

**ELABORACION DE PANELES PREFABRICADOS PARA MUROS DIVISORIOS
A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y CEMENTO**

**NELSON JOHANNY LOPEZ BARRIOS
CRYSTIAM MANUEL VALENCIA GUALDRON**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2006**

**ELABORACION DE PANELES PREFABRICADOS PARA MUROS DIVISORIOS
A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y CEMENTO**

**NELSON JOHANNY LOPEZ BARRIOS
CRYSTIAM MANUEL VALENCIA GUALDRON**

**Proyecto de Grado presentado como requisito parcial para optar el título de
Ingeniero Civil**

**Director:
RICARDO CRUZ HERNANDEZ
Ingeniero Civil.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2006**

**A Dios que me regalo la vida,
a mi Madre que me acompaño en
todo momento brindándome
apoyo, a mi Esposa que con su
cariño y comprensión me ayudo a
superar todas las adversidades y
a mis Hermanos por impulsar mis
ganas de superación.**

N. J. L. B.

**No podría dejar pasar por alto el
agradecimiento a Dios, a mis
Padres, a mi Hermana, a mi Novia
y a mis amigos quienes han
confiado en mí, brindándome su
apoyo y dedicación en cada una
de las etapas de mi carrera;
gracias a ellos culmino uno de
los triunfos más importantes de
mi vida.**

C. M. V. G.

AGRADECIMIENTOS

A Ricardo Alfredo Cruz Hernández, Ingeniero Civil, Profesor y Director de la Investigación, por su dedicada colaboración y sus valiosas orientaciones.

A Ciro Alfonso Parra Guerrero, Ingeniero Civil, por sus aportes y orientación a nuestra investigación.

A Miguel Agudelo, Jairo Hernández, Germán y Daniel Garavito, Personal técnico de Laboratorios UIS, por su apoyo incondicional.

A Yebrail A. Botello Castellanos y Abelardo E. Rueda Murillo, Técnicos A. de Laboratorio de Física II, por su colaboración en el montaje del ensayo acústico.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	2
1.1 OBJETIVOS	2
1.1.1 General	2
1.1.2 Específicos	2
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.3 JUSTIFICACIÓN	4
1.4 ALCANCE DEL PROYECTO	5
2. LA CAÑA DE AZÚCAR	6
2.1 BREVE RESEÑA HISTORICA	6
2.1.1 En Colombia	7
2.2 DESCRIPCIÓN	7
3. PANELES PREFABRICADOS	10
3.1 DEFINICIÓN	10
3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS PANELES	10
3.2.1 Según su tipo	10
3.2.2 Según su clase	11
3.3 FABRICACIÓN	11
3.4 REQUISITOS GEOMÉTRICOS	12
4. MATERIALES Y TRATAMIENTOS EMPLEADOS	13
4.1 BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR	13
4.1.1 Proceso de trituración.	14
4.1.2 Proceso de granulometría.	15
4.2 TRATAMIENTO SUPERFICIAL DE LA FIBRA.	16
4.3 SILICATO DE SODIO	17
4.4 CEMENTO PÓRTLAND	18
4.5 AGUA	19
5. DOSIFICACIÓN	20
5.1 RELACION BAGAZO- SILICATO DE SODIO	20
5.2 RELACION BAGAZO – CEMENTO	21
5.3 RELACION AGUA – MASA TOTAL	21
5.4 GRANULOMETRÍA	22
5.5 MOLDES EMPLEADOS	23

6. ENSAYOS DE LABORATORIO	25
6.1 ENSAYO DE COMPRESIÓN	25
6.1.1 Significado	25
6.1.2 Aparatos y accesorios	26
6.1.3 Especímenes de ensayo	27
6.1.3.1 Muestreo	27
6.1.3.2 Comprobaciones	27
6.1.4 Procedimiento de carga	27
6.1.5 Análisis	27
6.2 ENSAYO DE CARGA CONCENTRADA O PENETRACION	29
6.2.1 Significado	29
6.2.2 Aparatos y accesorios	30
6.2.3 Especímenes de ensayo	30
6.2.3.1 Muestreo	30
6.2.4 Procedimiento de carga	30
6.2.5 Análisis	30
6.3 ENSAYO DE IMPACTO	32
6.3.1 Significado	32
6.3.2 Aparatos y accesorios	32
6.3.3 Especímenes de ensayo	32
6.3.3.1 Muestreo	32
6.3.3.2 Comprobaciones	33
6.3.4 Procedimiento de carga	33
6.3.5 Análisis	33
6.4 ENSAYO DE FLEXION	35
6.4.1 Significado	35
6.4.2 Aparatos y accesorios	36
6.4.3 Especímenes de ensayo	36
6.4.3.1 Muestreo	36
6.4.3.2 Comprobaciones	36
6.4.4 Procedimiento de carga	36
6.4.5 Observaciones	37
6.5 ENSAYO ACUSTICO	38
6.5.1 Sonido	38
6.5.2 Frecuencia de un sonido	38
6.5.3 Nivel de presión de un sonido	38
6.5.4 Aislamiento acústico	39
6.5.5 Materiales acústicos	40
6.5.6 Coeficiente de absorción de ruido (α)	40
6.5.7 Superficie de absorción	41

6.5.8	Coeficiente de reducción del ruido (NRC)	41
6.5.9	Ensayo de evaluación acústica (método del tubo de impedancia)	43
6.5.9.1	Tipos de probeta	45
6.5.9.2	Aparatos y accesorios	46
6.5.10	Análisis	47
7.	FICHA TÉCNICA	48
7.1	COMPOSICION DEL ELEMENTO	48
7.2	PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN	49
7.3	CARACTERISTICAS DEL ELEMENTO PASADO LOS 28 DIAS	50
7.3.1	Panel de 2 cm. de espesor	50
7.3.2	Panel de 2.5 cm. de espesor	51
7.3.3	Panel de 3 cm. de espesor	52
8.	CONCLUSIONES	53
	RECOMENDACIONES	55
	BIBLIOGRAFÍA	56
	ANEXOS	58

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Diámetro de malla empleado en el molino de cuchillas	14
Tabla 2. Granulometría de la fibra empleada en la mezcla	22
Tabla 3. Dosificación empleada	24
Tabla 4. Carga de trabajo de los paneles	31
Tabla 5. Energía de impacto de los paneles	34
Tabla 6. Niveles sonoros en lugares habituales	39
Tabla 7. Valores de NRC para materiales de construcción.	42

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Cultivo de caña de azúcar	6
Figura 2. Composición química de la caña de azúcar	8
Figura 3. Máquina de molino de cuchillas. Planta de aceros UIS.	15
Figura 4. Máquina vibradora de tamices. Laboratorio de Ingeniería Civil	16
Figura 5. Mezcladora mecánica. Laboratorio de Ingeniería Civil	20
Figura 6. Proceso de mezclado	21
Figura 7. Bagazo empleado para la realizar la granulometría de la fibra	22
Figura 8. Moldes para elaboración de los paneles prefabricados.	23
Figura 9. Ensayos de compresión.	25
Figura 10. Máquina universal de ensayos marca TREBEL.	26
Figura 11. Ensayos de penetración.	29
Figura 12. Ensayos de flexión.	35
Figura 13. Ensayo de evaluación acústica	43
Figura 14. Probetas empleadas en el ensayo de evaluación acústica	45
Figura 15. Generador de audio MARCA LEADER	46
Figura 16. Osciloscopio marca HAMEB Instruments	47
Figura 17. Amplificador de sonido	47

ANEXOS

	pág.
Anexo A. Ensayos a la Compresión	59
Anexo B. Ensayos de Penetración	67
Anexo C. Ensayo de Impacto	76
Anexo D. Ensayo de Flexión	81
Anexo E. Ensayo de Evaluación acústica	83

RESUMEN

TITULO: ELABORACION DE PANELES PREFABRICADOS PARA MUROS DIVISORIOS A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y CEMENTO. *

AUTORES: NELSON JOHANNY LOPEZ BARRIOS, CRYSTIAM MANUEL VALENCIA GUALDRON. **

PALABRAS CLAVES: PANEL PREFABRICADO, MEZCLA, BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, SILICATO DE SODIO, CEMENTO PÓRTLAND.

DESCRIPCION: Los aglomerados de bagazo de caña de azúcar y cemento, han demostrado que combinados poseen óptimas cualidades como material de construcción.

En la búsqueda de nuevos elementos constructivos, se elaboraron paneles de bagazo-cemento; para su fabricación se emplearon cuatro elementos indispensables: Fibra de bagazo de caña de azúcar entre tamaños de 5 a 25 mm, cemento Pórtland Tipo I cumpliendo relación en peso de bagazo/cemento 1/3.5, Silicato de Sodio como agente mineralizante cumpliendo relación en peso al 10% del bagazo, agua en relación del 0.6% con respecto a la masa total de la muestra. Con estos materiales se realiza la mezcla y se lleva a los moldes para su respectivo llenado; allí se compacta para alcanzar una densidad de 1300 Kg. /m³ en el instante.

Pasados 28 días se evaluó el elemento tipo panel realizando ensayos de compresión, flexión, impacto y penetración; de acuerdo a los resultados obtenidos, se concluye que poseen excelentes propiedades físico-mecánicas como material de construcción; pudiéndose utilizar en: cielo raso, divisiones interiores de oficinas, fachadas entre otros. La instalación de los paneles en el proceso de construcción de viviendas, se realiza de manera rápida; debido a su bajo peso y fácil maniobrabilidad y otras características adicionales como su capacidad de ser cortado, perforado y atornillado lo cual conlleva a una construcción mucho más económica.

*Tesis de Grado

**Facultad de Ciencias Físico-mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil.
Director. Ricardo A. Cruz Hernández. Ingeniero Civil.

SUMMARY

TITLE: PREMANUFACTURING PANEL ELABORATION TO DIVIDE WALLS WITH SUGAR CANE WASTE PULP AND CEMENT. *

AUTHORS: NELSON JOHANNY LOPEZ BARRIOS, CRYSTIAM MANUEL VALENCIA GUALDRON. **

KEY WORDS: PREMANUFACTURING PANEL, MIXTURES, SUGAR CANE WASTE PULP, SILICATE OF SODIUM, PORTLAND CEMENT.

DESCRIPTION: The agglomerates of sugar cane waste pulp and cement have demonstrated that they possess good qualities as building supply when they are combined.

In the search of new elements to construct, waste pulp-cement panels were elaborated; for their production four indispensable elements were used: Fiber of sugar cane waste pulp; 5 to 25 mm, Portland cement Type 1; completing relationship in weight waste pulp/cement 1/3.5, Silicate of Sodium as mineralizing agent; completing relationship in weight to 10% of the waste pulp, water in relationship of 0.6% with regard to the total mass of the sample. With these materials the mixture is carried out and taken to the molds for their filling in; there it is zipped to immediately reach a density of 1300 Kg/m³.

After 28 days the type panel element was evaluated carrying out compression tests, flexion, impact and penetration; according to the obtained results. It is concluded that they possess excellent physical-mechanical properties as building supply; and they can be used in: ceilings, interior office divisions, facades, among others. Panel installation in the process of housing construction is carried out quickly; due to its light weight and easy maneuverability and other additional characteristics as its capacity to be cut, perforated and screwed; so that it's a much cheaper construction.

*Thesis

**Faculty of Physical-mechanical Sciences, Civil Engineering School.
Director: Ricardo A. Cruz Hernández.. Civil Engineer

INTRODUCCIÓN

El propósito de la investigación es abrir la posibilidad de producción de paneles de prefabricados de bagazo-cemento, presentando un insumo de menor valor que los de una construcción tradicional.

Las soluciones constructivas modernas acuden al uso de paneles los cuales son seleccionados por espesores dependiendo de la posición que ocupen en el diseño de la construcción, reduciendo tiempo y costos, ahí es donde justamente la aplicación de los paneles de bagazo cemento entrarían a formar parte de soluciones económicas y de gran demanda. Para aquellos países productores de caña de azúcar reviste un especial interés económico, por cuanto a la vez que tratamos de resolver el problema habitacional, se revalorizan los cultivos en mención al ubicar parcial o totalmente sus excedentes de bagazo.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 General

Evaluar experimentalmente el comportamiento de los paneles prefabricados de diferentes espesores, con las fibras provenientes del bagazo de la caña de azúcar incorporadas al cemento Pórtland, buscando opciones de vivienda de bajo costo.

1.1.2 Específicos

- Demostrar, las cualidades constructivas de los aglomerados de bagazo y cemento en paneles prefabricados, comparándolas con el sistema tradicional.
- Evaluar, las respectivas propiedades físico-mecánicas de los paneles prefabricados de bagazo y cemento utilizando la dosificación adecuada.
- Con base, a las propiedades de los paneles prefabricados, establecer su ficha técnica y su posible alternativa de fabricación de vivienda de bajo costo.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad los elevados costos de los materiales tradicionales han impedido que la comunidad más vulnerable de nuestra sociedad pueda llegar a adquirir su propia vivienda; por esto, las aplicaciones en el campo de la Ingeniería Civil dirigidas hacia la construcción de viviendas de interés social se están encaminando hacia la búsqueda de nuevos materiales con similares calidades a los comúnmente empleados con el fin de que puedan sustituirse reduciendo costos.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Teniendo en cuenta que la utilización y explotación del bagazo de la caña de azúcar, da origen a gran variedad de productos en el mercado económico nacional, lo cual conlleva al aumento de mano de obra e industrialización, bajando el nivel de desempleo, y mejorando el nivel de las regiones cultivadoras de caña de azúcar; además de minimizar el impacto ambiental producido por el mal manejo de los desechos de la producción de la panela.

En esa variedad de productos, encontramos una nueva opción la cual se puede introducir en el área de la construcción, como elementos de bagazo-cemento que en este caso en particular serían paneles prefabricados los cuales son utilizados en nuevos tipos de construcción y tienen una alta demanda ya que reduce costos y ocupa menos espacios.

1.4 ALCANCE DEL PROYECTO

Construir paneles de diferentes espesores, con sus respectivas especificaciones técnicas como un nuevo producto elaborado a base de un subproducto muy importante en la industria panelera como es el bagazo.

Se busca además, lograr un mejor conocimiento sobre dichos materiales constructivos, sus propiedades físicas, sus afectaciones al ser taladrado, cortado o atornillado, sus ventajas y desventajas tanto en la manipulación como en la construcción.

Se quiere orientar el estudio de los subproductos industriales paneleros a un nivel global, es decir que abarque todos los campos o sectores de la industrialización, no solo los ya investigados y puestos en práctica con veracidad, sino que también comience a tocar el campo de la construcción, ya que se conoce como el campo que fomenta el auge en la civilización.

2. LA CAÑA DE AZUCAR

2.1 BREVE RESEÑA HISTORICA

La caña de azúcar es uno de los cultivos más viejos en el mundo, se cree que empezó hace unos 3.000 años como un tipo de césped en la isla de Nueva Guinea y de allí se extendió a Borneo, Sumatra e India.

Figura 1. Cultivo de caña de azúcar.



Fuente:<http://www.asocaña.com.co>

El proceso del azúcar se escuchó primero en la India en el 3.000 A.C. Cristóbal Colón introdujo la caña en América en su segundo viaje (1493) a la Isla de La Española, cañas que no prosperaron. Tan sólo en 1501 fueron introducidas plantas que sí crecieron. El éxito de las plantaciones de azúcar en el Santo Domingo llevó a su cultivo a lo largo del Caribe y América del Sur.

2.1.1 En Colombia

La caña de azúcar llegó a Cali traída por Sebastián de Belalcázar, quien la plantó en su estancia de Yumbo; de allí el cultivo se diseminó por la cuenca del río Cauca. Durante la colonia, la producción de panela, azúcar y mieles fue una tarea artesanal y así permaneció hasta comienzos del Siglo XX. Para 1930 sólo había tres ingenios en el Valle del Cauca: Manuelita, Providencia y Río paila; desde esos años la industria azucarera empezó a expandirse en la región hasta completar 22 ingenios.

El Cultivo de la caña de azúcar es uno de los más importantes en el contexto después del café entre los cultivos permanentes. El 32% del área cultivada con caña de azúcar en Colombia se dedica a la producción de azúcar, el 7% a mieles, guarapo y forrajes y el 61% a panela.

2.2 DESCRIPCION

Pertenece a la familia de las gramíneas, con el tallo leñoso, de unos dos metros de altura, hojas largas, lampiñas y flores purpúreas en panoja piramidal. El tallo está lleno de un tejido esponjoso y dulce del que se extrae el azúcar.

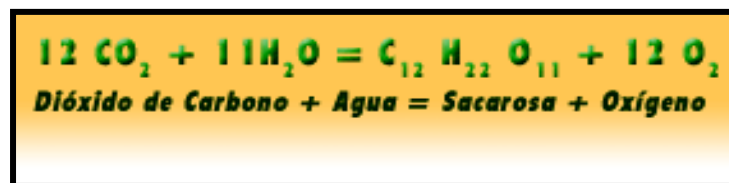
La caña de azúcar se cultiva prácticamente en todas las regiones tropicales y subtropicales de la tierra. En Colombia se cultiva en forma productiva desde el nivel del mar hasta alturas superiores a los 2.000 metros en las más variadas condiciones de temperatura, luminosidad, precipitación y calidad de suelos.

Aunque la cosecha de la planta se realiza aproximadamente cada año (en las regiones cálidas), su rápida capacidad de rebrote permite varias cosechas sucesivas a partir de la siembra inicial. En nuestro país las renovaciones del cultivo se realizan entre cada cuatro y ocho años y es común encontrar en las

zonas paneleras cultivos con más de 20 años de establecidos. Al ser un cultivo perenne permite una captura permanente del recurso tropical más abundante, la luz solar, disminuye los costos y los riesgos asociados a la siembra en los cultivos semestrales y anuales y mantiene una cobertura constante sobre el suelo lo que disminuye los costos de control de malezas y permite un uso más eficiente del agua y un mejor control de la erosión.

Durante su largo proceso evolutivo la caña ha desarrollado una muy alta capacidad para la producción y almacenamiento de sacarosa (azúcar). Ha sido esta cualidad por la cual el hombre ha cultivado y continúa cultivando la caña y por lo cual su cultivo se ha diseminado por todo el mundo tropical y subtropical.

Figura 2. Composición química de la caña de azúcar.



Fuente: <http://www.asocaña.com.co>

La caña de azúcar está constituida básicamente por agua y carbohidratos. Los carbohidratos se hayan presentes en forma tanto insoluble en agua (la fibra) como soluble (sacarosa, glucosa, fructuosa). Los contenidos de cenizas, lípidos (extracto etéreo) y proteína son prácticamente despreciables.

Para la agroindustria azucarera y panelera la sacarosa presente en la planta de la caña es el elemento que finalmente saldrá al mercado, ya sea en forma de azúcar o en forma de panela. Por lo tanto, el cultivo de la caña, sus prácticas agronómicas y los programas de mejoramiento genético, han estado encaminados hacia la selección de variedades que produzcan mayores niveles de sacarosa por unidad de área. La sacarosa constituye aproximadamente el 50% del total de la materia seca del tallo maduro de la caña de azúcar.

Las exigencias de humedad y variación de temperatura para obtener los máximos niveles de sacarosa han llevado a que en la mayor parte de las regiones azucareras del mundo, con excepción del Valle del Cauca, Hawai y Perú, la cosecha de caña se realice únicamente durante una época del año, en lo que se denomina la zafra.*

* Pagina de Internet, <http://www.asocaña.com.co>

3. PANELES PREFABRICADOS

3.1 DEFINICION

El panel es un elemento prefabricado que se utiliza para construir divisiones verticales en el interior o exterior de las viviendas y otras edificaciones. Debe ser manejable como una sola pieza y sus dimensiones deben ser mucho mayores que su espesor.

Los paneles que se emplearon en nuestro estudio son paneles no portantes ya que están destinados a resistir solamente su propio peso y las sobrecargas ocasionales; además son paneles simétricos ya que tienen simetría con respecto a un plano.

3.2 CLASIFICACION DE LOS PANELES

3.2.1 Según su tipo

De acuerdo con su forma de fabricación, los paneles prefabricados se clasifican en:

- a) Tipo I: entramados con vacíos, con revestimiento en láminas.
- b) Tipo II: entramados rellenos, con revestimiento en láminas
- c) Tipo III: monolíticos revestidos por una o ambas caras.
- d) Tipo IV: monolíticos sin revestimiento.**
- e) Tipo V: mixtos, con o sin revestimiento.

3.2.2 Según su clase

De acuerdo con el material predominante en su estructura, los paneles se clasifican en:

- a) Clase A. Hormigón.
- b) Clase B. Cerámica.
- c) Clase C. Madera.
- d) Clase D. Acero.
- e) Clase E. Aluminio.
- f) Clase F. Plástico
- g) Clase G. Lamina de yeso.
- h) Clase H. Fibrocemento.**
- i) Clase I. Láminas a base de madera.
- j) Clase J. Mixtos.

3.3 FABRICACION

Los procesos de fabricación, los equipos, las herramientas y materiales deben ser tales que se obtengan elementos de características constantes y estables; además los materiales que lo constituyen deben ser sometidos a un tratamiento previo para protegerlos contra los agentes físicos, químicos o biológicos que pudiera afectar sus características.

3.4 REQUISITOS GEOMETRICOS

En los paneles prefabricados se aceptaran las siguientes tolerancias sobre las dimensiones nominales:

- Espesor: más o menos 5% del espesor nominal.
- Longitud: más o menos 0,3%
- Ancho: más o menos 0,3%
- En escudaría: 3 mm. /m.
- Planidad de las caras: no exceder 3 mm.

4. MATERIALES Y TRATAMIENTOS EMPLEADOS

4.6 BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

El bagazo se adquirió de un trapiche tradicional ubicado en las afueras de la ciudad de Piedecuesta, con un tiempo de almacenamiento de aproximadamente cuatro meses.

El bagazo es un elemento lignocelulósico fibroso que se obtiene del último molido del tándem azucarero o panelero. Está formado por un conjunto heterogéneo de partículas de diferentes tamaños y su granulometría depende en lo fundamental del trabajo de los equipos de preparación de la caña y en menor grado del diseño del molino.*

El bagazo esta constituido por cuatro fracciones cuyos promedios son: Agua en un 50%, fibra del gagazo en un 45%, sólidos solubles entre 2 y 3%, sólidos insolubles 2 y 3%. La humedad de equilibrio promedio del bagazo esta entre 9 y 10% y su contenido esta relacionado directamente con la clase con la clase de trapiche donde se realizó la molienda, con el tiempo de almacenamiento y forma de almacenamiento.

* Manual de los derivados de la caña de azúcar; Instituto Cubano de investigación de los derivados de la caña de azúcar; Geplacea 2^{da} edición 1990.

El bagazo está compuesto químicamente de celulosa entre un 41 y 44%, hemicelulosa entre un 25 y 27% y lignina entre un 20 y 22% como principales polímeros naturales.

4.6.1 PROCESO DE TRITURACIÓN.

Este proceso es de gran importancia ya que por medio de él podemos clasificar y reducir las fibras del bagazo a un rango de tamaño y longitud adecuados para un mejor manejo de la mezcla.

Según la tabla de resultados obtenidos en proyectos anteriores el rango de longitud de fibra óptima para la utilización del bagazo en elementos constructivos es:

Tabla 1. Diámetro de malla empleado en el molino de cuchillas

DIÁMETRO DE MALLA		LONGITUD (mm.)	CALIFICACIÓN	OBSERVACIÓN
Pulgadas	Milímetros			
½	12.7	5 – 25	EXCELENTE	En el rango

Figura 3. Máquina molino de cuchillas. Planta de aceros UIS



Fuente: Nelson Johanny López, Crystiam Manuel Valencia.

Culminado este proceso continuamos con el proceso de granulometría y así poder clasificar las fibras de acuerdo a su tamaño.

4.6.2 PROCESO DE GRANULOMETRÍA.

El interés de nuestro estudio con respecto a la granulometría es clasificar el bagazo del porcentaje retenido en la malla # 4 al porcentaje retenido en la malla # 40, denominando este rango de tamaños como fibra, la cual nos brindaba resistencias mecánicas esenciales en los paneles a realizar.

El tamizado se llevó a cabo en los tamices y máquina vibradora de tamices presente en el laboratorio de suelos y pavimentos de la escuela de ingeniería civil.

Figura 4. Máquina vibradora de tamices. Laboratorio de Ingeniería Civil.



Fuente: Nelson Johanny López, Crystiam Manuel Valencia.

4.7 TRATAMIENTO SUPERFICIAL DE LA FIBRA.

El tratamiento superficial de la fibra es la clave fundamental en la elaboración de paneles prefabricados ya que si no se hace correctamente se verán afectadas muchas propiedades físicas del elemento tales como la resistencia, la cohesión entre las partículas entre otras.

Con respecto al tratamiento superficial se encontró:

“Todos las investigaciones que trabajan con fibras de origen vegetal, han señalado la necesidad de un tratamiento a las mismas para mejorar sus propiedades, sobre todo a nivel de resistencia a la durabilidad, pues, al poseer origen orgánico se tienden a descomponer por ataque químico y biológico. Además de servir como escudo protector para la estructura de la fibra, estos tratamientos mejoran las propiedades de adherencia con el material.

Como la fibra va ha estar en contacto con el cemento, la mineralización deberá satisfacer los siguientes requerimientos:

- Servir de protección contra el medio alcalino proporcionado por el cemento.
- Inmovilizar su parte orgánica y disminuir su capacidad de absorción de agua, de modo que evite la posibilidad de presentar cambios en su dimensión.
- Reducir al mínimo la incompatibilidad química con el cemento.
- Proporcionar mejores cualidades al compuesto, tales como durabilidad, resistencia al fuego y al ataque de microorganismos.”*

4.8 SILICATO DE SODIO

El silicato de sodio es un químico básico de múltiples usos en la producción de detergentes, aditivos de jabones, limpiadores de metal, agentes a prueba de fuego, solventes adhesivos, materiales de cemento secados, pinturas, revestimientos de cables eléctricos, clarificadores de agua, y un número de agentes adhesivos usados para adherir cosas como madera enchapada, tableros, pavimento y hojas de metal. Otro uso importante es en la manufactura de catalizadores básicos de silicato, gel de silicato. En nuestro estudio el silicato de sodio es usado en el tratamiento superficial de la fibra actuando como una sustancia bloqueadora, reaccionando con ciertos componentes de la fibra y formando sustancias muy difíciles de disolver posteriormente en el medio alcalino.

* PARRA GUERRERO, Ciro Alfonso; Propuesta de elemento constructivo a partir de bagazo de caña de azúcar y cemento Pórtland. 2005. p. 58.

Este tratamiento es muy sencillo de realizar y a su vez proporciona excelentes resultados. El silicato de sodio se adhiere a las paredes de la fibra recubriéndola y facilitando la interacción con el cemento, de aquí que se le denomine al proceso como mineralización.

La cantidad óptima que se emplea según estudios realizados es una décima parte con respecto al peso del bagazo, y su tratamiento se realiza minutos antes de agregar el cemento y el agua a la mezcla. Dicho tratamiento se debe realizar de una manera uniforme y homogénea empleando una maquina mezcladora.

4.9 CEMENTO PÓRTLAND

El cemento empleado en la elaboración de los paneles prefabricados es Cemento Boyacá Pórtland Tipo I.

Este cemento Pórtland típico consisten en mezclas de silicato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), aluminato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) y silicato dicálcico ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) en diversas proporciones, junto con pequeñas cantidades de compuestos de hierro y magnesio. Para retardar el proceso de endurecimiento se suele añadir yeso.

Los compuestos activos del cemento son inestables, y en presencia de agua reorganizan su estructura. El endurecimiento inicial del cemento se produce por la hidratación del silicato tricálcico, el cual forma una sílice (dióxido de silicio) hidratada gelatinosa e hidróxido de calcio. Estas sustancias cristalizan, uniendo las partículas presentes en las mezclas de argamasa de cemento para crear una masa dura. El aluminato tricálcico actúa del mismo modo en la primera fase, pero no contribuye al endurecimiento final de la mezcla. La hidratación del silicato dicálcico actúa de modo semejante, pero mucho más lentamente, endureciendo

poco a poco durante varios años. El proceso de hidratación y asentamiento de la mezcla de cemento se conoce como curado, y durante el mismo se desprende calor.

El cemento Pórtland se fabrica a partir de materiales calizos, por lo general piedra caliza, junto con arcillas, pizarras o escorias de altos hornos que contienen óxido de aluminio y óxido de silicio, en proporciones aproximadas de un 60% de cal, 19% de óxido de silicio, 8% de óxido de aluminio, 5% de hierro, 5% de óxido de magnesio y 3% de trióxido de azufre.

4.10 AGUA

El agua empleada en la mezcla es agua potable proveniente del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga AMB que cumple con la norma A.S.T.M. C-171-63. Es indispensable recalcar que además de utilizar el agua de amasado, también se tuvo en cuenta el agua de hidratación, agua evaporable y el agua del curado las cuales son esenciales en las reacciones químicas del cemento; y poder así alcanzar sus propiedades tales como resistencia, retracción, durabilidad, etc.

5. DOSIFICACION

Basado en los estudios y ensayos de proyectos anteriores se observa que se ha establecido una dosificación adecuada para mezclas conformadas por bagazo, cemento, agua y mineralizante, por lo tanto tomamos dichos parámetros y los aplicamos en la fabricación de paneles prefabricados de bagazo -cemento.

5.1 RELACION BAGAZO- SILICATO DE SODIO

La relación bagazo/silicato de sodio es de 10/1 y su tratamiento se realiza minutos antes de agregar el cemento y el agua a la mezcla. Dicho procedimiento se efectuó con una mezcladora mecánica (marca HOBART) para permitir que el mineralizador se homogenice con la totalidad de las fibras.

Figura 5. Mezcladora mecánica. Laboratorio de Ingeniería Civil



Fuente: Nelson Johanny López, Crystiam Manuel Valencia.

5.2 RELACION BAGAZO – CEMENTO

La relación bagazo/cemento es de 1/3.5, con la cual obtenemos una mayor resistencia del material para una mínima cantidad de cemento y una máxima cantidad de bagazo.

Después del tratamiento del bagazo con el silicato de sodio agregamos el cemento y el agua para obtener así la mezcla óptima.

Figura 6. Proceso de mezclado



Fuente: Nelson Johanny López, Crystiam Manuel Valencia.

5.3 RELACION AGUA – MASA TOTAL

La relación agua/masa total empleada en la mezcla es de 0.6/1. Dicha relación es totalmente independiente del agua que hay que agregar para la hidratación y el curado del cemento después de fabricado el panel.

5.4 GRANULOMETRIA

Con respecto a la granulometría de la fibra del bagazo se obtuvieron valores un poco diferentes, pero para mantener un proceso de elaboración lo más similar al de estudios realizados anteriormente se adecuaron de manera que en la mezcla participaran las mismas cantidades de porcentajes retenidos en los tamices No. 10, 20 y 40. Dichos porcentajes se muestran a continuación:

Tabla 2. Granulometría de la fibra empleada en la mezcla.

Tamiz #	Abertura (mm.)	% retenido
10	2	46.97
20	0.84	41.92
40	0.42	11.11

Figura 7. Bagazo empleado para la realizar la granulometría de la fibra.



Fuente: Nelson Johanny López, Crystiam Manuel Valencia.

5.5 MOLDES EMPLEADOS

Para la fabricación de los paneles prefabricados se emplearon platinas de hierro de 35 cm de largo, 23 de ancho y 5 mm. de espesor para impedir que se deformaran con los golpes de la compactación; dichas platinas fueron esmaltadas en la parte interna evitando que se oxidaran y reaccionaran con el cemento y el silicato de sodio y afectaran sus respectivas propiedades.

Los moldes para el llenado fabricados en madera tenían 30 cm. de largo, 18 cm de ancho y su espesores de 2, 2.5 y 3 cm. según el panel a fabricar.

Figura 8. Moldes para elaboración de los paneles prefabricados.



Fuente: Nelson Johanny López, Crystiam Manuel Valencia.

Conociendo la relación de materiales se emplearon las siguientes fórmulas y la siguiente tabla: *

MASA TOTAL = Masa bagazo + Masa Cemento + Masa Silicato de Sodio

MASA AGUA = Agua del bagazo + Agua del Silicato de Sodio + Agua cemento
+ Agua adicional

Tabla 3. Dosificación empleada

MATERIAL	DOSIFICACIÓN		
	RELACIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
Bagazo de caña	-----	100	Gramos
Silicato de Sodio	10% con respecto al peso del bagazo	10	Gramos
Cemento	3.5 veces el peso del bagazo	350	Gramos
Agua de amasado	55% con respecto al peso del cemento	195	Mililitros
Agua mineralizante	Concentración del 29% de Silicato	34.5	Mililitros
Agua adicional	(46% - % humedad) con respecto al peso del bagazo	36	Mililitros
Agua bagazo	% humedad	10	Mililitros

Fuente: Tesis de grado. Propuesta de elemento constructivo a partir de bagazo de caña de azúcar y cemento Pórtland. 2005. p. 88 y p. 89

* PARRA GUERRERO, Ciro Alfonso. Propuesta de elemento constructivo a partir de bagazo de caña de azúcar y cemento Pórtland. 2005. p. 88 y p. 89

6. ENSAYOS DE LABORATORIO

6.1 ENSAYO DE COMPRESIÓN

Por medio de este ensayo podemos comprobar la resistencia a la compresión de los paneles prefabricados sometiéndolo a la acción de cargas que se incrementan gradualmente y midiendo las deformaciones producidas por el incremento hasta llegar a la fluencia del material. Luego, sin medir las deformaciones, llevar las cargas hasta la rotura del panel prefabricado.

Figura 9. Ensayos de compresión.



Fuente: Nelson Johanny López, Crystiam Manuel Valencia.

6.1.1 Significado

Basándose en las lecturas efectuadas durante el ensayo se podrá dibujar un gráfico que establezca la relación esfuerzo-deformación. Este gráfico permitirá determinar cual es la carga de trabajo admisible, el módulo de elasticidad experimental del material y detectar otros fenómenos que se produzcan durante el

ensayo tales como pandeo local, alabeo, daños locales o rotura. Este ensayo pretende reproducir las condiciones reales de trabajo del panel prefabricado.

6.1.2 Aparatos y accesorios

Para realizar este ensayo se empleo la máquina universal de ensayos marca TREBEL, la cual se encuentra ubicada en el laboratorio de resistencia de materiales en el edificio de Ingeniería Civil.

Figura 10. Máquina universal de ensayos marca TREBEL.



Fuente: Nelson Johanny López, Crystiam Manuel Valencia.

6.1.3 Especímenes de ensayo

6.1.3.1 Muestreo

Se realizaron los ensayos sobre tres paneles prefabricados similares en tamaño, procedimiento de fabricación, edad y representativos del sistema constructivo al cual pertenecen.

6.1.3.2 Comprobaciones

Antes de efectuar los ensayos se comprobó la escudaría de los paneles prefabricados, la planeidad de sus caras tanto en sentido horizontal como en sentido vertical.

6.1.4 Procedimiento de carga

Se ensayan los paneles prefabricados aplicando cargas compresivas a una placa de acero que cubre la parte superior del panel. Se aplica la carga de manera uniforme.

6.1.5 Análisis

Mediante los gráficos de esfuerzo-deformación que se obtuvieron de los ensayos de compresión se pudo obtener el módulo de elasticidad experimental del material. Para ello calculamos la pendiente de cada una de las gráficas en la sección mas recta que se presente.

$$E = f_c / e$$

Donde: **E** es el módulo de elasticidad del material dado en kg/cm²
f_c resistencia tomada en un punto en Kg/cm²
e deformación unitaria en mm/mm

Después de calculado el módulo de cada panel se promedia y se obtiene uno general.

La falla de la probeta fue súbita y por pandeo debido a que no estaba arriostrada lateralmente y a su pequeño espesor.

6.2 ENSAYO DE CARGA CONCENTRADA O PENETRACION.

Por medio de este ensayo podemos comprobar la resistencia a la penetración de los paneles prefabricados imprimiéndole en la cara superior de un panel elegido un cilindro de 25.4 mm. de diámetro, con cargas que se incrementan gradualmente y medir las penetraciones producidas por las cargas en cada incremento.

Figura 11. Ensayos de penetración.



Fuente: Nelson Johanny López, Crystiam Manuel Valencia.

6.2.1 Significado

Basándose en las lecturas efectuadas durante el ensayo se podrá dibujar un gráfico que establezca la relación carga-deformación. Este gráfico permitirá determinar la carga de trabajo que el panel puede resistir y observar que tanta deformación alcanza antes de llegar a la fractura del elemento, igualmente se podrán determinar otros fenómenos que se produzcan durante el ensayo como daños locales o rotura. Este ensayo pretende reproducir las condiciones reales de trabajo del panel prefabricado.

6.2.2 Aparatos y accesorios

Para realizar este ensayo se empleo la máquina universal de ensayos marca TREBEL, la cual se encuentra ubicada en el laboratorio de resistencia de materiales. Se adecuó un cilindro de 25,4 mm. de diámetro a una platina por medio de soldadura para un mejor manejo en la aplicación de la carga.

6.2.3 Especímenes de ensayo

6.2.3.1 Muestreo

Se realizaron los ensayos sobre tres paneles prefabricados similares en tamaño, procedimiento de fabricación, edad y representativos del sistema constructivo al cual pertenecen.

6.2.4 Procedimiento de carga

Se ubica cada uno de los paneles seleccionados en un soporte horizontal previamente nivelado; se coloca la barra de acero en la cara superior del panel y se aplica la carga continua hasta observar la rotura del elemento.

6.2.5 Análisis

Para considerar un panel prefabricado como satisfactorio cuando se someta a un ensayo de penetración debe cumplir los siguientes requisitos:

- a) Bajo una carga de 200 kg. la penetración es igual o inferior a 2mm.
- b) Bajo una carga de 300 kg. el material no se fractura.

Se tomaron las cargas de trabajo de las muestras ensayadas y se promediaron obteniendo así una carga de trabajo de panel más exacta.

Tabla 4. Carga de trabajo de los paneles.

PANEL	Espesor 2 cm.	Espesor 2.5 cm	Espesor 3 cm
Muestra 1	460 kg	520 kg	560 kg
Muestra 2	420 kg	540 kg	550 kg
Promedio	440 kg	530 kg	555 kg

Según la tabla anterior de los valores obtenidos en los ensayos se alcanzaron los requisitos exigidos por la norma. A medida que se va aumentando el espesor del panel prefabricado opone mayor resistencia a la penetración y tiende a deformarse menos.

6.3 ENSAYO DE IMPACTO.

Por medio de este ensayo podemos comprobar la energía de impacto que soportan los paneles prefabricados a sucesivos impactos generados con una masa que se suelta desde diferentes alturas hasta llevarlo a la rotura.

6.3.1 Significado

Con base en las lecturas efectuadas durante el ensayo se puede dibujar un gráfico de energía. Este gráfico permite diferenciar las energías alcanzadas por cada panel con respecto a otro de mayor o menor espesor.

Detecta otros fenómenos que se produzcan durante el ensayo tales como daños locales, grietas o rotura.

6.3.2 Aparatos y accesorios

Para realizar este ensayo se emplea una estructura para sostener la masa a la altura requerida y soltarlo libremente.

6.3.3 Especímenes de ensayo

6.3.3.1 Muestreo

Los ensayos se deben hacer sobre paneles prefabricados similares en tamaño, espesor, procedimiento de fabricación, edad y representativos del sistema constructivo al que pertenecen. La muestra debe estar compuesta de dos paneles si estos son simétricos o cuatro si son asimétricos.

6.3.3.2 Comprobaciones

Antes de efectuar los ensayos se comprobó la escudaría de los paneles prefabricados, la planeidad de sus caras tanto en sentido horizontal como en sentido vertical.

6.3.4 Procedimiento de carga.

Se debe ensayar el panel como una viga con apoyos en sus bordes de menor largo y debe estar colocado perfectamente horizontal. Se deben corregir los desplazamientos que pueden sufrir después de cada impacto.

Las cargas de impacto se deben aplicar en el centro de la cara superior del panel por la caída libre de la masa, empezando con una altura de 150 mm y aumentando sucesivamente la altura en incrementos de 150 mm.

6.3.5 Análisis

Para considerar un panel prefabricado como satisfactorio cuando se someta a un ensayo de impacto debe cumplir los siguientes requisitos:

- a) Bajo un choque de 120 J (aproximadamente 12 kgf.m) el panel no presenta deterioro aparente.
- b) Bajo un choque de 240 J (aproximadamente 24 kgf.m) el panel no se rompa.

Se tomaron las energías de impacto de las muestras ensayadas y se promediaron obteniendo así una energía de panel más exacta.

Tabla 5. Energía de impacto de los paneles

PANEL	Espesor 2 cm.	Espesor 2.5 cm	Espesor 3 cm
Muestra 1	249 J	264.6 J	279.3 J
Muestra 2	249 J	279.3 J	308.7 J
Promedio	249 J	271.95 J	294 J

De acuerdo a los resultados obtenidos en el ensayo todos los paneles alcanzaron requisitos sobrepasando los 240J. de energía en el momento de fractura.

Para el cálculo de las energías se empleo la siguiente fórmula:

$$E = m \cdot g \cdot h \quad (\text{expresada en julios}),$$

Donde **m**= masa a impactar, en Kg.

g=aceleración de la gravedad, en m/s^2

h=altura de caída, en m.

6.4 ENSAYO DE FLEXION

Por medio de este ensayo podemos comprobar la resistencia a la flexión del material fabricado sometándolo a la acción de cargas que se incrementan gradualmente y midiendo las deformaciones producidas por el incremento hasta llegar a la fluencia del material. Luego, sin medir las deformaciones, llevar las cargas hasta la rotura del elemento.

6.4.1 Significado

La aplicación de la carga fue aumentando cada 10 Kg. hasta que presentara la falla, tomando la lectura del deformimetro para sus diferentes variaciones.

Se observo rompimiento de las fibras que se encuentran en la superficie de falla.

Figura 12. Ensayos de flexión.



Fuente: Nelson Johanny López, Crystiam Manuel Valencia.

6.4.2 Aparatos y accesorios

Para realizar este ensayo se empleo la máquina universal de ensayos marca TREBEL, la cual se encuentra ubicada en el laboratorio de resistencia de materiales.

6.4.3 Especímenes de ensayo

6.4.3.1 Muestreo

Se realizaron los ensayos sobre tres probetas similares en tamaño, procedimiento de fabricación, edad y representativos del sistema constructivo al cual pertenecen. Estos elementos fueron fabricados según los moldes de norma ICONTEC 120.

6.4.3.2 Comprobaciones

Antes de efectuar los ensayos se comprobó la escudaría de los elemento prefabricado, la planeidad de sus caras tanto en sentido horizontal como en sentido vertical.

6.4.4 Procedimiento de carga

Se ubica cada uno de los elementos seleccionados en un soporte horizontal previamente nivelado, fabricado con varillas de hierro y soldadas, se coloca una barra en el centro de la probeta la cual va a transmitir la carga aplicada por la máquina hacia el elemento; dicha carga se aplica continuamente hasta observar la rotura de la probeta.

6.4.5 Observaciones

Es evidente que este elemento no trabaja a fuerzas de flexión pero su carácter de prefabricado estará expuesto a diversos tipos de transporte y manejo que no siempre pueden estar supervisados.

6.5 ENSAYO ACUSTICO

6.5.1 Sonido

Se define como la alteración de un medio ya sea líquido, sólido o gaseoso que puede ser percibida por el oído. Su propagación ocurre en todas las direcciones a partir de una fuente emisora por medio de un movimiento armónico.

La velocidad del sonido depende del material en que se mueve, por ejemplo en el aire, son de 340 m/s, en el agua 1340 m/s y en el acero 5000 m/s. Además el medio en el que mueve las ondas sonoras debe poseer masa y elasticidad.

6.5.2 Frecuencia de un sonido

El sonido es una onda armónica que se puede representar senoidalmente, de esta forma el número de fluctuaciones o de periodos en un segundo se define la frecuencia o la altura del sonido la cual medimos en Hertz (Hz).

En función de la frecuencia también es posible clasificar los sonidos como graves, medios y agudos; los primeros tiene frecuencias pequeñas menores de 315 Hz, los medios entre 400 y 1250 Hz y los agudos comprenden el rango de frecuencias altas desde 1600 Hz en adelante. **El oído humano puede percibir frecuencias entre 20 y 15000 Hz.**

6.5.3 Nivel de presión de un sonido

El nivel de sonido se evalúa a partir de su presión acústica usualmente medida en Pascales ($1\text{ Pascal} = \text{N/m}^2$), un sonido cualquiera puede producir presiones en mayor o menor intensidad dependiendo de la mayor o menor energía que libera la fuente que produce el sonido. Se puede sentir físicamente este fenómeno de presión sónica al situarse frente a un amplificador de sonido con muy alto volumen.

La siguiente tabla nos muestra una apreciación de niveles sonoros en algunos lugares habituales.

Tabla 6. Niveles sonoros en lugares habituales

Presión (Pascuales)	Nivel de presión acústica (dB)	Ejemplos
20	120	Martillo neumático
20	120	Casa de máquinas
2	100	Interior de autobús
2	100	Pito de un auto
0.2	80	Calle con circulación
0.2	80	Oficina con máquinas
0.02	60	Conversación corriente
0.02	60	Vivienda media
0.02	60	Radio en funcionamiento normal
0.002	40	Radio funcionando a baja intensidad
0.0002	20	Campo tranquilo
0.00002	0	Umbral de audibilidad

Fuente: Meisser, Mathias. Acústica de los edificios.

6.5.4 Aislamiento acústico

Cuando las ondas sonoras chocan contra una pared, esta recibe el impacto vibra y transmite el ruido a los aledaños siendo el nivel sonoro transmitido menor que el nivel sonoro incidente.

Si se llama el nivel sonoro emitido en un cuarto L1 y el nivel sonoro transmitido al cuarto L2, entonces L1-L2 será el aislamiento acústico puro entre los dos locales. Si se quiere aumentar el aislamiento acústico entre dos cuartos se debe lograr aumentar la diferencia de niveles de intensidad sonora entre ellos.

Atenuar el nivel sonoro que pasa de un cuarto a otro utilizando materiales aislantes de sonido, es el principio del aislamiento acústico.

6.5.5 Materiales acústicos

Las dos características que pueden originar que un material sea llamado acústico son aislamiento y absorción.

Un material se llama **aislante de ruido** cuando su característica fundamental es reflejar el ruido que llega hasta él y se considera buen aislante en la medida que refleje sonido en mayor medida que otros materiales habituales.

Un material se llama **absorbente de ruido** cuando su característica fundamental es transformar gran parte de la energía sonora que lo atraviesa en cualquier otro tipo de energía generalmente en cualquier tipo de calor. La función de un material absorbente no es reflejar el sonido, al contrario ellos se hacen de tal forma que reflejen la misma parte posible de la energía que reciben, y de este modo se logra que penetre una cantidad de energía sonora susceptible de ser transformada en calor.

6.5.6 Coeficiente de absorción de ruido (α)

Cuando una onda sonora con una frecuencia y un nivel sonoro cualquiera choca contra un material parte de la energía sonora que trae la onda es absorbida. Si el material lograra absorber el 100% de la energía incidente se dice que dicho material tiene un coeficiente de absorción de ruido igual a 1, si por el contrario el material no absorbe nada tiene un coeficiente de absorción igual a 0. De esta forma si absorbe el 45% de la energía de la onda sonora incidente su coeficiente de absorción es 0.45.

Cada material tiene un comportamiento de absorción para dada frecuencia que se le aplique el coeficiente de ruido da el valor de absorción para una sola frecuencia.

6.5.7 Superficie de absorción

La superficie de absorción equivale a la porción de área de una pared que es perfectamente absorbente y se mide en sabinos.

Por ejemplo si un material A tiene un coeficiente de absorción $\alpha = 0.80$ para una frecuencia de 1000 Hz, esto es equivalente a decir que 1m^2 esta material es igual a 0.80 m^2 de superficie perfectamente absorbente. Se dice que 0.80 sabinos es la superficie de absorción equivalente de un metro cuadrado de material A para 1000 Hz.

6.5.8 Coeficiente de reducción del ruido (NRC)

Para evaluar el comportamiento absorbivo general de un material a diferentes frecuencias se calcula el coeficiente de reducción de ruido NRC, este se define como el promedio de los coeficientes de absorción de (α) de un material a las frecuencias de 250,500,1000 y 2000 Hz.

Para calcular los valores de NRC para los paneles prefabricados se usaron las siguientes frecuencias medias y altas 630-100-1250-1600-2000 Hz.

Estas son las frecuencias más comunes en los ruidos habituales que afectan las edificaciones y se encuentran en el rango de frecuencias de una conversación normal.

A continuación se muestran valores de coeficiente NRC de algunos materiales comunes en construcción, al final de la tabla aparecen materiales absorbentes de origen comercial.

Tabla 7. Valores de NRC para materiales de construcción.

MATERIAL	NCR
Ladrillo no esmaltado	0.05
Bloque de hormigón pintado	0.05
Suelo de hormigón	0.05
Panel de vidrio pesado	0.05
Baldosa de mármol	0.05
Escayola con acabado liso sobre ladrillo	0.05
Madera	0.10
Vidrio común	0.10
Mortero	0.15
Yeso	0.30
Bloque de hormigón tosco	0.35
Corcho aglomerado	0.55
Fibra de vidrio	0.65
Lana mineral	0.65
Concreto + emulsión asfáltica al 20%	0.30
Second look IV	0.50
Duracustic	0.60
Minatone	0.55
Vinil-faced fiberglass ceilings	0.70

Fuente: Tesis de grado. Wilson Ortiz Santana, Fabio E. Rincón

Existen dos métodos para el cálculo de coeficiente de absorción α en materiales

- Métodos de cuarto de reverberación
- Métodos de tubo de impedancia

El primero utiliza un cuarto de dimensiones especiales cuyas paredes son recubiertas con el material absorbente ensayado, se ubica dentro del cuarto una fuente de ruido constante y por medio de aparatos especiales se mide la reverberación en él, luego se mide la reverberación del cuarto con las paredes

desnudas. Estos valores se pueden relacionar por medio de fórmulas para obtener valores de absorción del material probado.

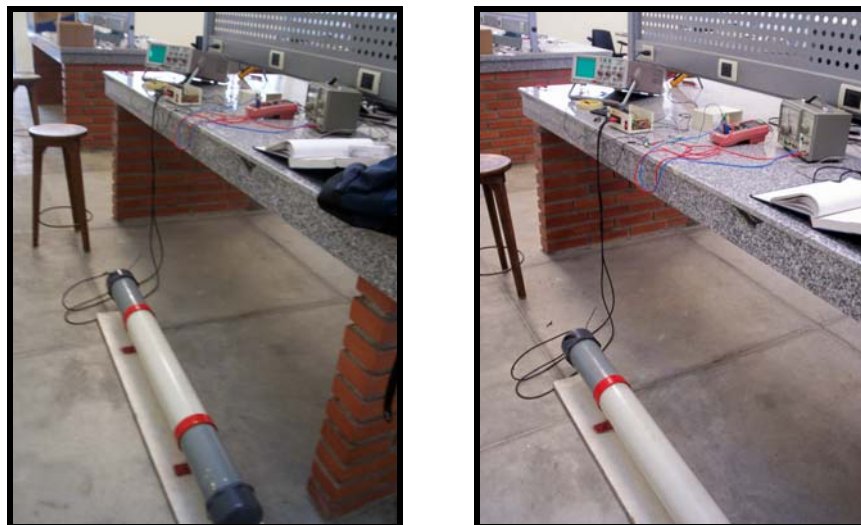
El segundo método fue el utilizado en la presente investigación debido a que permite trabajar un gran número de probetas de pequeñas dimensiones haciendo más práctica y manejable la ejecución del experimento.

6.5.9 Ensayo de evaluación acústica (método del tubo de impedancia)

Para realizar este ensayo se empleo un tubo rígido de P.V.C, de diámetro y longitud preestablecidos. En el extremo inicial del tubo se monta un amplificador de sonido o parlante el cual va conectado a un generador de audio alcanzando sonidos con frecuencias desde 500 hasta 2000 Hz.

La onda de sonido emitida por el parlante viaja por el tubo hasta el extremo final, donde se monta la probeta del material que se va a analizar. Esta debe encajar perfectamente dentro del extremo del tubo.

Figura 13. Ensayo de evaluación acústica



Fuente: Nelson Johanny López, Crystiam Manuel Valencia.

La onda emitida choca contra la probeta donde parte de la energía es absorbida y parte reflejada, esta onda reflejada es rastreada por medio de un micrófono situado en el eje central del tubo que puede desplazarse a través de su longitud y que está conectado a un osciloscopio que muestra gráficamente las ondas reflejadas.

Las ondas reflejadas por la probeta varían su amplitud a medida que se alejan de ellas presentando valores máximos y mínimos.

El objetivo del método es desplazar el micrófono a través del tubo buscando el valor del primer máximo y el menor mínimo que presenta la onda reflejada. Dichos valores los podemos tomar visualizando las ondas reflejadas en la pantalla del osciloscopio conectado al micrófono.*

Mediante el uso de fórmulas se reemplazan los valores de amplitud hallados y se obtiene el valor del coeficiente de absorción α del material ensayado.

Los valores de α y NRC obtenidos en esta investigación se calcularon mediante las siguientes ecuaciones empleando los valores de amplitud máximos y mínimos leídos directamente del equipo usado en el método del tubo de impedancia.

$$K = V_{m\grave{a}x} / V_{min}$$

$$K = K + 1 / K - 1$$

$$\alpha = 1 - K^2$$

$$NRC = \Sigma \alpha / n$$

* ORTIZ SANTANA, Wilson. RINCON M. Fabio. Estudio de propiedades acústicas en morteros modificados con aditivos poliméricos.1999.

Donde:

K , es la relación de onda constante o permanente.

$V_{m\grave{a}x}$, voltaje o amplitud pico del primer máximo medido en el osciloscopio.

V_{min} , voltaje o amplitud pico del primer mínimo medido en el osciloscopio.

K , coeficiente de reflexión

α , coeficiente de absorción.

NRC, coeficiente de reducción de ruido.

$\Sigma\alpha$, sumatoria de los coeficientes de absorción para cada frecuencia aplicada sobre el material ensayado.

n , número de frecuencias utilizadas.

6.5.9.1 Tipos de probeta

Con la misma dosificación que se realizaron los paneles prefabricados se crearon las probetas para el ensayo del método del tubo de impedancia las cuales tienen una forma circular de diámetro 10.5 cm y un espesor de 2 cm.

Figura 14. Probetas empleadas en el ensayo de evaluación acústica



Fuente: Nelson Johanny López, Crystiam Manuel Valencia.

6.5.9.2 Aparatos y accesorios

Para la realización del ensayo de evaluación acústica se emplearon los siguientes aparatos:

- Un tubo de impedancia con longitud y diámetros preestablecidos mostrado en la figura. 13
- Un generador de audio MARCA LEADER, el cual genera sonidos con frecuencias desde 500 hasta 2000 Hz. Ver figura 15.
- Un osciloscopio marca HAMEB Instruments el cual muestra gráficamente las ondas reflejadas. Ver figura 16.
- Un amplificador de sonido en el cual van conectados el generador, el osciloscopio, el micrófono y el parlante. Ver figura 17.

Figura 15. Generador de audio MARCA LEADER



Fuente: Nelson Johanny López, Crystiam Manuel Valencia.

Figura 16. Osciloscopio marca HAMEB Instruments



Fuente: Nelson Johanny López, Crystiam Manuel Valencia.

Figura 17. Amplificador de sonido



Fuente: Nelson Johanny López, Crystiam Manuel Valencia.

6.5.10 Análisis

Por medio del equipo del método para la evaluación acústica del tubo de impedancia se obtuvieron valores de coeficiente de absorción α a partir de los valores de voltaje máximos y mínimos leídos del osciloscopio quien nos muestra gráficamente la onda reflejada y promediando dichos valores calculamos el respectivo coeficiente de reducción de ruido NRC para cada probeta ensayada.

7. FICHA TÉCNICA

7.1 COMPOSICIÓN DEL ELEMENTO

En la fabricación de los paneles de bagazo cemento se emplearon cuatro elementos indispensables:

- Fibra de bagazo de caña de azúcar, entre tamiz No 4 y 40 según granulometría.
- Cemento Pórtland referencia Tipo I, cumpliendo relación en peso bagazo/cemento 1/3.5.
- Agente mineralizador Silicato de Sodio, cumpliendo relación en peso del 10% en base al peso del bagazo.
- Agua en relación del 0.6% con respecto a la masa total de la muestra.

7.2 PROCEDIMIENTO DE FABRICACION:

Se coloca el bagazo a utilizar en la mezcladora mecánica, se agrega el mineralizador Silicato de Sodio y se realiza un tiempo de batido de aproximadamente dos minutos para que el mineralizador se homogenice con la totalidad de las fibras, a continuación se adiciona el cemento, el agua previamente pesados y se continua con el batido hasta poder observar una mezcla uniforme.

Se extrae la mezcla del recipiente y se lleva a los moldes para su respectivo llenado; allí será compactada en cinco capas de 32 golpes cada una para poder hacer alcanzar una densidad de más de 1300 Kg./m³ en el instante.

Después de este procedimiento se mantiene prensado durante dos días para evitar la resistencia al moldeo y la deformación de las fibras. Durante este tiempo se conservan húmedos los moldes para permitir que la reacción química del cemento sea exitosa y no altere las propiedades del elemento.

Cumplido este lapso de tiempo se extrae el panel del molde muy cuidadosamente para evitar que sea fracturado y se somete a un continuo proceso de humedecimiento ayudando así al proceso de hidratación del cemento hasta cumplir un tiempo mínimo de 28 días.

7.3 CARACTERÍSTICAS DEL ELEMENTO PASADO LOS 28 DÍAS

7.3.1 Panel de 2 cm. de espesor

PROPIEDAD	UNIDAD	VALOR
Densidad	Kg / m ³	1150
Absorción	%	35-40
Compresión	Kg / cm ²	83.33
Flexión	Kg / cm ²	27.8
Energía de impacto	Julios	249
Carga de trabajo	Kg	440
Coefficiente de reducción de ruido NRC.		0.453
Módulo de elasticidad	Kg / cm ²	291

7.3.2 Panel de 2.5 cm. de espesor

PROPIEDAD	UNIDAD	VALOR
Densidad	Kg / m ³	1150
Absorción	%	35-40
Compresión	Kg / cm ²	82.22
Flexión	Kg / cm ²	27.8
Energía de impacto	Julios	271.95
Carga de trabajo	Kg	530
Coefficiente de reducción de ruido NRC.		0.438
Módulo de elasticidad	Kg / cm ²	291

7.3.3 Panel de 3 cm. de espesor

PROPIEDAD	UNIDAD	VALOR
Densidad	Kg / m ³	1150
Absorción	%	35-40
Compresión	Kg / cm ²	82.41
Flexión	Kg / cm ²	27.8
Energía de impacto	Julios	294
Carga de trabajo	Kg	555
Coefficiente de reducción de ruido NRC.		0.477
Módulo de elasticidad	Kg / cm ²	291

8. CONCLUSIONES

- Los paneles prefabricados han demostrado que poseen excelentes propiedades físico mecánicas como material de construcción, no sólo pueden emplearse como muros no estructurales sino además se le pueden dar otros usos como cielo rasos, divisiones interiores en oficinas centros comerciales, construcciones temporales, etc. imprimiendo agilidad, rapidez, liviandad y economía en las construcciones.
- Las superficies obtenidas en los paneles prefabricados de bagazo-cemento alcanzan un alto grado de terminación permitiendo cualquier tipo de acabado ya sea pintura, friso, estuco, cerámica u otro de elemento decorativo; además permite ser cortado, taladrado, clavado o atornillado.
- Debido a que el proceso de compactación del elemento se realizó de una forma manual se encontraron algunos paneles con imperfecciones los cuales fueron desechados debido a que en los ensayos afectaría su resistencia mecánica y sus resultados; además según las Normas Técnicas Colombianas no cumplirían con la escudaría y planeidad de sus caras.
- El proceso de curado se realizó de una manera tradicionalmente empleada en el sector de la construcción de elementos prefabricados que es mantener la humedad del panel por medio del riego constante de agua permitiendo así la hidratación del cemento para alcanzar su máxima resistencia.

- Es evidente que este elemento no trabaja a fuerzas de flexión pero su carácter de prefabricado estará expuesto a diversos tipos de transporte y manejo que no siempre pueden estar supervisados.
- Los paneles prefabricados de bagazo cemento pueden ser aplicados como revestimiento sobre superficies planas facilitando la ejecución de correcciones de aislamientos acústicos en interiores de edificaciones debido a su buen coeficiente de reducción de ruido

RECOMENDACIONES

Al recolectar el bagazo de la caña de azúcar se debe tener en cuenta el tiempo de almacenamiento que este lleva; que no sobrepase los seis meses ya que al estar en un sitio aireado y expuesto agentes externos como insectos, ratones, hormigas etc. aceleran el proceso de descomposición y por lo tanto afectan la resistencia de las fibras.

Para realizar el proceso de mineralización de la fibra se debe emplear una mezcladora mecánica y así permitir que el silicato de sodio interactúe con cada una de las partículas, ya que de estas depende el éxito del elemento a construir.

En la elaboración de los paneles se debe evitar cualquier artículo que contenga óxido de hierro debido ya que este interactúa con los componentes químicos del cemento y del silicato de sodio afectando sus propiedades.

Después de extraídos los paneles de los moldes se deben ubicar en un sitio fresco, donde no hayan cambios bruscos de temperatura y donde se puedan estar humedeciendo para alcanzar así el proceso de curado del cemento.

Realizar estudios a paneles prefabricados incorporando elementos que puedan llegar a aumentar su resistencia y estabilidad estructural; estos elementos pueden ser mallas electro soldadas, ceniza extraída de los hornos de cocción del bagazo de la caña entre otros.

BIBLIOGRAFÍA

PARRA GUERRERO, Ciro Alfonso. Propuesta de elemento constructivo a partir de bagazo de caña de azúcar y cemento Pórtland. Tesis de Grado (Ingeniero Civil). Facultad de Ingeniería. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2005. 182 p.

COSTALES SOTELO, Raúl. Paneles de bagazo. Excelencia en la construcción. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar ICIDCA. La Habana Cuba.

NILSON H., Arthur. Diseño de Estructuras de Concreto. Duodécima edición Santafè de Bogotá, Colombia. McGraw-Hill. 1999. 722 p.

ORTIZ SANTANA, Wilson. RINCON M. Fabio E. Estudio de propiedades acústicas en morteros modificados con aditivos poliméricos. Tesis de Grado (Ingenieros Civiles). Facultad de Ingeniería. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 1999. 208 p.

NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 2446. Ingeniería Civil y Arquitectura. Paneles prefabricados. Clasificación y requisitos. Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Bogotá D.C. 2002.

NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 5068. Paneles prefabricados de fibrocemento. Ensayo de Impacto. Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Bogotá D.C. 2002.

NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 5069. Paneles prefabricados de fibrocemento. Ensayo de Compresión. Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Bogotá D.C. 2002.

NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 5123. Paneles prefabricados de fibrocemento. Ensayo de Carga Concentrada. Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Bogotá D.C. 2002.

NORMA TECNICA COLOMBIANA. Paneles prefabricados de fibrocemento. Ensayo de Flexión. Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Bogotá D.C. 2002.

PAGINAS DE INTERNET

<http://www.icidca.cu>

<http://www.canf.org>

<http://www.asocaña.com.co>

ANEXOS

ANEXO A

ENSAYO DE COMPRESION

ENSAYO DE COMPRESION A PANELES PREFABRICADOS.

TAMAÑO DEL PANEL	
ALTO:	30 cm.
ANCHO :	18 cm.
ESPESOR:	2 cm.

CARGA (kg)	ESFUERZO (Kg/cm ²)	DEFORMACION (mm /mm)
100	2,78	0,0109
200	5,56	0,0264
300	8,33	0,0306
400	11,11	0,0407
500	13,89	0,0533
600	16,67	0,0601
700	19,44	0,0703
800	22,22	0,0830
900	25,00	0,0889
1000	27,78	0,1041
1100	30,56	0,1136
1200	33,33	0,1260
1300	36,11	0,1345
1400	38,89	0,1454
1500	41,67	0,1565
1600	44,44	0,1680
1700	47,22	0,1797
1800	50,00	0,1913
1900	52,78	0,2029
2000	55,56	0,2125
2100	58,33	0,2263
2200	61,11	0,2380
2300	63,89	0,2496
2400	66,67	0,2680
2500	69,44	0,2800
2600	72,22	0,2950
2700	75,00	0,3100
2800	77,78	0,3400
2900	80,56	0,3640
3000	83,33	0,4200
2900	80,56	0,5000

ENSAYO DE COMPRESION A PANELES PREFABRICADOS.

TAMAÑO DEL PANEL	
ALTO:	30 cm.
ANCHO :	18 cm.
ESPESOR:	2,5 cm.

CARGA	ESFUERZO	DEFORMACION
(kg)	(Kg/cm2)	(mm /mm)
100	2,22	0,0109
200	4,44	0,0233
300	6,67	0,0220
400	8,89	0,0293
500	11,11	0,0367
600	13,33	0,0440
700	15,56	0,0513
800	17,78	0,0587
900	20,00	0,0660
1000	22,22	0,0733
1100	24,44	0,0807
1200	26,67	0,0880
1300	28,89	0,0953
1400	31,11	0,1027
1500	33,33	0,1100
1600	35,56	0,1173
1700	37,78	0,1247
1800	40,00	0,1330
1900	42,22	0,1413
2000	44,44	0,1497
2100	46,67	0,1580
2200	48,89	0,1663
2300	51,11	0,1747
2400	53,33	0,1830
2500	55,56	0,1913
2600	57,78	0,1997
2700	60,00	0,2080
2800	62,22	0,2163
2900	64,44	0,2247
3000	66,67	0,2330
3100	68,89	0,2413
3200	71,11	0,2497
3300	73,33	0,2580
3400	75,56	0,2800
3500	77,78	0,3000

3600	80,00	0,3300
3700	82,22	0,3667
3600	80,00	0,5120

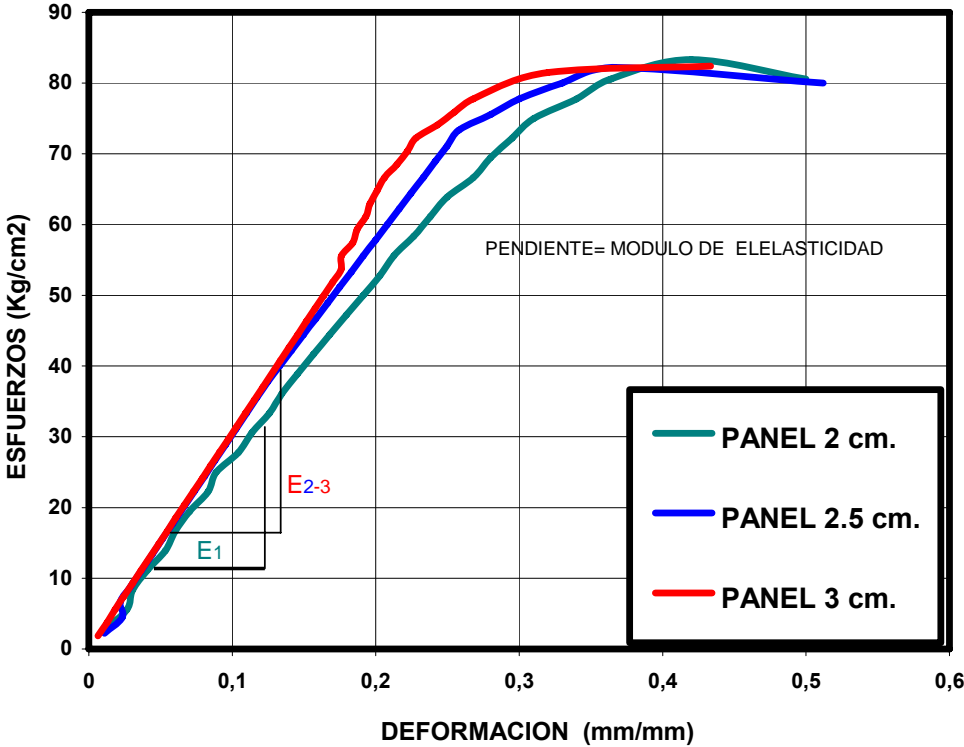
ENSAYO DE COMPRESION A PANELES PREFABRICADOS.

TAMAÑO DEL PANEL	
ALTO:	30 cm.
ANCHO :	18 cm.
ESPESOR:	3 cm.

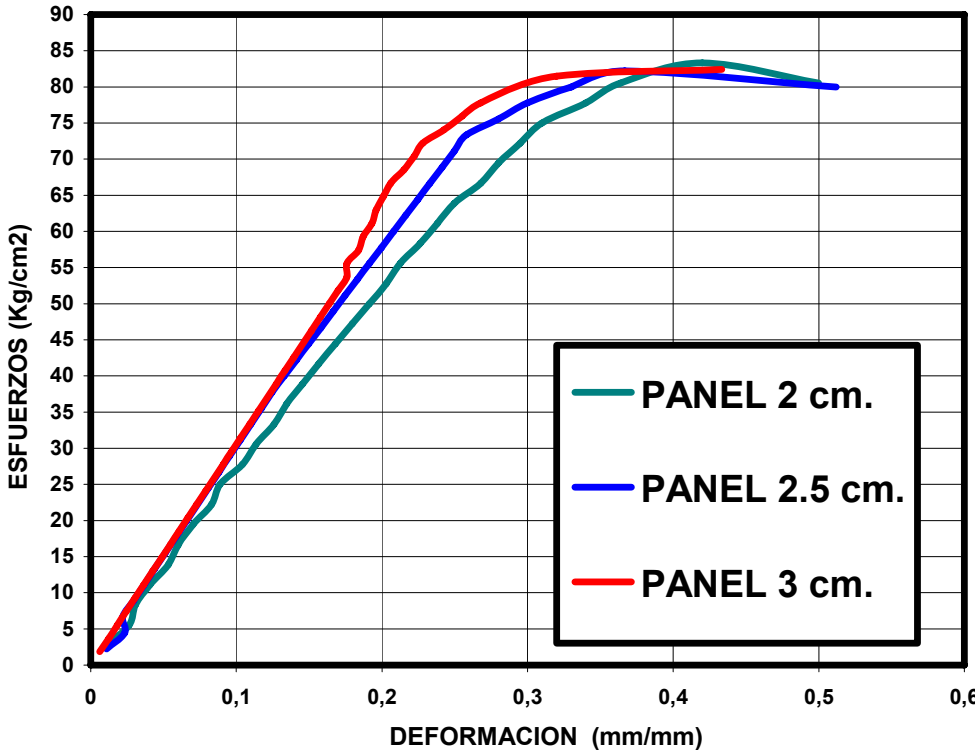
CARGA	ESFUERZO	DEFORMACION
(kg)	(Kg/cm2)	(mm /mm)
100	1,85	0,0063
200	3,70	0,0125
300	5,56	0,0182
400	7,41	0,0243
500	9,26	0,0303
600	11,11	0,0364
700	12,96	0,0425
800	14,81	0,0485
900	16,67	0,0546
1000	18,52	0,0607
1100	20,37	0,0667
1200	22,22	0,0728
1300	24,07	0,0789
1400	25,93	0,0849
1500	27,78	0,0910
1600	29,63	0,0971
1700	31,48	0,1031
1800	33,33	0,1092
1900	35,19	0,1153
2000	37,04	0,1213
2100	38,89	0,1274
2200	40,74	0,1335
2300	42,59	0,1395
2400	44,44	0,1456
2500	46,30	0,1517
2600	48,15	0,1577
2700	50,00	0,1638
2800	51,85	0,1699
2900	53,70	0,1759
3000	55,56	0,1760
3100	57,41	0,1840
3200	59,26	0,1870
3300	61,11	0,1930
3400	62,96	0,1960
3500	64,81	0,2010

3600	66,67	0,2060
3700	68,52	0,2150
3800	70,37	0,2220
3900	72,22	0,2280
4000	74,07	0,2427
4100	75,93	0,2550
4200	77,78	0,2680
4400	81,48	0,3200
4450	82,41	0,4333

ENSAYO DE COMPRESION
RELACION ESFUERZO-DEFORMACION



**ENSAYO DE COMPRESION
RELACION ESFUERZO-DEFORMACION**



ANEXO B

ENSAYO DE PENETRACION

**ENSAYO DE PENETRACION A PANELES PREFABRICADOS.
PRIMERA FASE**

TAMAÑO DEL PANEL	
ALTO:	30 cm.
ANCHO :	18 cm.
ESPESOR:	2 cm.

CARGA (kg)	CARGA (N)	DEFORMACION (0,001) pulg.	DEFORMACION (mm.)
0	0	0	0
50	490,35	18	0,4572
100	980,7	33	0,8382
150	1471,05	55	1,397
200	1961,4	75	1,905
250	2451,75	102	2,5908
300	2942,1	114	2,8956
350	3432,45	137	3,4798
400	3922,8	154	3,9116
450	4413,15	174	4,4196
460	4511,22	207	5,2578

**ENSAYO DE PENETRACION A PANELES PREFABRICADOS.
PRIMERA FASE**

TAMAÑO DEL PANEL	
ALTO:	30 cm.
ANCHO :	18 cm.
ESPESOR:	2.5 cm.

CARGA (kg)	CARGA (N)	DEFORMACION (0,001) pulg.	DEFORMACION (mm.)
0	0	0	0
50	490,35	10	0,254
100	980,7	23	0,5842
150	1471,05	40	1,016
200	1961,4	59	1,4986
250	2451,75	81	2,0574
300	2942,1	102	2,5908
350	3432,45	118	2,9972
400	3922,8	134	3,4036
450	4413,15	150	3,81
500	4903,5	170	4,318
520	5099,64	201	5,1054

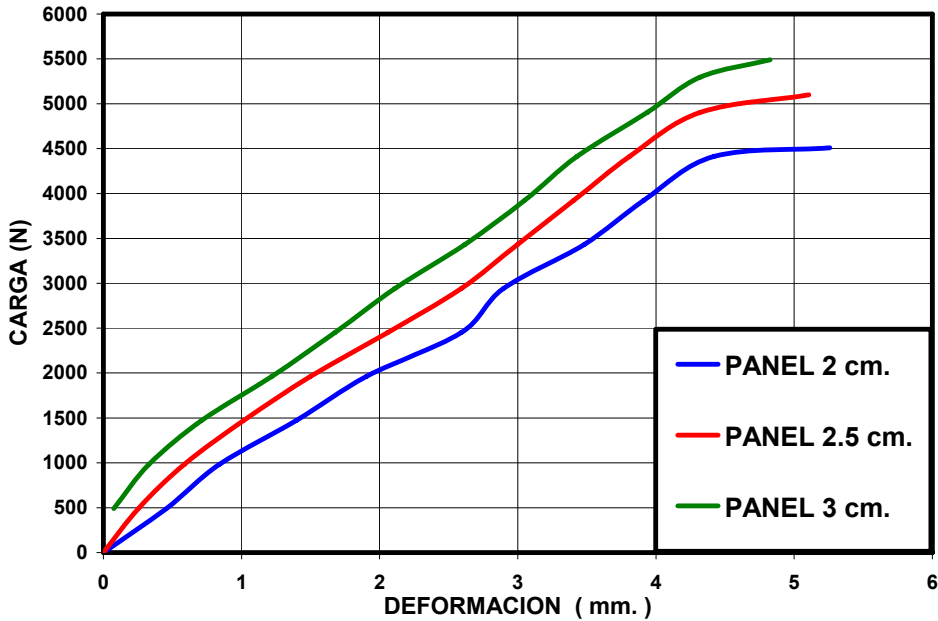
**ENSAYO DE PENETRACION A PANELES PREFABRICADOS.
PRIMERA FASE**

TAMAÑO DEL PANEL	
ALTO:	30 cm.
ANCHO :	18 cm.
ESPESOR:	3 cm.

CARGA (kg)	CARGA (N)	DEFORMACION (0,001) pulg.	DEFORMACION (mm.)
0	0	0	0
50	490,35	3	0,0762
100	980,7	13	0,3302
150	1471,05	28	0,7112
200	1961,4	48	1,2192
250	2451,75	66	1,6764
300	2942,1	83	2,1082
350	3432,45	103	2,6162
400	3922,8	120	3,048
450	4413,15	135	3,429
500	4903,5	155	3,937
540	5295,78	170	4,318
560	5491,92	190	4,826

**ENSAYO DE PENETRACION A PANELES PREFABRICADOS.
PRIMERA FASE**

GRAFICA CARGA Vs DEFORMACION



**ENSAYO DE PENETRACION A PANELES PREFABRICADOS.
SEGUNDA FASE**

TAMAÑO DEL PANEL	
ALTO:	30 cm.
ANCHO :	18 cm.
ESPESOR:	2 cm.

CARGA (kg)	CARGA (N)	DEFORMACION (0,001) pulg.	DEFORMACION (mm.)
0	0	0	0
50	490,35	24	0,6096
100	980,7	37	0,9398
150	1471,05	60	1,524
200	1961,4	83	2,1082
250	2451,75	107	2,7178
300	2942,1	125	3,175
350	3432,45	140	3,556
400	3922,8	159	4,0386
420	4118,94	212	5,3848

**ENSAYO DE PENETRACION A PANELES PREFABRICADOS.
SEGUNDA FASE**

TAMAÑO DEL PANEL	
ALTO:	30 cm.
ANCHO :	18 cm.
ESPESOR:	2.5 cm.

CARGA (kg)	CARGA (N)	DEFORMACION (0,001) pulg.	DEFORMACION (mm.)
0	0	0	0
50	490,35	16	0,4064
100	980,7	27	0,6858
150	1471,05	43	1,0922
200	1961,4	63	1,6002
250	2451,75	85	2,159
300	2942,1	100	2,54
350	3432,45	117	2,9718
400	3922,8	131	3,3274
450	4413,15	148	3,7592
500	4903,5	170	4,318
540	5295,78	201	5,1054

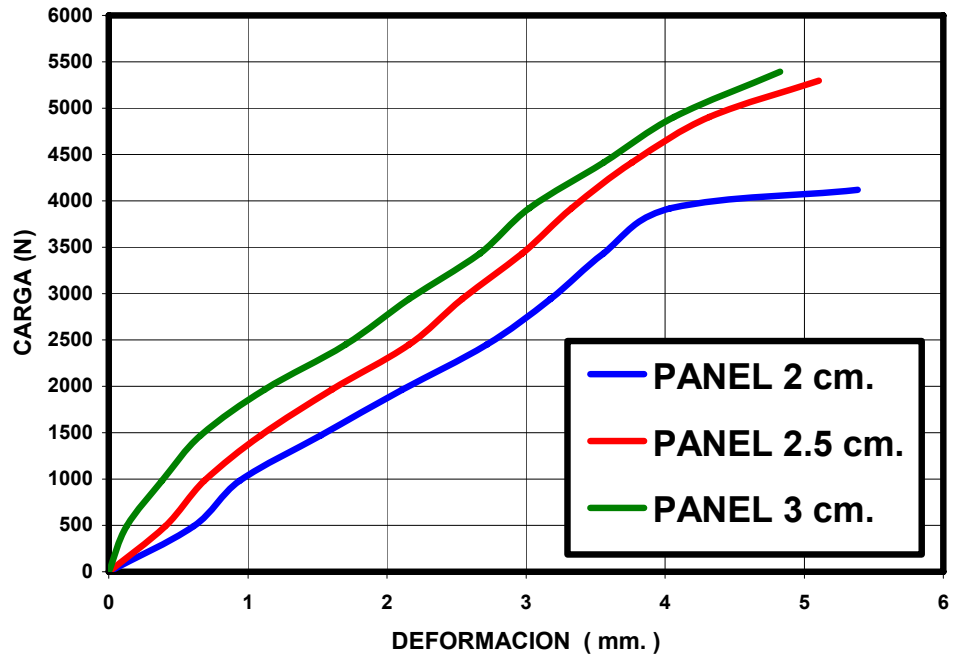
**ENSAYO DE PENETRACION A PANELES PREFABRICADOS.
SEGUNDA FASE**

TAMAÑO DEL PANEL	
ALTO:	30 cm.
ANCHO :	18 cm.
ESPESOR:	3 cm.

CARGA (kg)	CARGA (N)	DEFORMACION (0,001) pulg.	DEFORMACION (mm.)
0	0	0	0
50	490,35	5	0,127
100	980,7	15	0,381
150	1471,05	26	0,6604
200	1961,4	44	1,1176
250	2451,75	67	1,7018
300	2942,1	85	2,159
350	3432,45	105	2,667
400	3922,8	119	3,0226
450	4413,15	140	3,556
500	4903,5	160	4,064
550	5393,85	190	4,826

ENSAYO DE PENETRACION A PANELES PREFABRICADOS. SEGUNDA FASE

GRAFICA CARGA Vs DEFORMACION A PANELES



ANEXO C

ENSAYO DE IMPACTO

ENSAYO DE IMPACTO A PANELES PREFABRICADOS

TAMAÑO DEL PANEL	
ALTO:	30 cm.
ANCHO :	18 cm.
ESPESOR:	2 cm.

Masa a impactar en kg	30
Gravedad en m/s ²	9.8

ALTURA	ENERGIA	
	Muestra 1	Muestra 2
(m)	$E = m \cdot g \cdot h$	$E = m \cdot g \cdot h$
	(julios)	(julios)
0,1	29,4	29,4
0,15	44,1	44,1
0,2	58,8	58,8
0,25	73,5	73,5
0,3	88,2	88,2
0,35	102,9	102,9
0,4	117,6	117,6
0,45	132,3	132,3
0,5	147	147
0,55	161,7	161,7
0,6	176,4	176,4
0,7	205,8	205,8
0,75	220,5	220,5
0,8	235,2	235,2
0,85	249,9	249,9

ENSAYO DE IMPACTO A PANELES PREFABRICADOS

TAMAÑO DEL PANEL	
ALTO:	30 cm.
ANCHO :	18 cm.
ESPESOR:	2.5 cm.

Masa a impactar en kg	30
Gravedad en m/s ²	9.8

ALTURA	ENERGIA	ENERGIA
	Muestra 1	Muestra 2
(m)	<i>E= m*g*h</i>	<i>E= m*g*h</i>
	(julios)	(julios)
0,1	29,4	29,4
0,15	44,1	44,1
0,2	58,8	58,8
0,25	73,5	73,5
0,3	88,2	88,2
0,35	102,9	102,9
0,4	117,6	117,6
0,45	132,3	132,3
0,5	147	147
0,55	161,7	161,7
0,6	176,4	176,4
65	19110	19110
0,7	205,8	205,8
0,75	220,5	220,5
0,8	235,2	235,2
0,85	249,9	249,9
0,9	264,6	264,6
0,95		279,3

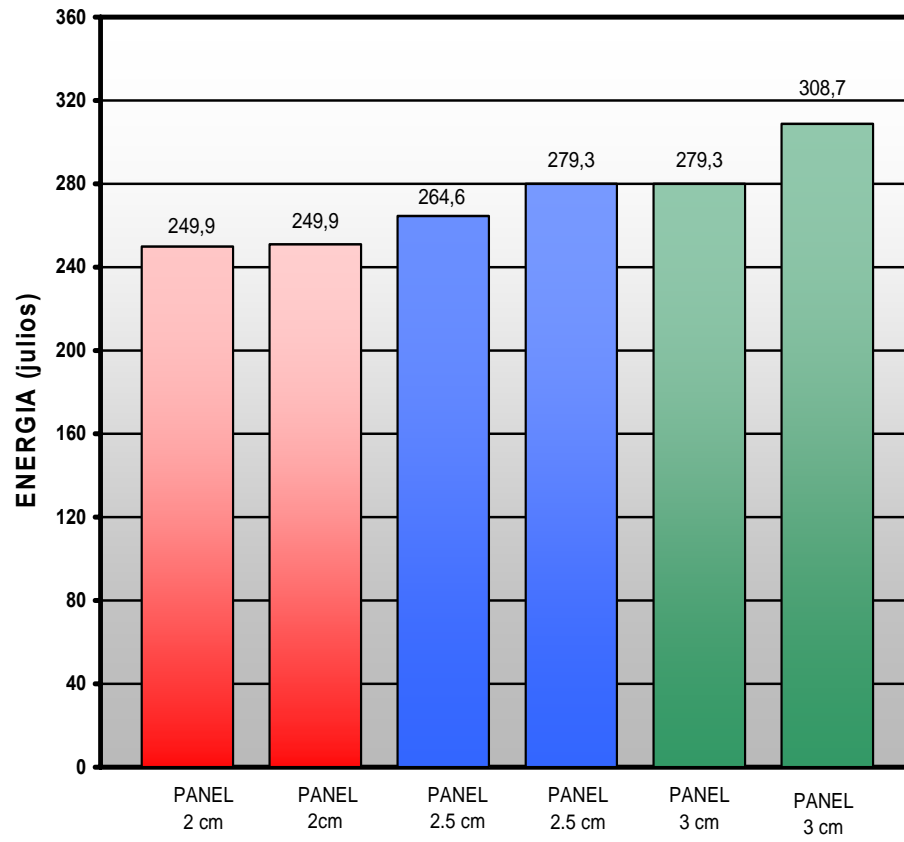
ENSAYO DE IMPACTO A PANELES PREFABRICADOS

TAMAÑO DEL PANEL	
ALTO:	30 cm.
ANCHO :	18 cm.
ESPESOR:	3 cm.

Masa a impactar en kg	30
Gravedad en m/s ²	9.8

ALTURA	ENERGIA	ENERGIA
	Muestra 1	Muestra 2
(m)	$E= m*g*h$	$E= m*g*h$
	(julios)	(julios)
0,1	29,4	29,4
0,15	44,1	44,1
0,2	58,8	58,8
0,25	73,5	73,5
0,3	88,2	88,2
0,35	102,9	102,9
0,4	117,6	117,6
0,45	132,3	132,3
0,5	147	147
0,55	161,7	161,7
0,6	176,4	176,4
0,65	191,1	191,1
0,7	205,8	205,8
0,75	220,5	220,5
0,8	235,2	235,2
0,85	249,9	249,9
0,9	264,6	264,6
0,95	279,3	279,3
1		294
1,05		308,7

GRAFICA DE ENERGIA ALCANZADA POR CADA PANEL



ANEXO D

ENSAYO DE FLEXION

ENSAYO DE FLEXION A PANELES PREFABRICADOS.

CARGA	Def.	Def.	Def.	Promedio	Resistencia	DEF.
(kg)	M 1	M 2	M 3		(Kg/cm2)	(mm /mm)
10	37	34	41	0,91616	2,78	0,108204
20	62	59	63	1,50512	5,56	0,216408
30	76	72	90	1,94684	8,34	0,324612
40	107	103	101	2,54398	11,12	0,432816
50	128	132	137	3,24746	13,90	0,54102
60	167	153	156	3,89368	16,68	0,649224
70	173	189	170	4,35176	19,46	0,757428
80	203	205	194	4,92436	22,24	0,865632
90	212	209	204	5,1125	25,02	0,973836
100	219	214	208	5,24338	27,80	1,08204

ANEXO E

**ENSAYO DE EVALUACION
ACUSTICA**

ENSAYO DE EVALUACION ACUSTICA

Probeta de 2cm de espesor

FRECUENCIA (Hz)	Vmax	Vmin	K	k	α
630	0,43	0,04	10,75	0,829787234	0,311453146
800	0,32	0,04	8	0,777777778	0,395061728
1000	0,16	0,04	4	0,6	0,64
1250	0,31	0,04	7,75	0,771428571	0,404897959
1600	0,26	0,04	6,5	0,733333333	0,462222222
2000	0,23	0,04	5,75	0,703703704	0,504801097
				NRC	0,453

Probeta de 2.5 cm de espesor

FRECUENCIA (Hz)	Vmax	Vmin	K	k	α
630	0,68	0,04	17	0,888888889	0,209876543
800	0,36	0,04	9	0,8	0,36
1000	0,14	0,04	3,5	0,555555556	0,691358025
1250	0,22	0,04	5,5	0,692307692	0,520710059
1600	0,33	0,04	8,25	0,783783784	0,38568298
2000	0,26	0,04	6,5	0,733333333	0,462222222
				NRC	0,438

Probeta de 3 cm de espesor

FRECUENCIA (Hz)	Vmax	Vmin	K	k	α
630	0,5	0,04	12,5	0,851851852	0,274348422
800	0,33	0,04	8,25	0,783783784	0,38568298
1000	0,21	0,04	5,25	0,68	0,5376
1250	0,15	0,04	3,75	0,578947368	0,664819945
1600	0,26	0,04	6,5	0,733333333	0,462222222
2000	0,21	0,04	5,25	0,68	0,5376
				NRC	0,477

