a que el alojamiento no se incrementa en proporción con el crecimiento poblacional, que a nivel mundial se duplicará, pasando de 2.400 millones en 1995 a 5.000 millones en el 2025. En la actualidad, la población urbana mundial aumenta 2,5 veces más rápidamente que la población rural. (N'Dow, 1996)

Por otra parte y pese a sus problemas, las ciudades siguen siendo el motor del desarrollo social, económico y medioambiental y proporcionan una mayor oportunidad para los pobres; según el mismo informe referenciado, los pobres de las zonas urbanas están de tres a diez veces mejor económicamente que los pobres rurales, lo que provoca una emigración del campo a la ciudad, vista como una alternativa de unidades de trabajo, educación y vivienda.

La escasez de soluciones habitacionales dignas y las condiciones deficientes de alojamiento son el resultado de una urbanización masiva y constituyen una amenaza para la vida así: una vivienda en malas condiciones, un abastecimiento de agua que no reúne las condiciones para el consumo y un saneamiento deficiente en ciudades densamente pobladas son la causa de que cada año se produzcan 10 millones de muertes en todo el mundo y constituyen un factor importante de riesgos ecológicos que se pueden prevenir y que causan un 25% de todas las muertes prematuras registradas a nivel mundial.

La carencia de vivienda y la precariedad de las condiciones de alojamiento son problemas que existen tanto en los países desarrollados como en los países en vías de desarrollo, pero este escenario es peor en estos últimos, en donde no solo se registra déficit habitacional cuantitativo sino que también es cualitativo, sumiendo a los pobres en otro tipo de problemas más graves como el de la salud.

La vivienda es la base a partir de la cual pueden lograrse otras ventajas, relacionadas con la posibilidad de disfrutar del derecho a la higiene ambiental y al nivel más alto de salud física y mental que sea posible alcanzar, concordando con lo que la Organización Mundial de la Salud señala, en el sentido de que la vivienda es el factor ambiental que más influencia tiene sobre las condiciones de enfermedad y el aumento de las tasas de mortalidad y morbilidad.

Bajo estas condiciones, es necesario el cumplimiento de compromisos internacionales como la Carta Internacional de Derechos Humanos y los Objetivos del Milenio, hoy más que nunca no solo desde el punto de vista económico, sino técnico y principalmente social, indispensable para que todos los grupos humanos puedan cumplir su derecho a una vivienda adecuada y segura, lo que inclusive generará la posibilidad de que las personas disfruten de otros derechos.

### **1.1.1 El problema de la vivienda América Latina**

La tenencia de una vivienda representa la principal inversión y el patrimonio más importante de las familias de ingresos medio y bajo; no obstante, gran parte de la región muestra fuerte déficit habitacional entre las familias de menores ingresos, lo que se expresa tanto en la carencia absoluta de vivienda (déficit cuantitativo) como en el uso de habitaciones de viviendas deterioradas, que no ofrecen los servicios básicos (déficit cualitativo).

En muchos de los países de la región se ha implantado desde hace varios años políticas estatales de vivienda encaminadas a solucionar los problemas deficitarios, en especial de las familias de estratos de ingreso más bajo; a manera de ilustración se cita como ejemplo a Colombia, Chile, Uruguay y Bolivia; así:

- En **Colombia** en el período 1990-94 se inició un nuevo Plan de Vivienda y en 1991 empezó a operar el Subsidio Familiar de Vivienda, consistente en la entrega de subsidios directos para aquellas familias de hasta cierto nivel de ingresos. Además, se desvinculó al Estado de la construcción directa de viviendas y se incorporó al sector privado en la línea de vivienda social.
- En **Chile** existe desde 1978 un sistema de subsidios a la demanda, que consiste en un aporte total o parcial que el Estado otorga sin cargo y por una sola vez a las familias de ingreso bajo y medio que no son propietarias, para que adquieran una vivienda
- En **Uruguay**, a partir del segundo semestre de 1993, se ha implementado una política habitacional basada en la entrega de subsidios (focalizada en las familias más pobres) y requisitos de ahorro previo.
- En **Bolivia**, no existe un sistema de subsidios habitacionales, ni requisitos de ahorro previo para viviendas de tipo social y el país ha adolecido tradicionalmente de falta de mecanismos de financiamiento para este tipo de viviendas. El sistema público de

financiamiento de la vivienda de interés social está compuesto por el Fondo Social de Emergencia (FSE), el Instituto de Vivienda Social (IVS) y el Fondo Nacional para la Vivienda Social (FONVIS)

A nivel de países latinoamericanos, Bolivia muestra el mayor déficit, tanto cuantitativo como cualitativo, con relación al resto de los países de la región. Así, de acuerdo con cifras de la CEPAL, en 1995 el déficit cuantitativo total (urbano y rural) asciende a 72,3 viviendas por cada 1.000 habitantes, en comparación con 48,7 para el promedio de la región. El déficit cualitativo en tanto, es equivalente a un 33,3% del stock de viviendas permanentes, en comparación con un 28,6% para el promedio de la región.

### **1.1.2. El problema de la vivienda en el Ecuador**

Ecuador, al igual que el resto de países de América Latina, en cuanto a la problemática de vivienda, presenta una de las situaciones más agobiantes que debe enfrentar; según el Plan Nacional de Desarrollo Social, Productivo y Ambiental del Ecuador (2007-2010), el País no cuenta con políticas, ni disposiciones, que regulen la organización, ordenación, administración de los asentamientos humanos y el hábitat.

Desde la Carta Política de 1929 no han faltado declaraciones constitucionales con las que se pretende salvaguardar a la familia, este concepto básico que el Estado debe protección y ayuda a la familia, se ha consolidado, al punto que se puede afirmar que es otra de las importantes conquistas del Derecho Constitucional consuetudinario; sin embargo de aquello, estas declaraciones no han dejado de ser simples enunciados que lejos de solucionar este grave problema únicamente han servido para hacer proselitismo político.

Según el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) el déficit habitacional en el Ecuador es de un millón doscientas mil soluciones habitacionales, dato que traducido a cifras económicas bordea los seis mil millones de dólares. El problema es complejo, ya que en él se conjugan varios aspectos de tipo: social, económico, cultural, legal, político, técnico y ambiental, que entre los más importantes se puede citar los siguientes:

- Limitadas políticas públicas, que impulsen la solución del problema habitacional, con énfasis en los sectores de baja economía.
- Escasez de suelo urbanizable, ya sea por ser un bien escaso y no reproducible o por el monopolio de unas pocas personas en la tenencia de la tierra.
- Baja capacidad económica de la población debido a las condiciones de intercambio injusto y principalmente al desempleo y subempleo.
- Desconocimiento y mínima investigación sobre materiales y sistemas constructivos alternativos que permitan abaratar costos.

## **1.2. EL DESARROLLO SOSTENIBLE Y LA CONSTRUCCIÓN**

Continuamente y cada vez con más frecuencia se escuchan expresiones que denuncian las atrocidades que está cometiendo el hombre contra la naturaleza; la construcción, como una actividad netamente humana no está exenta de este problema.

El Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente (PNUMA) y el Fondo Mundial para la naturaleza (WWF) definen al desarrollo sostenible como “ *el mejorar la calidad de la vida humana sin rebasar la capacidad de carga de los ecosistemas que la sustentan*”; Rubén Bancrofft (1998) señala “ *Las sociedades industrializadas del mundo han logrado su desarrollo sobre un modo de vida egoísta, segregacionista, consumista y despilfarrador que está llegando a su punto más peligroso y del que recién se están dando cuenta que hay que salir porque llevará a la destrucción de la humanidad*”

Con los patrones actuales usados en la construcción, se está muy lejos de aplicar este concepto de desarrollo, a pesar de la importancia de la construcción en la consecución del desarrollo sostenible, particularmente por su carácter dual, por un lado ofrece directamente medios para el desarrollo, expansión, mejoramiento y preservación de los asentamientos urbanos y por otro la construcción puede contribuir en alto grado al deterioro del medio ambiente por las perturbaciones físicas y la contaminación que produce.

Para procurar el desarrollo sostenible, la construcción debe trazarse dos objetivos básicos: sostener las fuentes de recursos materiales y detener la degradación ambiental.

### **1.2.1. Evolución y nuevas tendencias en la construcción**

Antes del siglo XVII el hombre disponía de un reducido número de materiales de construcción, así: como **aglomerantes** usaba la arcilla, el yeso, la cal y el asfalto natural; como materiales **estructurales** empleaba principalmente la madera y la piedra; estos materiales se caracterizan en general por un consumo energético relativamente bajo y por el uso de energía renovable.

En los años posteriores a la Segunda Guerra Mundial, en Europa se dio una enorme escasez de: viviendas, mano de obra especializada y materiales, lo que produjo un profundo cambio en el desarrollo de sistemas de construcción y los sistemas tradicionales fueron reemplazados por otros más económicos y de fácil disponibilidad. Una variedad de materiales no conocidos unidos a los preexistentes, impulsaron una serie de innovaciones en la forma de construir que es a lo que comúnmente se llama “sistema” (Bender 1976).

Aparece entonces una nueva generación y tecnología de construcción con materiales sintéticos y químicos, que combinados con los tradicionales proporcionan variadas propiedades a los sistemas constructivos: más ligeros, de fácil instalación y adaptables a las diferentes condiciones del medio (térmico, acústico, resistente al fuego). Estos materiales se han modificado para crear sistemas prefabricados compuestos, en donde todos sus componentes aportan ventajas en beneficio del resultado final del sistema.

Según Reid, (1980) la promoción de los nuevos materiales hizo una importante presión a favor del cambio, particularmente interesante en el momento en que los fabricantes trataban de encontrar aquellas peculiaridades más relevantes de su producto que lo hiciera más llamativo. Los materiales y sus modos de instalación, afrontaron en sus comienzos el rechazo de algunos usuarios debido principalmente a aspectos culturales; la necesidad de seguridad y estabilidad se materializaba en muros y elementos que se mostrasen sólidos y

macizos. Lo liviano, representado generalmente por madera, era considerado inversión de poca duración, dejando de lado todas las garantías y comodidades que pudiesen ofrecer los sistemas modernos de construcción.

Recientemente se han introducido gran cantidad de laminados en la construcción, el más conocido es el contrachapado de madera, también se utilizan placas de yeso, aglomerados y laminados plásticos y vinilos, esto con el objeto de acelerar el proceso constructivo, a estos nuevos materiales la mano de obra tradicional se ha adaptado rápidamente y casi sin problema.

La introducción de los plásticos como un nuevo material en la industria de la construcción constituye un muy buen ejemplo de la contribución de la industria química y refleja la forma en que pueden ser adaptados a la construcción tanto procesos, como materiales completamente nuevos.

Después de la presentación del PVC en 1936, no existe al momento casi ningún elemento tradicional empleado en la construcción que no tenga su copia en plástico. El uso del plástico no encuentra por lo general obstáculo de carácter legal, no obstante, existen algunas excepciones. La resistencia al fuego de los elementos estructurales, los problemas inherentes al humo y expansión de la llama, son factores que preocupan, así como sus resistencias a la corrosión y su variación dimensional con la temperatura. Sin embargo los constructores y usuarios están convencidos del valor de los plásticos y por consiguiente el papel de estos es cada vez mayor.

El impulso necesario para la incorporación de nuevas técnicas de construcción proviene básicamente de dos fuentes: el análisis de las construcciones tradicionales y las nuevas técnicas; sintetizando ambas, es decir el uso consecuente de tecnologías constructivas adecuadas, se obtiene una gama de posibilidades de construcción con procesos rápidos y de alta calidad que pueden ser aplicadas al medio.

### **1.2.2. Tecnologías y materiales apropiadas para la construcción de viviendas**

Con el paso del tiempo la forma de construir viviendas se ha ido modificando notoriamente, insertando tecnología a los quehaceres diarios de todo hogar. Durante la última década, los métodos de trabajo, las actividades de ocio y las formas de acceder a la información han cambiado dramáticamente, haciendo de la tecnología la principal herramienta de los seres humanos. A medida que la tecnología se ha ido incrementando, los seres humanos cambian los paradigmas procedimentales y de actuación, de hace unos años atrás. Estos cambios han modificado el concepto de la vivienda, lo que hasta ahora habían sido consideradas condiciones apropiadas, ha pasado en la actualidad a ser lo básico y fundamental.

Pese a lo acotado anteriormente, la construcción de viviendas no debería copiar ciegamente los estilos y características de otras realidades, sino planificar y diseñar las viviendas para que se acople a las costumbres y modo de ser de cada cultura; en otras palabras una tecnología adecuada debería basarse en cuatro principios claves: ser asequible, habitable, sostenible y adaptable.

En lo referente a los materiales no se puede generalizar la característica de apropiado, pues existe varios factores que determinan este calificativo, entre los principales se cita los siguientes:

- ¿El material se produce localmente?
- ¿Es barato, se encuentra en abundancia y/o es fácilmente renovable?
- ¿Su producción y uso requiere de un gran consumo de energía y causa desechos o contaminación?
- ¿El material o la técnica de construcción son aceptables climáticamente?
- ¿El material o la técnica de construcción proporcionan adecuada seguridad ante los peligros naturales comunes (sismos, huracanes)?
- ¿El material o la técnica de construcción pueden ser utilizados o entendidos por trabajadores locales o requiere especialización?

Todas las interrogantes planteadas anteriormente deben ser resueltas y analizadas antes de optar o decidirse por el uso de un determinado material, además el material elegido debe ser compatible con la tecnología adoptada para la construcción de viviendas.

### **1.2.3. Importancia de las paredes o tabiquería en una vivienda y los materiales utilizados**

A parte de brindar seguridad en una vivienda, las principales funciones de las paredes son las de aislar los elementos o factores ambientales no deseados como temperatura, polvo, ruido y viento.

Si se considera una vivienda promedio, las paredes representan alrededor del 15 % del costo de la solución habitacional, valor nada despreciable y que debe ser analizado al momento de escoger la solución más adecuada, especialmente por consideraciones económicas.

Tradicionalmente en la región andina los materiales más utilizados en la construcción de paredes han sido: tierra (adobe y tapial), madera, piedra, bloques de hormigón y ladrillos de arcilla cocida; con la evolución de los materiales y técnicas constructivas, actualmente tienen muy buena aceptación soluciones como el uso paneles aligerados, ferrocemento y algunas variantes o mezcla de ambos como por ejemplo el sistema Hormi2. La figura 1.1. ilustra lo señalado.



Pared de adobe



Pared de piedra



Pared de ladrillo cocido



Pared sistema Hormi2

**FIGURA 1.1. Diferentes tipos de paredes o tabiquería utilizada en Ecuador**

#### **1.2.4. Paredes de paneles de fibro-cemento**

El origen del fibrocemento se remonta al año 1900, año en el que el ingeniero austriaco Ludwig Hatschek ideó este material; es un material compuesto, constituido por una mezcla de cemento pórtland y fibras de amianto, empleado en la fabricación de placas ligeras y rígidas utilizadas en construcción. Las placas de fibrocemento son impermeables y fáciles de cortar y de perforar, es un material bastante económico, por lo que se utiliza en casi todo tipo de construcciones.

Las placas de fibrocemento se presentan lisas u onduladas en distintas longitudes, además se fabrican piezas especiales para la formación de cumbreras, faldones y otros remates. Se

colocan generalmente mediante ganchos de sujeción y tornillos especiales directamente sobre la estructura.

Varios estudios han demostrado que las fibras de amianto son perjudiciales para la salud, es un producto cancerígeno por esta razón desde los años sesenta se comenzó a suplir por otras no dañinas como las fibras de vidrio, sin embargo en países como Ecuador, aun se lo sigue utilizando.



**FIGURA 1.2. construcción de paredes de fibrocemento (fuente sitio web: [www. plycem.com](http://www.plycem.com))**

La construcción de paredes conformadas por paneles no portantes montados sobre una estructura o esqueleto de sostén, es una solución que tiene gran acogida, las principales razones son las siguientes:

- Rapidez de montaje y desmontaje
- Características térmicas y acústicas
- Bajo peso y adaptabilidad al diseño
- Fácil manejo y trabajabilidad.

### **1.3. MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRAS**

### 1.3.1. Generalidades

El uso de las fibras, como material de construcción, se remonta a la época en que el hombre abandona las cavernas y empieza a construir sus primeros albergues artificiales. Durante el imperio romano el arquitecto Marcus Vitruvius Pollio en su tratado de arquitectura, ya escribió sobre el uso de las fibras orgánicas para la fabricación del adobe.

Con el transcurrir de los siglos y conforme los sistemas constructivos fueron modernizándose, el empleo del cemento y su evolución para llegar al hormigón armado, desplazó la utilización de las fibras orgánicas hasta que prácticamente fueron olvidadas. Su retorno puede considerarse a partir de 1960, cuando Romualdi en los Estados Unidos realiza investigaciones con fibras cortas mezcladas en el hormigón.

A partir de entonces, la búsqueda de la reducción del costo de producción y mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas del hormigón armado, ha provocado el surgimiento de materiales alternativos, empleando fibras orgánicas e inorgánicas como refuerzo en matrices de hormigón; estos materiales compuestos debido a su rigidez y bajo peso, son soluciones muy atractivas desde el punto de vista estructural (Merrit 1999).

Landa (2002), define a los materiales compuestos como un sistema formado por más de una fase, en escala macroscópica, cuyas propiedades y comportamiento son superiores a las de los materiales que los componen cuando actúan independientemente. Actualmente, los más utilizados son los fabricados con **fibras sintéticas** a través de procesos químicos sofisticados, los más comunes son los compuestos de matrices: polimérica, cerámica o metálica, entre los tipos de refuerzo destacan: las fibras de vidrio, de cuarzo, de carbón, de grafito, mientras que entre las **fibras orgánicas** son las: aramídicas o de aramida, producidas comercialmente desde inicios de la década de los 70s por la empresa DuPont bajo la marca *Kevlar*, cuya baja densidad y alta resistencia, las hacen apropiadas en aplicaciones aeroespaciales, automotrices y protección balística, entre otros usos industriales.

Las investigaciones realizadas con el uso de fibras orgánicas no procesadas como el: sisal, coco, bambú o yute, han servido para determinar sus propiedades y posible uso en la construcción en al menos cuarenta países diferentes (Asís, Paramaswivan y Lee, 1988). Aunque los resultados obtenidos en estas investigaciones han sido alentadores, se han encontrado algunas deficiencias respecto de su durabilidad; estas deficiencias al parecer son

resultado de la reacción entre la alcalinidad de la pasta de cemento y las fibras, además del ataque de microorganismos en presencia de la humedad (Lewis y Mirihagalia, 1979).

### **1.3.2. Propiedades de paneles compuestos con fibras**

#### **1.3.2.1. Propiedades Mecánicas**

En cuanto a ensayos de resistencias a la compresión y tracción, Agopyan y Savastano Jr. (1997), en su trabajo a base de residuos fibrosos (2% con respecto al volumen) de coco, sisal, banano, pulpa de eucalipto, entre otros, con matriz de cemento: arena: 1: 1.5, relación agua/cemento 0.5 y 0.4, observaron que ambas propiedades tienden a ser mayores conforme la relación a/c es menor; y bajo las mismas condiciones pero conforme se incorporan fibras (4%) estas resistencias tienden a bajar. Por su parte, Tolêdo Filho (1997) en estudios basados en compuestos con fibras naturales permeables, aduce que las bajas resistencias mecánicas se deben al mayor volumen de vacíos.

Shao y Moras (2000), realizaron ensayos de resistencia a la flexión a 180 días en condiciones de laboratorio, a especímenes fabricados empleando fibras cortas de 1 hasta 2 mm de longitud provenientes de maderas duras y de 3.4 a 4.5 mm de longitud provenientes de maderas blandas, con tres contenidos diferentes de fibra para ambos casos (2, 4 y 8 % en peso). En la manufactura de los compuestos utilizó un proceso de extrusión. En los resultados obtenidos observaron que a mayor contenido de fibras, se obtienen mejores resultados; el mismo comportamiento se observó en ensayos con especímenes expuestos a cuatro ciclos de temperatura exterior, durante 5 meses, con variaciones de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+40^{\circ}\text{C}$ .

Los resultados de los ensayos llevados a cabo por Martirena (2001), con fibras continuas de yute, con una dosificación de 1 kg por metro cúbico de mezcla, demostraron que a medida que se aumentó el número de capas de tejido mejoraron las propiedades mecánicas del compuesto sometido a flexión, no así con los sometidos a tracción axial en donde el comportamiento es un poco caótico.

### **1.3.2.2. Propiedades Físicas**

Las propiedades físicas a considerar en un material compuesto se refieren principalmente a: masa específica, absorción del agua y porosidad; en este tema Savastano Jr. en su trabajo con cuatro tipos de fibras (*Pinus radiata*, sisal, banana y eucalipto), encontró que las tres propiedades a las que se hizo referencia, están íntimamente relacionadas, significando que a medida que la presencia de las fibras es mayor, disminuye la masa específica y aumentan la absorción y la porosidad. En ese mismo sentido Caldas (1997), en su trabajo con fibras residuales de eucalipto (*Eucalyptus grandis*) con matrices de escoria de altos hornos, yeso y cal hidratada (EGCH); y, de escoria de altos hornos activada con cemento Pórtland (ECP) encuentra también que la absorción del agua y la porosidad aumentan con la presencia de la fibra y contrario a la masa específica, y aduce que este comportamiento puede estar influenciado por varios factores entre los que destaca: una mayor fracción volumétrica del refuerzo, aumento de porosidad debido a la elevada relación a/c, presencia de poros en las fibras y la formación de canales debido a la presión negativa aplicada. Contrariamente, Shao y Moras (2000) descubren que la absorción del agua no está relacionada con la fracción volumétrica de la fibra en el compuesto, sino más bien a la porosidad de la matriz.

### **1.3.2.3. Durabilidad**

MacVicar, Matuana y Balatinecz (1999) encontraron que en compuestos de origen orgánico los principales agentes de degradación son las incompatibilidades química y física entre fibras y matrices, en la primera se da por dos circunstancias:

- 1.- La elevada alcalinidad del agua provoca porosidades en la matriz alrededor de la fibra en donde se acumula hidróxido de calcio que al aumentar la temperatura produce una sensible aceleración de la degradación
- 2.- Cuando la lignina y la hemicelulosa se descomponen debido al alto valor de pH en el agua, ocasiona debilitamiento en la adherencia con la matriz y transformando a la fibra en un material inerte dentro del compuesto.

Con respecto a la incompatibilidad física, esta se produce debido al exceso de agua en el refuerzo y a la falta de un elemento aglutinador entre la matriz y el refuerzo.

Los análisis de durabilidad comprenden estudios de envejecimiento natural y de envejecimiento acelerado. En el caso de Shao y Moras (2000), la durabilidad fue considerada basándose en los resultados de la resistencia a la flexión con muestras expuestas a condiciones naturales durante 5 meses. Este mismo parámetro fue utilizado por Castro y Naaman (1988) después de exponer los especímenes de prueba bajo 8 condiciones, entre las que destacan las condiciones controladas de laboratorio, inmersión en lechada de cal por 88 días y ciclos de temperatura de calor y congelación; estos diferentes ensayos mostraron que:

- Los ciclos de temperatura con variación de 2<sup>0</sup> a 75<sup>0</sup> C y HR controlada de 95% provocaron una caída en la resistencia a la flexión.
- Los especímenes expuestos a lechada de cal no sufrieron deterioro, más bien hubo tendencia al crecimiento.
- Los terceros provocaron deterioros en las propiedades de los especímenes.

La experiencia brasileña se basó, para los ensayos en condiciones naturales, en estudios con especímenes de (10 x 50 x 200 mm) colocados a 30<sup>0</sup> en dirección norte que después de un año presentaron lixiviados y pérdidas de dureza superficial, no así con paneles en escala 1:1 bajo las mismas condiciones, los mismos resultados se observaron después de ocho años; en el prototipo de prueba construido a escala natural, cuyas paredes exteriores están recubiertas de pintura, se observaron también lixiviados y un goteo continuo de agua (Sabastano, Warde y Coutts 2001).

En los ensayos de envejecimiento natural realizados por Caldas (2002), se encontró que en un período de 3 a 9 meses, los comportamientos mecánicos en los compuestos de EGCH<sup>1</sup> mostraban una disminución al igual que el módulo de ruptura (MR) y la energía específica

---

<sup>1</sup> EGCH: escoria de altos hornos con yeso y cal hidratada.

(EE); en los compuestos de ECP<sup>2</sup>, el módulo de ruptura permaneció constante, no así la EE; sin embargo, después de tres meses de exposición y a través de una prueba con fenolftaleína, ambos especímenes de prueba estaban totalmente carbonatados, con su consecuente aumento en la porosidad en los compuestos de EGCH, no así en los de ECP en donde el fenómeno se dio al revés; aquí este autor, coincidiendo con lo observado Savastano Jr. atribuye la velocidad de la carbonatación a la alta porosidad del material, pero una vez que ésta cesa, no provoca diferencia en las propiedades físicas.

Para los ensayos de envejecimiento acelerado, Savastano difirió en la metodología utilizada para el mismo fin por Castro y Naaman, y se basó en la norma ASTM G-53 utilizando especímenes de 6 x 25 cm sometidos a alrededor de 1000 ciclos de 8 horas, en donde durante 4 horas estuvieron sometidos a radiación ultravioleta y las 4 restantes a vaporización con agua potable; después del período de envejecimiento, los especímenes fueron mantenidos en ambiente de laboratorio durante un mes y de ahí fueron sometidos a ensayos de flexión al igual que especímenes testigo que permanecieron en laboratorio durante 18 meses y probetas provenientes de las tejas sometidas a envejecimiento natural. Los resultados de envejecimiento acelerado fueron semejantes a los obtenidos por los especímenes testigos, pero superiores a los de envejecimiento natural.

El análisis microestructural de los compuestos es otro de los métodos para definir la durabilidad. Los ensayos a través de microscopía electrónica de barrido, combinados con análisis de espectroscopía de rayos X (EDS) permiten definir las principales características de la zona de transición fibra-matriz que es donde existe la mayor porosidad y donde puede alojarse la mayor concentración de macrocristales de pòrtlandita, características asociadas a la adherencia fibra-matriz que define el comportamiento mecánico de los compuestos.

Los ensayos de Humedecimiento y Secado de acuerdo a las recomendaciones de la Inter American Housing and Planning Center (CINVA) y el Coeficiente de Ablandamiento son también dos de los criterios para definir la durabilidad.

---

<sup>2</sup> ECP: escoria de altos hornos activada con cemento Pòrtland

### **1.3.3. Paneles de bagazo de caña de azúcar con matriz de cemento pórtland**

Como se ha manifestado anteriormente el elemento en estudio está formado por una matriz y el refuerzo, en este apartado se detalla las principales propiedades mecánicas, físicas y químicas de los componentes.

#### **1.3.3.1. Matriz**

Está formada por cemento hidráulico tradicional que reacciona químicamente en un medio acuoso, tornándose en un sólido estable y resistente al agua, su empleo obedece principalmente a criterios técnicos y económicos (SAVASTANO Jr., 2000)

AGOPYAN (1991) estudió cementos alternativos, observando su desempeño en compuestos reforzados con fibras vegetales. El autor también utilizó cementos a base de ceniza de cáscara de arroz calcinada, para la obtención de productos menos alcalinos.

#### **1.3.3.2. Refuerzo**

El bagazo de caña de azúcar es un residuo fibroso que constituye, con el etanol gaseoso, un desecho importante de la industria azucarera, representa cerca del 30% del peso de la caña molida y está constituido por agua, sólidos particulados y cantidades más pequeñas de sólidos solubles; según el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) los valores más representativos son los siguientes: humedad: 46-52%; sólidos particulados: 40-46 %; y sólidos solubles: 6-8 %.

Por otro lado, los sólidos particulados están formados por dos tipos de estructuras bien diferenciadas: las fibras y la medula. Las fibras están constituidas por células cilíndricas y tejidos vasculares de paredes duras, las cuales se encuentran en la corteza y en la parte interior.

La distribución granulométrica del bagazo integral es muy variada, desde un fino polvo hasta partículas irregulares de gran tamaño, según el ICIDCA hasta un 8 % de partículas

grandes retenidas en la malla No. 1, y de 10 a 25 % de partículas pequeñas pasando por la malla No. 16. Como se puede apreciar, el bagazo no constituye un material homogéneo y su peso volumétrico o densidad aparente es muy bajo, reportándose valores entre 50 kg/m<sup>3</sup> en base seca y hasta 96 kg/m<sup>3</sup> en condiciones naturales, es decir, sin ningún grado de compactación.

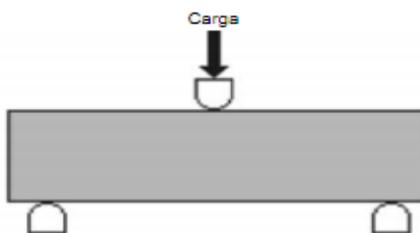
En resumen, se puede afirmar que desde el punto de vista físico se distinguen dos características muy importantes en el bagazo: el alto contenido de humedad y la gran variedad de tamaños de partículas de diferente naturaleza física. Por lo tanto se requiere de una adecuada preparación y manipulación del mismo si se quiere hacer un uso adecuado y eficiente en las múltiples aplicaciones que tiene.

#### **1.3.3.4. Ataque alcalino a las fibras**

Debido a las experiencias negativas con el uso de cemento Pórtland y fibras vegetales, los estudios llevados a cabo en Brasil, han demostrado que la degradación de las fibras producto de la presencia de hidróxido de calcio [Ca(OH)<sub>2</sub>] en la zona de transición matriz-refuerzo, puede ser controlada a través de procesos químicos, utilizando productos alcalinos, o de procesos térmicos aumentando la temperatura de reacción; dentro de los primeros se encuentra el silicato de sodio [Na<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>] o el sulfato de calcio, o una combinación de ambas; Agopyan (1991) habla también de la posibilidad del uso de cal hidratada cuya ventaja es el aumento de las resistencias a edades tempranas, pero que tiene el inconveniente del elevado contenido de cal libre en la mezcla hidratada; recomienda, sin embargo utilizarla conjuntamente con el yeso.

#### **1.3.3.5. Módulo de Rotura por flexión**

A decir de la National Ready Mixed Concrete Association, el módulo de rotura por flexión no es más que la resistencia a la flexión de un elemento expresada en unidades de presión, es decir en unidades de fuerza por unidad de área; es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. El esquema general para la obtención de este parámetro se lo indica en la figura 1.3.



**FIGURA 1.3. Esquema general del ensayo para obtener el Módulo de Ruptura por Flexión**

En nuestro país, para determinar este valor se aplica lo establecido en la NTE INEN 2080-1996, que es la que regula la ejecución de este ensayo en las placas de fibrocemento.

La tabla 1.1. especifica el requerimiento mínimo en lo que respecta al módulo de rotura de conformidad a lo establecido en la NTE INEN 2048-1996, en donde se detallan los requisitos que debe cumplir las láminas de fibro-cemento empleadas en la construcción tanto en el exterior como en el interior de las edificaciones.

CATEGORÍA	RESISTENCIA EN HUMEDO TIPO A (MPa)	RESISTENCIA EN EQUILIBRIO TIPO B (MPa)
1	--	4
2	--	7
3	7	10
4	13	16
5	18	22

**TABLA 1.1. Módulo de rotura mínimo requerido**  
**FUENTE: NTE INEN 2048-1996**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA  
ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS  
NATURALES NO RENOVABLES  
DIRECCIÓN



Instituto Superior Politécnico  
José Antonio Echeverría  
**cujae**



Bagazo de caña de azúcar en estado natural. Catamayo – Ecuador

# CAPITULO II

---

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. DISEÑO DE MEZCLAS

Definir la metodología más adecuada para el diseño de las mezclas para compuestos de origen orgánico es el eje principal en el presente trabajo, a partir de la información recopilada respecto de la relación fibra/cemento (f/c) y de la relación agua /cemento (a/c); además se constituye en el punto de partida para llegar al planteamiento económico y financiero del elemento constructivo prefabricado.

Las recomendaciones para definir el diseño de mezclas inician con la caracterización de los componentes y finalizan con la determinación de la dosificación óptima para las propiedades requeridas, en el presente caso se consideró **la resistencia a la flexión** como el parámetro principal a evaluar.

La metodología utilizada para el diseño de mezclas comprendió los pasos siguientes:

- a. Caracterización de los componentes.
- b. Diseño del experimento con la selección de las variables a utilizar y rangos de éstas.
- c. Determinación de las propiedades a evaluar del elemento
- d. Procesamiento y análisis de los resultados.
- e. Determinación de la dosificación óptima para las propiedades requeridas
- f. Análisis de la durabilidad; determinación del coeficiente de ablandamiento

## **2.1.1. Caracterización de los componentes**

### **2.1.1.1. Matriz**

El cemento utilizado para la elaboración de la matriz es de marca Holcim Rocafuerte, Pórtland Tipo IP que cumple la NTE INEN 490, es un cemento puzolánico de resistencia inicial o temprana de 13 MPa desarrollada a los tres días y de 18 MPa a los 28 días. Posee una densidad de 3.05 g/cm<sup>3</sup>. La tabla 2.1 especifica la composición química del cemento utilizado

**TABLA 2.1. Composición química del cemento Rocafuerte, Pórtland Tipo IP**

ÓXIDO (%) EN PESO

CaO	63
SiO <sub>2</sub>	22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.5
MgO	2.6
K <sub>2</sub> O	0.6
Na <sub>2</sub> O	0.3
SO <sub>3</sub>	2.0

### 2.1.1.2. Refuerzo

Para el presente trabajo se usó bagazo proveniente del Ingenio Azucarero Monterrey que se ubica en el valle de Catamayo de la provincia de Loja.



FIGURA 2.1. Depósito de bagazo de caña de azúcar – Ingenio Monterrey - Catamayo

### 2.1.1.3. Ataque alcalino a las fibras

Basado en lo descrito en el numeral 1.3.3.4. del Marco Teórico, en esta investigación se utilizó el silicato de sodio en una proporción de 2%, en peso, con respecto del cemento.

## 2.2. Diseño del experimento y selección de las variables y rangos

Para el estudio de dependencias no lineales existe un amplio diapasón de variaciones de los factores; es necesario entonces el uso de modelos de segundo orden, en este caso se obtienen ecuaciones de regresión cuadráticas, que en su aspecto general para K factores es:

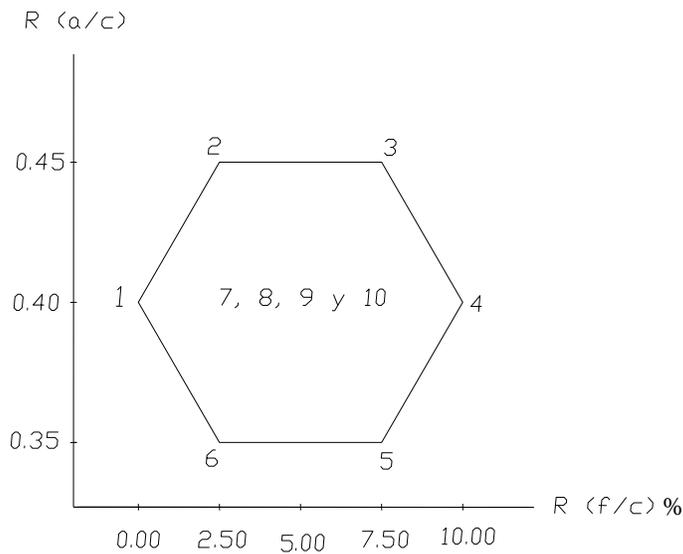
$$\hat{Y}_i = b_o + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \sum_{i=j} b_{ij} x_i x_j \quad (2.1)$$

Para el caso particular de dos factores la ecuación será:

$$\hat{Y}_i = b_o + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 \quad (2.2)$$

Para este modelo de segundo orden, los factores se deben planear al menos en tres niveles: superior (+1), medio (0), e inferior (-1).

Al investigar los factores y cuando es indispensable el estudio más completo de uno de ellos, se utilizan los llamados modelos multitablas en un hexágono, cuya particularidad consiste en que el primer factor se varía en cinco niveles y el segundo en tres; como se aprecia en la figura 2.2. el primer factor corresponde a la relación fibra/cemento (f/c) con la finalidad de hacer un estudio más amplio de los contenidos de fibra utilizados. El segundo factor corresponde a la relación agua/cemento (a/c), que de acuerdo a la bibliografía con tres niveles da suficiente rigor. Se hicieron 10 muestras de las cuales 4 corresponden al punto central, para tener las correspondientes réplicas para la evaluación del error.



**FIGURA 2.2. Modelo de hexágono que define las distintas dosificaciones**

### **2.3. Metodología para la fabricación de las mezclas**

La primera medida para este proceso, fue la preparación del refuerzo no bajo el criterio empleado por los investigadores brasileños y canadienses citados en el Capítulo I, sino más bien, bajo el formato empleado por Castro y Naaman ( 1988), debido a la alta inversión original para desarrollar procesos de laboratorio semejantes al método utilizado para producir elementos de fibrocemento a escala comercial (Hatscheck); la mineralización de

las fibras, se realizó impregnando éstas en la mezcla de agua con silicato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) durante 3 minutos, usando una mezcladora de un litro de capacidad, esto evitó también la formación de grumos (efecto de boleó); posteriormente se adicionó el cemento mezclándolo durante un minuto, obteniéndose de esta manera la mezcla con las características buscadas.

Las mezclas fueron introducidas en moldes cuadrados de 300 mm de lado y 25 mm de altura, en capas que fueron acomodadas con una llana pequeña; posteriormente se sometieron a presión de 10 MPa, y después del desmolde, se mantuvieron en cámara húmeda durante 7 días y luego en ambiente de laboratorio hasta su tiempo de prueba a los 28 días. El equipo utilizado fue una prensa para ensayo Marshall como la de la figura 2.3. El procedimiento de mezclado, tiempo de prensado y desmolde se basó en la literatura revisada en el marco teórico y la experimentación.



**FIGURA 2.3. Equipo utilizado para ensayar las muestras**

#### **2.4. Determinación de las propiedades a evaluar y las edades de ensayo**

Conforme la literatura revisada y con respecto a las propiedades mecánicas, se considera necesario e indispensable evaluar el módulo de rotura por flexión de los elementos basado en lo que determina la NTE INEN 2080; para el análisis de las propiedades físicas (densidad, absorción y porosidad) se procede conforme la norma ASTM C 948 81.

#### **2.4.1. Módulo de Rotura por flexión**

Con el propósito de llegar a conclusiones sobre la influencia de las fibras orgánicas en la resistencia a la flexión se realizó un diseño de experimento basado en un modelo multitable en un hexágono, como se muestra en la figura 2.2, que permitió el análisis de los resultados a través del método de mínimos cuadrados, que para este caso es de acuerdo a la expresión

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 \quad (2.3)$$

Donde:

Y = Variable dependiente (Rf)

X1 = Relación fibra/cemento (f/c)

X2 = Relación agua/cemento (a/c)

Se desea analizar el efecto de las fibras trabajando en cinco proporciones con respecto al cemento; por lo que X1 se varió en cinco niveles (0.00, 2.50, 5.00, 7.50, 10.0) mientras que X2 se varió en tres (0.35, 0.40, 0.45); cada uno de los vértices define las dosificaciones 1 a 6, mientras que el centroide define las dosificaciones 7, 8, 9 y 10, correspondientes al error experimental caracterizadas por la relación f/c: 5.00 y a/c: 0.40 ; la tabla 2.2 define las mezclas.

VERTICE	CEMENTO	RELACIONES	
		FIBRO/CEMENTO	AGUA/CEMENTO
		X1	X2
1	1	0,00	0,40
2	1	2,50	0,45
3	1	7,50	0,45
4	1	10,00	0,40
5	1	7,50	0,35
6	1	2,50	0,35
7	1	5,00	0,40
8	1	5,00	0,40
9	1	5,00	0,40
10	1	5,00	0,40

**TABLA 2.2. Dosificaciones para cada uno de los vértices**

El cálculo de los coeficientes se realizó a través de las siguientes expresiones:

$$b_0 = 0.25(\sum yi) - \frac{1}{4}(\sum X_1^2 yi + \sum X_2^2 yi) \quad (2.4)$$

$$b_1 = \frac{1}{3}(\sum X_1 yi) \quad (2.5)$$

$$b_2 = \frac{1}{3}(\sum X_2 yi) \quad (2.6)$$

$$b_{11} = \frac{2}{3}(\sum X_1^2 yi) - 0.25(\sum yi) + \frac{1}{12}(\sum X_1^2 yi) + \frac{1}{12}(\sum X_2^2 yi) \quad (2.7)$$

$$b_{22} = \frac{2}{3}(\sum X_2^2 yi) - 0.25(\sum yi) + \frac{1}{2}(\sum X_1^2 yi) + \frac{1}{12}(\sum X_2^2 yi) \quad (2.8)$$

$$b_{12} = \frac{4}{3}(\sum X_1 X_2 yi) \quad (2.9)$$

Para determinar la significancia de los coeficientes se utilizaron las expresiones:

$$S_{y_o} = \sqrt{\frac{\sum (y_{ii} - \bar{y}_i)^2}{n-1}} \quad (2.10)$$

$$S_{bo} = T_7(S_{yo}) \quad (2.11)$$

$$S_{b1} = T_8(S_{yo}) \quad (2.12)$$

$$S_{b11} = S_{b22} = T_9(S_{yo}) \quad (2.13)$$

$$S_{b12} = T_{10}(S_{yo}) \quad (2.14)$$

Y el análisis de la significación se realizó a partir de T Student

Y la validación fue a través del criterio de Fisher ( $F_c$ )

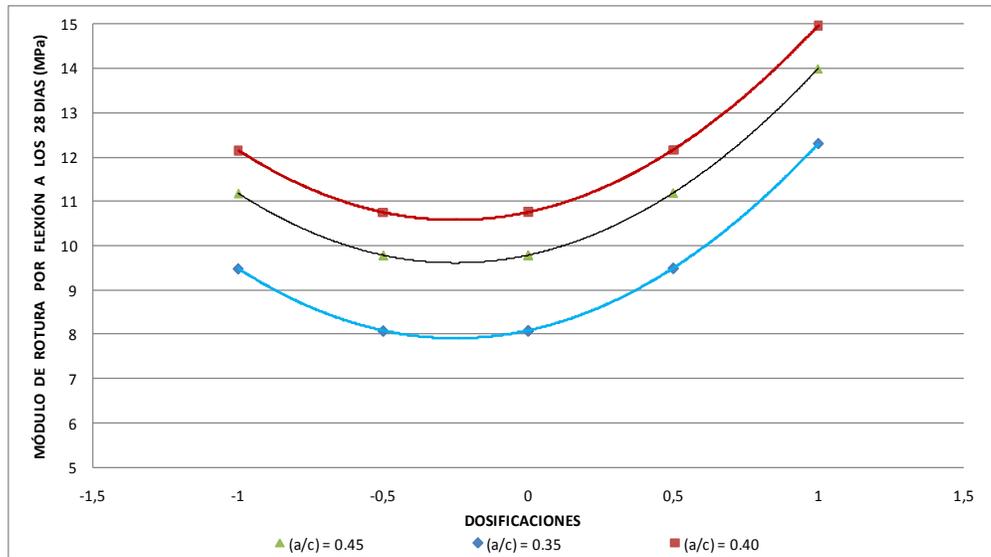
$$F_c = \frac{S_{er}^2}{S_{yo}^2} \quad (2.15)$$

La tabla 2.3 muestra los resultados del análisis estadístico, con respecto al módulo de rotura por flexión a los 28 días (YI) mismos que fueron la base para la elaboración de la gráfica 2.3. El anexo A.1 expone el desarrollo del análisis estadístico.

<b>Dosificaciones</b>	<b>Relaciones agua / cemento (a/c)</b>		
<b>(X1)</b>	<b>(X2)</b>		
	<b>0.35</b>	<b>0.40</b>	<b>0.45</b>
<b>-1.00</b>	<b>9.48</b>	<b>12.15</b>	<b>11.18</b>
<b>-0.50</b>	<b>8.08</b>	<b>10.75</b>	<b>9.78</b>
<b>0.00</b>	<b>8.09</b>	<b>10.76</b>	<b>9.79</b>
<b>0.50</b>	<b>9.49</b>	<b>12.16</b>	<b>11.20</b>
<b>1.00</b>	<b>12.30</b>	<b>14.97</b>	<b>14.00</b>

**TABLA 2.3. Módulo de rotura por flexión a los 28 días.**

La gráfica 2.3 muestra las curvas de comportamiento del módulo de rotura por flexión definida a través de los valores de la tabla 2.3.



**GRAFICA 2.3. Módulo de rotura por flexión a los 28 días**

#### 2.4.2. Propiedades físicas de los compuestos

La densidad, la absorción y la porosidad debido a su interrelación, son las propiedades físicas que por lo general definen la eficiencia de un compuesto, de tal manera que, si la presencia de las fibras es mayor, la densidad será menor y la absorción del agua y la porosidad aumentarán<sup>3</sup>, afectando a su vez, la resistencia a la flexión del elemento.

Como se señaló anteriormente, estos análisis se fundamentaron en las recomendaciones de la norma ASTM C 1185 99 para lo cual, se analizaron tres muestras del compuesto elegido de 50 mm de ancho, 100 mm de largo y 14 mm de altura aproximadamente, las cuales fueron pesadas en una báscula digital marca Kern modelo CME 300-2 con dispositivo hidrostático con sensibilidad de 0.01 g. se obtuvieron sus masas: seca en la estufa por 24 horas a una temperatura controlada de  $1050C \pm 2$ , saturada superficialmente seca después de estar inmersa en agua con temperatura de  $25^{\circ} C \pm 2$  durante 24 horas, y luego la masa del elemento inmerso en agua.

Las fórmulas empleadas para el cálculo de cada una de ellas fueron.

<sup>3</sup> Savastano, H. *Op. Cit p. 49*

$$\delta = \frac{W_{est}}{W_{est} - W_w} \quad (2.16)$$

$$Abs = \frac{W_{ss} - W_{est}}{W_{est}} \quad (2.17)$$

$$Por = \frac{W_{ss} - W_{est}}{W_{ss} - W_w} \quad (2.18)$$

Donde

$\delta$	=	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
$W_{est}$	=	Masa secada en estufa (g)
$W_w$	=	Masa sumergida (g)
$W_{ss}$	=	Masa saturada superficialmente seca (g)
$Abs$	=	Absorción (%)
$Por$	=	Porosidad (%)

## 2.5. Durabilidad

La durabilidad es uno de los factores más importantes en el desarrollo de un nuevo material, su comportamiento a través del tiempo y especialmente a la acción de la intemperie, permiten determinar la viabilidad del producto.

Para estimar la durabilidad que tendrá un elemento a una edad temprana, varios autores recomiendan utilizar dos tipos de ensayos: Coeficiente de Ablandamiento y ciclos de Humedecimiento y Secado. En el presente trabajo se optó por determinar el coeficiente de ablandamiento como medida del comportamiento futuro del material.

### 2.5.1. Coeficiente de ablandamiento

Se trabajaron con tres muestras que fueron fabricadas siguiendo el mismo criterio empleado para determinar el módulo de rotura por flexión; el ensayo consistió en determinar el cociente entre el módulo de rotura por flexión de una muestra saturada en agua durante cinco horas y la de una muestra seca; resultados aceptables se consideraron los que estuvieron en el rango  $0.5 \leq Mr \leq 1.0$ ; para valores del coeficiente de ablandamiento mayores de 0.8 se considera el material resistente a la humedad.

## **2.6. Equipo requerido**

- 1 Computador
- 1 Mezcladora de morteros
- 1 Prensa hidráulica para conformar los paneles
- 1 Prensa para probar los paneles
- 3 Moldes metálicos
- 1 Balanza digital
- 1 Calibrador digital
- Sierra circular de corte
- Tamices
- Horno eléctrico
- Cámara de curado
- Recipientes de varios tamaños
- Herramienta menor



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA  
ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS  
NATURALES NO RENOVABLES  
DIRECCIÓN



Instituto Superior Politécnico  
José Antonio Echeverría  
**cujae**



Ensayo de flexión – Probeta elaborada

# CAPITULO III

---

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1.

#### **Análisis e interpretación de resultados**

Los resultados obtenidos, luego de realizada la investigación, se enfocan principalmente en deducir la influencia de la adición de las fibras de caña, en el comportamiento de los compuestos con matriz de cemento portland tanto en sus propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad.

De conformidad con lo señalado en la Metodología los paneles compuestos de cemento portland tipo IP, con adición de fibra de caña de azúcar proveniente del Ingenio Azucarero Monterrey se fabricaron para la presente investigación en forma artesanal, en tamaño de 30 x 30 cm y un espesor aproximado de 14 mm.

##### **3.1.1 Módulo de Rotura por flexión**

La tabla 3.1. muestra los resultados de los ensayos efectuados para la determinación del Módulo de Rotura por flexión de las diez dosificaciones ensayadas y en los anexos A.2. y A.3. se detalla toda la información referente a dimensiones y cargas de rotura de los elementos fabricados.

DOSIFICACIÓN	CARGA	ANCHO	ESPESOR	LUZ ENSAYO	MOD. ROTURA	MOD. ROTURA	DESVIACIÓN
VÉRTICE	ROTURA (N)	(mm)	(mm)	(mm)	Mpa	PROM. (Mpa)	ESTANDAR
1.1	323,73	96,75	11,48	250,00	9,52	8,88	0,64
1.2	284,49	96,45	11,58	250,00	8,25		
1.3	304,11	96,60	11,53	250,00	8,88		
2.1	323,73	98,75	9,75	250,00	12,93	11,35	1,79
2.2	353,16	98,55	11,95	250,00	9,41		
2.3	362,97	98,65	10,85	250,00	11,72		
3.1	333,54	97,75	11,98	250,00	8,92	9,63	0,67
3.2	362,97	96,95	11,70	250,00	10,26		
3.3	353,16	97,35	11,84	250,00	9,70		
4.1	618,03	97,00	13,50	250,00	13,11	12,90	0,25
4.2	647,46	97,70	14,03	250,00	12,63		
4.3	637,65	97,35	13,76	250,00	12,97		
5.1	657,27	95,95	14,03	250,00	13,05	12,53	0,49
5.2	568,98	96,25	13,55	250,00	12,07		
5.3	608,22	96,10	13,79	250,00	12,48		
6.1	372,78	96,75	11,75	250,00	10,47	10,38	0,16
6.2	392,40	97,05	12,03	250,00	10,48		
6.3	372,78	96,90	11,89	250,00	10,20		
7.1	304,11	97,85	11,83	250,00	8,33	7,19	1,04
7.2	323,73	102,25	13,75	250,00	6,28		
7.3	304,11	100,05	12,79	250,00	6,97		
8.1	313,92	97,82	11,82	250,00	8,61	8,54	0,14
8.2	313,92	97,66	11,82	250,00	8,63		
8.3	304,11	97,50	11,82	250,00	8,37		
9.1	294,30	97,82	12,76	250,00	6,93	7,60	0,75
9.2	294,30	97,66	12,30	250,00	7,47		
9.3	343,35	97,50	12,53	250,00	8,41		
10.1	323,73	97,72	11,83	250,00	8,88	9,02	0,20
10.2	323,73	97,31	11,82	250,00	8,93		
10.3	333,54	96,90	11,82	250,00	9,24		

**TABLA 3.1 Módulo de rotura por flexión en equilibrio a los 28 días.**

Del análisis de los resultados presentados en la tabla anterior fácilmente se puede determinar que el elemento fabricado con la dosificación del vértice 4, según lo señalado en el capítulo de Metodología en el numeral 2.3., supera el módulo de rotura alcanzado por los demás elementos fabricados con las otras dosificaciones, lo que significa que es el más resistente; además al tener una relación  $f/c$  igual a 10, es mucho más ligero que los demás. Adicionalmente se debe mencionar que este elemento supera los requisitos establecidos para las láminas de fibro-cemento Tipo B categoría 3 según la clasificación que constan en la NTE INEN 2048-1996, que se hizo referencia en el numeral 1.3.3.5 del Marco Teórico.

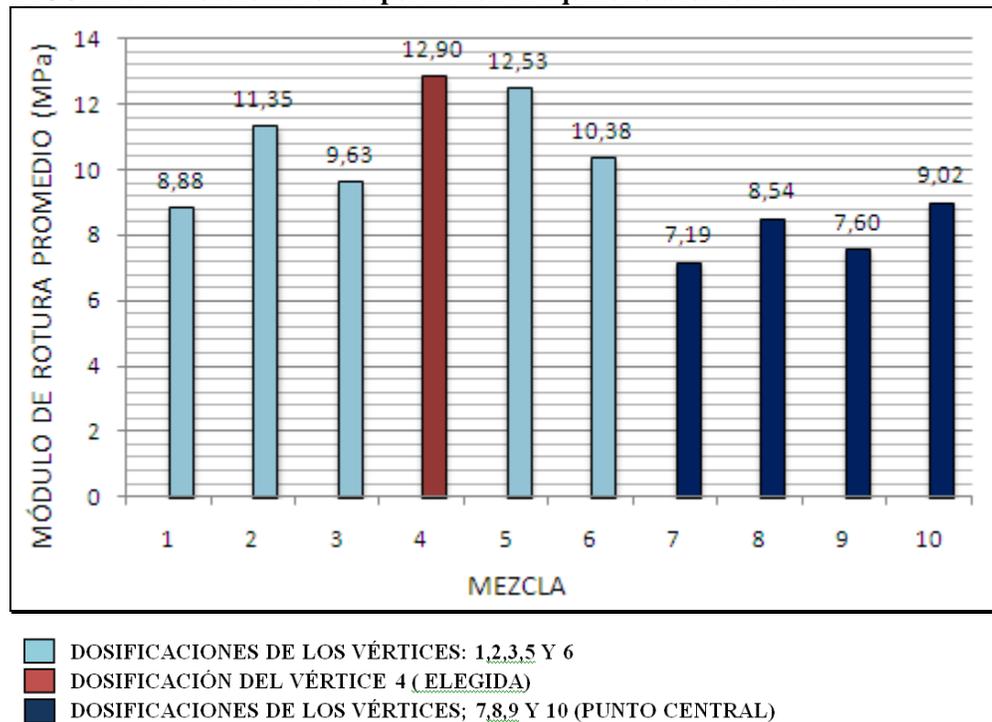
Por los resultados obtenidos y el análisis realizado, se determina que la dosificación del vértice 4 como la más apropiada para la confección de los paneles, motivo de la presente investigación, es decir las relaciones escogidas son:

$$a/c=0.40 \gg (0.40 \text{ Kg de agua / cada Kg de cemento})$$

$$f/c=10 \% \gg (0.10 \text{ Kg de fibra / cada Kg de cemento})$$

Por otra parte, si se compara el Módulo de Rotura del elemento que no contiene fibras en su composición, con el escogido como apropiado y que corresponde al vértice seleccionado, se determina que las fibras influyen positivamente en la resistencia a la flexión del elemento; esto se puede apreciar mejor en al figura 3.1.

**FIGURA 3.1. Módulo de rotura por flexión en equilibrio a los 28 días.**



### 3.1.2. Propiedades físicas de los compuestos

Es indudable que la adición de fibras afecta notablemente las propiedades físicas de los compuestos; como se mencionó anteriormente la densidad, la absorción y la porosidad debido a su interrelación, definen la eficiencia de un compuesto; así: si la presencia de las

fibras es mayor, la densidad será menor y la absorción del agua y la porosidad aumentarán, afectando a su vez la resistencia a la flexión del elemento.

Al elemento fabricado con la dosificación del vértice 4 aplicando la norma ASTM C 948-81 se le determinó estas propiedades, los valores obtenidos se detallan a continuación en la tabla 3.2.

**TABLA 3.2. Valores de la propiedades físicas del compuesto**

DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )	ABSORCIÓN (%)	POROSIDAD (%)
1.35	20.80	21.83

Si bien es cierto que la NTE INEN 2048-1996 no establece requerimiento alguno respecto de la densidad, absorción y porosidad para las placas de fibro-concreto, no es menos cierto que estas propiedades juegan un papel muy importante al decidirse por el uso de un determinado material; para el presente caso en lo que respecta a la densidad se ha tomado como referente para el análisis de esta propiedades lo establecido en la Guía de Aplicaciones Plycem, en donde se expresa que la densidad mínima de la placa que esta fábrica produce tiene un valor de 0.95 gr/cm<sup>3</sup>; comparando este valor con el obtenido se observa que éste supera en más del 40% debido presumiblemente a la presión negativa aplicada durante su elaboración. Sin embargo del valor obtenido es necesario hacer un análisis de lo que representa el resultado; así, como se manifestó en el numeral 2.4.2 de la Metodología, si tenemos un material más denso éste necesariamente va ha ser más pesado, pero a la vez va ha ser más resistente a la flexión; en el presente caso se considera que se está llegando a un equilibrio entre las propiedades, ya que la dosificación adoptada como óptima satisface los requerimientos.

### **3.1.3. Durabilidad del compuesto**

La durabilidad es uno de los indicadores más importantes a la hora de optar por el uso de un material de construcción, para estimar este parámetro se utilizó el método denominado coeficiente de ablandamiento y se lo practicó a los elementos con 28 días de edad; los resultados obtenidos se puntualizan en la tabla 3.3.

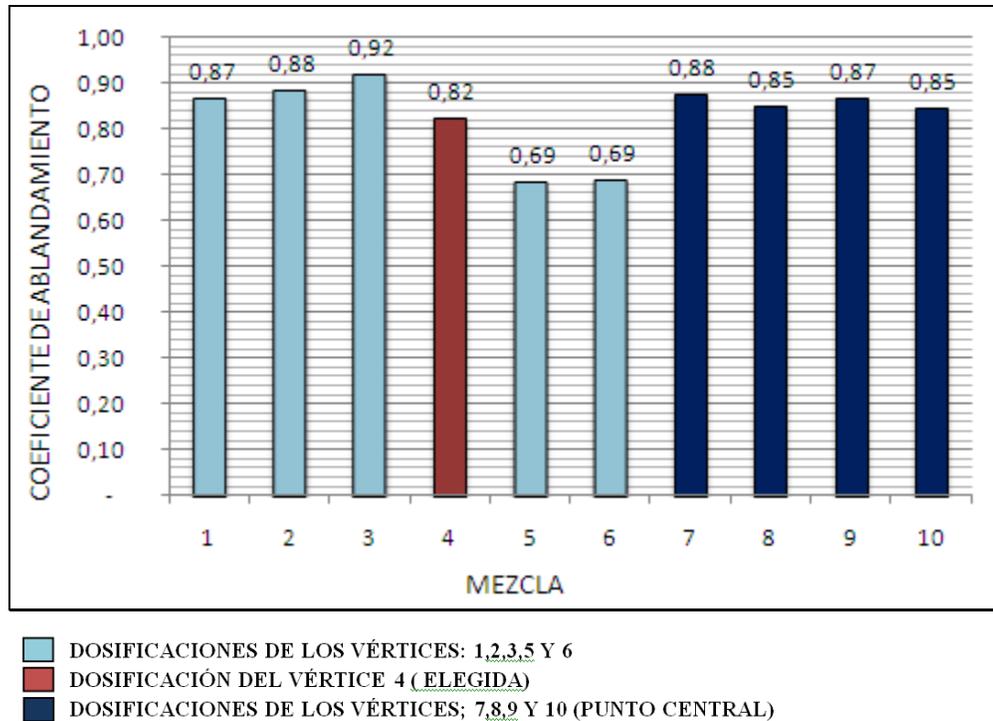
**TABLA 3.3. Valores del Coeficiente de Ablandamiento a los 28 días de edad**

DOSIFICACIÓN	MOD.ROT. HUM.	MOD.ROT. SECA	C. ABLAND.
VÉRTICE	Mpa	Mpa	(%)
1	7,72	8,88	0,87
2	10,05	11,35	0,88
3	8,86	9,63	0,92
4	10,62	12,90	0,82
5	8,59	12,53	0,69
6	7,16	10,38	0,69
7	6,32	7,19	0,88
8	7,26	8,54	0,85
9	6,59	7,60	0,87
10	7,63	9,02	0,85

Como se manifestó en el numeral 2.5.1., se considera que un material posee una durabilidad aceptable si su coeficiente de ablandamiento está entre el rango comprendido entre 0.5 y 1.0, para valores superiores a 0.8 se considera que es resistente al agua. Como se puede observar todos los elementos fabricados con las distintas dosificaciones poseen una durabilidad aceptable, es más todos a excepción de los fabricados con las dosificaciones de los vértices 5 y 6 superan el valor de 0.8 por lo que según lo anotado son resistentes al agua.

La figura 3.2. ilustra de mejor forma lo expresado anteriormente.

**FIGURA 3.2. Coeficiente de ablandamiento a los 28 días.**



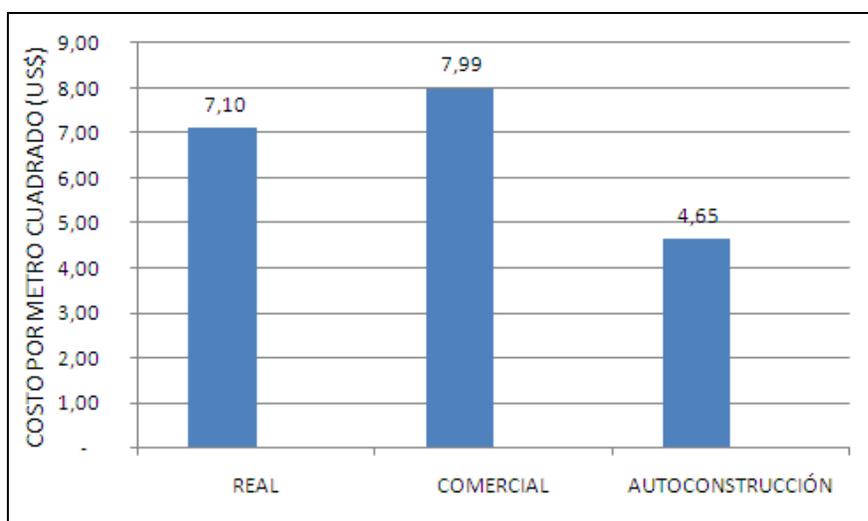
### 3.2. Análisis de costos de los paneles fabricados

Una vez que se ha concluido con el análisis de las propiedades físicas y mecánicas del material fabricado, en este apartado se realiza un análisis del costo de fabricación de un metro cuadrado de panel, para lo cual se plantea las siguientes premisas:

- Se fabricaran paneles de 1.20\*0.60 m y de 11 mm de espesor.
- La fabricación se realizará de forma artesanal.
- Se considera que los moldes y el equipo necesario para la fabricación de los paneles ya se encuentran adquiridos por lo que en la determinación del costo del panel no se tomara en cuenta su alquiler ni adquisición.
- En el análisis se considera como costos directos: materiales, mano de obra y herramienta menor; como costos indirectos se adopta un valor equivalente al 10 % de los costos directos.

El anexo A.4. detalla el análisis del costo unitario para la fabricación de un panel con las consideraciones antes descritas, este valor asciende a la suma de US\$ 5.11, considerando que el panel cubre únicamente 0.72 m<sup>2</sup>, el costo del metro cuadrado sería de US\$ 7.10; por otra parte tomando como referencia que el costo de los paneles de fibrocemento que se comercializan comúnmente en el mercado tienen un valor de US\$ 23.00 y sus dimensiones son 120x240x11mm, lo cual nos daría un costo por metro cuadrado de US\$ 7.99 valor que comparándolo con el costo obtenido con el panel fabricado nos daría una disminución del 11.14 %.

Profundizando aún más en el análisis, y suponiendo que estos elementos se fabricarán para un programa de vivienda que se ejecutará mediante un sistema de autoconstrucción, lo que llevaría a eliminar los costos de mano de obra e indirectos, el costo por metro cuadrado de panel ascendería al valor de US\$ 4.65 es decir 41.74% menos que el costo del panel comercial. Estos valores se los aprecia de mejor manera en la figura 3.3



**FIGURA 3.3. Costo estimado del m<sup>2</sup> de panel**

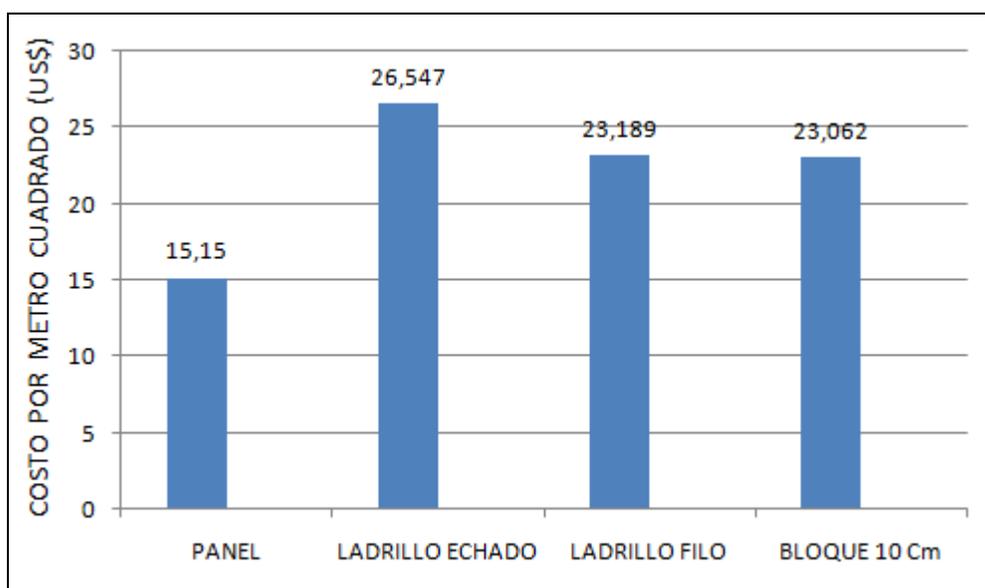
A manera de ilustración y para tener una idea cabal de de lo que se manifiesta en los párrafos anteriores, en la tabla 3.4. se detalla los costos de diferentes soluciones de pared, tomados de la revista técnica Nro. 35 (noviembre del 2010) de la Cámara de la Construcción de Loja; es necesario señalar que en el caso del ladrillo y del bloque se ha

adicionado el costo del revestido por las dos caras debido a que con el panel se obtiene una pared con este terminado; el cálculo del costo de la solución de pared con paneles se muestra en el anexo A.5.

PANELES	LADRILLO ECHADO	LADRILLO DE FILO	BLOQUE 10 Cm
15.150	26.547	23.189	23.062

**TABLA 3.4. Valores de las diferentes soluciones de pared (solo costos directos)**

La figura 3.4. esquematiza lo señalado anteriormente.



**FIGURA 3.4. Valores de las diferentes soluciones de pared (solo costos directos)**

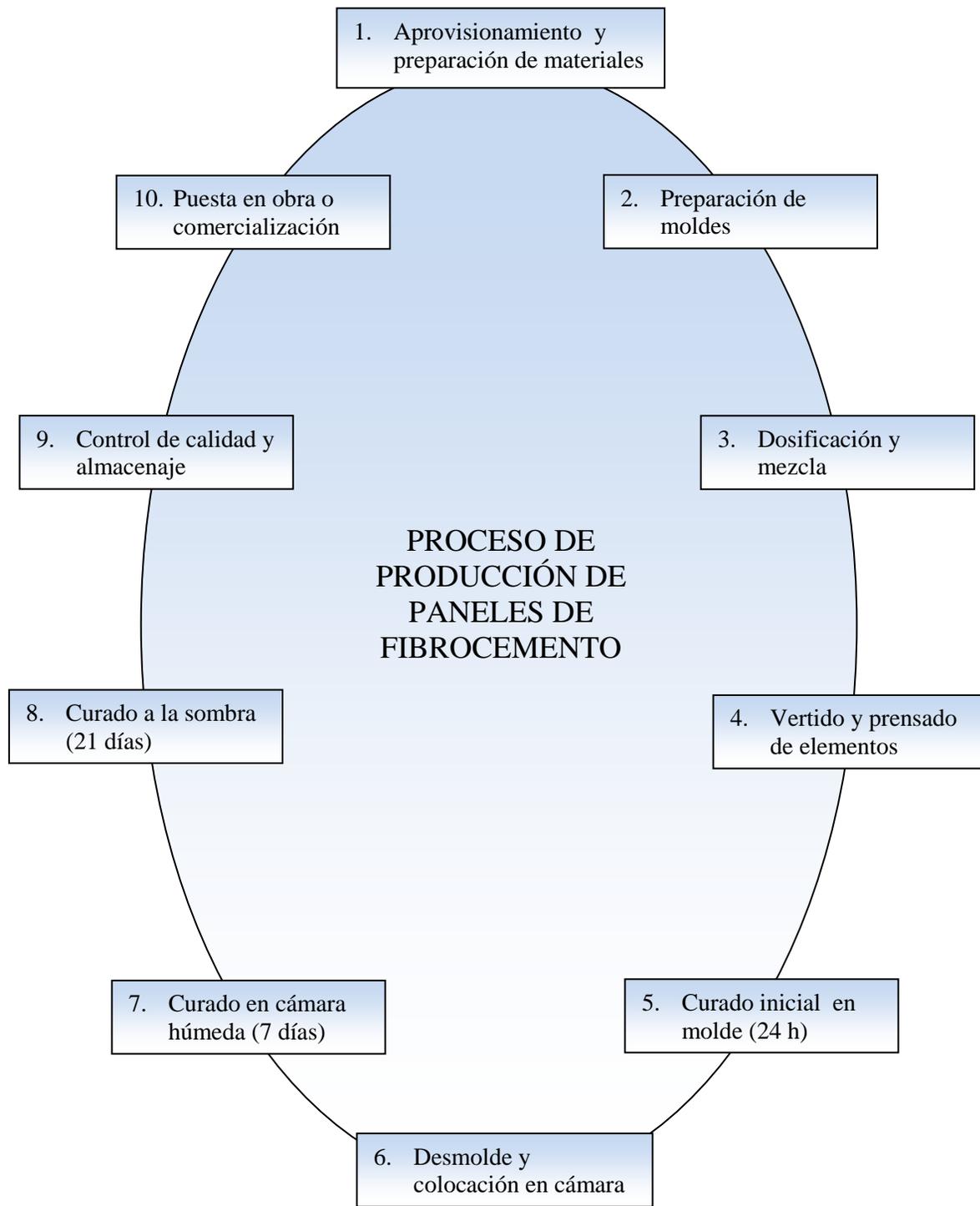
### 3.3. Proceso de fabricación de paneles

Como se ha demostrado en el apartado anterior la elaboración de paneles ligeros de bagazo de caña de azúcar con matriz de cemento portland, constituye una alternativa válida desde el punto de vista de calidad y economía en la construcción de soluciones de pared, y más aún si se trata de programas de autoconstrucción, con la finalidad de que sea factible la

transferencia de tecnología y adaptación al medio, a continuación en la figura 3.5. se esquematiza el proceso de fabricación de dichos paneles.

De la experiencia obtenida en el desarrollo del presente trabajo y tomando en consideración el equipo y el proceso de producción de paneles, en la figura 3.6. se propone un bosquejo de una planta de producción de paneles en forma artesanal; las consideraciones son las siguientes:

- Capacidad de producción: 8 paneles por hora / 64 paneles al día
- Cuadrilla utilizada: 4 peones y un maestro de obra
- Equipo requerido: 1 prensa hidráulica de 20 Ton de capacidad
- Área mínima requerida: 350.00 m<sup>2</sup>



**FIGURA 3.5. Esquema del proceso de fabricación de paneles**

**FIGURA 3.6. Esquema de planta de fabricación de paneles**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA  
ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS  
NATURALES NO RENOVABLES  
DIRECCIÓN



Instituto Superior Politécnico  
José Antonio Echeverría  
**cujae**



Tablero elaborado con fibras de Sisal - México

# CAPITULO IV

---

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones

- El uso de fibras de bagazo de caña de azúcar usadas como refuerzo en una matriz de cemento portland, permite obtener materiales compuestos durables, con propiedades físicas y mecánicas necesarias para elementos constructivos.
- La confección de paneles que utiliza la relación  $a/c = 0.40$  y  $f/c = 10$  es la más adecuada para obtener mejores características físicas y mecánicas.
- El panel que evidencia las mejores características tiene las propiedades físicas: Densidad =  $1.35 \text{ gr/cm}^3$ ; Absorción = 20% y Porosidad = 21.83%
- Dentro de los ensayos macroscópicos de durabilidad, el Coeficiente de Ablandamiento es más conveniente, debido a su sencillez, rapidez y precisión, y en los elementos fabricados en su mayoría presentan valores superiores a 0.80, por lo que se considera que son resistentes al agua.
- Para la validación económica del elemento obtenido, a más de considerar el costo por metro cuadrado de pared se debe poner especial atención en los aspectos históricos y culturales de los sistemas constructivos de la región donde se pretende implantar el material.
- El costo del tablero de fibra y cemento, desarrollado en la presente investigación alcanza el valor de US\$ 5.11, el mismo que se considera inferior frente al costo de los tableros de las mismas características que se comercian comúnmente en el mercado.
- La presente investigación permitió establecer la necesidad de efectuar estudios sobre el comportamiento a nivel microscópico de las fibras orgánicas dentro de la matriz, con la finalidad de profundizar en el conocimiento de estos materiales.

## 4.2. Recomendaciones

- Se debe ampliar el campo de la experimentación con fibras provenientes de otros vegetales de la región, para de esta manera obtener datos comparativos, esto permitirá tener un mayor conocimiento de los materiales compuestos de origen orgánico.
- Es necesario investigar sobre el módulo de elasticidad y la resistencia a la tensión de los materiales compuestos por una matriz de cemento portland y fibra vegetal.
- Se debe profundizar en la investigación social, que permita posteriormente la aceptación de nuevas tecnologías en programas de vivienda de interés social, como es el caso de la adopción de tableros de cemento y fibra en reemplazo de la tradicional tabiquería de ladrillo o bloque.
- Es necesario optimizar los tiempos de producción de los tableros de cemento y fibra, de tal manera que permitan un abaratamiento del producto a fin de que sea atractivo económicamente y se considere como material alternativo en la construcción de soluciones económicas de tabiquería.
- Con miras en reducir los costos de construcción de viviendas, es necesarios trabajar en el diseño del sistema constructivo en la línea de la autoconstrucción, que permita la implementación de materiales fabricados en base a fibras orgánicas.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA  
ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS  
NATURALES NO RENOVABLES  
DIRECCIÓN



Instituto Superior Politécnico  
José Antonio Echeverría  
**cujae**



Armado y montaje de pared con paneles prefabricados en Costa Rica

# CAPITULO V

---

## BIBLIOGRAFÍA

## BIBLIOGRAFÍA:

### LIBROS:

- Agopyan, V. *Materiais Reforçados com Fibras para a Construção Civil nos Países em Desenvolvimento: O Uso de Fibras Vegetais*. Tese (Livre docência). EPUSP, São Paulo, 1991.
- Agopyan, V.; John, V.M.; Derolle, A. *Construindo com fibras vegetais*. A Construção São Paulo, n. 2200, p. 17-20 . 1990.
- Castro, J., Naaman, A. *Cement Mortar Reinforced with Natural Fibers*. Universidad Autónoma Metropolitana UX-Chicago University. 1988.
- Merrit, F. *Manual del Ingeniero Civil*. Edit. McGraw-Hill. México, 1999.
- Tolêdo Filho, R.D. *Materiais Compósitos Reforçados com Fibras Naturais Vegetais*. In: Tolêdo Filho. R.D.; Nascimento, J.W.B.; Ghavami, K. (coord.) *Materiais não Convencionais para Construções rurais*. Campina Grande, UFPB/SBEA, Cap. 2, p. 49-82. 1997.

### TESIS:

- Acevedo, J . *Tres Décadas de Trabajo en el Desarrollo Sostenible de la Construcción*. Tesis presentada con Opción al Grado de Doctor en Ciencias Técnicas. Centro de Estudios de Construcción y de Arquitectura Tropical. Cuba, 1999.
- Agopyan, V.; Savastano, H. *Uso de Materiais Alternativos à base de Fibras Vegetais na Construção Civil: Experiência Brasileira*. In: Seminario Iberoamericano 1997 de Materiales Fibrorreforzados, 1., y Reunión Proyecto PIP VIII.5 Cyted, 3., Cali, 1997.
- Caldas, A. *Estudo da Durabilidade de Compósitos Reforçados com Fibra de Celulose*. Tese para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil. Universidade de São Paulo. 2002.
- John, V.M., Agopyan, V. *Materiais Reforçados com Fibras Vegetais*. In Simpósio Internacional sobre Materiais Reforçados com Fibras para Construção Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 1993.
- Macías, J. *Utilización de Fibras Orgánicas en Hormigones: El Fibrequén*. Tesis para la obtención del Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas. ISPJAE. Cuba, 1993.
- Savastano Jr, H. *Zona de Transição entre Fibras e Pasta de Cimento Pórtland: Caracterização e Inter-relação com as Propriedades Mecânicas do Compósito*.

Tese apresentada à escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Engenharia. São Paulo. 1992.

- Savastano, H. *Materiais à Base de Cimento Reforçados com Fibra Vegetal: Reciclagem de Resíduos para a Construção de Baixo Custo*. Tese apresentada a Concurso de Livre-Docência. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2000.

REVISTAS:

- Coutts, R.S.P.; Kightly, p. *Bonding in Wood Fibre-Cement Composites*. Journal of Materials Science. Vol. 9 No. 10, pp 3355-9. Oct.1984.
- Shao, Y.; Moras, S.; *et al. Wood Fibre-Cement Composites by Extrusion*. In: Canadian Journal Civ. Eng. Vol. 27 pp. 543-552. Canada, 2000.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA  
ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS  
NATURALES NO RENOVABLES  
DIRECCIÓN



Instituto Superior Politécnico  
José Antonio Echeverría  
**cujae**



Armado y montaje de viviendas prefabricadas en Colombia

# CAPITULO VI

---

## ANEXOS

## A.1. DESARROLLO DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

PUNTO	Matriz del Experimento													Calculo de la Varianza	
	PUNTOS DEL EXPERIMENTO		PUNTOS DE LA MATRIZ GENERAL												
	X <sub>1</sub> (f/c)	X <sub>2</sub> (a/c)	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	Y <sub>1</sub>	X <sub>1</sub> <sup>2</sup> Y <sub>1</sub>	X <sub>2</sub> <sup>2</sup> Y <sub>1</sub>	X <sub>1</sub> Y <sub>1</sub>	X <sub>2</sub> Y <sub>1</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> Y <sub>1</sub>	Ŷ	(Ŷ-y <sub>1</sub> ) <sup>2</sup>
1	0,00	0,40	-1	0,00	1,00	0,00	0,00	8,88	8,88	0,00	-8,88	0,00	0,00	9,48	0,36
2	2,50	0,45	-0,5	0,87	0,25	0,75	-0,43	11,35	2,84	8,52	-5,68	9,83	-4,92	9,78	2,46
3	7,50	0,45	0,5	0,87	0,25	0,75	0,43	9,63	2,41	7,22	4,81	8,34	4,17	11,20	2,46
4	10,00	0,40	1	0,00	1,00	0,00	0,00	12,90	12,90	0,00	12,90	0,00	0,00	12,30	0,36
5	7,50	0,35	0,5	-0,87	0,25	0,75	-0,43	12,53	3,13	9,40	6,27	-10,85	-5,43	12,16	0,14
6	2,50	0,35	-0,5	-0,87	0,25	0,75	0,43	10,38	2,60	7,79	-5,19	-8,99	4,50	10,75	0,14
7	5,00	0,40	0	0,00	0,00	0,00	0,00	7,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,09	0,80
8	5,00	0,40	0	0,00	0,00	0,00	0,00	8,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,09	0,20
9	5,00	0,40	0	0,00	0,00	0,00	0,00	7,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,09	0,23
10	5,00	0,40	0	0,00	0,00	0,00	0,00	9,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,09	0,86
								98,03	32,76	32,92	4,23	-1,68	-1,68		8,01

### CALCULO LOS COEFICIENTES

$\hat{Y}_i = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2$	
$b_0 = \frac{1}{4}(oy) - \frac{1}{4}(iïy)$	$(oy) = \sum y_i$
$b_i = \frac{1}{3}(ïy)$	$(iïy) = \sum x_i^2 y_i$
$b_{ii} = \frac{2}{3}(iïy) - 0,25(oy) + \frac{1}{12}(ijy)$	$(ïy) = \sum x_i y_i$
$b_{ij} = \frac{4}{3}(ijy)$	$(ijy) = \sum x_i x_j y_i$

oy	98,03
11y	32,76
22y	32,92
iïy	65,68
1y	4,23
2y	-1,68

b0	8,09
b1	1,41
b2	-0,56
b11	2,81
b22	2,91
b12	-2,24

$$y = 8,09 + 1,41X_1 - 0,56X_2 + 2,81X_1^2 + 2,91X_2^2 - 2,24X_1X_2$$

### OBTENCION DE LA MEDIA DEL PARAMETRO Y<sub>i</sub>

$$\bar{y}_i = \frac{\sum_{i=1}^n y_{ij}}{n} \quad \bar{y}_o = \frac{\sum y_i}{4} = 8,088$$

$$s_{y_o} = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y}_i)^2}{n-1}} \quad \begin{matrix} s_{y_o} & 0,84 \\ s_{y_o}^2 & 0,70 \end{matrix}$$

Valores asociados a la significacion	
T7	0,5
T8	0,577
T9	0,866
T10	1,154

$s_{b_0} = T_7(s_{y_o})$	
Sbo	0,42
Sb1 = Sb2	0,48
Sb11 = Sb22	0,72
Sb12	0,97

SIGNIFICACION $t_p$	
$b_0$	19,3
$b_1$	2,9
$b_2$	1,2
$b_{11}$	3,9
$b_{22}$	4,0
$b_{12}$	2,3

$$t_p(b_0) = \frac{|b_0|}{s_{b_0}}$$

$t_t$  3,182

coef. Significativos $t_p > t_t$	
$b_0$	8,09
$b_1$	1,41 $X_1$
$b_2$	-0,56 $X_2$
$b_{11}$	2,81 $X_1^2$
$b_{22}$	2,91 $X_2^2$

$$y = 8,09 + 2,81 X_1^2 + 2,91 X_2^2$$

#### CALCULO PARA LA VARIANZA

$$s_{ad}^2 = \frac{\sum (y - \hat{y})^2}{n - k} \quad 1,34$$

#### CRITERIO DE FISHER

$$F_c = \frac{s_{ad}^2}{s_{yo}^2} \quad 1,91$$

el criterio de Fisher de acuerdo a las tablas es 8,94

por lo que  $1,91 < 8,94$

por consiguiente se acepta la ecuación de regresión

## A.2. DIMENSIONES DE LOS ELEMENTOS ENSAYADOS

DOSIFICACIÓN VÉRTICE	ESPEORES MEDIDOS (mm)				ESPESOR	ANCHOS MEDIDOS (mm)		ANCHO
	e1	e2	e3	e4	PROMEDIO	b1	b2	PROMEDIO
1.1	11,60	11,35	11,60	11,35	11,48	96,75	96,75	96,75
1.2	11,70	11,45	11,70	11,45	11,58	96,45	96,45	96,45
1.3	11,65	11,40	11,65	11,40	11,53	96,60	96,60	96,60
2.1	9,95	9,55	9,95	9,55	9,75	98,75	98,75	98,75
2.2	11,55	12,35	11,55	12,35	11,95	98,75	98,35	98,55
2.3	10,75	10,95	10,75	10,95	10,85	98,75	98,55	98,65
3.1	11,75	12,20	11,75	12,20	11,98	97,75	97,75	97,75
3.2	11,75	11,65	11,75	11,65	11,70	96,95	96,95	96,95
3.3	11,75	11,93	11,75	11,93	11,84	97,35	97,35	97,35
4.1	13,25	13,75	13,25	13,75	13,50	97,00	97,00	97,00
4.2	14,15	13,90	14,15	13,90	14,03	97,70	97,70	97,70
4.3	13,70	13,83	13,70	13,83	13,76	97,35	97,35	97,35
5.1	14,15	13,90	14,15	13,90	14,03	95,95	95,95	95,95
5.2	13,75	13,35	13,75	13,35	13,55	96,25	96,25	96,25
5.3	13,95	13,63	13,95	13,63	13,79	96,10	96,10	96,10
6.1	11,75	11,75	11,75	11,75	11,75	96,75	96,75	96,75
6.2	11,80	12,25	11,80	12,25	12,03	97,05	97,05	97,05
6.3	11,78	12,00	11,78	12,00	11,89	96,90	96,90	96,90
7.1	11,75	11,90	11,75	11,90	11,83	97,85	97,85	97,85
7.2	13,75	13,75	13,75	13,75	13,75	102,25	102,25	102,25
7.3	12,75	12,83	12,75	12,83	12,79	100,05	100,05	100,05
8,1	11,80	11,85	11,78	11,83	11,82	97,82	97,83	97,83
8,2	11,78	11,88	11,77	11,87	11,82	97,66	97,72	97,69
8,3	11,79	11,86	11,77	11,85	11,82	97,50	97,60	97,55
9,1	12,55	12,98	12,55	12,98	12,76	99,85	99,99	99,92
9,2	12,28	12,34	12,27	12,33	12,30	99,87	100,04	99,96
9,3	12,41	12,66	12,41	12,65	12,53	99,86	100,02	99,94
10,1	11,75	11,90	11,75	11,90	11,83	97,72	97,67	97,69
10,2	11,78	11,88	11,77	11,87	11,82	97,31	97,76	97,53
10,3	11,76	11,89	11,76	11,88	11,82	96,90	97,85	97,38

### A.3. CARGAS DE ROTURA DE LOS ELEMENTOS FABRICADOS

DOSIFICACIÓN	CARGA
VÉRTICE	ROTURA (Kg)
1.1	33,00
1.2	29,00
1.3	31,00
2.1	33,00
2.2	36,00
2.3	37,00
3.1	34,00
3.2	37,00
3.3	36,00
4.1	63,00
4.2	66,00
4.3	65,00
5.1	67,00
5.2	58,00
5.3	62,00
6.1	38,00
6.2	40,00
6.3	38,00
7.1	31,00
7.2	33,00
7.3	31,00
8,1	32,00
8,2	32,00
8,3	31,00
9,1	30,00
9,2	30,00
9,3	35,00
10,1	33,00
10,2	33,00
10,3	34,00

## A.4. COSTO UNITARIO DE FABRICACIÓN DE UN PANEL

### ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APU)

FECHA : ENERO DEL 2011  
 ITEM : 001  
 RUBRO : TABLERO 120\*60\*1.2 Cm  
 UNIDAD : UNIDAD

A.- MATERIALES	UNID.	CANTIDAD	PRECIO.UNIT	SUBTOTAL
CEMENTO PORTLAND	KG	8.906	0.143	1.27
FIBRA (BAGAZO SELECCIONADO)	KG	0.891	0.100	0.09
SILICATO DE SODIO LIQUIDO	KG	0.178	6.500	1.16
AGUA	KG	3.560	0.050	0.18
GRASA	KG	0.010	1.800	0.02
				-----
				2.72
B.- MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS	HORAS-EQUIPO	COSTO x HORA	SUBTOTAL	
HERRAMIENTA MENOR	1.600	0.050	0.08	
MEZCLADORA DE MORTERO	0.050	5.000	0.25	
			-----	
				0.33
C.- MANO DE OBRA	CATEG	HORAS-HOMBRE	COSTO x HORA	SUBTOTAL
PEON	I	0.500	2.13	1.07
MAESTRO DE OBRA	IV	0.250	2.13	0.53
				-----
				1.60
D.- TRANSPORTE	UNID.	CANTIDAD	PREC. TRASP	SUBTOTAL
				-----
				0.00
COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D)				4.64
COSTOS INDIRECTOS 10 %				0.46
PRECIO UNITARIO				5.11

## A.5. COSTO UNITARIO DE SOLUCIÓN DE PARED CON PANELES

### ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APU)

FECHA : ENERO DEL 2011  
ITEM : 002  
RUBRO : PARED CON PANEL COMPUESTO Y ESTRUCTURA DE MADERA  
UNIDAD : M2

A.- MATERIALES	UNID.	CANTIDAD	PRECIO.UNIT	SUBTOTAL
PANEL FIBRA BAGAZO Y CEMENTO	U	1.380	6.680	9.22
ESTRUCTURA DE SOPORTE	M2	1.000	3.000	3.00
TORNILLO AUTORASCABLE 1 1/4"	U	13.888	0.050	0.69
				-----
				12.91
B.- MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS	HORAS-EQUIPO	COSTO x HORA	SUBTOTAL	
HERRAMIENTA MENOR	2.130	0.050	0.11	
			-----	
			0.11	
C.- MANO DE OBRA	CATEG	HORAS-HOMBRE	COSTO x HORA	SUBTOTAL
AYUDANTE	II	0.333	2.13	0.71
CARPINTERO	III	0.333	2.13	0.71
MAESTRO DE OBRA	IV	0.333	2.13	0.71
				-----
				2.13
D.- TRANSPORTE	UNID.	CANTIDAD	PREC. TRASP	SUBTOTAL
				-----
				0.00
COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D)				15.15
COSTOS INDIRECTOS 10 %				1.51
PRECIO UNITARIO				16.66



FOTOGRAFÍA 01.- Bagazo como sale de la molienda



FOTOGRAFÍA 02.- Bagazo preparado para la mezcla



FOTOGRAFÍA 03.- Bagazo humedecido (agua y silicato de sodio)



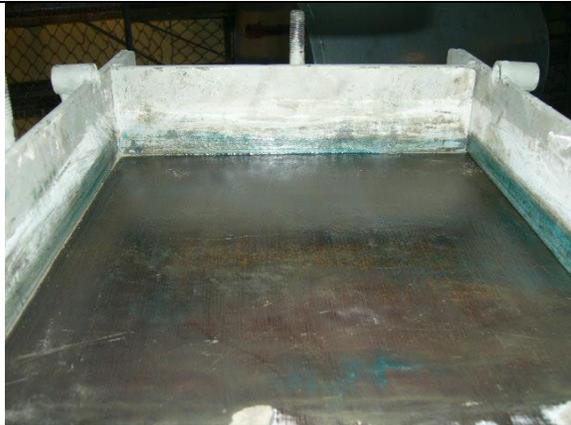
FOTOGRAFÍA 04.- Adición del cemento al bagazo humedecido



FOTOGRAFÍA 05.- Mezclado de la pasta



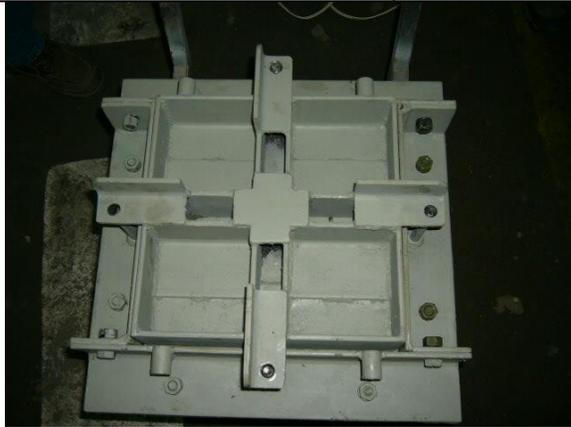
FOTOGRAFÍA 06.- Mezcla lista para ser colocada en el molde



FOTOGRAFÍA 07.- Molde armado y lubricado



FOTOGRAFÍA 08.- Mezcla colocada en el molde



FOTOGRAFÍA 09.- Molde con mezcla tapado, listo para ser prensado



FOTOGRAFÍA 10.- Aplicación de la presión negativa



FOTOGRAFÍA 11.- Desencofrado de la probeta



FOTOGRAFÍA 12.- Probeta terminada (dosificación vértice 2)

























