



Universidad Central de Venezuela
Facultad Arquitectura y Urbanismo
Coordinación de Estudios de Postgrado
Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción.
VIII Maestría en Desarrollo Tecnológico de la Construcción.

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL CONCRETO REFORZADO CON
FIBRAS DE SISAL Y SU FACTIBILIDAD EN LA PRODUCCIÓN DE PANELES
PARA CERRAMIENTOS EXTERIORES.**

Trabajo de Grado, presentado ante la Universidad Central de Venezuela para optar al
Grado Académico de Magister Scientiarum en Desarrollo Tecnológico de la Construcción.

Tutores: Dra. Arq. Milena Sosa.
Dr. Ing. Idalberto Águila.

Autor: Arq Yuraima Centeno.

Caracas; 30 Marzo de 2012



**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL CONCRETO REFORZADO CON
FIBRAS DE SISAL Y SU FACTIBILIDAD EN LA PRODUCCIÓN DE PANELES
PARA CERRAMIENTOS EXTERIORES.**

Tutores: Dra. Arq. Milena Sosa.
Dr. Ing. Idalberto Águila.

Autor: Arq Yuraima Centeno.

Caracas; 30 Marzo de 2012

**Trabajo de grado aprobado en nombre de la
Universidad Central de Venezuela
por el siguiente jurado examinador**

Coordinador

Fecha de Aprobación:

DEDICATORIA

A mí pequeña hija Tanet, la cual fue concebida durante la ejecución de este Trabajo de Grado, convertida en apoyo fundamental y asidero de mis metas y sueños por alcanzar.

A mis padres por su apoyo solidario y por haberme enseñado que la superación humana se consigue con disciplina tenaz y esfuerzo permanente.

A mis Abuelitos, Nieves y Oscar, los cuales se marcharon mientras transcurría el desarrollo de este Trabajo, dejando profundo vacío en mí pero a la vez recuerdos gratos y amor permanente.

Al Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción, IDEC, por ser mi casa de estudios y brindarme el más amplio apoyo durante la ejecución de esta maestría.

A mis Tutores, Profesora Milena Sosa y Profesor Idalberto Águila,

RECONOCIMIENTOS

Primeramente a Dios por permitirme caminar por el sendero del profesionalismo honesto y preocupado.

A mí hermana Arantxa Centeno, por poder contar siempre con su respaldo y presencia

A Mauricio Abadi, por ser mano amiga y sabio consejero en la elaboración de mi Trabajo de Grado.

A mis Tutores, Profesora Milena Sosa y Profesor Idalberto Águila, por sus oportunos y sabios consejos

Al Instituto Venezolano de Investigaciones Tecnológicas e Industriales (INVESTI) por el apoyo prestado en la elaboración de las pruebas.

Al Programa de Movilidad Universitaria de la Red de Macro Universidades de América Latina y el Caribe por darme la oportunidad de realizar pasantías en Brasil.

Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la U.C.V., por el respaldo financiero concedido a proyectos de investigación individual.

A la Universidad Central de Venezuela, específicamente al Instituto de Desarrollo Tecnológico de la Construcción

INDICE GENERAL

	pp.
LISTA DE CUADROS.	vi
LISTA DE GRÁFICOS	vii
LISTA DE FOTOS.	ix
RESUMEN.	x
INTRODUCCIÓN.	1
CAPÍTULOS.	
I LAS FIBRAS NATURALES Y LA PRODUCCIÓN DE FIBROCEMENTO.	5
Introducción.	5
I.1 Características técnicas de las fibras naturales.	5
I.2 Características técnicas del cemento.	10
I.3 Uso de fibras vegetales en la construcción.	11
I.4 Investigaciones con la fibra de sisal como material de construcción.	14
I.5 El fibrocemento.	19
I.5.1 Componentes Constructivos a partir de fibrocemento.	20
I.2 El Sisal en Venezuela y en el Mundo.	23
I.2.1 Producción de Fibra Sisal.	26
I.2.2 Proyecto Sisal Fudeco.	28
Conclusión.	29
II DESARROLLO EXPERIMENTAL.	31
Introducción.	31
II.1 Diseño de la experimentación.	31
II.2 Caracterización de materiales.	31
II.2.1 Análisis general de la Arena.	32
II.2.2 Fibra de sisal.	34
II.3 Diseño de mezcla y vaciado de probetas.	34

II.4 Confección de mezclas.	36
II.5 Ensayos.	37
II.5.1 Ensayos de mortero fresco.	37
II.5.2 Ensayos de mortero endurecido.	39
II.5.3 Ensayos de Resistencia a Flexión.	39
II.5.4. Interpretación de Gráficos de los resultados del ensayo de resistencia a la flexión.	52
II.5.5 Ensayos de resistencia a compresión de cabeza de vigas.	54
II.5.6 Ensayos de resistencia a compresión de cilindros estándar.	55
II.5.7 Interpretación de Gráficos de los resultados del ensayo de resistencia a la compresión.	58
Conclusiones.	59
III PROPUESTA TECNOLÓGICA.	61
Introducción.	61
III.1 Sistema Constructivo de Paneles.	61
III.2 Juntas.	62
III.3 Propuesta de diseño para paneles a base de concreto reforzado con fibra de sisal.	65
III.4 Propuesta de aplicación en vivienda de paneles a base de concreto reforzado con fibra de sisal.	72
III.5 Producción de paneles.	75
III.6 Acabados.	76
III.7 Aspectos Técnicos-Económicos.	76
Conclusión.	78
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES.	79
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.	83
BIBLIOGRAFIA.	86

LISTA DE CUADROS

Nº		pp
1	Características de las principales fibras naturales usadas en la producción de fibrocemento.	7
2	Clasificación de las principales fibras utilizadas como armadura en los productos de fibrocemento.	20
3	Granulometría de la Arena.	32
4	Granulometría de la arena, según la Norma COVENIN.	33
5	Peso específico y absorción.	33
6	Contenido de cloruros y sulfatos.	34
7	Resumen de mezclas confeccionadas.	35
8	Diseño de mezclas.	36
9	Asentamiento en las mezclas.	39
10	Ensayos de flexión para la muestra patrón.	42
11	Ensayos de flexión para la muestra 1.	43
12	Ensayos de flexión para la muestra 2.	44
13	Ensayos de flexión para la muestra 3.	45
14	Ensayos de flexión para la muestra 4.	46
15	Ensayos de flexión para la muestra 5.	47
16	Ensayos de flexión para la muestra 6.	48
17	Ensayos de flexión para la muestra 7.	49
18	Ensayos de flexión para la muestra 8.	50
19	Ensayos de flexión para la muestra 9.	51
20	Resistencia a la flexión con las diferentes muestras elaboradas.	53
21	Deflexiones máximas obtenidas en las diferentes muestras elaboradas	53
22	Resistencia compresión 28 días.	56
23	Morteros de cemento y arena.	64
24	Resistencia de Morteros.	64

LISTA DE GRÁFICOS

Nº		pp
1	Módulo de elasticidad (Mpa) de las principales fibras naturales usadas en la producción de fibrocemento.	8
2	Resistencia a la tracción (Mpa) de las principales fibras naturales usadas en la producción de fibrocemento.	9
3	Alargamiento y ruptura (%) de las principales fibras naturales usadas en la producción de fibrocemento.	9
4	Relación entre dimensiones (%) de las principales fibras naturales usadas en la producción de fibrocemento.	9
5	Cempanel.	21
6	Plycem.	22
7	Eterboard.	22
8	Cerramiento usando paneles marca Eterboard.	23
9	Curva de carga vs deflexión de la muestra patrón.	43
10	Curva de carga vs deflexión de la muestra 1.	44
11	Curva de carga vs deflexión de la muestra 2.	45
12	Curva de carga vs deflexión de la muestra 3.	46
13	Curva de carga vs deflexión de la muestra 4.	47
14	Curva de carga vs deflexión de la muestra 5.	48
15	Curva de carga vs deflexión de la muestra 6.	49
16	Curva de carga vs deflexión de la muestra 7.	50
17	Curva de carga vs deflexión de la muestra 8.	51
18	Curva de carga vs deflexión de la muestra 9.	52
19	Resistencia a la flexión para las diferentes muestras elaboradas.	53
20	Deflexiones máximas de las diferentes muestras elaboradas.	54

21	Resistencia a Compresión de mortero para longitud de fibra de 5ctms.	56
22	Resistencia a compresión de mortero para longitud de fibra de 7,5ctms.	57
23	Resistencia a compresión de mortero para longitud de fibra de 10ctms.	57
24	Resistencia a compresión en función del largo y porcentaje de fibra.	58
25	Modulación propuesta para paneles.	66
26	Pesos aproximados de Paneles, según propuesta de diseño.	66
27	Propuesta de sistema de montaje.	67
28	Propuesta de fijación de paneles.	67
29	Propuesta de fijación de paneles en estructura metálicas.	68
30	Propuesta de fijación en techo de paneles en estructura metálicas.	69
31	Propuesta de fijación en piso de paneles en estructura metálicas.	69
32	Angulo propuesto para fijación de paneles.	70
33	Propuesta de Montaje de Paneles en estructuras metálicas de 10x 10 ctms.	70
34	Detalles del montaje propuesto de paneles.	71
35	Plano Arquitectónico de Vivienda para aplicación de propuesta de modulación de paneles.	72
36	Área de la vivienda donde se aplicará el sistema de modulación de paneles.	73
37	Modulación propuesta en vivienda.	73
38	Alzado de la modulación de paneles en vivienda.	74
39	Planta y Alzado de la Modulación de paneles en vivienda.	75
40	Análisis de precio unitario, según Colegio de Ingenieros de Venezuela.	77

LISTA DE FOTOS

Nº		pp
1	Fibras de Sisal. Sembradío de Sisal Estado Lara.	24
2	Especies de Sisal encontradas en Sembradíos del Estado Lara.	25
3	Maquina despeladora. (Proceso de Producción de la Fibra de Sisal).	27
4	Secado al sol de la fibra y resultado final de la misma.	27
5	Cono de Abrahams usado en la experimentación.	37
6	Realización de la Prueba de Asentamiento.	38
7	Asentamiento de la mezcla.	38
8	Probetas prismáticas.	40
9	Ensayo de Flexión. Vista de Rotura del Material.	41
10	Encofrado para las Probetas prismáticas.	42
11	Corte de las muestras para la aplicación de pruebas de flexión y compresión.	59
12	Muestras Realizadas para los ensayos.	59

Universidad Central de Venezuela
Facultad Arquitectura y Urbanismo
Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción.

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE SISAL (AGAVE SISALANA) Y SU FACTIBILIDAD PARA LA PRODUCCIÓN DE SISTEMAS DE PANELES EN CERRAMIENTOS EXTERIORES

Autora: Yuraima Centeno
Tutores: Dra. Arq. Milena Sosa
Dr. Ing. Idalberto Águila
Fecha: Marzo 2012

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo general evaluar el desempeño del concreto reforzado con fibras de sisal (Agave Sisalana) y su factibilidad para la producción de paneles para cerramientos exteriores. Ella se justifica por el interés de ofrecer a la industria de la construcción una alternativa en materiales que además de ofrecer buenas respuestas técnicas tengan así mismo una correcta relación calidad/precio. La materia prima es el sisal cual se emplea tradicionalmente en la producción de cabuyas y tejidos. Sin embargo, tiende ser sustituido por tejidos sintéticos afectando la economía regional por lo cual es de importancia estratégica desarrollar nuevos usos. Durante la investigación se estudió las fibras de sisal y el cemento así como su empleo en la producción de un material compuesto: el fibrocemento. Seguidamente, para este compuesto se determinaron una serie de ensayos realizados, bajo nuestra solicitud, en el Instituto Venezolano de Investigaciones Tecnológicas e Industriales (INVESTI) ello con el objeto de determinar las características físico-químicas del material compuesto. Finalmente se desarrolló una propuesta teórica de la aplicación de este material de base para la producción de paneles exteriores bajo criterios de sostenibilidad evaluando su posible empleo en una vivienda tipo así como un somero análisis de factibilidad técnica- económica. Para la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UCV específicamente para el IDEC, el estudio es de utilidad para el avance del conocimiento lo cual servirá de base para futuras investigaciones aplicadas para la elaboración experimental de paneles de sisal-cemento.

Palabras claves: Material de Construcción, Fibras de Sisal, Concreto reforzado

INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como objetivo general evaluar el desempeño del cemento reforzado con fibras de sisal (*Agave sisalana*) y su factibilidad para ser empleado en la producción de paneles para cerramientos exteriores. Ella se justifica por el interés de ofrecer a la industria de la construcción una alternativa en materiales de construcción que además de ofrecer buenas respuestas técnicas tengan así mismo una correcta relación calidad/precio.

La materia prima que generó inicialmente el estudio es el sisal, planta que crece tradicionalmente en los suelos tropicales y subtropicales venezolanos (estados Zulia, Lara y Falcón). También se han desarrollado plantaciones de sisal específicamente para la extracción de la fibra natural para la producción de cabuyas, tejidos y otros usos. Sin embargo, esta fibra natural tiende a ser sustituida por tejidos sintéticos afectando la economía regional por lo cual desarrollar nuevos usos para las fibras de sisal es de importancia estratégica.

El incremento acelerado en los costos de materiales de construcción, así como el aumento de su demanda y en muchos casos la reducción en la producción han contribuido, entre otros factores, al significativo déficit de viviendas sobre todo para la población de más bajos recursos. Encontrar una alternativa válida a los materiales de construcción tradicional es de interés estratégico.

Según FUDECO (2005) en la región centro-occidental de Venezuela, se cuenta con un aproximado de ciento trece mil (113.000) hectáreas de tierra con vocación agrícola: cuatro mil de ellas destinadas al cultivo de sisal, otras setecientas hectáreas para cultivo de té, mil quinientos hectáreas (1500) para siembras frutales y dos mil doscientas (2200) hectáreas para bosques.

Con relación al sisal, es importante señalar que actualmente se encuentra en desarrollo un convenio celebrado entre la República Bolivariana de Venezuela y República Popular

China, respectivamente a través Fundación de la Región Centro-Occidental de Venezuela (FUDECO) y de Guangxi Sisal Group Company Ltd del Buró, de Granjas Estatales de sisal.

El citado proyecto tiene como principal objetivo reactivar la producción de sisal en los estados Lara y Falcón, se prevé la puesta en funcionamiento de tres plantas de procesamiento del sisal, por lo cual se podría pensar que a partir de los suelos venezolanos se pueda alcanzar una producción de fibras que podría responder a la demanda nacional actual y futura, así como la de países europeos y norteamericanos.

Bajo este contexto y teniendo las expectativas de siembra y explotación de plantas sisaleras en el Estado Lara, se formularon las siguientes interrogantes:

¿cuál es la situación actual con el uso de fibras naturales en la industria de la construcción?

¿se puede emplear fibra sisal mezclada con el cemento para la elaboración de paneles exteriores para ser empleados en construcción?

En aras de buscar respuestas a las anteriores interrogantes se propone evaluar el comportamiento del cemento reforzado con fibras de sisal (*Agave Sisalana*) y su empleo en sistema de paneles para cerramientos externos que brinde a la industria de la construcción una nueva alternativa.

En otro orden de ideas, para la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Central de Venezuela (UCV) específicamente para el Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC), el estudio es de utilidad para el avance del conocimiento. Se desea evaluar experimentalmente el empleo del cemento reforzado con fibras de sisal, a objeto de evaluar su factibilidad técnica-económica, ello servirá de apoyo para futuras investigaciones aplicadas para la producción experimental de los paneles planteados.

En el plano formativo, el desarrollo de la investigación constituye una experiencia de gran valor, pues no sólo permitió a la autora cumplir con una actividad de carácter formativo, indispensable para alcanzar el grado académico de Magíster Scientiarum en Desarrollo

Tecnológico de la Construcción, además permitió el desarrollo de habilidades y destrezas metodológicas necesarias a la formación investigativa.

Así como se indicó anteriormente, se tomó como objetivo general evaluar el desempeño del cemento reforzado con fibras de sisal (*Agave Sisalana*) y su factibilidad para la producción de paneles para ser empleados en cerramientos exteriores. Debiéndose realizar para su logro las siguientes acciones:

- Estudiar las características técnicas de los materiales de base: las fibras y el cemento.
- Analizar las características técnicas del material compuesto (fibrocemento).
- Realizar análisis de composición, usos, dosificación, propiedades y características del fibrocemento aplicadas en el ámbito de la construcción.
- Estudiar comportamiento del material frente a pruebas a flexión y compresión.
- Determinar el porcentaje de fibra y longitud de la misma más adecuada para su uso en el campo de la construcción.
- Evaluar la factibilidad económica de su producción.
- Desarrollar una propuesta teórica de paneles para ser empleado en viviendas unifamiliares.

El trabajo de grado quedó estructurado en tres (3) capítulos vinculados entre sí, en el primero de ellos se estudian los materiales de base: las fibras de sisal y el cemento así como su empleo para la producción de un material compuesto: el fibrocemento. Ello con el objeto de evaluar tanto como su disponibilidad como sus características técnicas.

En el segundo capítulo se estudia el material compuesto - el fibrocemento- para lo cual se determinaron y realizaron una serie de ensayos realizados, bajo nuestra solicitud, en el Instituto Venezolano de Investigaciones Tecnológicas e Industriales (INVESTI) ello con el objeto de determinar las características de flexión y compresión del material compuesto.

En el tercer capítulo se desarrolla una propuesta teórica de la aplicación de este material de base para la producción de paneles exteriores, evaluando su posible empleo en una vivienda tipo, así como un somero análisis de factibilidad técnica- económica.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones generales en donde se destaca como continuación lógica de la investigación la necesidad de producir experimentalmente los paneles propuestos y su empleo en la construcción de un prototipo con el objeto de evaluar tanto la facilidad de producción como aquellas variables constructivas que se requieren evaluar propiamente en obra.

CAPÍTULO I

LAS FIBRAS NATURALES Y LA PRODUCCION DE FIBROCEMENTO

Introducción

El empleo de fibras naturales para la producción de materiales constructivos es de singular importancia, tomando en cuenta que algunas de ellas poseen características físicas-químicas que al ser combinada con un material como el cemento produce un material compuesto denominado fibrocemento.

En el presente capítulo se estudia las características técnicas de las fibras vegetales utilizadas en el campo de la construcción, específicamente se estudia la fibra sisal (*Agave Sisalana*), se analiza su empleo tradicional, la ubicación de las plantaciones en Venezuela, y la importancia estratégica de otros usos. Así mismo, se analizan los antecedentes previos de la presente investigación en las cuales se han utilizado la fibra sisal para la producción de materiales de construcción.

I.1- Características técnicas de las fibras naturales

En este apartado, se toma textualmente la caracterización presentada por Sosa (1994) por considerar que los conceptos expresados que se adecúa a los objetivos de la presente investigación.

La fibra puede ser definida, en función de su estructura y empleo en:

- Fibra botánica o elemental: vaso constituido por una fibra alargada cuyas paredes celulósicas están impregnadas de lignina.

- Fibra técnica o industrial: producto tratado, utilizado en la industria, formado por fibra elemental o por varias de ellas soldadas entre sí.

De acuerdo con su origen, las fibras se clasifican en dos grandes grupos:

- Fibras naturales: las obtenidas directamente de la naturaleza.
- Fibras sintéticas o artificiales: las producidas por el hombre mediante transformaciones químicas

Las características tecnológicas que poseen las fibras pueden señalarse de la siguiente manera:

- **Índice de rigidez (IR)**

La fórmula que se emplea es: $IR = 15/t$ donde 15 y t son, respectivamente, los tiempos (en segundos) tomados por mechas equivalentes (en peso y en largo) de la viscosa suave y de la fibra a analizar, para que se destuerzan luego de haber estado torcidas (15 vueltas) en un péndulo de torsión (método y aparato de Tchoubar). Este índice varía entre 1,2 para el lino y 2,5 para el abacá.

- **Largo de Ruptura (LR)**

Es la distancia supuesta indefinida (en kilómetros) cuando la fibra o el hilo de ella se rompe debido a su propio peso. Cuanto más elevado sea este índice, mayor será la resistencia de la fibra.

En el campo de la construcción, se ha estudiado el empleo de fibras naturales con el objeto de mejorar el comportamiento de matrices, ello con la finalidad de aumentarle la resistencia a la tracción y a los impactos, además de otras características dependientes del tipo de matriz y de las fibras, y de los porcentajes utilizados de cada uno de los componentes de dichas matrices.

A menudo, se mezclan diversos tipos de fibras, con el objeto de facilitar su fabricación o bien para utilizar las propiedades específicas que cada una de ellas ofrecen y así optimizar

las respuestas técnicas del producto. Las más empleadas de ellas y cuyos resultados técnicos están comprobados son generalmente muy costosas (fibras de vidrio, de acero, de carbono o sintéticas).”

Con relación a las fibras naturales Oteiza (citado por Sosa, 1994) afirma:

“Las fibras naturales han sido los primeros materiales que se utilizaron como refuerzo de una matriz, como en el caso del adobe y del yeso; sin embargo, con la aparición de las fibras artificiales, de características mecánicas mucho mejores y de geometría totalmente homogénea, las fibras naturales entraron en desuso debido a sus desventajas mecánicas (menor módulo de elasticidad), de menor resistencia a la tracción (sensibles a cambios de humedad y temperatura) y geométricas (dimensiones variables e irregularidades) además de las impurezas que puedan contener”

A pesar de ello, numerosas investigaciones se han centrado en la utilización de fibras vegetales como refuerzo del concreto y otras matrices como el yeso debido principalmente a sus menores costos y a sus características tecnológicas para lo cual se requiere su caracterización. En ese orden de ideas, De Oteiza (citado por Sosa, 1994), afirma que las principales plantas tropicales de las cuales se obtienen fibras naturales son entre otras: el yute, el cocotero, el sisal, la ramia, el esparto, el cáñamo”.

En el cuadro número 1, se pueden observar determinadas propiedades físicas y mecánicas de ciertas fibras vegetales así como las de acero y de vidrio:

FIBRA	MODULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	RESISTENCIA A LA TRACCION (10 ³ MPa)	ALARGAMIENTO Y RUPTURA (%)	RELACION ENTRE DIMENSIONES (l/d)
COCO	2,8	180	29,2	35,0
SISAL	15,2	458	4,3	152,6
BAMBU	28,8	575	3,2	170,5
BAGAZO	5,0	181	5,11	66,1
FIBRA DE VIDRIO	55,6	1328	3,77	
ACERO	200	100-300	3-4	

CUADRO N° 1. Características de las principales Fibras Naturales usadas en la Producción de Fibrocemento. Sosa, M (1994) Tomado de GUIMARAES (1984), SAVASTANO, H. Jr. The use of coir fibers as reinforcement to Portugal cement mortars. Proceedings of the Second International RILEM Symposium, p. 152.

De igual manera, Sosa (1994) indica que cuando las fibras son usadas para la producción de elementos constructivos deben analizarse en función de las siguientes características:

1. Resistencia a la Tracción
2. Densidad
3. Comportamiento Térmico
4. Coeficiente de Dilatación Térmica
5. Resistencia al fuego
6. Compatibilidad con otros materiales (física y química)
7. Absorción de agua
8. Trabajabilidad con la matriz (dispersión de las fibras).

Es necesario, mostrar el comportamiento (ver gráficos 1, 2, 3, 4) de las fibras precitadas, en cuanto a sus características (ver cuadro 1), logrando así mostrar aquellas que tengan cualidades optimas, en cuanto a su uso en la producción de elementos constructivos.

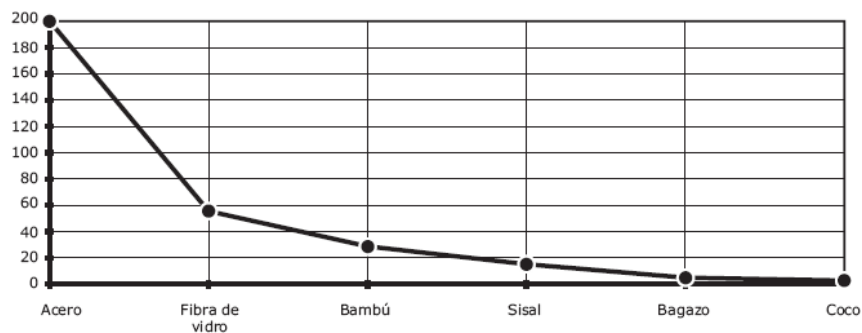


GRÁFICO N° 1. Módulo de Elasticidad (Mpa) de las principales fibras naturales usadas en la producción de fibrocemento. Sosa, M(1994). PROYECTO XIV.5 CON TECHO. PROGRAMA 10x10 p 523

En la citada investigación se constatar en los gráficos números 1, 2, 3 y 4 que las fibras de vidrio son las que proporcionan mejor resistencia mecánica, sin embargo su alto costo, reduce su empleo a obras especiales. En cuanto a las fibras metálicas, estas tienen la particularidad de ofrecer mejor adherencia con respecto a la matriz, su costo es menor que el de las fibras de vidrio; pero continúa siendo elevado con respecto a las demás fibras. Con

relación a las fibras vegetales, se observa que poseen características mecánicas pobres, así como deficiente envejecimiento en estado bruto.

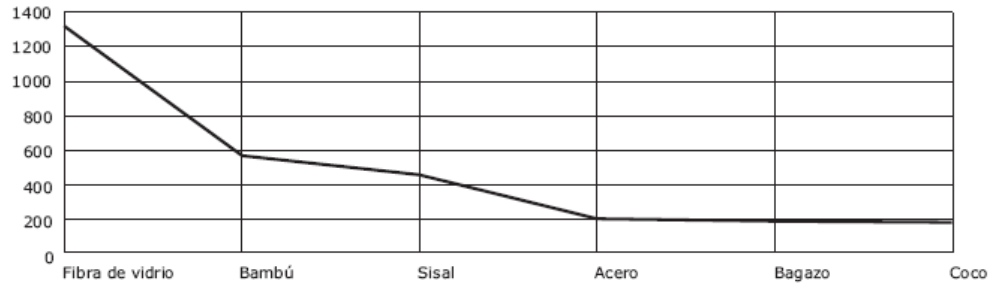


GRÁFICO N° 2 Resistencia a la Tracción (Mpa) de las principales fibras naturales usadas en la producción de fibrocemento Sosa, M (1994). PROYECTO XIV.5 CON TECHO. PROGRAMA 10x10 p 523

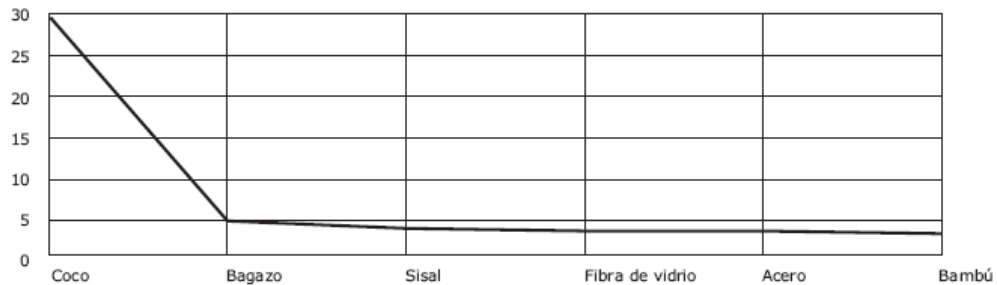


GRÁFICO N° 3. Alargamiento y Ruptura (%) de las principales fibras naturales usadas en la producción de fibrocemento. Sosa, M (1994). PROYECTO XIV.5 CON TECHO. PROGRAMA 10x10 p 523.

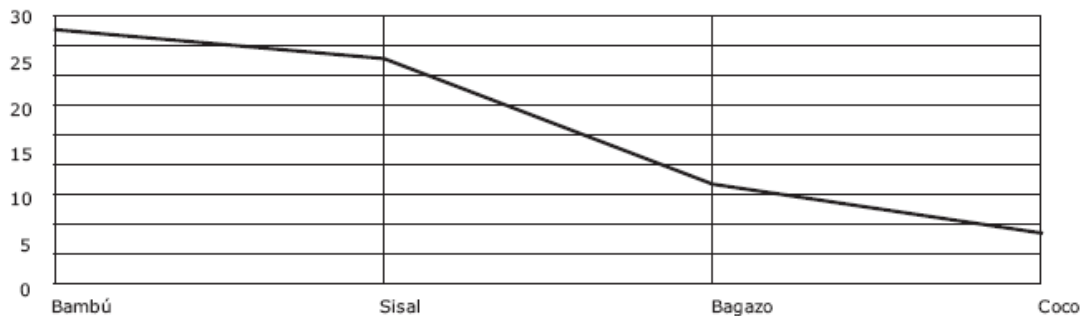


GRÁFICO N° 4. Relación entre Dimensiones (%) de las Principales Fibras Naturales Usadas en la Producción de Fibrocemento. Sosa, M (1994). PROYECTO XIV.5 CON TECHO. PROGRAMA 10x10 p 523

En este orden de ideas, se puede evidenciar que las fibras analizadas ofrecen ventajas tales como bajos costos, fácil obtención, aportando ligereza a los elementos que las contengan, además de aportar aislamiento térmico y acústico.

Las principales fibras que han sido objeto de investigaciones para su empleo en la construcción son:

- El sisal (*Agave sisalana*): originaria de (Yucatán), México. Planta cultivada en los países tropicales. Las hojas cortas sirven para la fabricación de tejidos ligeros, de materias plásticas, de papel, entre otros fines. Mientras las hojas largas son útiles en la producción de cuerdas y fabricación de tejidos.
- El coco (*Cocos nucifera*) El espesor de la corteza del coco (llamada copra) varía entre 3 y 5cm, e 90% de la copra está formada por las fibras constituidas por lignina y celulosa. La fibra mide entre 15 y 30 cts., son imputrescibles e incombustibles, tiene resistencia a los ataques alcalinos y microbiológicos. Se utiliza en la fabricación de cables, escobas, tapices, aceites.

Las propiedades físicas de la fibra del sisal y del coco han sido estudiadas con bastante profundidad. Filho, Barbosa y Ghavani (1990) determinaron que, en relación con las fibras de coco, las fibras de sisal tienen una alta resistencia a la tracción y una menor capacidad de deformación. No obstante, a pesar de que ambas fibras tienen una humedad natural similar en relación con sus pesos específicos, la capacidad de absorción de agua del sisal es mucho mayor que las fibras de coco. Esto está posiblemente relacionado con la impermeabilidad propia de las fibras de coco, estos resultados indican que las fibras de sisal requieren una mayor protección superficial cuando son utilizadas en un medio húmedo.

I.2.- Características técnicas del cemento

Se conoce como Cemento Portland, al producto resultante de calcinar hasta el principio de fusión, mezclas rigurosamente homogéneas de caliza y arcilla obteniéndose un producto

intermedio denominado clinker, el cual ha de ser pulverizado y mezclado con hasta 3% de yeso para retardar su fraguado.

Según Águila, I. (1999), el cemento portland está constituido básicamente por 4 óxidos que expresados en porcentaje de masa, aparecen en las siguientes proporciones: óxido cálcico CaO (63-66%), sílice SiO₂ (21-24%), alúmina Al₂O₃ (4-8%) y óxido férrico Fe₂O₃ (2-4%). Estos óxidos constituyen el 95-97% del total de cemento, pudiendo presentarse pequeñas cantidades de magnesia MgO, Anhídrido Sulfúrico SO₃, los Álcalis Na₂O y K₂O, el Bióxido de Titanio TiO₂, el óxido de cromo Cr₂O₃ y el Anhídrido Fosfórico P₂O₅, entre otras impurezas provenientes de las materias primas.

Durante el proceso de producción del cemento se forman, a partir de los compuestos químicos básicos, 4 minerales bien definidos, que son los que determinan las propiedades del cemento: la Alita o Silicato Tricálcico (SC3), 3CaO.SiO₂, (45-60%); la Belita o Silicato Bicálcico (SC2) 2CaO.SiO₂, (20-30%); el Aluminato Tricálcico (AC3) 3CaO.Al₂O₃, (4-12%) y el Ferrito-Aluminato Tetracálcico (FAC4) 4CaO.Al₂O₃.Fe₂O₃ (10-20%). Las variaciones que experimentan las proporciones en que aparecen estos compuestos, definen el tipo de cemento obtenido. Luego de la formación de estos 4 compuestos básicos, quedan como impurezas algunos óxidos que no llegan a reaccionar, destacándose por los efectos dañinos que pudieran causar en el futuro concreto, el Oxido de Calcio CaO, los Álcalis Na₂O y K₂O, y la magnesia MgO. Además durante la molienda se le añade hasta 3% de yeso (CaSO₄. 2H₂O) para retardar el proceso de fraguado del mismo. (Águila, I 1999).

I.3.- Uso de las fibras vegetales en la construcción

Como antecedente de la presente investigación, se presentan diversos estudios en donde se han empleado fibras naturales para la producción de materiales de construcción.

Zollo (1997) señala que las fibras han sido utilizadas históricamente para reforzar materiales frágiles: la paja, para los ladrillos de arcilla cocidos al sol; el pelo de caballo, para las molduras de yeso; el asbesto (hoy en día su uso está prohibido).

En 1950, aparecen estudios y patentes de aglomerados de cemento con fibras distribuidas al azar. En los años sesenta, diversos científicos publican artículos que despiertan el interés de la investigación académica e industrial sobre el tema. A partir de ese momento se da inicio a una intensa actividad de investigación sobre estos materiales.

Ward (2007, citado en Strawjet, s.f), con ayuda de la Universidad Estatal de Oregón y subvención de la Agencia para la Protección del Medio Ambiente, terminó y probó sobre el terreno su primera cosechadora combinada StrawJet., la misma, produce como "material de desecho" un cable continuo de paja, de cinco centímetros de diámetro, ligado mediante un agente aglomerante de arcilla y pulpa de papel. Seguidamente, un "camión-telar" entreteje el cable para formar esteras que posteriormente se convierten en resistentes paneles de construcción.

La tecnología Strawjet pretende ser de utilidad tanto para los países desarrollados, como para los en vías de desarrollo, en cuanto al uso de material de construcción sostenible desde el punto de vista ecológico, donde la paja u otros subproductos de fibras vegetales (hojas de palma o de cáñamo), pueden brindar una alternativa económica y abundante a los materiales convencionales.

Los primeros trabajos de utilización de fibras de celulosa como refuerzo de hormigón se recogen en la década del 30. Datta (1936) reporta un experimento con bambú como refuerzo de hormigón en la India, para introducir la reducción del bambú con el agua lo trata con crudo de petróleo y otros aceites.

En Gran Bretaña, el sector de investigación y desarrollo en fibras para el hormigón en la década del 60 se concentra el trabajo sobre fibras de vidrio y de acero. Sin embargo, en otros países del mundo se desarrollan investigaciones con fibras vegetales. Encontramos que Bremant (1966) obtiene una patente por método para manufacturar productos de cemento reforzado con fibras naturales, como el miraguano o yute.

En este mismo sentido, Sundén (1977) patenta un método que favorece la adhesión entre fibras de celulosa y la matriz cementaria por tratamiento de estas fibras en ácido salicílico.

La sociedad de Concreto de Gran Bretaña en 1973 presentó resumen de las investigaciones sobre fibras en hormigón. Se mencionan las propiedades mecánicas de la fibra sisal y su utilidad como refuerzo en yeso en Australia y Nueva Zelanda.

Invienda (1982) del Centro de Investigaciones de Materiales (CIM), la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) realizó un estudio para la producción de un concreto reforzado con fibra de coco. A tal fin, se tuvieron en cuenta los determinantes siguientes:

- a) Tamaño de la fibra: se eligieron tres (3) tamaños (de 1; 2,5 y mayores de 5cm).
- b) Cantidad de fibras utilizadas en función de la relación fibra-cemento.
- c) Relación agua /cemento: se eligieron tres (3) relaciones en función de la consistencia que presentaba la mezcla de los materiales.
- d) Condición de las fibras: se tomo en consideración la cantidad de impurezas que presentaban las fibras.
- e) Tratamiento de las fibras: se procuro encontrar la variable que produzca la mayor resistencia y que permita las condiciones óptimas para el desarrollo de reacciones de hidratación. El tratamiento se hizo con sales e hidróxidos, soluciones de creosota, petróleo con pentaclofenol y pentaclorofenato de sodio (usados bajo condiciones de tipo látex, azufre).
- f) Utilización de cargas de agregado fino (arena).
- g) Utilización simple y combinada de fibra de coco.
- h) El diseño experimental se sujetó al estudio de las propiedades estructurales y de durabilidad de las diversas variables.

En esta experimentación se obtuvo un concreto de gran ductibilidad, ya que permanece sin dividirse en el momento de la falla, con distribución uniforme de los esfuerzo, posee un control de crecimiento y propagación de grietas, se obtuvo un concreto con una resistencia

a la compresión entre 20 y 100 Kg/cm² (dependiendo de la mezcla empleada y del tratamiento aplicada a la fibra).

I.4- Investigaciones realizadas a partir de la fibra sisal como material de construcción

Según Sosa (1994) en numerosos laboratorios de investigación y desarrollo se han utilizado las fibras de sisal como refuerzo del concreto, el cual puede ser reforzado con fibras cortas (de 15 a 75 mm de largo), con fibras largas de sisal (mayor de 75mm de largo) o mezclando los dos tipos de fibra, la escogencia de largo de la fibra se realiza en función de las exigencias del material compuesto.

Según lo publicado por la revista Pesquisa (2004, Febrero) la fibra de sisal adicionada a una mezcla de cemento tiene potencial para transformarse en tejas, tanques de agua y piletas. Los ensayos con este material realizados por la Universidad del Estado de Bahía, en Brasil (UNEB) forman parte de un proyecto del Programa de Tecnología de Vivienda (Habitare) respaldado por la Financiadora de Estudios y Proyectos (Finep) del Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCT). El objetivo era desarrollar componentes constructivos a base de sisal y cemento. Se contó también con el apoyo de cooperativa Cooperjovens, integrada por jóvenes de la región sisalera del nordeste Ballano en la búsqueda de alternativas para que los jóvenes continúen trabajando en sus lugares de origen. Unas ochocientas mil personas de cuarenta municipios del noreste del estado trabajan en el cultivo de sisal y estos pequeños agricultores producen el ochenta por ciento (80%) del total de la producción.

En Suiza también se han realizado estudios sobre fibras de sisal como refuerzo de hormigón. Nilsson (1971), señala que fibras cortadas con un largo de diez (10) a treinta (30) milímetros (mm) fueron introducidas en un medio alcalino por cinco (5) meses observándose reducción en la fuerza a la tensión de alrededor del setenta y cinco por ciento (75%). Posteriormente se realizan estudios de durabilidad, en colaboración con otras instituciones internacionales como el Department of Civil Engineering at the University in Dar es Salaam en Tanzania. El objetivo de este proyecto fue encontrar mecanismos con el cual controlar la descomposición producida por la combinación de materiales orgánicos

naturales y materiales inorgánicos que permitieran recomendar aumentar la durabilidad de los mismos.

El experimento realizado por Carlsson (1977) en Building Research Station muestra que una mezcla de pequeñas cantidades de sisal en el hormigón aumenta su dureza pero reduce su resistencia a compresión y flexión, este estudio indica la posibilidad de reforzar el hormigón con fibras naturales.

Torres (2001) hace referencia a los experimentos realizados por Carlsson y plantean que al mezclar fibras de sisal con hormigón aumenta la necesidad de agua en la matriz cementicia y que las reacciones del cemento se ven afectadas por sustancias desprendidas de la fibra sisal.

Sosa (1994) expone que el Swedish Cement and Concret Research Institute (Suecia) ha desarrollado un componente de concreto reforzado con fibras sisal, en el que los prototipos realizados son placas onduladas y trapezoidales para ser posteriormente cubierto con teja. Pudiendo tener una luz de 3,3 metros y soportar carga de 650 kg/m³.

Igualmente, en el evento científico desarrollado bajo responsabilidad de la Rilem (1986) se expone un componente constructivo en forma de conoide desarrollado en la Facoltà di Architettura del Politécnico di Torino, (Italia), en el que se emplean como armaduras fibras largas de sisal de noventa (90) centímetros, utilizando como matriz el yeso. Se trata de un elemento de doble curvatura, con dimensión de dos metros cincuenta centímetros (2,50) de ancho y dos metros cincuenta centímetros (2,50) de altura en la clave del arco de ochenta (80) centímetros y espesor promedio de 3,02 centímetros, con contenido de fibras del 5,2% sobre el volumen total. Este componente puede ser empleado como cerramiento exterior (techos y muros). Las fibras son introducidas manualmente en una mezcla de yeso con agua (de manera progresiva), con el objeto de impedir un exceso de hidratación, lo cual reduciría la resistencia del componente así como su tiempo de vida útil, y enseguida son colocadas sobre el molde y cubiertas con el resto de las fibras.

Por su parte, Salvador M., Amigó V., Nuez A., Sahuquillo O., Llorens R., Martí F. (2007), del Instituto de Tecnología de Materiales, de la Universidad Politécnica de Valencia, España junto al Instituto Tecnológico de Plástico de Valencia, España, realizaron investigación titulada “Caracterización de Fibras Vegetales Utilizadas como Refuerzo de Materiales Termoplásticos”, destaca como tema central el estudio de varias fibras de origen vegetal (algodón reciclado, lino, cáñamo, sisal y fique), los cuales se usaron como material de refuerzo en polietileno de alta densidad reciclado, se practicaron análisis termogravimétricos de las fibras para comprobar su estabilidad térmica al igual que su resistencia mecánica mediante ensayos de tracción, electrónica de barrido y de fuerza atómica.

Se destaca la importancia de conocer las propiedades de las fibras cuando se reciclan residuos fibrosos agroindustriales y como las propiedades físicas y de forma se modifican ampliamente el resultado, obteniéndose matrices poliméricas adecuadas frente a la combinación de dimensiones de fibra y las características de la matriz. Se obtuvo como resultado de los ensayos practicados, la necesidad de la dosificación correcta de fibras debido a que por su baja densidad se obtuvieron muestras consistentes cuando se adicionaron soluciones óptimas de sal carboximetilcelulosa sódica (observados en el sisal), que permitieron una buena alimentación con los dosificadores gravimétricos.

En este orden de ideas, encontramos que Cyras (2001) del Instituto de Investigaciones en Ciencia y Tecnología de Materiales INTEMA, la Universidad Nacional de Mar de Plata, CONICET, Argentina, Tesis Doctoral en Ciencias de Materiales, denominada “*Relación Estructura, Propiedades y Procesamiento del Material Compuesto Biodegradable obtenido a partir de Policaprolactona/Almidón y Fibra Sisal*” busca hacer de estos materiales de desecho que cada vez sean más biodegradables y esta propiedad podría lograrse, mediante la cristalinidad, la cual es afectada por la presencia de fibras. El estudio consistió en analizar compuestos completamente biodegradables a partir de una matriz comercial (PCL/Almidón) y fibras cortas naturales (sisal) analizando sus propiedades mecánicas: tracción, flexión, así mismo se analizó la degradación hidrolítica y la influencia del agregado de almidón y fibras sisal; se logró comprobar que la cristalización está

fuertemente afectada por la temperatura, concluye la investigación con la comprobación que las fibras actúan como material de refuerzo.

Encontrándose también que Carvalho Filho, A. (1990) plantea haberse llevado a cabo una investigación en la Federal Technical School of Pernambuco de Brasil, en la que la fibra sisal fue estudiada como refuerzo de mortero de cemento, pudiéndose probar tres longitudes distintas de fibras (1,80 centímetros, 3,7 centímetros y 5,6 centímetros, respectivamente), en diferentes morteros con proporciones de mezclas también diferentes, se observó la frágil fortaleza de la matriz cuando no se utilizó la fibra sisal, mientras que al incluir volumen variable de fibras de sisal de edad comprendidas entre siete, veintiocho y sesenta y tres días, se determinó la resistencia al impacto. Las mezclas tuvieron coeficientes constantes de longitud, radios de longitud variable o condiciones de humedad de las fibras de seco a saturado. Entre otros resultados se observó en la investigación disminución de la resistencia a la flexión en comparación con el compuesto frágil pero sólo en valor absoluto, por otra parte el compuesto mostró comportamiento elasto-plástico luego de fuertes impactos y múltiples agrietamientos.

La investigación se basó en observar el comportamiento de los compuestos reforzados con fibras sisal en cuanto a tres aspectos: primero comparar el comportamiento de un componente de mortero con la adición diferentes volúmenes de fibra, con un mortero sin ninguna adición de fibras, en segundo lugar comparar el comportamiento de componentes que posean diferentes volúmenes de fibras y la longitud media de la fibra se mantiene, y por último observar el comportamiento del componente con un volumen de fibra constante y diferentes longitudes de fibras adicionadas. De igual manera en esta investigación se analizó cómo utilizar fibras secas o saturadas previa humedad en agua durante veinticuatro (24) horas para alcanzar compuestos en los que el volumen de fibra y su longitud promedio se mantenga constante.

Alguna de las conclusiones de este estudio fue que se determinó que la resistencia a la flexión alcanzada por la matriz será siempre superior cuando se mantenga baja la relación agua/cemento y exista dentro de la matriz algún volumen de fibra, observándose la

importancia de la fibra independientemente de su volumen por cuanto dieron al material mayor resistencia a la tensión y a la flexión. También se asevera que el material estudiado cumple condiciones de uso para la ingeniería civil aún cuando se advierta que siempre está presente la posibilidad de mejorar las características mecánicas de la mezcla y que sería factible de sustituir los componentes de los daños en un sistema constructivo, adaptado al material, por lo que su uso será atractivo en la construcción de viviendas para poblaciones de bajos recursos.

Finalmente, Juárez, Valdez y Duran (2004), en su trabajo de investigación denominado “Fibras Naturales de Lechuguilla como Refuerzo de Materiales de Construcción”, presentado en la Facultad de Ingeniería Civil, de la Universidad Autónoma de Nueva León, México, pretenden encontrar materiales de construcción que sean económicos y durables, señalan que las fibras de acero, vidrios y poliméricas, son alternativas pero muy costosas. Como es conocido, la fibra natural se ve afectada por la alcalinidad de la matriz cementante del concreto en consecuencia la durabilidad del compuesto dependerá de la protección que tenga la fibra y de la impermeabilidad de la matriz cementante. Es esta investigación se buscó encontrar tratamientos químicos adecuados en la fibra de lechuguilla (sisal), que permita aumentar la durabilidad del compuesto, reduciendo el deterioro que sufre la misma en el medio alcalino propio del concreto.

Se trató de un proyecto de tipo factible, con diseño experimental, en el que se demostró que la fibra sisal frente a ciclos de humedecimiento y secado con utilización de protectores como parafina permite que la fibra reduzca su capacidad de absorción de agua y que por sus propiedades físico-mecánicas (resistencia a tensión), represente una alternativa viable como posible refuerzo en el concreto. Quedó demostrado en esta investigación que las fibras largas adicionadas en bajos porcentajes de volumen de mezcla, proporciona al concreto capacidad para soportar mayores cargas de flexión, en comparación con el concreto simple.

I.5.- El fibrocemento

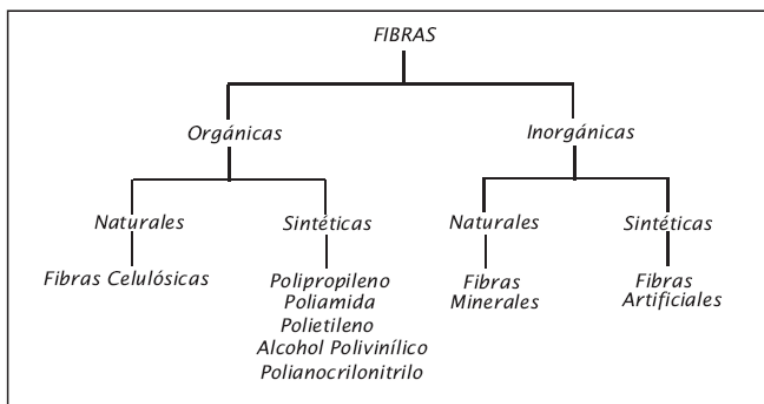
La técnica más empleada para la producción de componentes constructivo se basa en la utilización el cemento como matriz reforzado con fibras naturales. Los productos elaborados con esta técnica son reconocidos bajo la denominación *fibrocemento* (f-c).

Según Sosa (1994), el fibrocemento está conformado por la interacción de cuatro elementos:

- a) La matriz cementosa;
- b) Las fibras de tratamiento y la armadura;
- c) La interface entre fibras y matriz, y
- d) La superficie exterior del fibrocemento(sometida a los agentes atmosféricos)

“Cada una de estas fases puede ser sensible a ciertos mecanismos físico-químicos (carbonización, corrosión, hidrólisis, contaminación atmosférica, etc.) o termomecánicos (fatiga estática debida al medio higrotérmico, fatiga dinámica debida a las sollicitaciones mecánicas exteriores), que pueden influir en el comportamiento del material compuesto en el tiempo” (Sosa, 1994).

En el cuadro N° 2 se presentan las principales fibras utilizadas en la fabricación de este tipo de productos. A ese respecto, es necesario reconocer que el desarrollo de investigaciones por parte de los investigadores y fabricantes permitirá la utilización de nuevas fibras así como la determinación de sus características técnicas.



CUADRO N° 2 Clasificación de las principales fibras utilizadas como armadura en los productos de fibrocemento. Sosa, M (1994). Citado de Guide Technique UEATC pour l'évaluation de la durabilité des produits minces en fibrociment, p.2 PROYECTO XIV.5 CON TECHO. PROGRAMA 10x10 p 523

La capacidad de refuerzo de la fibra depende del grado en que los esfuerzos pueden ser transferidos desde la matriz, grado que a su vez está regido por las características intrínsecas de la fibra tales como: resistencia a la tensión, la cual resulta ser mayor que la de la matriz; capacidad de aguante a deformaciones muy superiores a la deformación de la matriz; módulo de elasticidad alto para aumentar el esfuerzo que soporten en un elemento bajo carga, siempre y cuando las fibras y la matriz se conserven totalmente adheridas; adecuando esta adherencia a la pasta de cemento; relación de Poisson menor que la de la matriz para aumentar fricción de adherencia y relación longitud/diámetro adecuada para que conserve su capacidad de absorción de esfuerzos.

Tomando en consideración lo anteriormente señalado, las fibras naturales usadas en su mayoría en la producción de fibrocemento y que responden a las características requeridas adecuadas son las fibras de sisal y las de coco.

I.5.1.- Componentes constructivos a partir de fibrocemento.

Las fibras mayormente usadas en la elaboración de fibrocemento son las siguientes: Fibras Minerales Artificiales (FMA), materiales sintéticos, fibras orgánicas sintéticas, de carbón y fibras de acero, entre las que se encuentran: Abacá, Bambú, Esparto, Yute, Cañaño, Pita, Bagazo, Seda Natural, Lana, Plumas, a continuación se refieren algunas experiencias constructivas con fibrocemento.

A continuación se presentan algunas experiencias industriales de componentes desarrollados a partir de la técnica del fibrocemento:

- **CEMPANEL:** desarrollado por Eureka (México) se trata de la producción de diversos tipos de tableros fibrocemento de textura lisa, fabricado con la más avanzada tecnología, a base de cemento Pórtland y fibras naturales que después de ser sometido a procesos de curado en autoclave adquiere sus propiedades de resistencia y estabilidad. Los “Cempanel” permanecen en el sitio de la obra por un período de veinticuatro (24) a cuarenta y ocho (48) horas antes de ser instalados con el propósito de alcanzar su estabilidad a la humedad del ambiente., pueden ser almacenados cerca de la obra, sus acabados pueden ser fijados con cemento plástico antes de su colocación, son trabajados con herramientas manuales o bien con cortadoras de baja velocidad y además pueden ser instalados sobre bastidores de madera o metal. Estas características deben ser tomadas en consideración, para el momento de la propuesta del panel, debiéndose atender aspectos como humedad, fijación entre ellos y su estructura, al igual que la puesta en la obra, como elementos importantes en componente a base de fibrocemento.

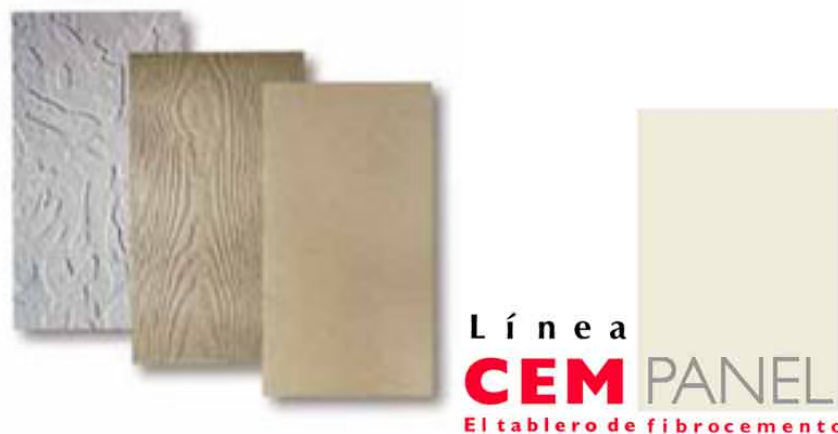


GRÁFICO N° 5. Paneles CEMPANEL extraído el 16 de Junio de 2007
http://www.mexalit.com/pdf/folleto_cempanel.pdf

- **PLYSTONE:** es un producto constructivo de avanzada tecnología desarrollada y patentada por la empresa Plycem compuesto por cemento, fibras orgánicas mineralizadas y otros aditivos inorgánicos. Tal composición resulta un material

liviano con las cualidades constructivas del cemento y al mismo tiempo, con la trabajabilidad de la madera. Las láminas de fibrocemento “Plystone”, pueden ser usadas en viviendas, construcciones de carácter público, comercial, institucional y en cualquier otra construcción nueva o en remodelaciones del sector urbano, industrial, rural o agroindustrial. Pueden ser usadas en zonas de alto tránsito, expuestas a riesgo de deterioro, debido a que son resistentes a la humedad, sismos, insectos, impactos y además resultan ser incombustibles.



GRÁFICO N° 6. PLYCEM extraído el 16 de Junio de 2007 <http://www.plycem.com>

ETERBOARD: es una placa plana de fibrocemento fabricada con la más avanzada tecnología, a base de cemento portland, sílice, fibras naturales y aditivos, las cuales después de ser sometidas a altas presiones y temperaturas (autoclave), dan como resultado un producto de buena calidad, que puede trabajarse como la madera con las cualidades del cemento, esta experiencia fue realizada por Panelco, en la ciudad de Bogotá, Colombia.



GRÁFICO N° 7. Paneles ETERBOARD revisado el 16 de Junio, de 2007 de: <http://www.etermit.com.co>

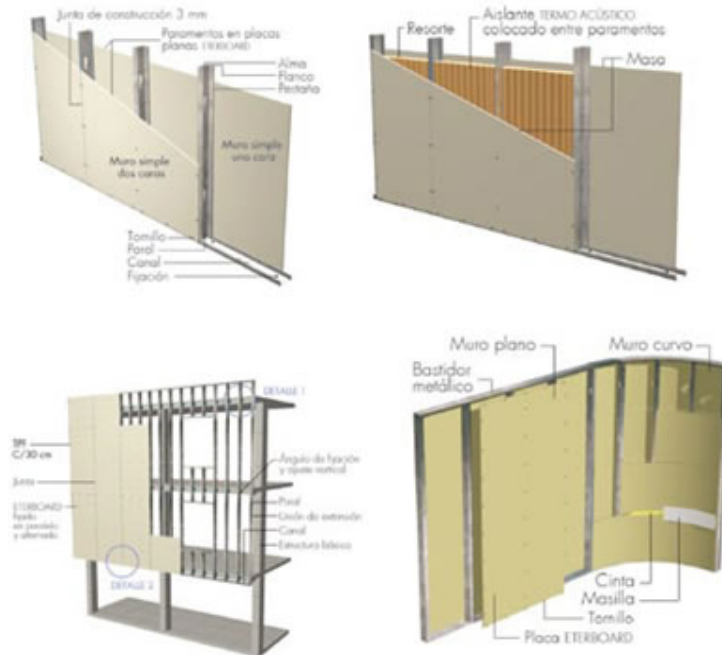


GRÁFICO N° 8 Cerramientos usando Paneles ETERNIT revisado el 16 de Junio, de 2007 de: <http://www.etermit.com.co>

I.2.- El sisal en el mundo y en Venezuela

El crecimiento del sisal exige condiciones estrictas de tierra, región, clima, luz y precipitación. En los actuales momentos, existen diez (10) países en el mundo que producen sisal entre ellos Brasil ocupa el primer lugar de producción, y el segundo lugar lo ocupa China. Los derivados del sisal se emplean en muchos campos tales como la navegación, el campo petrolífero, la industria de productos acuáticos, en actividades de forestación, en el campo de la construcción, usos civiles, transporte e industria ligera.

En Venezuela, el coco y el sisal son los productos vegetales que generan fibras susceptibles a ser empleadas en la construcción, siendo el sisal de más fácil obtención, de uso más frecuente y cuyas plantaciones no son explotadas a su mayor rentabilidad.

Según FUDECO (2005), actualmente se cultivan en la región centro-occidental de Venezuela un aproximado de ciento trece mil (113.000) hectáreas de tierra con vocación agrícola, en las cuales cuatro mil (4.000) de ellas destinadas al cultivo de sisal, setecientas

(700) hectáreas para té, mil quinientas (1.500) hectáreas para frutales y dos mil doscientas (2.200) para Bosque, dentro del proyecto de la Fundación de la Región Centro-Occidental de Venezuela (FUDECO) se prevén la puesta en funcionamiento de tres plantas de procesamiento del sisal, por lo cual se podría pensar que a partir de los suelos venezolanos se pueda alcanzar una producción de fibras de sisal, que podría responder a la demanda nacional actual y futura así como la de países europeos y norteamericanos.

Silva; C (2009) sostiene que el ciclo de vida de la planta sisal híbrido cuyo nombre dado por los investigadores es H116048, es entre diez (10) y trece (13) años, mientras que el sisal criollo posee ciclo de vida de entre ocho (8) y diez (10) años aproximadamente, la obtención de fibras y de subproductos se pueden alcanzar a partir del tercer año de vida del cultivo, es decir su aprovechamiento es de alrededor de siete (7) a diez (10) años.

En cuanto a los terrenos o suelos idóneos para el desarrollo del sisal, los mismos deben poseer textura arenosa, con buen drenaje interno y externo para que no se presente anegamiento en caso de precipitaciones atípicas en algunas épocas del año. El sisal híbrido es un poco más exigente pero tiene la ventaja de ser más productivo por cuanto la cantidad de hojas que se obtienen de él es mucho mayor que la del sisal criollo. Podemos evidenciar en la fotografía numero 1 los sembradíos del sisal en el estado Lara.



Foto N°1. Sembradíos de Sisal en el Estado Lara FUDECO Extraído el 22 de Junio de 2007 de <http://www.fudeco.gob.ve>. (2005).

Según lo contemplado en el Proyecto Sisal FUDECO (2005) en zonas con limitante de precipitaciones no se recomienda introducir el sisal híbrido (denominado por los investigadores H116048), resulta apropiado experimentar con el sisal criollo por ser más resistente a esas condiciones de clima, en la fotografía numero 2 se muestran los tipos de sisal presentados en el presente.



Foto N°2 vista de la tradicional planta Sisal (*Agave sisalana*), vista de Híbrido H116048. FUDECO Extraído el 22 de Junio de 2007 de <http://www.fudeco.gob.ve/interes/galeria.htm>. (2005).

Mújica y Marval (1998) expresan que en Venezuela las fibras sisal de grandes longitudes son utilizadas para confeccionar mecates, sacos, cordones. Por su parte, aquellas fibras de cortas longitudes son utilizadas para el relleno de asientos, almohadas y colchones. De igual manera, los mismos señalan que el cultivo de sisal es particularmente importante a nivel social y económico en el estado Lara, específicamente en zonas semiáridas, donde los agricultores obtienen importantes ingresos por la venta de esta fibra, representando así el noventa por ciento (90%) de la producción agrícola de Venezuela.

En Venezuela, los productos derivados del sisal, han venido enfrentando una serie de dificultades desde hace algunos años, siendo la principal la sustitución de dicha fibra por fibras sintéticas para elaborar mecates, sacos y cordeles. Esta situación representa una notoria desventaja para aquellas personas que poseen como principal fuente de ingresos la comercialización de la fibra del sisal. Es por ello, que se considera necesaria la búsqueda de otros usos de la fibra para proporcionar nuevos mercados.

I.2.1.- Producción de la fibra de sisal

Actualmente, la extracción de fibras es realizada por una máquina raspadora automática y máquina raspadora manual,(ver foto 3) la planta de procesamiento utiliza las fibras vírgenes extraídas como materia prima y la convierte en diversos productos de sisal, tales como: mecate blanco, tela pulidora, hilos, hilos retorcidos, alfombra, tapiz, objetos de artesanía, utensilios de casa, juguetes para animales y productos de protección ambiental, entre otros.

La producción de la fibra de sisal se puede esquematizar de la siguiente manera:



La siembra se realiza de forma organizada y al alcanzar la planta la madurez necesaria, el bulbo es extraído de forma manual y llevado a la máquina despeladora, la cual presenta en los actuales momentos riesgos para sus usuarios, debido a que un número importante de trabajadores han sufrido mutilaciones de dedos e inclusive de la mano completa cuando introducen en ella la fibra sisal.

Una de las aspiraciones del proyecto sisal FUDECO, es precisamente, modernizar dicha maquinaria, para ello estudian la posibilidad de crear el concurso de universidades locales en propuestas de actualización tecnológica que impidan la recurrencia de tales riesgos para los trabajadores.

Seguidamente, se procede al secado de las fibras, el mismo continúa desarrollándose de manera artesanal, este proceso dura alrededor de tres días (ver foto 4). Los hombres campesinos oriundos de las regiones cercanas y del propio Estado Lara, asumen de manera organizada la responsabilidad de secar grandes volúmenes de fibra de sisal

La limpieza de la fibra es realizada también de forma manual, ayudados con palos de madera, golpean la fibra hasta lograr que salgan los residuos de pulpa de la misma, sin

embargo, cuando es requerida para la industria textil, el procesamiento de eliminación de residuo de pulpa se efectúa industrialmente.

Las fotografías número 3 y 4 muestran el proceso de producción de la fibra de sisal en sus etapas artesanales, que posteriormente permite la elaboración de los variados productos derivados que hoy convierten al estado Lara, en sede natural de riqueza productiva de incommensurable valor.



Foto N°3 Maquina Despeladora (Proceso de Producción de la Fibra de sisal). FUDECO Extraído el 22 de Junio de 2007 de <http://www.fudeco.gob.ve/interes/galeria.htm>. (2005).



Foto N°4 Secado al sol de las fibra y resultado final de la misma. FUDECO Extraído el 22 de Junio de 2007 de <http://www.fudeco.gob.ve/interes/galeria.htm>. (2005).

I.2.2.- El Proyecto Sisal

El Proyecto Sisal tiene como principal objetivo reactivar la producción de sisal en los estados Lara y Falcón. Tras la firma de un convenio entre la República Bolivariana de Venezuela y la República Popular China, se encomendó su ejecución a la Fundación para el Desarrollo de la Región Centro Occidental de Venezuela (FUDECO), institución que propone el Plan de Desarrollo Endógeno de la zona sisalera del Estado Lara.

Los objetivos previstos dentro del proyecto son los siguientes: aumentar la superficie cultivada y el rendimiento por hectárea de sisal, garantizar la colocación y precios justos de la fibra y los productos terminados; incorporar mayor valor agregado a la producción primaria; introducir nuevas tecnologías y capacitación de los productores; mejorar el ingreso familiar y su calidad de vida; aumentar el empleo rural y urbano, así como diversificar la economía exportadora no petrolera.

Para la ejecución del Plan de Desarrollo Endógeno de la zona sisalera se conformó la empresa VENCHI S.A, con participación del cuarenta por ciento (40 %) de Venezuela y el sesenta por ciento (60 %) de China, mediante la creación de esta empresa se fundó una granja modelo en el asentamiento llamado El Milagro- Mijagual, ubicado en la población del Eneal del Municipio Crespo del Estado Lara.

“Allí se han desarrollado espacios para la transferencia tecnológica, entre los que destaca vivero madre de 40 hectáreas donde se sembraron 6 millones 619.920 plántones de sisal provenientes de la región de Guangxi y pertenecientes a la variedad denominada híbrido H116048, la cual garantiza alta calidad y cubrirá la demanda para la reactivación de las plantaciones existentes y el inicio de nuevas siembras” FUDECO (2005)

La granja modelo cuenta con el apoyo de grupos de productores de los Municipios Urdaneta y Crespo del estado Lara quienes participan con los técnicos en un intercambio de experiencias sobre cómo mejorar el cultivo de sisal.

Los productos que se elaboran básicamente en este proyecto son: hilados especialmente finos, hilados torcidos y tela sisalera, esta fibra no contiene aceite, es muy blanca con pelo cortado especialmente fino, los productos son de alta calidad y se venden principalmente a Europa, América y China, de igual manera se distribuye a los fabricantes de alfombra sisalera, de cables para ascensores, de ruedas para pulidoras y para la fabricación de artículos artesanales.

En principio, el proyecto estima una línea de producción de dos mil (2.000) toneladas, en función del aumento de la producción de materia prima se podrá alcanzar desarrollar hasta diez mil (10.000) toneladas de fibra de sisal se podrían elaborar una variedad de productos de mayor categoría que podrían satisfacer la demanda actual y futura de Venezuela y China.

La abundancia en los recursos en tierra, así como la favorable posición geográfica y una base sólida del cultivo ofrecen excelentes condiciones para el desarrollo de mercados internacionales de los productos sisaleros alcanzados a partir de esta experiencia.

Conclusión

En el presente capítulo se estudió las características técnicas de las distintas fibras vegetales de mayor uso dentro del campo de la construcción, siendo la fibra de sisal una de las que posee condiciones técnicas requeridas para la producción de fibrocemento.

Se pudo evidenciar el potencial que tiene Venezuela actualmente en la producción de esta fibra y la necesidad económica estratégica de buscar nuevos usos para la misma. Se llevó a cabo una revisión analítica de diversas investigaciones en las que se incorporó la fibra vegetal como elemento de apoyo al cemento para desarrollar alternativas válidas para la producción y comercialización de productos, en dichas investigaciones se puede confirmar que las fibras vegetales han sido utilizadas tradicionalmente en el campo de la construcción, así como el interés en el campo de la investigación por determinar las condiciones idóneas

en las que las fibras deben estar contenidas dentro de matrices que permitan el desarrollo de nuevos materiales para la construcción.

Se pudo notar que actualmente en el campo de la construcción es factible la producción de componentes constructivos a partir del fibrocemento en donde se utilizan fibras naturales como materia prima para su fabricación.

CAPITULO II

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Introducción

En el capítulo anterior se presentaron los materiales de base: las fibras y el cemento así como ellos puede ser empleados para la producción de fibro-cemento. En el presente capítulo se desarrolla el programa de experimental, los ensayos, realizados bajo nuestro esquema, fueron realizados en el Instituto Venezolano de Investigaciones Tecnológicas e Industriales (INVESTI), ello con el objeto de evaluar el desempeño del concreto reforzado con fibra de sisal.

II.1 Diseño de la experimentación

El programa experimental de ensayos contempla los siguientes puntos:

1. Caracterización de los materiales: Corresponde a la determinación de las características de todos los materiales que se utilizan en la elaboración de las probetas a ser sometidas a ensayos de laboratorio: cemento, agregados, fibras.
2. Ensayos de mortero reforzado con fibras: Ensayos de resistencia a flexión y a la compresión luego de veintiocho (28) días de elaboradas las muestras

II.2 Caracterización de los materiales

Los materiales utilizados en la elaboración de las probetas fueron: cemento Portland tipo I según norma Covenin 28, arena natural, agua de chorro y fibras de sisal. Los agregados

comerciales son analizados granulométricamente en sus condiciones iniciales, según lo indica la norma Covenin 277.

II.2.1 Análisis general de la arena

Peso Unitario: el ensayo se realizó según lo establecido en la Norma Covenin 263, obteniéndose los siguientes resultados:

$$\text{PESO UNITARIO SUELTO (P.U.S.)} = 1502 \text{ Kg. /m}^3$$

$$\text{PESO UNITARIO COMPACTO (P.U.C.)} = 1721 \text{ Kg. /m}^3$$

Distribución de tamaño de partículas (Granulometría): el ensayo se realizó según lo establecido en la Norma Covenin 255, el cual consiste en separar una muestra de agregado seco de masa conocida, a través de una serie de cedazos de aberturas progresivamente más reducidas para determinar la distribución de los tamaños de las partículas, donde se obtuvieron los siguientes resultados:

TAMIZ	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE
3/8"	0.86	0.86	99.14
# 4	20.35	21.21	78.79
# 8	14.82	36.03	63.97
# 16	14.13	50.16	49.84
# 30	14.09	64.25	35.75
# 50	12.66	79.91	23.09
# 100	12.69	89.60	10.40
# 200	4.55	94.15	5.85
PASA # 200	5.85	100.00	0.00

CUADRO N° 3. Granulometría de la Arena Elaboración del autor con base en ensayos realizados por INVESTI (2009)

Si los resultados mostrados en el Cuadro número 3, correspondientes al ensayo de granulometría de la arena, los comparamos con los valores definidos en la norma Covenin 255 (cuadro número 4), vemos que la arena utilizada no es la ideal por cuanto en los diferentes tamices los porcentajes pasantes están fuera de los rangos que establece la

norma. No obstante los ensayos son válidos tomando en cuenta que tanto las muestras elaboradas con diferentes cantidades de fibra, como la muestra patrón se elaboraron con la misma arena.

CEDAZO	PORCENTAJE QUE PASA
4.76 mm (#4)	100
1.19 mm (#16)	65-75
0.297mm (#50)	15-20
0.149mm (#100)	2-5

CUADRO N° 4 Granulometría de la arena, según la norma Covenin 255. FONDONORMA (1994)

Peso específico y absorción

El ensayo se realizó según lo establecido en la Norma Covenin 268, dicho ensayo consiste en sumergir una muestra del agregado en agua durante veinticuatro (24) horas aproximadamente para saturar los poros. Luego se remueve el agua y se seca en un recipiente adecuado, y se determina su masa una primera vez. Posteriormente, la muestra se sumerge en agua y se determina su masa una segunda vez, finalmente de este método de ensayo, se calculan tres (3) formas de densidad y la absorción.

En dicha prueba se obtuvieron los siguientes resultados:

Peso Específico	2,65g/ml
Peso Específico (saturado con superficie seca)	2,67g/ml
Peso Específico aparente	2,69g/ml
Absorción (%)	0,50%

CUADRO N° 5 Peso específico y absorción. Elaboración del autor con base en ensayos realizados por INVESTI

Contenido de cloruros y sulfatos

El ensayo se realizó según lo establecido en la Norma Covenin 261, obteniéndose los siguientes resultados:

Cloruros	% Sulfatos
< 0,01	< 0,01

CUADRO N° 6 Contenido de cloruros y sulfatos. Elaboración del autor con base en ensayos realizados por INVESTI (2009)

El cuadro numero 6 muestra una arena con bajos contenidos de cloruros y sulfatos lo que la hace conveniente para los ensayos.

II.2.2 Fibra de sisal

Las fibras cortadas a cada largo fueron secadas por 24 horas a 50°C. Posteriormente se determinó el peso específico de dichas fibras, el cual resultó: 2,61. Para ello, dichas fibras fueron sumergidas en agua por 24 horas, posteriormente se tomo el peso de la misma, una vez se secan en horno a cincuenta grados centígrados, dicho ensayo se efectúa de manera similar al del contemplado en la Norma Covenin 268.

II.3. Diseño de mezclas y vaciado de probetas

Se elabora un plan de trabajo para la preparación de las probetas y ejecución de los ensayos para edades del concreto a los 28 días. Esto permite evaluar algunas propiedades físicas y mecánicas del mortero reforzado con fibras, entre las cuales están: trabajabilidad basada en el asentamiento, peso unitario del concreto fresco, resistencia a la flexión, resistencia a la compresión, módulo de elasticidad.

Posteriormente se realizaron 10 mezclas (1mezcla para el patrón y 9 mezclas con fibra), de cada una de las mezclas se elaboraron tres (3) probetas con las siguientes características: vigas de 10cm x 40cm x 10 cm y 2 cilindros de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.

La dosificación del mortero originalmente planteada para realizar la experimentación fué establecida: relación agua/cemento 0,50 y cemento/arena 1:4 = 0,25. Sin embargo, al realizar el ensayo de consistencia en el cono de Abrams, a las muestras con adición de fibras de sisal, se determinó que para lograr los valores de asentamientos establecidos en la

norma Covenin 339 se requiere una relación agua/cemento mayor, es decir 0,60. Se elaboraron todas las muestras con esta relación para lograr una trabajabilidad adecuada de la mezcla y tomando en cuenta que, de utilizar una relación agua/cemento de 0,50 en la elaboración de componentes constructivos, estos no quedarían bien compactados, con presencia de huecos, debido a la resequedad de la mezcla.

Posteriormente se calcula la densidad de la fibra de Sisal, la cual fue de $1,45 \text{ g. /cm}^3 = 1450 \text{ Kg./m}^3$. El procedimiento empleado fue similar al que se utiliza para determinar la densidad de materiales sueltos como la arena. Esto es pesando una cantidad de fibra colocada dentro de un recipiente de volumen conocido y por relación entre el peso y el volumen se calcula la densidad. El porcentaje de la misma en el mortero se calcularía de la siguiente forma:

$$\text{Porcentaje de la de fibra en el mortero} = \frac{\text{m}^3 \text{ de fibra} \times 100}{\text{m}^3 \text{ de mortero}}.$$

Partiendo de lo anteriormente expuesto, se confeccionaron las mezclas con las siguientes longitudes y porcentajes de fibra expuestas en el cuadro 7, usando como matriz el mortero con las características anteriormente descrito

<i>Muestra</i>	<i>Largo de la fibra (cm.)</i>	<i>% Fibra de Sisal</i>
P-1	0	0
P-2	0	0
M-1	5	0,5
M-2	5	0,75
M-3	5	1
M-4	7,5	0,5
M-5	7,5	0,75
M-6	7,5	1
M-7	10	0,5
M-8	10	0,75
M-9	10	1

CUADRO N° 7 Resumen de mezclas confeccionadas.Elaboración del autor, con base en ensayos realizados por INVESTI (2009)

La mezcla patrón, denominada (P), no posee fibras y el mortero se elaboró con una relación agua/cemento a/c de 0,6.

En el cuadro n° 8 se reportan los datos correspondientes al diseño de las mezclas.

Muestra	Arena (Kg.)	Cemento (Kg.)	Agua (Kg.)	Agua/Cemento	Cemento/Arena	% Fibra de Sisal	Longitud de Fibra
P	46,8	11,8	7,1	0,6	0,25	0	0
M-1	39	9,8	4,9	0,6	0,25	0,5	5
M-2	39	9,8	5,4	0,6	0,25	0,75	5
M-3	39	9,8	5,9	0,6	0,25	1	5
M-4	39	9,8	5,9	0,6	0,25	0,5	7,5
M-5	39	9,8	5,9	0,6	0,25	0,75	7,5
M-6	39	9,8	5,9	0,6	0,25	1	7,5
M-7	39	9,8	5,9	0,6	0,25	0,5	1
M-8	39	9,8	5,9	0,6	0,25	0,75	1
M-9	39	9,8	5,9	0,6	0,25	1	1

CUADRO N° 8 Diseño de Mezclas. Elaboración del autor, con base en ensayos realizados por INVESTI (2009).

II.4 Confección de mezclas.

El mezclado y preparación del mortero correspondiente a una misma mezcla se realiza en una sola batida para evitar incorporar variables o condicionantes adicionales relacionadas con la manipulación y dosificación de los materiales, preparación y vaciado de la mezcla.

El proceso de confección de mezcla se llevo a cabo de la siguiente manera:

1. Incorporación en la mezcladora del 30% del agua a fin de humedecer las paredes, paletas y fondo de la misma.
2. Incorporación del agregado fino y mezcla durante un minuto.
3. Incorporación del 30% del agua y mezclado durante un minuto, para permitir la absorción del agua por parte de la arena.
4. Incorporación del cemento.
5. Incorporación del resto del agua y mezclado durante un minuto.
6. Incorporación de las fibras y mezclado durante tres minutos.
7. Descanso durante tres minutos y nuevamente es mezclado durante tres minutos.
8. Medición de la trabajabilidad de la mezcla. Para algunas de las mezclas, previo a la incorporación de las fibras, también se mide el asentamiento para evaluar la diferencia en la trabajabilidad.
9. Vaciado de la mezcla en las probetas. El vaciado de las viguetas se realiza por capas, con vibrado manual.

Las probetas son guardadas en sus moldes por veinticuatro (24) horas. Posteriormente desmoldadas y curadas manteniendo un 100 % de humedad relativa y a temperatura de veintitrés grados centígrados (23 °C), o setenta y dos grados Fahrenheit (72 °F) durante veintisiete (27) días.

II.5 Ensayos

II.5.1 Ensayos de mortero fresco

Una vez concluido el procedimiento de mezclado se procede a determinar el asentamiento de cada mezcla por medio del Cono de Abrams, tal como lo expresa la norma Covenin 339.

Luego de concluida la prueba se pudo observar que las mezclas de mortero experimentan una pérdida de asentamiento cuando se le agregan las fibras, es decir al aumentar el volumen de fibra, disminuye el asentamiento del mortero. De igual manera se pudo observar que el mortero fresco reforzado con fibras no presenta sangrado de superficie y no se observa segregación alguna en la mezcla. Los resultados obtenidos en esta prueba se resumen en el cuadro 9 así como en la fotografías número 5,6,7.



Foto N°5. Cono de Abrams usado en la Experimentación. Fotos de autor (2008)



Foto N°6. Realización de Prueba de Asentamiento. Fotos de autor (2008)



Foto N° 7. Asentamiento de la Mezcla. Fotos de autor (2008)

Muestra	Arena (Kg.)	Cemento (Kg.)	Agua (Kg.)	Agua/ Cemento	Cemento/ Arena	% Fibra de Sisal	Longitud de Fibra	Asentamiento (Pulgadas)
P	46,8	11,8	7,1	0,6	0,25	0	0	3 ½
M-1	39	9,8	4,9	0,55	0,25	0,5	5	1 ¼
M-2	39	9,8	5,4	0,55	0,25	0,75	5	½
M-3	39	9,8	5,9	0,6	0,25	1	5	2 ¾
M-4	39	9,8	5,9	0,6	0,25	0,5	7,5	5 ¾
M-5	39	9,8	5,9	0,6	0,25	0,75	7,5	2 ¾
M-6	39	9,8	5,9	0,6	0,25	1	7,5	1 ¾
M-7	39	9,8	5,9	0,6	0,25	0,5	1	2 ¾
M-8	39	9,8	5,9	0,6	0,25	0,75	1	2 ¾
M-9	39	9,8	5,9	0,6	0,25	1	1	2 ¾

CUADRO N° 9. Asentamiento en las Mezclas.Elaboración del autor, con base en ensayos realizados por INVESTI (2009)

II.5.2 Ensayos del mortero endurecido

En la ejecución del programa experimental se obtienen datos, medidas e información relativa a las probetas y a los resultados de los ensayos, para el posterior análisis y evaluación del comportamiento del material en estudio. Los ensayos realizados para determinar las propiedades mecánicas del mortero reforzado con fibras son:

1. Resistencia a flexión.
2. Resistencia a compresión en cilindros estándar.
3. Resistencia a compresión en probetas cúbicas tomadas de viguetas.

II.5.3 Ensayos de Resistencia a la Flexión

El ensayo de flexión aplicado a las muestras de ensayo tiene por objeto establecer los resistencia a la flexión de las muestras cuando están bajo un continuo cambio de propiedades, de esta manera, los factores que influyen, tales como: longitud de la fibra, relación agua / cemento, y fibra / matriz, adherencia y otros factores inherentes al compuesto probablemente se detectarán.

La resistencia a la flexión se determina a través de un ensayo donde se someten las probetas a una carga transversal a su eje de forma continua y creciente hasta la rotura de ésta a un valor de carga denominado carga de rotura o carga última. A partir de la carga de rotura se calcula la resistencia a la flexión por lo que en los ensayos se puede establecer que a mayor carga de rotura de una probeta mayor resistencia a la flexión posee.

En los ensayos para la determinación de la resistencia a flexión del mortero aplicando carga en el tercio medio. Según la norma ASTM C 78-84 se utilizan probetas prismáticas con dimensiones de 100 x 100 x 400 mm (4 x 4 x 15,5 pulgadas.). (Ver fotografía 8)



Foto N° 8. Probetas Prismáticas.. Fotos de autor (2008)

Para cada uno de los ensayos realizados se cumplen las siguientes condiciones:

1. La distancia entre los apoyos y puntos de aplicación de la carga permanece constante.
2. La aplicación de carga se realiza perpendicularmente a la cara de la vigueta para evitar excentricidades.
3. La carga se transmite a la vigueta a través de barras lisas ubicadas transversalmente.
4. La superficie lisa de los puntos de apoyo de la vigueta garantiza que la dirección de las reacciones sea paralela a la de la carga.
5. La aplicación de la carga se realiza de manera controlada y gradual, sobrepasando la carga de rotura.

6. Se realizan las mediciones de cargas aplicadas y su correspondiente deflexión en el punto medio de la vigueta, destacando la carga de ruptura..

En este ensayo para determinar las características geométricas de las probetas, se toman tres medidas una en cada extremo y una en el centro, estableciendo así el ancho, alto y largo promedio de cada una.



Foto N° 9. Ensayo de Flexión, vista de Rotura del Material. Fotos de autor (2008)

Los ensayos son realizados a los 28 días, luego de confeccionar las muestras, realizándose un total de 30 ensayos experimentales aplicados a cada una de las mezclas. (Ver fotografía número 10)



Foto N° 10. Encofrado para las Probetas Prismáticas Fotos de autor (2008)

Los resultados obtenidos en cada prueba, fueron vaciados en los siguientes cuadros y gráficos para su mejor interpretación.

Probeta P1		Probeta P2		Probeta P3	
Carga (kg)	Deflexión (mm)	Carga (kg)	Deflexión (mm)	Carga (kg)	Deflexión (mm)
0	0	0	0	0	0
50	0,05	200	0,08	200	0,1
170	0,13	250	0,16	350	0,22
340	0,35	300	0,22	500	0,3
450	0,5	400	0,35	600	0,37
700	0,81	500	0,47	650	0,42
750	0,92	600	0,58	750	0,47
900	1,05	700	0,67	850	0,53
1000	1,19	800	0,76	900	0,56
1100	1,25	900	0,81	950	0,58
1205	1,35	1000	0,9	1000	0,61
		1200	1,03	1120	0,67
		1340	1,15		

CUADRO N° 10 Ensayos de flexión para la muestra patrón.: Elaboración del autor, con base en ensayos realizados por INVESTI (2009)

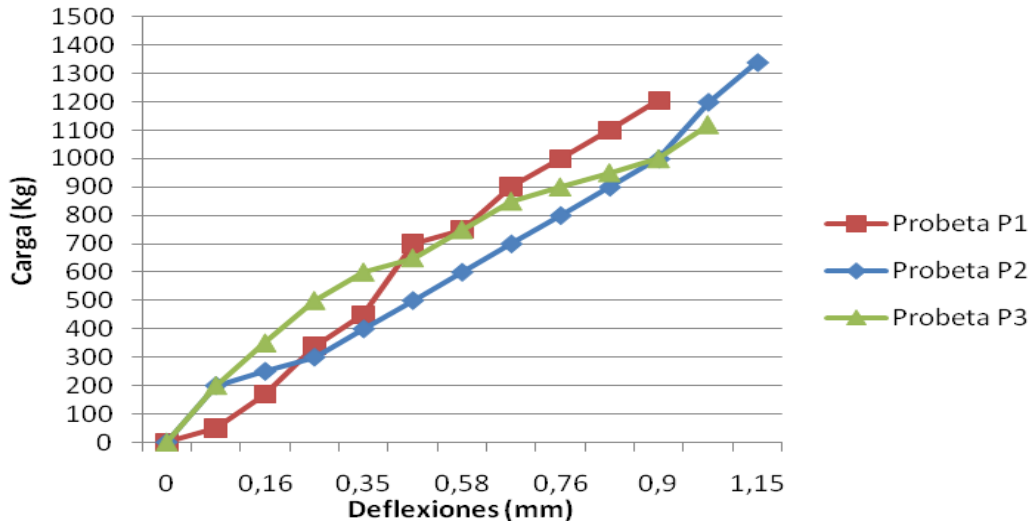


GRÁFICO N° 9 Curva de carga vs deflexión de la muestra patrón. Elaboración del autor, con base en ensayos realizados por INVESTI (2009)

Probeta M1-1.		Probeta M1-2		Probeta M1-3	
Carga (kg)	Deflexión (mm)	Carga (kg)	Deflexión (mm)	Carga (kg)	Deflexión (mm)
0	0	0	0	0	0
150	0,06	150	0,21	150	0,04
250	0,1	250	0,27	250	0,05
400	0,17	400	0,45	400	0,08
600	0,37	600	0,6	600	0,14
800	0,51	800	0,71	800	0,23
900	0,59	900	0,76	900	0,28
1000	0,67	1000	0,82	1000	0,32
1100	0,73	1100	0,9	1100	0,37
1150	0,79	370	1	1160	0,39
1180	0,81	330	1,5	375	0,6
380	0,95	260	2	361	0,8
350	1,5	206	2,5	354	1
		169	3	300	1,5
				106	2
				70	3,3

CUADRO N° 11 Ensayos de flexión para la muestra 1. Elaboración del autor, con base en ensayos realizados por INVESTI (2009)

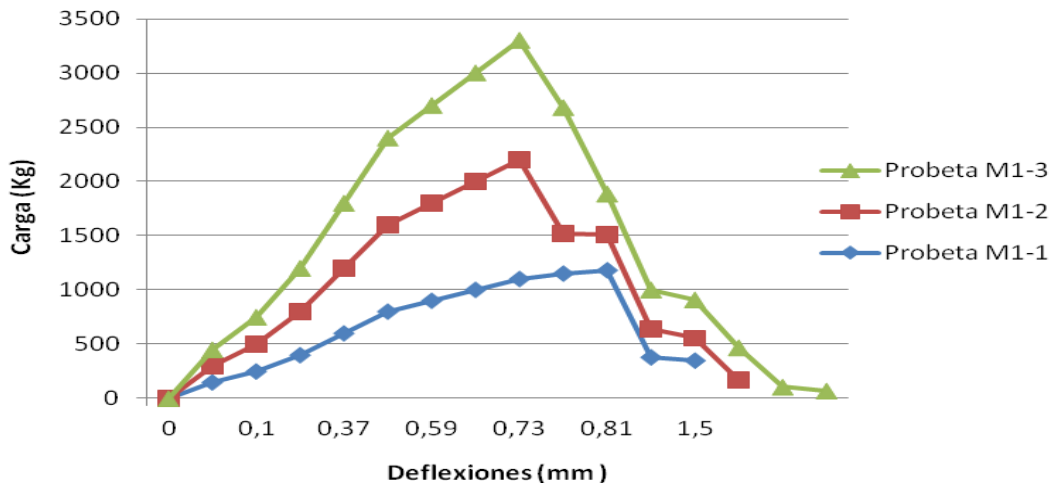


GRÁFICO N° 10. Curva de carga vs deflexión de la muestra 1.Elaboración del autor, con base en ensayos realizados por INVESTI (2009)

Probeta M2-1		Probeta M2-2		Probeta M2-3	
Carga (kg)	Deflexión(mm)	Carga(kg)	Deflexión(mm)	Carga(kg)	Deflexión(mm)
0	0	0	0	0	0
50	0,05	50	0,05	50	0,06
100	0,08	100	0,08	100	0,08
200	0,11	200	0,1	200	0,1
300	0,16	300	0,14	300	0,11
400	0,21	400	0,18	400	0,14
500	0,27	500	0,2	500	0,17
600	0,32	600	0,23	600	0,23
700	0,37	700	0,26	700	0,27
800	0,43	800	0,29	800	0,3
900	0,47	900	0,34	900	0,35
1000	0,51	1000	0,4	1000	0,4
1050	0,54	402	0,6	1050	0,43
1100	0,57	422	0,9	1100	0,45
1200	0,85	402	1	1125	0,5
340	1,46	353	1,5	310	0,97
330	1,7	305	2	270	1,5
270	2	250	2,5	210	2
210	2,5	180	3	181	2,5
140	3	147	3,5	80	4
115	3,5				

CUADRO N° 12 Ensayos de flexión para la muestra 2.Elaboración del autor con base en ensayos realizados por INVESTI (2009)

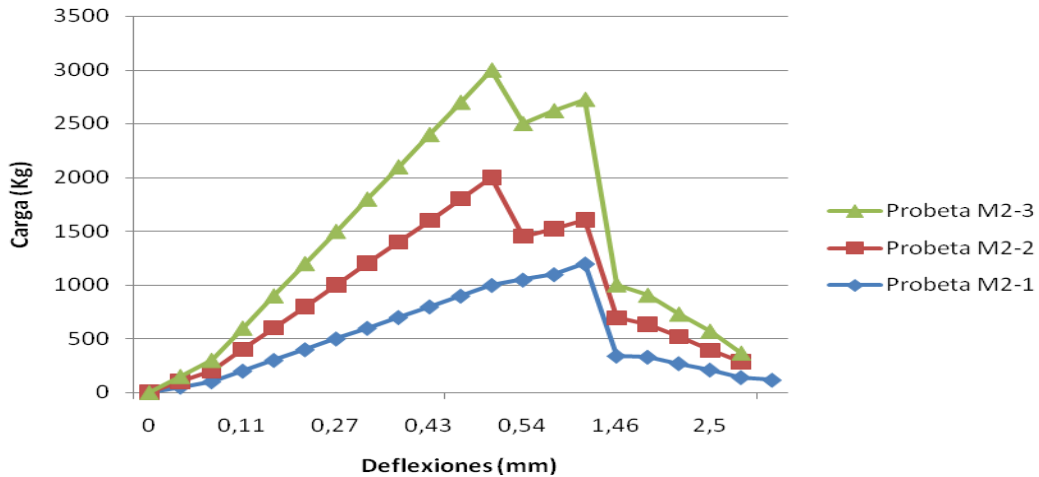


GRÁFICO N° 11 Curva de carga vs deflexión de la muestra 2. Elaboración del autor con base en ensayos realizados por INVESTI (2009)

Probeta M3-1		Probeta M3-2		Probeta M3-3	
Carga (kg)	Deflexión (mm)	Carga (kg)	Deflexión (mm)	Carga (kg)	Deflexión (mm)
0	0	0	0	0	0
50	0,08	50	0,03	50	0,05
100	0,18	174	0,07	100	0,09
200	0,24	200	0,12	200	0,16
300	0,31	300	0,21	300	0,21
400	0,37	400	0,35	400	0,27
500	0,44	500	0,44	500	0,33
600	0,51	600	0,51	600	0,38
700	0,57	700	0,57	700	0,43
800	0,62	800	0,62	800	0,47
860	0,68	840	0,64	920	0,53
442	0,94	444	1	460	0,75
447	1,21	459	1,5	490	1
439	1,5	440	2	462	1,5
417	2	423	2,5	290	1,8
408	2,5	416	3	280	2
385	3	347	3,5	242	2,5
338	3,5	310	4	211	3
295	4	276	4,5	178	3,5
269	4,5	255	5	153	4

CUADRO N° 13. Ensayos de flexión para la muestra 3. Elaboración del autor con base en ensayos realizados por INVESTI (2009)

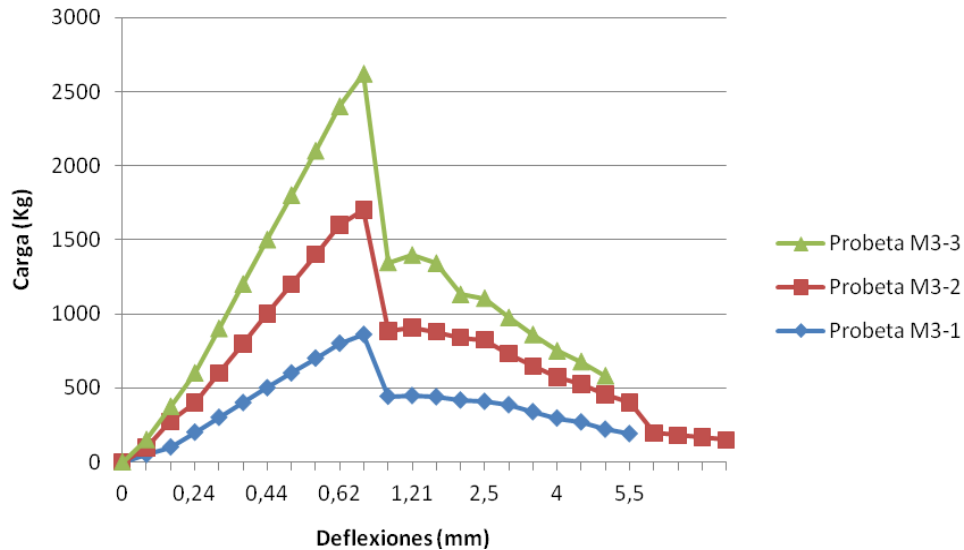


GRÁFICO N° 12. Curva de carga vs deflexión de la muestra 3 Elaboración del autor con base en ensayos realizados por INVESTI (2009)

Probeta M4-1		Probeta M4-2		Probeta M4-3	
Carga (kg)	Deflexión (mm)	Carga (kg)	Deflexión (mm)	Carga (kg)	Deflexión (mm)
0	0	0	0	0	0
50	0,02	50	0,08	100	0,03
100	0,05	100	0,18	300	0,16
200	0,07	200	0,3	400	0,23
300	0,12	300	0,42	500	0,27
400	0,16	400	0,52	600	0,32
500	0,21	500	0,59	700	0,37
600	0,25	600	0,66	800	0,43
700	0,28	700	0,72	900	0,49
800	0,32	800	0,78	360	0,9
900	0,35	900	0,84	370	1
930	0,4	1000	0,89	348	1,5
300	0,7	1050	0,92	321	2
460	1	1060	0,93	290	2,5
415	1,5	352	0,99	249	3
370	2	386	1,15	219	3,5
290	2,5	340	1,5	185	4
243	3	260	2	165	4,5

CUADRO N° 14. Ensayos de flexión para la muestra 4.Elaboración del autor con base en ensayos realizados por INVESTI (2009)

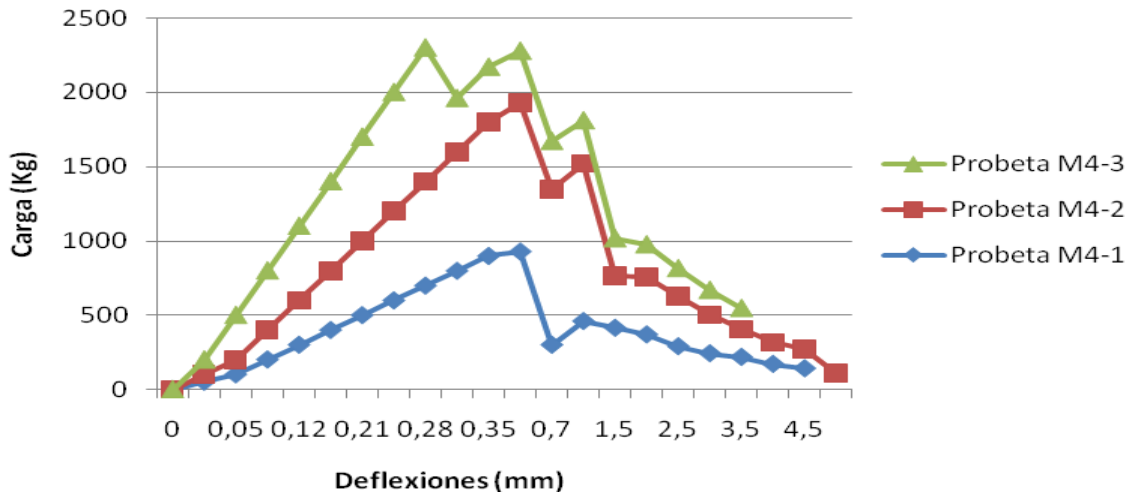


Gráfico N° 13. Curva de carga vs deflexión de la muestra 4 Elaboración del autor con base en ensayos realizados por INVESTI (2009)

<i>Probeta M5-1</i>		<i>Probeta M5-2</i>		<i>Probeta M5-3</i>	
Carga (kg)	Deflexión (mm)	Carga (kg)	Deflexión (mm)	Carga (kg)	Deflexión (mm)
0	0	0	0	0	0
50	0,04	50	0,02	50	0,06
100	0,11	100	0,09	100	0,1
200	0,18	200	0,23	200	0,18
300	0,29	300	0,4	300	0,26
400	0,4	400	0,61	400	0,33
500	0,46	500	0,78	500	0,4
600	0,52	600	0,87	600	0,46
700	0,56	700	0,95	700	0,52
800	0,6	800	1,02	800	0,57
900	0,64	900	1,1	900	0,63
930	0,75	1000	1,14	1020	0,7
758	0,82	1050	1,2	675	0,78
840	1,02	333	1,35	750	0,97
835	1,25	320	1,5	760	1,1
675	1,5	270	2	590	1,5
575	2	220	2,5	491	2
510	2,5	175	3	347	2,5
400	3	141	3,5	261	3
340	3,5	110	4	215	3,5
280	4	100	4,5	191	4
229	4,5	80	5	171	4,5

CUADRO N° 15 Ensayos de flexión para la muestra 5. Elaboración del autor con base en ensayos realizados por INVESTI (2009)

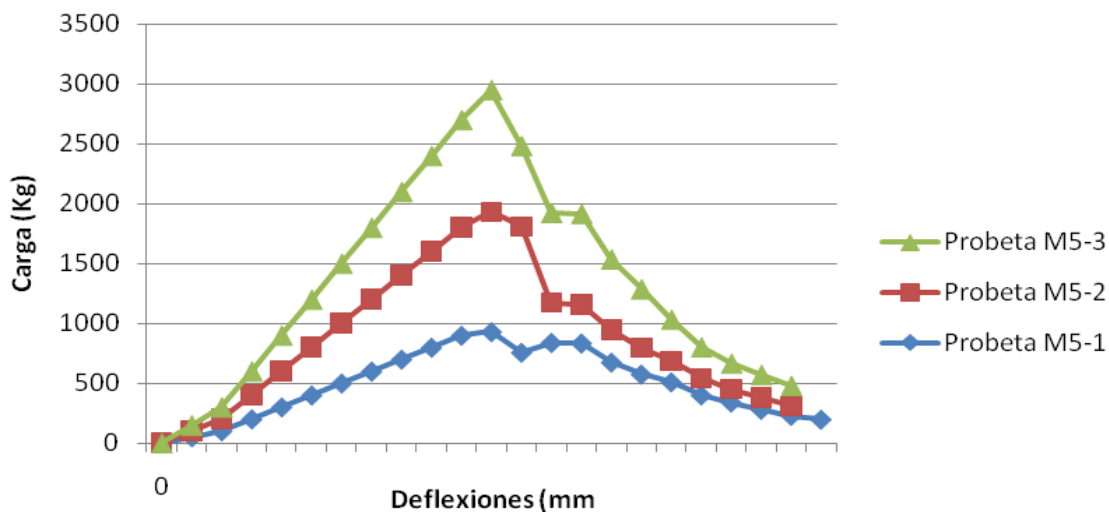


GRÁFICO N° 14 Curva de carga vs deflexión de la muestra 5. Elaboración del autor con base en ensayos realizados por INVESTI (2009)

Probeta M6-1		Probeta M6-2		Probeta M6-3	
Carga (kg)	Deflexión (mm)	Carga (kg)	Deflexión (mm)	Carga (kg)	Deflexión (mm)
0	0	0	0	0	0
50	0,08	50	0,05	50	0,12
100	0,12	100	0,15	100	0,14
200	0,15	200	0,23	200	0,2
300	0,2	300	0,32	300	0,28
400	0,3	400	0,4	400	0,36
500	0,38	500	0,48	500	0,45
600	0,42	600	0,55	600	0,52
700	0,46	700	0,65	700	0,57
800	0,5	800	0,75	800	0,64
900	0,54	1000	0,85	900	0,69
970	0,6	1030	0,97	1000	0,74
632	0,78	547	1,75	1050	0,77
643	1	503	2,5	1100	0,81
613	1,5	436	3	1120	1,03
590	2	403	3,5	500	1,18
580	2,5	360	4	580	1,5
500	3	295	4,5	585	2
430	3,5	250	5	560	2,5

CUADRO N° 16. Ensayos de flexión para la muestra 6. Elaboración del autor con base en ensayos realizados por INVESTI (2009)

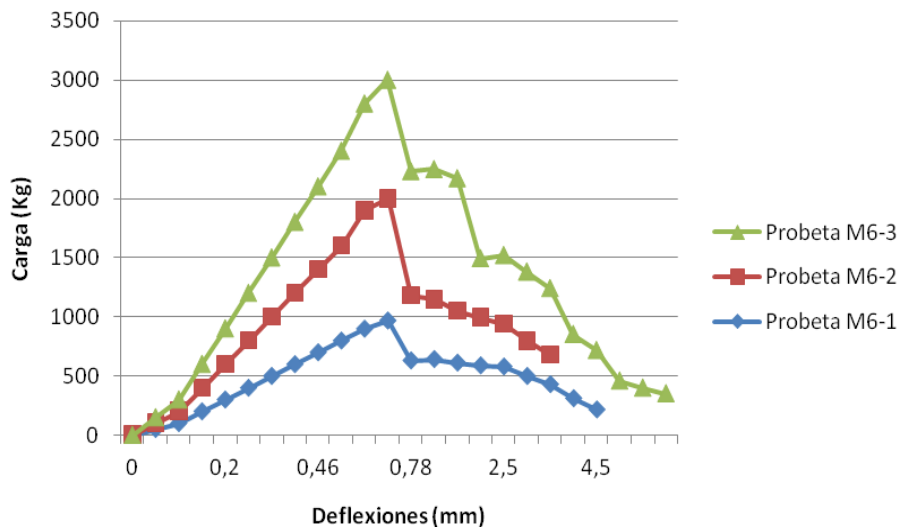


GRÁFICO N° 15. Curva de carga vs deflexión de la muestra 6.Elaboración del autor con base en ensayos realizados por INVESTI (2009)

<i>Probeta M7-1</i>		<i>Probeta M7-2</i>		<i>Probeta M7-3</i>	
Carga (kg)	Deflexión (mm)	Carga (kg)	Deflexión (mm)	Carga (kg)	Deflexión (mm)
0	0	0	0	0	0
50	0,08	50	0,1	50	0,07
100	0,12	100	0,17	100	0,11
200	0,18	200	0,24	200	0,17
300	0,23	300	0,3	300	0,22
400	0,28	400	0,38	400	0,28
500	0,34	500	0,45	500	0,36
600	0,4	600	0,53	600	0,3
700	0,46	700	0,6	700	0,37
800	0,51	800	0,66	800	0,42
900	0,57	900	0,71	900	0,45
1000	0,62	1000	0,74	1000	0,53
1050	0,65	1070	0,78	1100	0,57
1100	0,68	1100	1,05	1150	0,59
50	0,72	237	1,35	1200	0,62
400	0,98	227	1,5	1240	0,64
370	1,5	185	2	1260	0,68

CUADRO N° 17. Ensayos de flexión para la muestra 7. Elaboración del autor con base en ensayos realizados por INVESTI (2009).

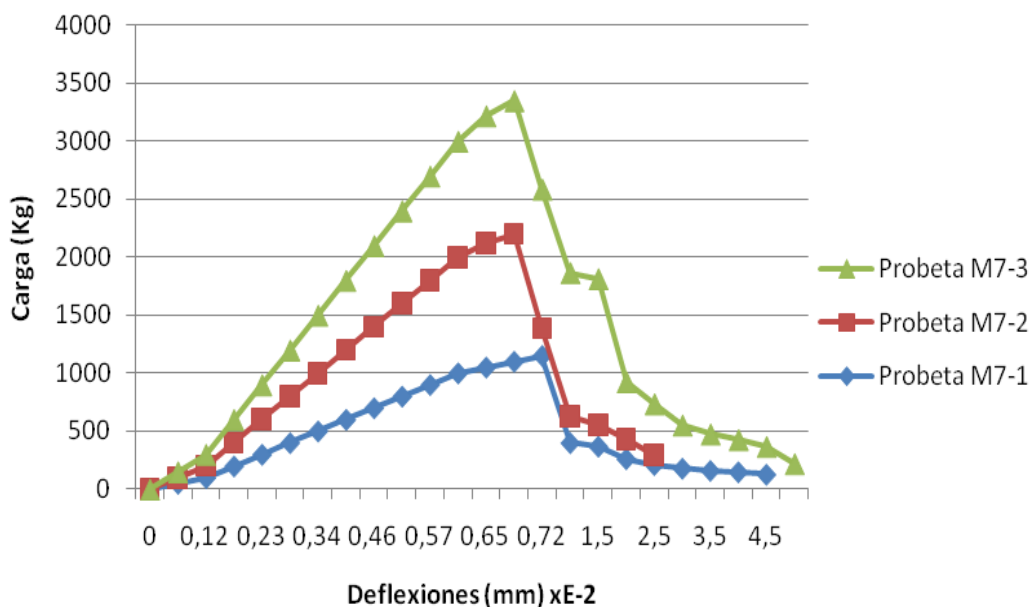


GRÁFICO N° 16 Curva de carga vs deflexión de la muestra 7. Elaboración del autor con base en ensayos realizados por INVESTI (2009).

Probeta M8-1		Probeta M8-2		Probeta M8-3	
Carga (kg)	Deflexión (mm)	Carga (kg)	Deflexión (mm)	Carga (kg)	Deflexión (mm)
0	0	0	0	0	0
50	0,03	50	0,11	50	0,13
100	0,1	100	0,2	100	0,22
200	0,13	200	0,37	200	0,34
300	0,18	300	0,42	300	0,44
400	0,23	400	0,56	400	0,57
500	0,28	500	0,64	500	0,64
600	0,32	600	0,7	600	0,71
700	0,37	700	0,77	700	0,77
800	0,42	800	0,84	800	0,83
900	0,47	900	0,9	900	0,89
1000	0,51	1000	0,95	1000	0,95
1050	0,56	1050	0,98	1120	1
1100	0,58	1100	1,01	505	1,5
1150	0,64	1150	1,03	483	2
1190	0,7	1185	1,07	435	2,5

CUADRO N° 18 Ensayos de flexión para la muestra 8. Elaboración del autor con base en ensayos realizados por INVESTI (2009)

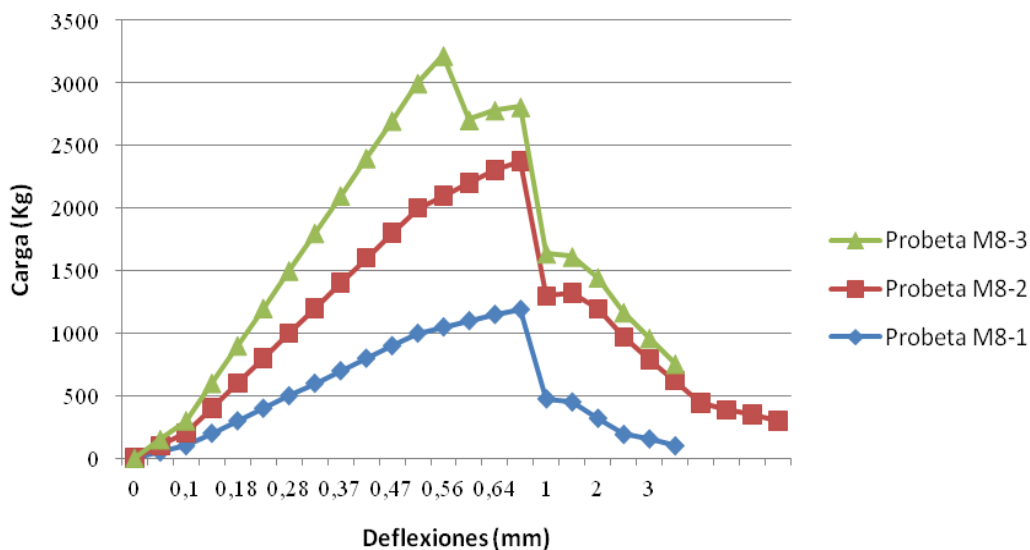


GRÁFICO 17. Curva de carga vs deflexión de la muestra 8. Elaboración del autor, con base en ensayos realizados por INVESTI (2009)

<i>Probeta M9-1</i>		<i>Probeta M9-2</i>		<i>Probeta M9-3</i>	
Carga (kg)	Deflexión (mm)	Carga (kg)	Deflexión (mm)	Carga (kg)	Deflexión (mm)
0	0	0	0	0	0
50	0,13	50	0,12	50	0,14
100	0,22	100	0,25	100	0,21
200	0,32	200	0,37	200	0,3
300	0,4	300	0,47	300	0,35
400	0,46	400	0,57	400	0,4
500	0,5	500	0,65	500	0,45
600	0,57	600	0,73	600	0,56
700	0,63	700	0,81	700	0,59
800	0,69	800	0,89	800	0,65
900	0,75	900	0,95	900	0,7
960	0,8	1030	1,06	930	0,75
600	1,04	456	1,37	636	0,98
704	1,52	476	1,5	660	1,32
620	2	440	2	625	1,5
550	2,5	412	2,5	596	2
495	3	400	3	526	2,5
428	3,5	339	3,5	470	3
360	4	300	4	401	3,5
300	5	253	4,5	345	4

CUADRO N° 19 Ensayos de flexión para la muestra 9. Elaboración del autor con base en ensayos realizados por INVESTI (2009).

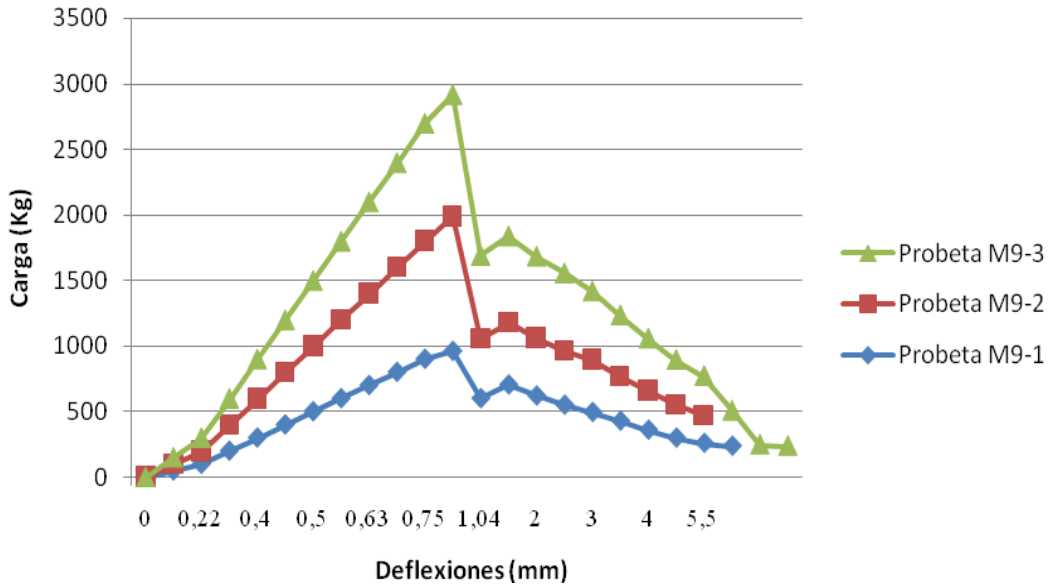


GRAFICO N° 18. Curva de carga vs deflexión de la muestra 9. Elaboración del autor con base en ensayos realizados por INVESTI (2009)

II.5.4 Interpretación de gráficos de los resultados del ensayo de resistencia a la flexión

Al ensayar la flexión de probetas prismáticas de mortero simple, como se observa en el gráfico número 9, estas se comportan de forma elástica demostrándose un esfuerzo-deformación más o menos lineal y un fallo brusco o frágil al alcanzarse la carga última o de rotura.

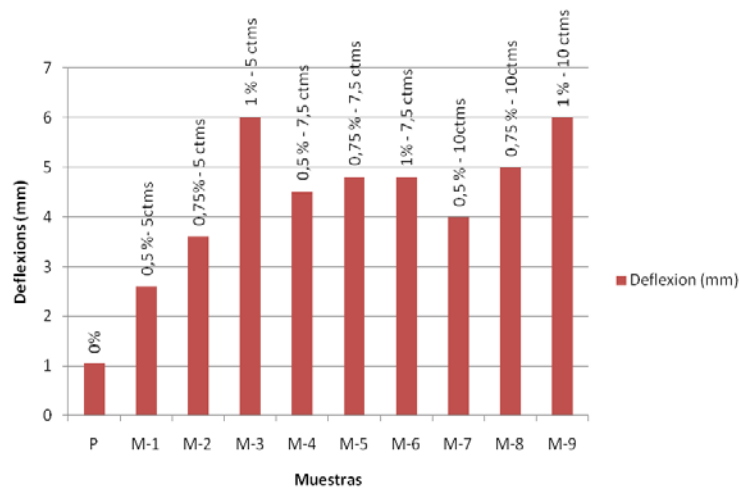
Por su parte, al colocar fibra en el mortero, se expresa en los gráficos número 10 al número 18, que en primera instancia se mantiene el comportamiento elástico con deformaciones proporcionales a los esfuerzos, sin embargo al alcanzarse la carga de rotura (indicador de la resistencia a la flexión) no se produce un fallo frágil, sino que se comporta de forma plástica experimentando importantes deformaciones antes de llegar al fallo final. Este comportamiento del mortero reforzado con fibras lo hace más adecuado para la elaboración de paneles de cerramiento.

<i>Muestras</i>	<i>Carga kg/cm2</i>
P	10
M-1	11
M-2	11
M-3	8
M-4	9
M-5	9
M-6	9
M-7	10
M-8	10
M-9	9

CUADRO N° 20 Resistencia a la flexión con las diferentes muestras elaboradas. Elaboración del autor, con base en ensayos realizados por INVESTI (2009)

<i>Muestras</i>	<i>Deflexión (mm)</i>
P	1,05
M-1	2,06
M-2	3,6
M-3	6
M-4	4,5
M-5	4,8
M-6	4,8
M-7	4
M-8	5
M-9	6

CUADRO N° 21 Deflexiones máximas obtenidas en las diferentes muestras elaboradas. Elaboración del autor, con base en ensayos realizados por INVESTI (2009)



N° 19 Resistencia a la flexión para las diferentes muestras elaboradas. Elaboración del autor, con base en ensayos realizados por INVESTI (2009).

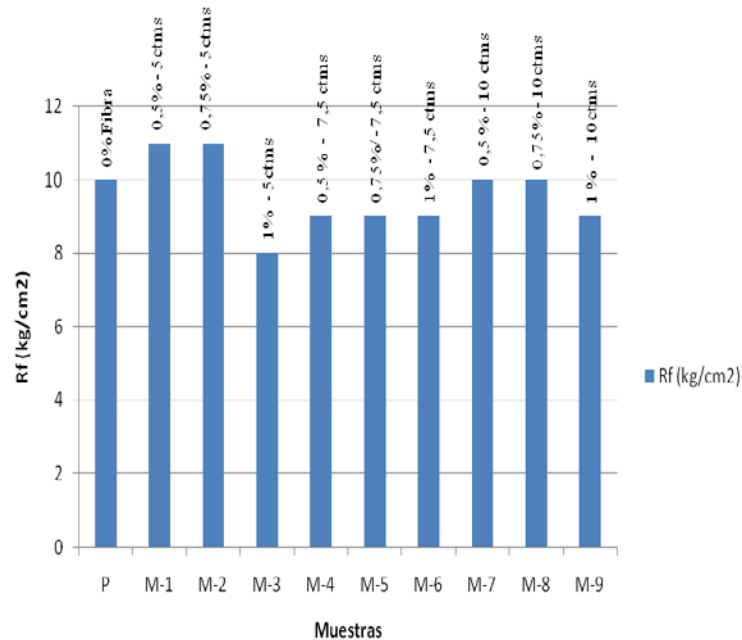


Gráfico N° 20. Deflexiones máximas de las diferentes muestras elaboradas Elaboración del autor, con base en ensayos realizados por INVESTI (2009)

Según lo observado en los gráficos 19 y 20 no se aprecia una influencia marcada de la utilización de las fibras en la resistencia la flexión del mortero, calculada a partir de la carga de rotura. Sin embargo, pareciera que utilizando las fibras de sisal cortas (5ctms), en porcentajes bajos (5% y 0,75%) se obtienen mejores resultados incluso con valores de resistencia superiores al patrón.

II. 5.5 Ensayos de resistencia a compresión de cabezas de vigas

En los ensayos para determinar la resistencia a compresión, según la norma ASTM C 116-68, se utilizan probetas cúbicas de 100 mm de arista tomadas de las cabezas de las viguetas ensayadas a flexión. Estas probetas están libres de agrietamientos, superficies astilladas u otros defectos.

Para cada uno de los ensayos se cumplen las siguientes condiciones:

1. Las caras de las probetas son planas.
2. La aplicación de carga se realiza perpendicularmente a la cara del cubo para evitar excentricidades.

3. La aplicación de la carga se realiza de manera controlada y gradual sobrepasando la carga de rotura.
4. Se realizan las mediciones de carga máxima.

Los ensayos son realizados a los 28 días, para un total de treinta y tres (33) probetas.

II.5.6 Ensayos de resistencia a compresión de cilindros estándar

Se realizaron estos ensayos para determinar la resistencia a compresión del mortero, utilizando cilindros estándar de diámetro 15centímetros y altura 30 centímetros. Para cada uno de los ensayos se cumplen las siguientes condiciones:

1. Se aplica un mortero nivelador para asegurar la perpendicularidad de la carga aplicada.
2. La aplicación de carga se realiza perpendicularmente a la cara del cubo para evitar excentricidades.
3. La aplicación de la carga se realiza de manera controlada y gradual hasta llegar a la falla, registrando solamente la medición de la carga máxima.

Igualmente los ensayos son realizados a los 28 días, y en esta prueba se obtuvo un total de veinticinco (25) cilindros.

Los siguientes cuadros y gráficos muestran el comportamiento de las probetas a las distintas pruebas que fueron sometidas.

Promedio Resistencia Compresión 28 días				
MEZCLA	Fibra Largo	% fibra	Cilindros (kg/cm2)	cabeza viga(kg/cm2)
P	0	0	163	167
M1	5	0,5	200	161,5
M4	7,5	0,5	143,5	136
M7	10	0,5	159,5	118,5
M2	5	0,75	190	181,5
M5	7,5	0,75	157	118
M-8	10	0,75	152	114
M3	5	1	133,5	117,5
M6	7,5	1	138,5	110
M9	10	1	123	95,5

CUADRO N° 22 Resistencia Compresión 28 días.Elaboración del autor, con base en ensayos realizados por INVESTI (2009)

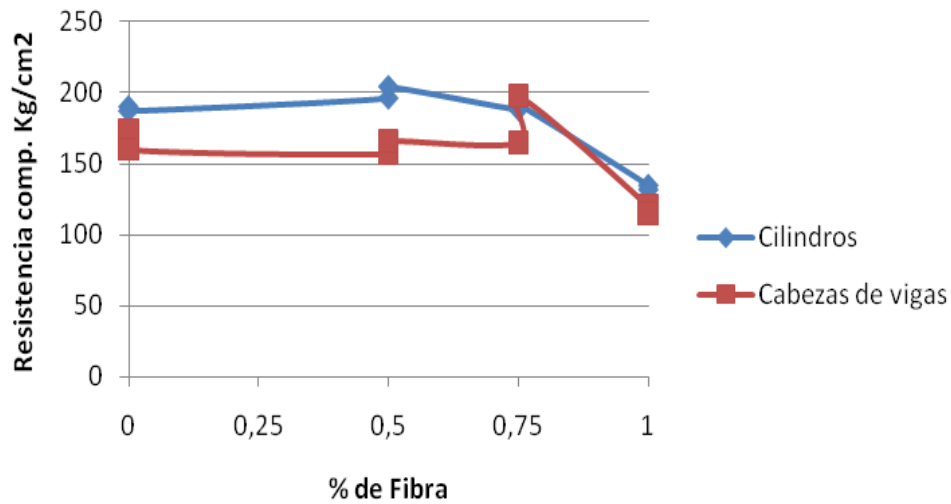


GRÁFICO N° 21 Resistencia a compresión de mortero para longitud de fibras de 5ctms.Elaboración del autor, con base en ensayos realizados por INVESTI (2009)

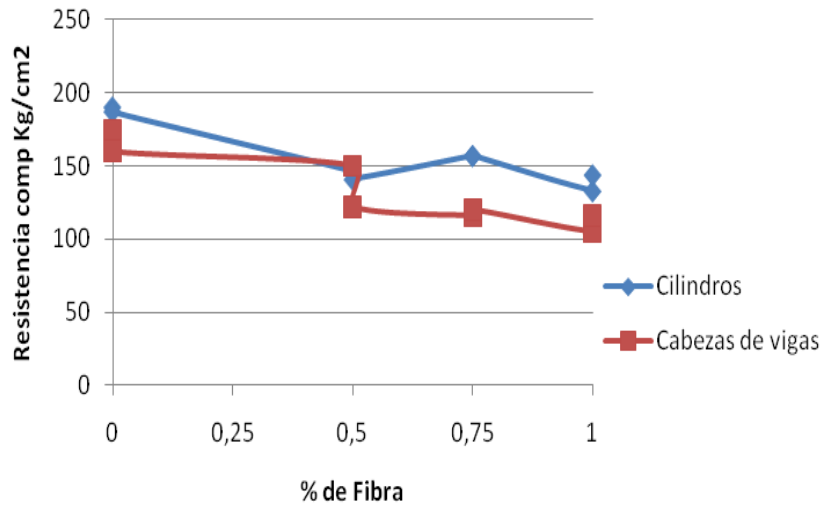


GRÁFICO N° 22 Resistencia a compresión de mortero para longitud de fibras de 7,5ctms. Elaboración del autor, con base en ensayos realizados por INVESTI (2009).

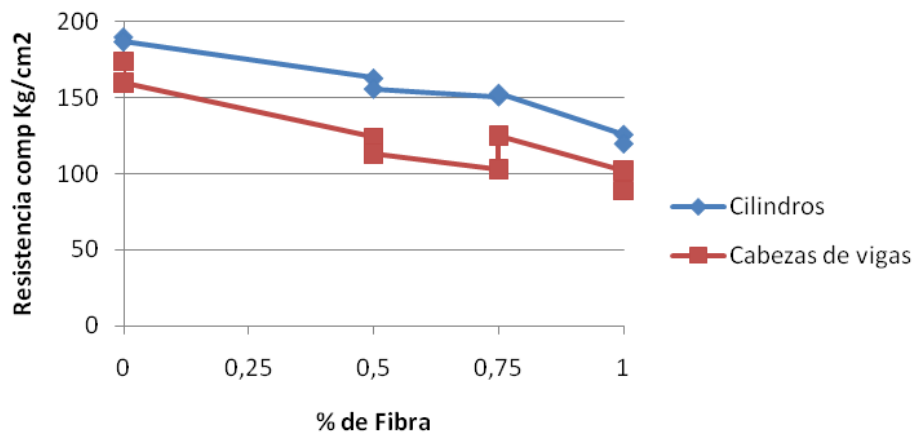


GRÁFICO N° 23 Resistencia a compresión de mortero para longitud de fibras de 10 ctms. Elaboración del autor, con base en ensayos realizados por INVESTI (2009).

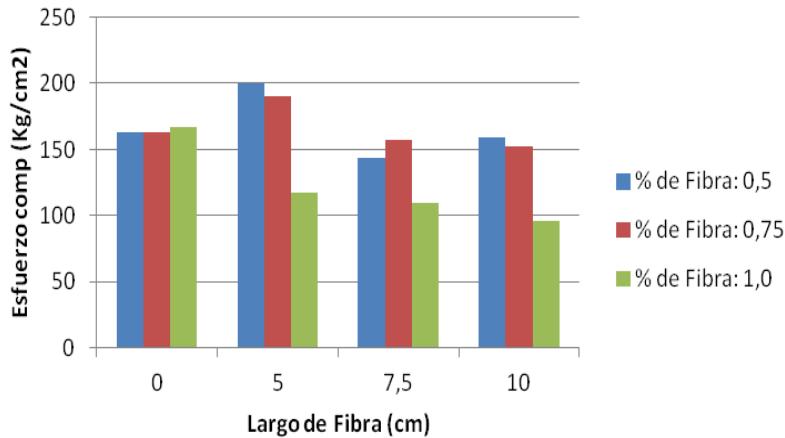


GRÁFICO N° 24 Resistencia a compresión en función del largo y porcentaje de fibra. Elaboración del autor, con base en ensayos realizados por INVESTI (2009)

II.5.7 Interpretación de gráficos de los resultados del ensayo de resistencia a compresión.

En los gráficos N° 21, 22 y 23 se demuestra el comportamiento de las muestras en función de la longitud y porcentaje de las mismas para la resistencia a la compresión, por su parte el gráfico N° 24 refleja como en general la adición de fibra tiende a disminuir la resistencia a la compresión del mortero, lo cual es proporcional al volumen y largo de la fibra. Es de esperar que la adición de un material orgánico como lo representa la fibra, provoque un efecto como el anteriormente mencionado.

Se evidencia que para las mezclas con porcentajes de 0,5 y 0,75 de fibra las afectaciones son pequeñas, incluso para ambos casos y utilizando fibras cortas de cinco (5) centímetros, el valor de resistencia obtenido es superior al del patrón, sin embargo más que el efecto del material añadido, este incremento se le podría atribuir al factor humano en el desarrollo del ensayo.

Sin embargo se puede observar como las fibras cortas en menores porcentajes poseen un mejor comportamiento. En las fotografías N° 11 y 12 se pueden observar las muestras elaboradas y algunos procesos de la fase experimental:



FOTOS N° 11 Corte de las muestras para la aplicación de pruebas de flexión y compresión. Fotos de autor (2008).



FOTOS N° 12 Corte de las muestras para la aplicación de pruebas de flexión y compresión. Fotos de autor (2008).

Conclusiones

La fase de desarrollo experimental permite extraer ciertas consideraciones lo que respecta al desempeño del concreto reforzado con fibra de sisal. En primer lugar, se pudo notar en

todos los ensayos realizados que al momento que el mortero alcanza la carga de rotura no ocurre un fallo frágil, sino que se comporta de forma plástica luego va deformándose hasta llegar al fallo final, este comportamiento es deseable para su utilización del material compuesto en paneles de cerramiento.

De igual manera, se pudo evidenciar en la prueba de flexión que no se aprecia una influencia marcada del uso de fibras en la resistencia a la flexión del mortero, sin embargo pareciera que utilizando las fibras de sisal cortas de cinco (5) centímetros, en menores porcentajes, se obtienen mejores resultados incluso obteniendo valores de resistencia superiores al patrón.

En cuanto a la experimentación relacionada con la resistencia a la compresión se pudo evidenciar según el comportamiento de las muestras en función de la longitud y porcentaje de fibra contenida que su presencia tiende a disminuir la resistencia a la compresión del mortero lo cual es proporcional, así se observa que para porcentajes de 0,5 y 0,75 de fibra las afectaciones son pequeñas, incluso para ambos casos y utilizando fibras cortas de cinco (5) centímetros, el valor de resistencia obtenido es superior al del patrón, sin embargo más que el efecto del material añadido, este incremento se le podría atribuir al factor humano en el desarrollo del ensayo.

Por todo lo anteriormente expuesto, se pudo demostrar que las resistencias máximas a la flexión las lograron aquellas muestras con un porcentaje de fibra de 0,5% a 0,75% y con longitud de cinco (5) centímetros. Igualmente, aquellas que poseen porcentajes bajos de fibra (0,5-0,75) y longitud corta de cinco centímetros (5tms.) obtuvieron mejores resultados en la resistencia a la compresión, siendo entonces ésta dosificación la más idónea para ser usada en la fabricación de componentes constructivos, en este caso, paneles de cerramiento exteriores.

CAPÍTULO III

PROPUESTA TECNOLÓGICA

Introducción

Habiéndose demostrado en el capítulo anterior cuál fue el comportamiento de las diferentes mezclas realizadas para obtener concreto reforzado con fibra de sisal (*Agave sisalana*), se puede a partir de dicho análisis establecer la factibilidad de la elaboración de paneles de cerramiento de exteriores de viviendas. En el presente capítulo se desarrolla una propuesta teórica de la aplicación de este material de base para la producción de paneles exteriores, evaluando su posible empleo en una vivienda tipo así como un somero análisis de su factibilidad técnica- económica.

Se inicia con una breve reseña histórica del empleo de sistemas constructivos, se introduce el tema de los paneles de las juntas. Seguidamente, de acuerdo al peso del mortero diseñado se propone el diseño de diversos paneles para fachadas, cabe destacar que la propuesta es teórica requiriendo para su demostración pasar a la fase de desarrollo de prototipos.

III.1 Sistema Constructivo a partir de paneles prefabricados

Los sistemas constructivos prefabricados se desarrollaron con gran énfasis a partir de la 2da. Guerra Mundial debido a la necesidad de construcciones rápidas, económicas y fiables para albergar a la población necesitada de vivienda.

La industrialización, la prefabricación, estandarización, normalización, la capacidad de producción, el tamaño de los elementos, la compatibilidad entre componentes de diferentes sistemas, la rapidez y exactitud de la ejecución son términos técnicos desarrollados a partir del cambio de paradigma que significó la prefabricación.

Entendemos como panel a una plancha prefabricada de diversos materiales que se usa en construcción para dividir o separar espacios o como aislante térmico o acústico. Entre los paneles mas conocidos pueden citarse los asbesto-cemento, de corcho, de madera cruzada y de fibras de madera aglomeradas con cemento o con resinas sintéticas. La necesidad de nuevos materiales aislantes eficientes en las obras que sean económicos ha impulsado a lo largo de los años el diseño de nuevos sistemas que minimicen consumo energético, tiempos de producción y costos.

Los paneles se diseñan para una diversidad de usos dentro de la edificación, encontrándose que algunas categorías de productos, elegir el más sostenible o ecológico. El diseño sostenible, entre otros factores, también reconoce el impacto ambiental del proceso de fabricación para crear los productos al igual que la energía necesaria para transportarlos al sitio de la obra. Las opciones sostenibles existen en casi cualquier categoría importante de revestimiento incluyendo madera, vinil, fibrocemento y mamposterías, los constructores necesitan determinar qué es lo adecuado para la obra que construyen.

Dentro de la variedad de paneles aislantes se encuentran los diseñados para cubiertas de bajas pendientes y grandes luces con excelente resistencia estructural al igual que para fachadas diversas con sistemas de fijación oculta o tapajuntas que permitan doble protección ante la posible filtración de agua.

También existen sistema constructivo de paneles, formado de estructura tridimensional de alambre y de un núcleo de poliuretano o poliestireno, en la que la estructura se recubre con concreto proyectado transformándose en un producto con propiedades estructurales térmicas y acústicas.

III.2 Juntas

Las juntas son los elementos de encuentros entre paneles, el espaciamiento entre ellas depende de la mezcla, resistencia y espesor del material de relleno y de las restricciones a la

contracción. Ellas son puntos de alta sensibilidad y proclive a errores de ejecución por lo cual se debe ser muy riguroso en su diseño y ejecución.

Águila, A. (1986) indica que las juntas entre paneles de fachada deben cumplir una serie de requisitos, tal y como se recoge en la normativa internacional ISO 3447, referente a uniones y juntas en general. Estos requisitos son los siguientes:

1. Mantener las mismas características de los paneles en cuanto a cumplimiento de las exigencias funcionales de los paneles de fachada, en especial del aislamiento acústico, higrotérmico y de comportamiento frente a acciones de fuego.
2. Garantizar la estanqueidad frente al agua y el viento.
3. El aspecto de la juntas ha de ser tal que mejore los valores plásticos del cerramiento realizando un tratamiento arquitectónico de las mismas.
4. Compensar los movimientos producidos por las oscilaciones de la temperatura y los asentamientos.
5. Absorber las diferencias dimensionales, dentro de la tolerancia de fabricación y montaje.
6. Posibilitar la reparación o reposición económica de los materiales que las constituyen.

El citado investigador afirma “*que los bordes de los paneles se han de diseñar de tal forma que la junta tenga predisposición al cumplimiento de los requisitos exigibles*”. Por ello las juntas para sistemas constructivos de paneles para fachada, incluye el diseño de los extremos de los paneles, la unión y su procedimiento de ejecución así como diseño y selección de los productos de unión.

La Universidad Castilla La Mancha, específicamente en la Escuela de Ingeniería Rural, de España (2009), sostienen que la resistencia del mortero para bóvedas de escalera, tabiques, muros cargados, fábrica de ladrillos, enfoscados, se denomina Mortero Ordinario y su resistencia oscila entre 98 y 130 Kg. /cm², de manera que permite conocer la resistencia de los paneles los cuales serán aproximadamente de 100 Kg. /cm².

En los cuadros número 23 y 24, se demuestran los tipos de mortero y cemento, según su uso, y las dosificaciones más idóneas para los mismos.

Tipo de mortero	Proporción en volumen		kg cemento por m ³ de mortero	Empleo preferente	Resistencia kg/cm ²
	Cemento	Arena			
Ricos	1	1	800	Bruñidos y revoques impermeables.	160
	1	2	600	Enlucidos, revoque de zócalos, corrido de comisas	
	1	3	450	Bóvedas tabicadas, muros muy cargados, enlucidos de pavimento, enfoscados.	
Ordinarios	1	4	380	Bóvedas de escalera, tabiques de rasilla.	130
	1	5	300	Muros cargados, fábrica de ladrillos, enfoscados.	98
Pobres	1	6	250	Fábricas cargadas.	75
	1	8	200	Muros sin carga.	50
	1	10	170	Rellenos para solado.	30

CUADRO N° 23 Morteros de Cemento y Arena. Escuela de Ingeniería Rural de la Universidad de Castilla La Mancha (2009). Extraído el 18 de Octubre de 2009 de: www.uclm.es/area/ing_rural/Trans_const/Tema13.PDF.

Clase de mortero	Dosificación	Resistencia (kg/cm ²)
Mortero de cemento-cal-arena	1 : 1 : 10	20
	1 : 1 : 6	50
Mortero de cemento-arena, equivalente a dosificación de 250 kg de cemento/m ³	1 : 6	50
Mortero de cemento-arena, equivalente a dosificación de 380 kg de cemento/m ³	1 : 4	100
Mortero de cemento-arena, equivalente a dosificación de 450 kg de cemento/m ³	1 : 3	150

CUADRO N° 24 Resistencia de Morteros Pobres. Escuela de Ingeniería Rural de la Universidad de Castilla La Mancha (2009). Extraído el 18 de Octubre de 2009 de: www.uclm.es/area/ing_rural/Trans_const/Tema13.PDF.

Para el desarrollo de este experimento se tomaron en consideración básicamente dos experiencias desarrolladas en varios investigadores en donde se manejan espesores a partir de dos (2) centímetros. Igualmente se tomó en consideración la investigación llevada a cabo por la investigadora Gladys Maggi (1987), titulada: “Proceso de Construcción de Viviendas

de Bajo Costo”, que buscaba la producción de paneles de mortero armado a partir de técnicas de capa de mortero armado de 3 a 5 ctms de espesor.

Para la modulación del panel se considera peso, las dimensiones de puertas y ventanas, y el módulo de proyecto. Según Poller, (1970), esta medida debe ser múltiplo del módulo estándar basándose en que en Venezuela desde la experiencia practicada por el Banco Obrero, organismo pionero en proponer la medida de ochenta (80) centímetros que luego de muchos años de utilización se ha aceptado como un instrumento útil de trabajo, quedando como medida referencial.

Sin embargo, es necesario destacar, que las premisas a tomar en consideración son las de fácil ensamblaje, para lo cual debe tener poco peso y ser de fácil armado además en la modulación se debe ajustar a las medidas de ventanas y puertas.

III.3 Propuesta de diseño para paneles a base de concreto reforzado con fibra de sisal.

Según la dosificación propuesta en las experimentaciones, la cual es: 0,5% a 0,75%, longitud de fibras de cinco (5) centímetros, relación agua cemento de 0,60 y relación cemento arena 0,25, arrojarían los siguientes pesos aproximados de paneles según modulación propuesta.

A continuación se muestra en los gráficos número 25 en adelante, la propuesta de diseño de paneles.

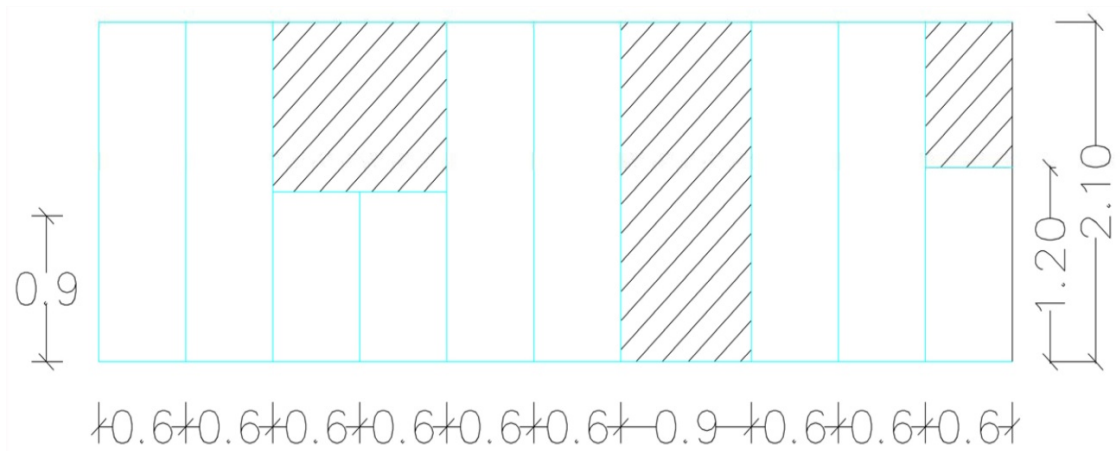


GRÁFICO N°25 Modulación Propuesta para Paneles .Elaboración del autor (2008)

De igual forma se puede elaborar paneles de 0,60mts x 0,90mts, cuyo peso aproximado es de 32kgs, y un panel especial de 0,30mts x 2,10mts, los cuales pueden ser utilizados en casos que se ameriten.

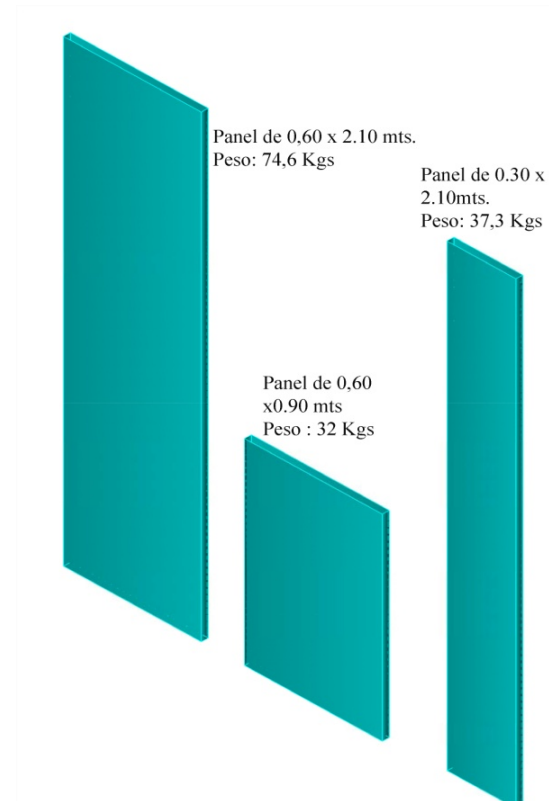


GRÁFICO N°26 Pesos aproximados de paneles, según propuesta de diseño. Elaboración del autor (2008).

Con la finalidad que el proceso de montaje los paneles, se desarrolle de manera sencilla, se propone que los paneles sean fijados a la estructura existente en la edificación (metálica o tradicional), a través de ángulos metálicos, fijados en el piso y en la viga superior, de forma tal que se cree una cámara de aire entre láminas, para que las instalaciones puedan ser ubicadas. A efectos demostrativos se elabora el grafico número 27.

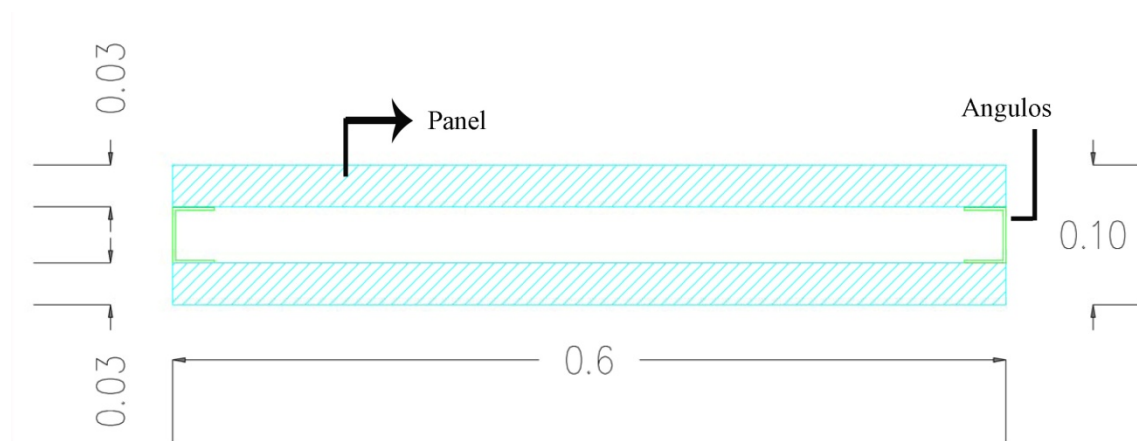


GRÁFICO N°27 Propuesta de sistema de montaje. Elaboración del autor (2008)

En el gráfico N° 27 se destacan los ángulos propuestos, en base a una estructura de diez (10) centímetros quedando así cuatro (4) centímetros de cámara de aire y paso de instalaciones, lo cual es técnicamente es factible ya que el diámetro mayor de una tubería para instalaciones eléctricas o sanitarias embutida en pared es de 1 pulgada (2,54ctms.)

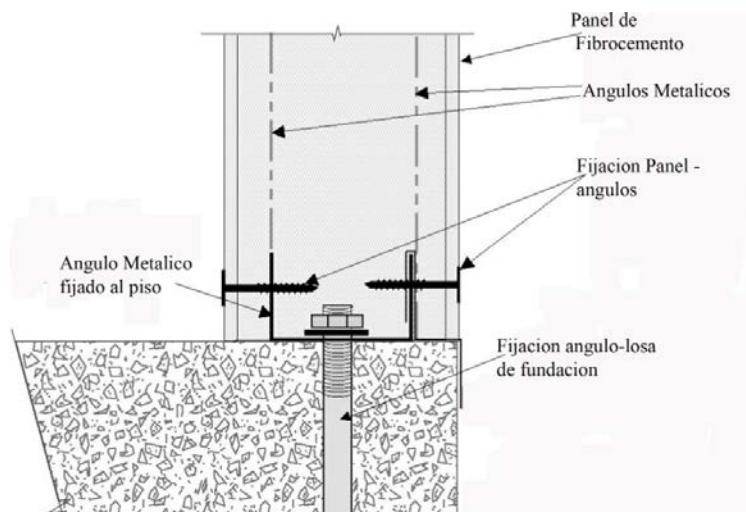


GRÁFICO N°28 Propuesta de fijación de paneles. Elaboración del autor (2008)

Por su parte, en el gráfico número 28 se indica cómo los ángulos deben ser fijados al piso o losa de fundación por medio de un perno o tornillo para la consecuente puesta en lugar de los paneles.

Se estima un ángulo de dos metros y diez centímetros (2,10 mts) que podría ser fijado a la columna, a través de puntos de soldaduras o pernos, dependiendo de la estructura (metálica o de concreto) y en función de las especificaciones.

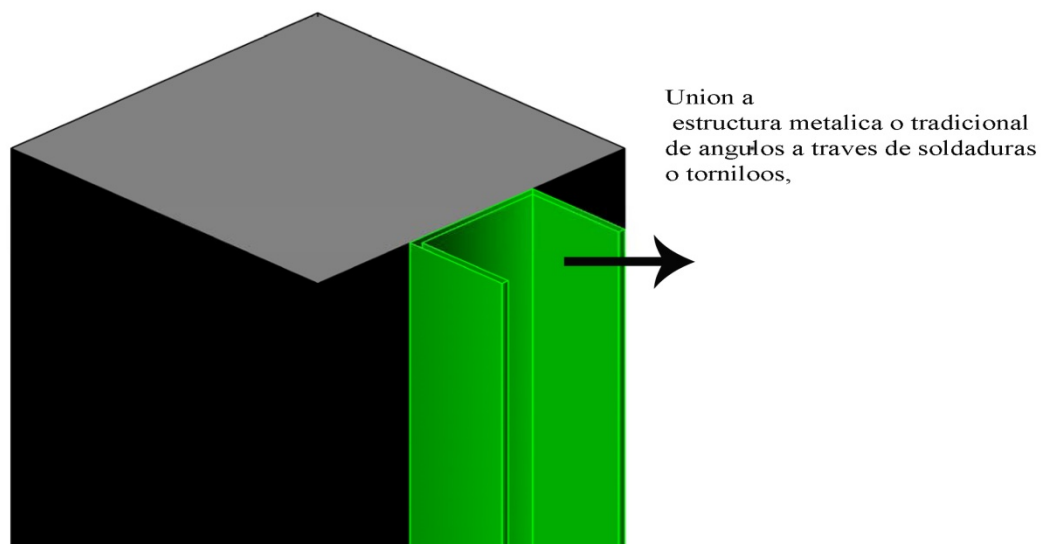


GRÁFICO N°29 Propuesta de fijación de paneles en estructuras metálicas Elaboración del autor (2008).

El gráfico número 29 indica cómo se propone la colocación y/o fijación del ángulo que en la viga, enmarcando así la estructura que recibirá al panel, el mismo ha de fijarse respetando las premisas anteriormente mencionadas.

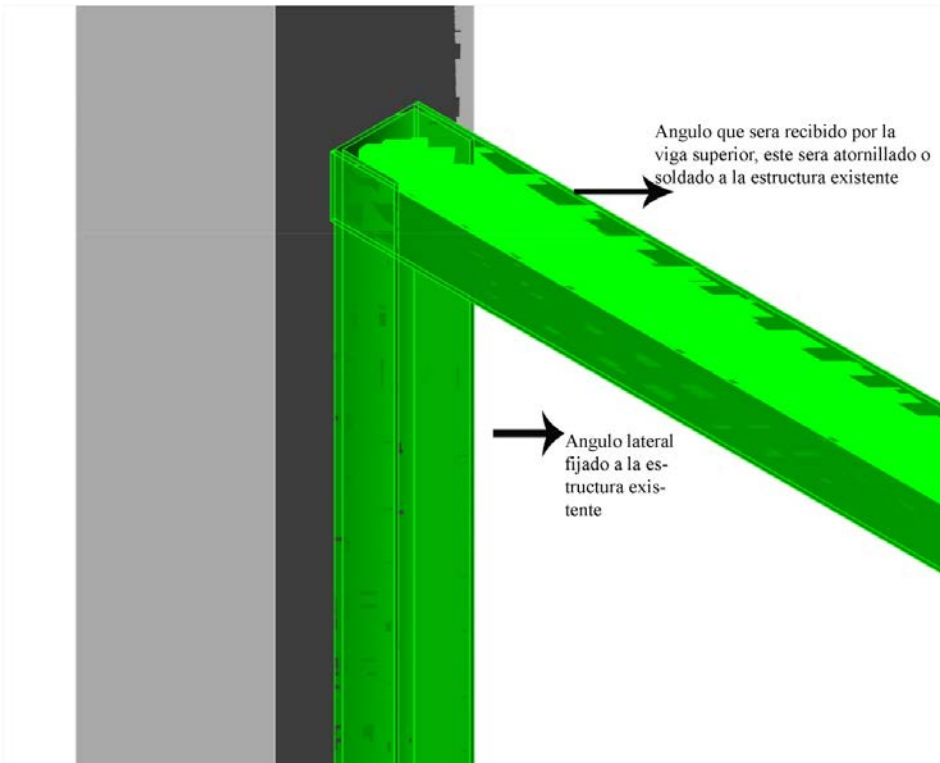


GRÁFICO N° 30 Propuesta de Fijación en techo de paneles en estructuras metálicas. Elaboración del autor (2008)

De igual manera se propone fijar los ángulos en la parte inferior en la losa de piso tal como se ilustra en el gráfico siguiente.

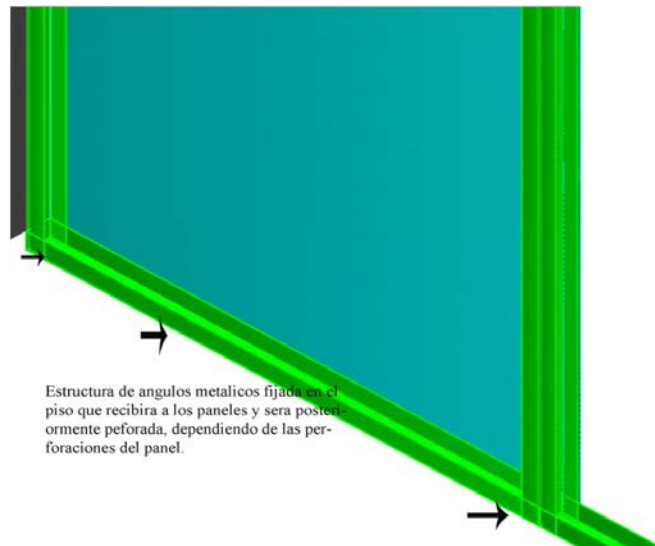


GRÁFICO N° 31 Propuesta de Fijación en piso de paneles en estructuras metálicas. Elaboración del autor (2008)

Los ángulos se colocarán a sesenta (6) centímetros para recibir el panel, lográndose así que entre ellos se encuentre una pieza “H” que permite disminuir la cantidad de uniones

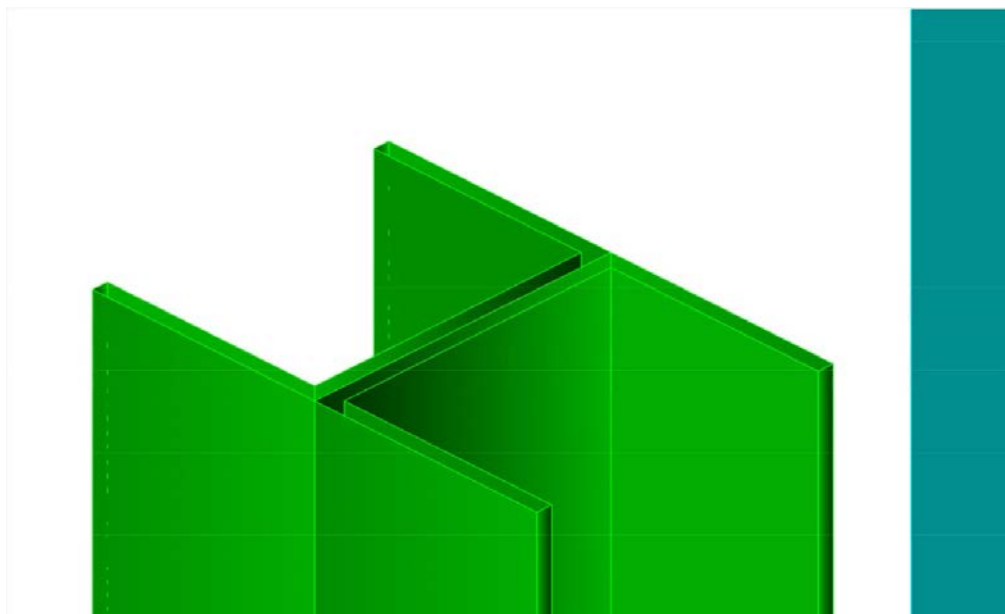


GRÁFICO N° 32. Ángulo propuesto, para fijación de paneles C.F: Elaboración del autor (2008)

Las medidas de los ángulos será dependiendo de las dimensiones de la estructura, podrán darse respuestas para estructuras de diez centímetros por diez centímetros (10 ctms. x 10ctms.) y de veinte centímetros por veinte centímetros (20 ctms. x 20 ctms.), donde sólo cambiarán las dimensiones internas, debido a que el ángulo superior siempre tendrá ocho (8) centímetros, en sus extremos y el inferior será de ocho (8) centímetros de altura. En el ejemplo presentado se muestra dimensiones de las utilizadas, en estructura de 10x10.

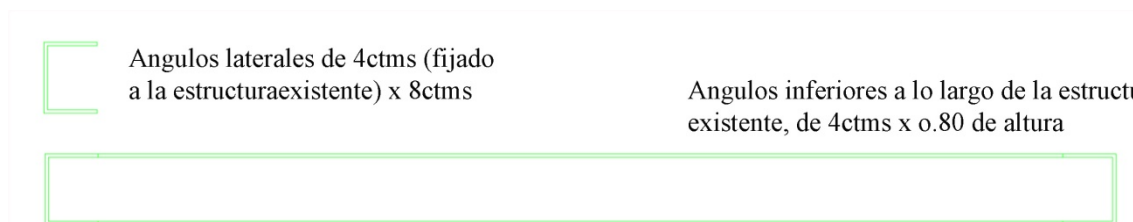


GRÁFICO N° 33 Propuesta de montaje de paneles en estructuras metálicas de 10x10 centímetros. Elaboración del autor (2008)

Para que los ángulos puedan recibir el panel se propone sean perforados, una vez se presente el panel para su colocación, con lo cual se evitarían errores de montaje, debido a que si previamente se perfora el ángulo y la perforación no coincide con las aberturas del panel se complicaría el montaje, por ello se propone vaciar el panel, de manera que queden tres (3) perforaciones a lo largo y ancho.

El diámetro de los orificios que tendrá el panel, en principio será de un (1) centímetro teniendo en cuenta, que se deberán realizar ensayos experimentales para dicho sistema de montaje.

Una vez puestos los ángulos en sitio, se colocarán los paneles de mortero reforzado con fibra, se perforarán los ángulos para colocar los tornillos adecuados para el montaje.

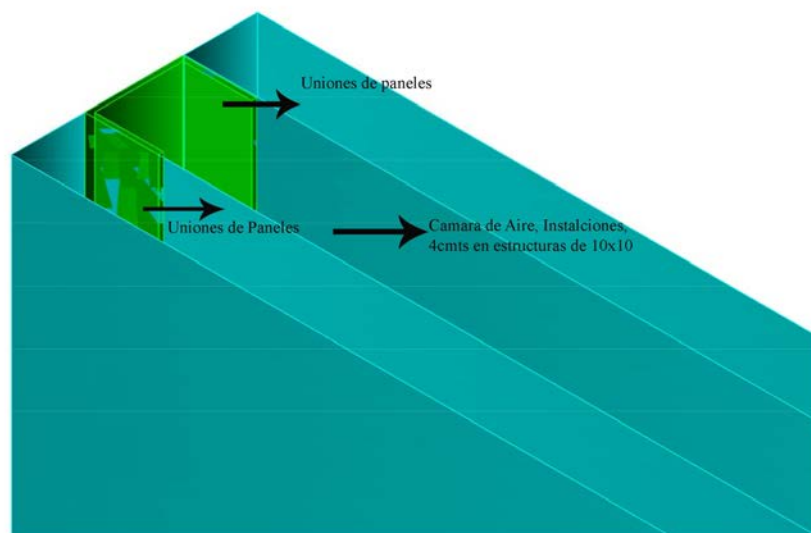


GRÁFICO N° 34. Detalles del montaje propuesto de paneles. Elaboración del autor (2008).

En el gráfico número 34 se muestra cómo se monta el panel en los ángulos propuestos, y la manera como se origina la cámara de aire, necesaria para este tipo de cerramiento.

Los bordes inferiores y superiores pueden llevar juntas plásticas en aquellos casos en que el piso presente desperfectos o se originen espacios abiertos, luego de montado, el panel podrá ser revestido con pintura o con el que se considere pertinente.

III.4 Propuesta de aplicación en vivienda de paneles a base de concreto reforzado con fibra de sisal

A manera de verificar la modulación de los paneles se evalúa su aplicación en una vivienda diseñada por el Arq. Fernando Carmona (2007) en el sector Galipán.

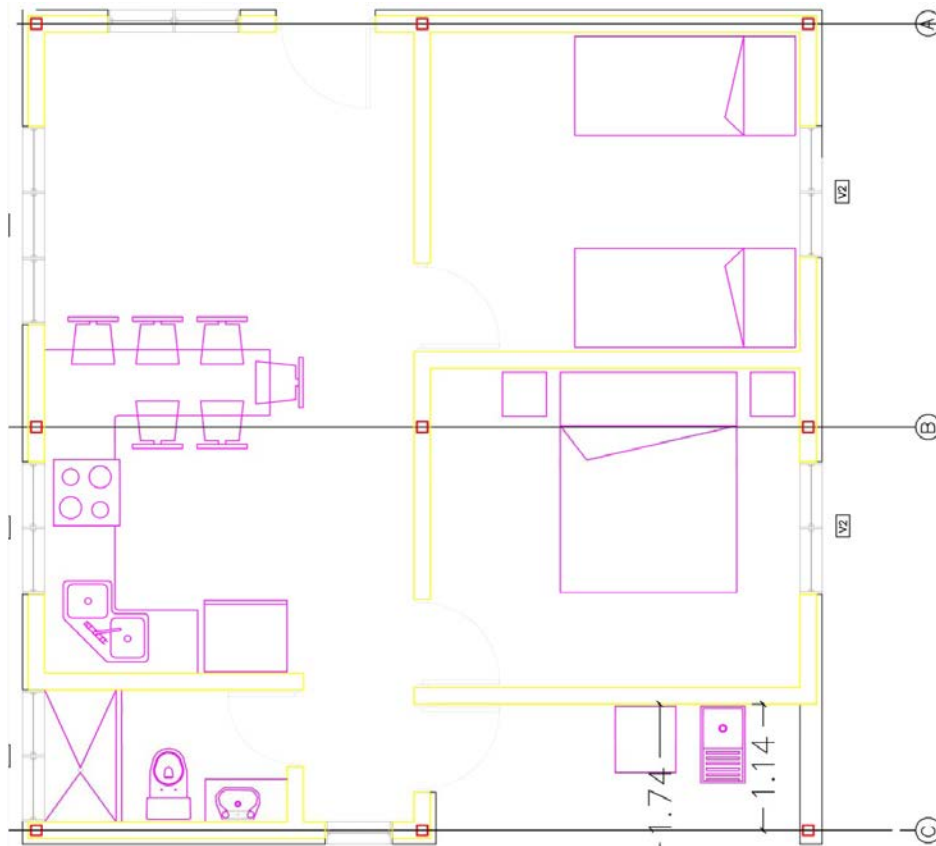


GRÁFICO N° 35. Plano Arquitectónico de Vivienda para aplicación de Propuesta de Modulación de Paneles Arq. Fernando Carmona (2007).

La estructura prevista para la vivienda es metálica de 10 x 10 cms, dos metros cuarenta centímetros (2,40mts) de altura. En función de estas medidas se hace un estudio de modulación, donde la medida de los paneles de sesenta (60) centímetros por sesenta (60) centímetros se adecúa a la misma.

Para implantar el sistema, se elige un área de la vivienda que posee puertas y ventanas para evaluar su comportamiento.

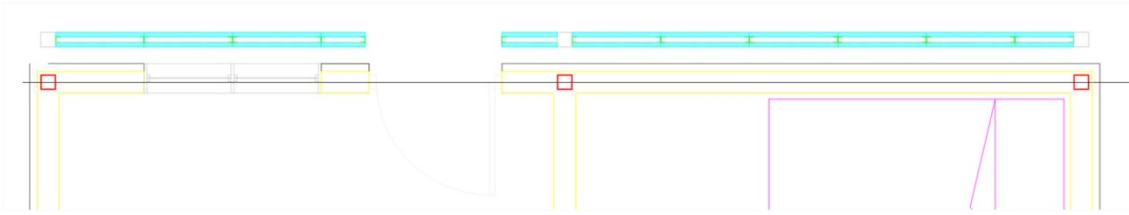


GRÁFICO N° 36. Área de vivienda donde se aplicará el sistema de modulación de paneles. Elaboración del autor (2008).

Los paneles propuestos según las dimensiones de los mismos, para el cerramiento de esta área son: un (1) panel de medidas: sesenta (60) centímetros de ancho por dos metros diez centímetros (2,10) de altura, dos (2) paneles de medidas de sesenta (60) centímetros de ancho por noventa (90) centímetros de altura en donde se ubicará una ventana, y un panel de treinta (30) centímetros por dos metros diez centímetros (2,10) de altura.

En el siguiente gráfico se demuestra la modulación de dichos paneles.

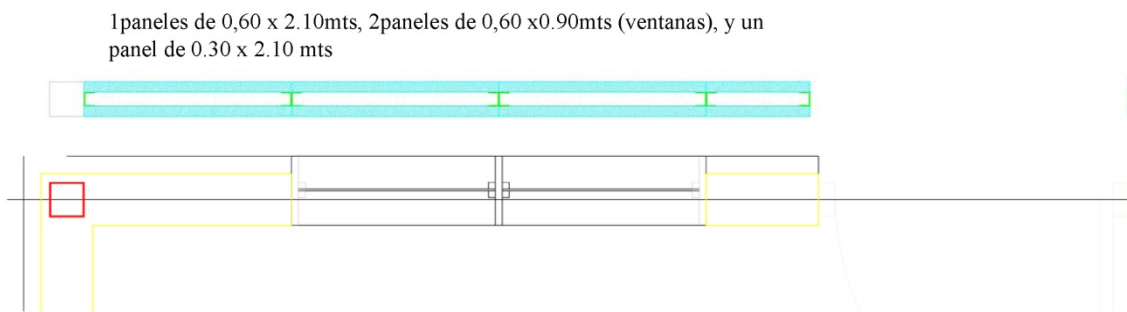


GRÁFICO N° 37 Modulación Propuesta en Vivienda. Elaboración del autor (2008)

Se observa en el gráfico número 37 que en la fijación de los paneles que forman ventanas y puerta, se generará el área necesaria, aproximadamente de diez (10) centímetros para la colocación de marcos de chapa doblada.

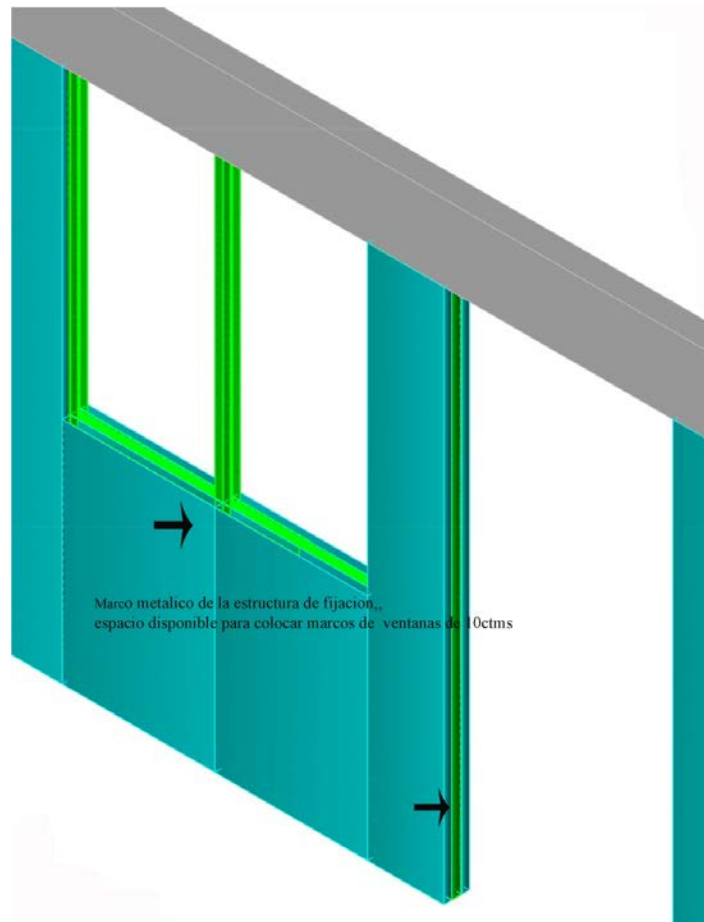


GRÁFICO N° 38 Alzado de la modulación de paneles propuesta. Elaboración del autor (2008)

Ahora el bien, en esa misma área se podrán ubicar los siguientes paneles: un panel de dimensiones treinta (30) centímetros por dos metros diez centímetros (2,10) de altura ya que el mismo se encuentra antes de la columna, y seis paneles de dimensiones de sesenta (60) centímetros de ancho por dos metros diez centímetros (2,10) de altura.

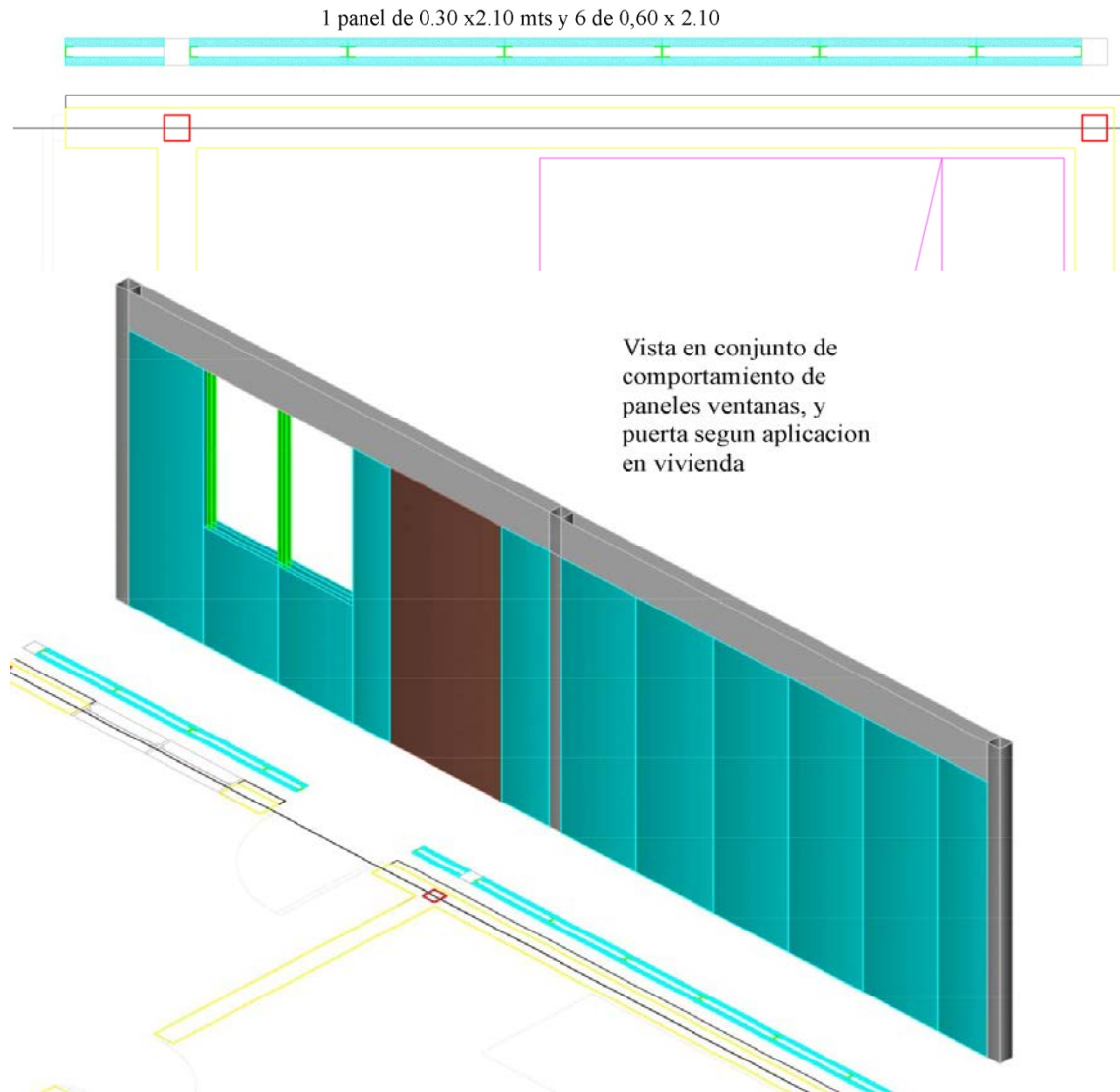


GRÁFICO N° 39. Planta y alzado de modulación de paneles propuesta. Elaboración del autor (2008)

Es pertinente comentar que el sistema propuesto de montaje debe ser evaluado experimentalmente.

III.5 Producción de paneles

Se estima producir los paneles a partir de moldes metálicos que permita su rápido vaciado y el debido control de calidad en sus bordes, las aberturas se realizarán con tubos de PVC del diámetro necesario colocados en el molde previo al vaciado.

Toda vez vaciado el panel, deberá ser colocado en mesa de vibrado, curado, secado y apilamiento para facilitar su movilización y transporte. Este sistema ofrece la posibilidad de producción a partir de pequeñas plantas de producción.

III.6 Acabados

Los acabados para este tipo de panel pueden ser:

- Acabado exteriores con morteros de cemento plástico.
- Pinturas 100% acrílicas.
- Pinturas de látex.
- Pinturas hidropelentes.

III.7 Aspectos Técnicos- Económicos

Con el objeto de establecer la factibilidad en la construcción de paneles a base de fibrocemento a partir de cemento y fibra del sisal se requiere los siguientes recursos:

1. Humanos: representado en el empleo de una mano de obra no especializada requerida para producir y puesta en obra de los paneles. Debe manejar los conocimientos básicos del oficio y recibir una inducción que los capacite técnicamente.
2. Materiales: para la producción de estos paneles se dispone de todos los materiales de base que lo integran, son de fácil adquisición por estar en el mercado.

Para determinar el costo del panel realizado a base de mortero reforzado con fibra de sisal se realizó el siguiente análisis de precio unitario (ver grafico N° 4), el cual ayuda a determinar el costo aproximado del mismo.

Descripción Partida:		CONSTRUCCION DE PANELES A BASE DE CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE SISAL. INCLUYE EL TRANSPORTE DE LOS AGREGADOS HASTA 50 KM.			PARTIDA N° 1	
Código:	Código Conveni:	Unidad	Cantidad		Rendimiento	
	E.S/C	M2	1,00	M2	20,00	M2/DIA
1	.-	MATERIALES				
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	% Desp.	Costo	Total
	ARENA	M3	0,1		250,0	25,00
	AGUA TARIFA INDUSTRIAL B	M3	0,03		2,8	0,08
	CEMENTO PORTLAND	SACO	0,6		26,5	15,90
	FIBRA DE SISAL	KG	0,75		25,0	18,75
	TRANSPORTE DE LOS MATERIALES	%	10		59,7	5,97
					Total Materiales:	65,71
					Unitario de Materiales:	65,71
2	.-	EQUIPOS				
Código	Descripción		Cantidad	Costo	Dep. o Alq.	Total
	MEZCLADORA		1,00	25.800,50	0,012	309,61
	MESA DE VIBRADO		1,00	1.500,00	0,008	12,00
	FORMALETAS PIENCOFRADO		1,00	3.000,00	0,015	45,00
	EQUIPO MENOR		1,00	4.000,00	0,05	200,00
					Total Equipos:	566,61
					Unitario de Equipos:	28,33
3	.-	MANO DE OBRA				
Código	Descripción		Cantidad	Salario		Total
	OBRAERO DE 1ra.		2,00	62,05		124,10
	AYUDANTE 1ra.		1,00	66,44		66,44
	ALBAÑIL DE 1ra.		1,00	83,31		83,31
	MAESTRO DE OBRA DE 1RA		1,00	106,28		106,28
				Total Mano de Obra:		380,13
				<u>Mano de Obra Directa:</u>		380,13
Calculado por:				<u>250.00 % Prestaciones Sociales:</u>		950,33
				<u>28,0 Bs./día :</u>		130,00
Revisado por:				Total Mano de Obra:		1.460,46
				Unitario Mano de Obra:		73,02
				Costo Directo por Unidad:		167,06
				15.00% Administración y Gastos Generales:		25,06
				Sub-Total:		192,12
				10.00% Utilidad e Imprevistos:		19,21
				PRECIO UNITARIO Bs.		211,33

GRÁFICO N° 40 Análisis de precio unitario, según Colegio Ingenieros de Venezuela. del autor (octubre 2010)

Según la Guía Referencial de Precios del Colegio de Ingeniero de Venezuela del mes de Octubre del 201 establece que el metro cuadrado de tabiquería de “drywall” es de 211,19 BS/m² (incluye la estructura de hierro galvanizado); en cuanto el precio de la elaboración de paredes de bloques huecos de arcilla acabado corriente es Bs. 178,09 BS/m².

De acuerdo al estudio de costo desarrollado en esta investigación se establece que el costo del panel propuesto es 211,33 BS/m².

Se observa que el panel propuesto podría tener mayor costo si se compara con algunos sistemas constructivos tradicionales sin embargo la rapidez de su producción, la sencillez de su colocación en obra, el uso de material primas sustentables y la reducción de los desperdicios justificarían ampliamente su empleo.

Conclusión

En el desarrollo del presente capítulo se expusieron aspectos relativos a evolución histórica de los sistemas constructivos de paneles, destacándose frente a procesos de modernización y prefabricación el crecimiento acelerado en el uso de los mismos como una alternativa válida a la producción de edificaciones.

Seguidamente se evaluó con base a los requerimientos del fibrocemento a partir de cemento y fibras de sisal se produjeran paneles de diversas modulaciones de paneles así como se diseñó el sistema de puesta en obra y fijación de paneles. Es importante señalar que ésta constituye una proposición teórica, siendo necesaria pasar en una segunda fase de la investigación al desarrollo experimental.

La realización de prototipos, permitirá ajustar y resolver los problemas técnicos que deberá retroalimentar el diseño de la tecnología propuesta. Finalmente, se puede afirmar que la propuesta planteada de paneles a base de mortero reforzado con fibra de sisal pueden ser fabricados en pequeñas plantas y posteriormente colocados en obra de la manera práctica y segura reduciendo en consecuencia los tiempos de montaje en obra.

Así mismo, debido al alcance de la presente investigación los aspectos relativos a su resistencia acústica, sismo resistente, envejecimiento y otros parámetros deberán ser objeto de otras investigaciones

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

En el presente trabajo de grado se ha realizado una revisión de las principales características tecnológicas de las fibras naturales, principalmente las requeridas cuando son utilizadas como refuerzo de ciertas matrices para la producción de componentes constructivos, así como el potencial que tiene Venezuela en la producción de fibras de sisal y la necesidad económica estratégica de buscar nuevos usos para estos materiales no tradicionales. Igualmente, se realizó una revisión de diversas investigaciones en las que se incorporó la fibra vegetal como elemento de soporte al cemento, con la finalidad de desarrollar alternativas válidas para la producción y comercialización de elementos constructivos que podían generarse con este material. En dichas investigaciones, se puede confirmar que las fibras vegetales han sido utilizadas tradicionalmente en el campo de la construcción.

Se detecta a lo largo de esta investigación que las características mecánicas de las fibras permiten su empleo para ciertas obras, ellas pueden representar un ahorro considerable en el costo total de la construcción. Además, proporcionan características que no tienen, en gran parte, los materiales tradicionales, como un mejor aislamiento térmico y acústico y una gran ligereza, así como la posibilidad de producirse en pequeñas plantas y de realizar una puesta en obra más eficiente.

Una vez analizado el comportamiento del fibrocemento utilizando como agregado la fibra de sisal, se procedió a observar el comportamiento de dicho material frente a pruebas de flexión y compresión, notándose en cada una de las muestras que las mismas no se fracturan de manera inmediata al momento de recibir la carga máxima (kg) sino que se comportan de forma plástica, para luego ir deformándose hasta llegar al fallo o rotura final, este comportamiento es deseable para su utilización como material constructivo en paneles de cerramiento.

Se pudo apreciar que la incorporación de la fibra de sisal en las muestras utilizadas, no se produjo resultados significativos en flexión, ya que las mismas se comportan de manera similar a la muestra (patrón) en donde no se utiliza fibra. No obstante, se pudo evidenciar que en las muestras de mortero donde se utilizan las fibras de sisal de menor longitud (5centímetros) en menores porcentajes (0.5% y 0.75%), se obtienen valores de resistencia a la flexión superiores a los resultados que se obtienen en la muestra denominada patrón.

En cuanto a la experimentación de la resistencia a la compresión, se pudo demostrar que la presencia de fibra tiende a disminuir la resistencia a la compresión del mortero, lo cual es de manera proporcional, ya que se observa que en las muestras cuyo contenido de fibra es de 0.5% y 0.75%, las afectaciones al momento de recibir las cargas máximas no son relevantes. Al mismo tiempo se demuestra que utilizando fibras cortas (5 centímetros), el valor de resistencia a la compresión obtenido es superior a la de la muestra patrón.

Se demuestra, así en la fase de experimentación, que el mejor desempeño obtenido en las pruebas de flexión y compresión del mortero reforzado con fibra de sisal, lo constituyen las muestras con las siguientes características:

- Porcentaje de fibra de 0.5% a 0.75%.
- Longitud de la fibra de cinco (5) centímetros.
- Relación agua- cemento: 1/ 0,60
- Relación cemento-arena : 1/0,25

Siendo entonces ésta la dosificación más idónea para ser utilizado en la fabricación de componentes constructivos especialmente los paneles de cerramiento.

Los resultados anteriormente expuestos, se asemejan a las resultados de otras investigaciones analizadas en el presente trabajo de grado, lo que confirma que la fibra de sisal puede ser utilizada como agregado en la preparación de mortero reforzado (fibrocemento) con características idóneas para producir componentes constructivos, de igual manera se logra aprovechar los recursos naturales y a la vez promover los proyectos de las plantaciones de fibra sisal (*Agave sisalana*), en Venezuela.

Así mismo, los resultados obtenidos son similares a la experiencia llevada a cabo en el Centro de Investigaciones de Materiales (CIM), de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en donde se produjo un concreto de gran ductibilidad, con una buena resistencia a la compresión que permanece sin dividirse en el momento de la falla, con distribución uniforme del esfuerzo y de crecimiento y propagación de grietas.

Igualmente esta investigación se asemeja a la realizada por Carvalho Filho, A. (1990) en la Federal Technical School of Pernambuco de Brasil, en donde dicho investigador estudió el comportamiento del mortero reforzado con fibra de sisal, con diferentes dosificaciones, arrojando indicios de efectividad en la elaboración de paneles para cerramientos de viviendas.

La investigación “Fibras naturales de lechuguilla como Refuerzo de Materiales de Construcción” desarrollada por Juárez, Valdez y Duran (2004) sirvió de guía en algunos pasos llevados a cabo dentro del proceso experimental de la investigación desarrollada por nosotros. Así como, la investigación desarrollada por Salvador M., Amigó V., Nuez A., Sahuquillo O., Llorens R., y Martí F. (2007), del Instituto de Tecnología de Materiales, de la Universidad Politécnica de Valencia, España y el Instituto Tecnológico de Plástico de Valencia, España, titulada “Caracterización de Fibras Vegetales Utilizadas como Refuerzo de Materiales Termoplásticos”, en donde se obtuvo como resultado de los ensayos practicados, la necesidad de dosificación correcta de fibras, aún cuando los ensayos practicados en esta investigación tuvieron propósitos distintos, encontramos similitud en todo lo concerniente al diseño experimental de la misma pudiendo ser aprehendidas las técnicas de observación y valoración de componentes para alcanzar resultados óptimos.

Seguidamente se desarrollo una proposición teórica de un sistema de paneles que podrían ser producidos con mortero reforzado con fibra de sisal con la dosificación comprada en la presente investigación. Es cierto que la tecnología propuesta podría ser más costosa si se compara con algunos sistemas constructivos tradicionales sin embargo la rapidez de su producción, la sencillez de su colocación en obra, el uso de material primas sustentables y la reducción de los desperdicios justificarían ampliamente su empleo.

Finalmente, con relación a la tecnología es importante señalar que ésta constituye una proposición teórica, siendo necesaria pasar en una segunda fase de la investigación al desarrollo experimental.

Los aspectos referidos a la caracterización química, resistencia acústica, sismo-resistente, envejecimiento y otros parámetros deberán ser objeto de otras investigaciones que se escapen del alcance de la presente investigación por lo cual se recomienda que esta investigación sea punto de partida para seguir en el avance del conocimiento de la utilización del mortero reforzado con fibra de sisal.

Específicamente se deben realizar prototipos de los paneles propuestos, tal manera que pueden comprobarse las medidas y modulaciones propuestas, la producción de los paneles, así como el sistema de puesta en obra, así como los ensayos para la comprobación del uso de los paneles propuestos en fachadas exteriores.

A pesar de todo lo que falta por demostrar sentimos que la presente investigación realizó un aporte considerable en el avance del conocimiento del cemento reforzado con fibras de sisal y que es importante seguir desarrollando investigaciones que contribuyan en la búsqueda de materiales de construcción con una óptica de sustentabilidad alternativos a los tradicionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FUDECO. (2007). *Proyecto Fudeco Sisal*. Extraído el 22 de Junio, 2007, de: <http://www.fudeco.gob.ve>.
- Sosa, M. (1994). *Las Fibras Naturales y la Producción de Componentes Constructivos*. Revista Tecnología y Construcción. Instituto del Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC). Facultad de Arquitectura y Urbanismo, U.C.V. Caracas.
- Oteiza, I. (1993). *Estudio del Comportamiento de la Escayola reforzada con fibra de Sisal para componentes en vivienda de bajo coste*. Tesis Presentada ante el Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónica en la Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Filho R., Barbosa N. y Ghavami K. (1.990). *Application of Sisal and Coconut Fibers in adobe blocks*. [Aplicación de las fibras de sisal y coco en bloques de adobe] . Editorial Chapman and Hall. Vegetable Plants and their Fibres as Building Materials Proceeding of the Second International RILEM Symposiun.
- Águila, I. (1999). *Tecnología Alternativa de Producción de Cemento Puzolanico ceniza de cascarilla de arroz*. Tesis de Magister. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Zollo, R. (1997) *Fiber-reinforced concrete: an overview after 30 years of development, Cement and Concrete Composites* 19. (pp. 102-122).
- Strawjet Project. (s.f). Disponible: www.greeninventor.org/strawjet.shtml. (Consultado: 2007, Octubre 18).
- Datta, K. (1936). *Versuche über die verwendung von bambus im betombau. Der bauingenieur*. 17 jahrgang Heft. [Los experimentos sobre la reutilización de bambú en betombau. El ingeniero civil. 17 libro de la vendimia]. Alemania: (s.e).
- Bremant, A. (1966). *Produit a base de cimentet de fibers végétales telles que: Brevet d' Invention*. París: (s.e)
- Sudén, O (1977). *Reinforced material system consisting of Acid Oligomer Silicic Acid Modified Cellulose Fibers as the Reinforcement Material*. Swedish Patent No. 398135. (pp. 1 – 10).
- Invienda (1982) *Seminario Viviendas Prefabricadas de Bajo Costo*. Mexico: editorial INVI.
- Revista Pesquisa Online, (2004; Febrero) Fibras de Sisal en Tejas. Disponible en: <http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=2091&bd=2&pg=1>.(Consultado Octubre 14, 2007). Brasil.

- Nilsson, L. (1975) *Reinforcement of concrete with sisal and other vegetable fibres*. [Refuerzo de concreto con sisal y otras fibras vegetales]. Tesis para optar al título de Ingenieros, Escuela de Construcción de Edificios en el Instituto Real de Tecnología de Estocolmo, Suecia: (s.e).
- Carlsson, B. Ödeen K.(1977) *Cellulose concret–e an orientating investigation*. Swedish Council for Building Research. (Report 13,–p 2p7). Suecia.
- Torres, M. y Olivera, W (2001). *Fibras Vegetales en el Hormigón y su Protección*. Editorial Universitaria del Ministerio de Educación Superior de la República de Cuba. Extraído el 18 de Junio de 2009 de <http://www.bibliociencias.cu/gsd/collect/libros/index/assoc/HASH4383.dir/doc.pdf>
- Rilem, NCCL (1986). *Vegetables Plants and their Fibers as Building Materials*. Proceedings of the internationakl RILEM Sym., pp. A11-A24.
- Salvador M., Amigó V., Nuez A., Sahuquillo O., Llorens R., Martí F.(2007). *Caracterización de fibras Vegetales Utilizadas como refuerzo de materiales Termoplásticos*. Tesis para optar por el titulo Doctoral Presentada ante la Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Cyras. (2001).*Relación Estructura Propiedades y Procesamiento del Material Compuesto Biodegradable obtenido a partir de Prolicaprolactona/Almidón y fibra sisal*. Tesis para optar al título de Grado Doctoral en Ciencias de Materiales. Universidad Nacional de Plata, Argentina.
- Carvalho, A. (1990). *Vegetable Plants and Ther Fibres as Building Material*. Salvador: Editorial Bahía.
- Juárez, C., Valdez, P. y Durán, A. (2004). *Fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en materiales de construcción*. Universidad Autónoma de Nueva León, Facultad de Ingeniería Civil. México
- Silva; C (2009) *Facultad de Agronomía impulsa producción del cultivo del Sisal en el Zulia* Extraído el 18 de Junio de 2009 de: http://www.agenciadenoticias.luz.edu.ve/index.php?option=com_content&task=view&id=174&Itemid=160.
- Mujica, A. y Marval, P. (1998). *Situación Actual y Perspectivas del Cultivo de Sisal*. Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado. Barquisimeto: Editorial FUDECO.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales (1993). *COVENIN 28:2003. Cemento Portland. Especificaciones. 7ma Revisión*. FONDONORMA. Caracas
- Comisión Venezolana de Normas Industriales (2000). *COVENIN 277:2000. Concreto. Agregados. Requisitos. 3era Revisión*. FONDONORMA. Caracas.

- Comisión Venezolana de Normas Industriales (1978). *COVENIN 263:1978. Metodo de ensayo para determinar el peso unitario del Agregado.* . FONDONORMA. Caracas.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales (1998). *COVENIN 255:1998. Agregados. Determinación de la composición Granulométrica.* 1era Revisión. FONDONORMA. Caracas.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales (1998). *COVENIN 268:1998. Agregados fino. Determinación de la densidad y la Absorción.* 1era Revisión. FONDONORMA. Caracas.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales (1977). *COVENIN 261:1977. Método de ensayo para la determinación cuantitativa de cloruros y sulfatos solubles en las arenas.* FONDONORMA. Caracas.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales (1998). *COVENIN 268:1998. Agregados fino. Determinación de la densidad y la Absorción.* 1era Revisión. FONDONORMA. Caracas.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales (1998). *COVENIN 339:1994. Concreto. Método para la medición del asentamiento con el cono de Abrams.* 1era Revisión. FONDONORMA. Caracas.
- American Section of the International Association for Testing Materials. (1984). *Norma ASTM C 78-84: Método de prueba para medir la Resistencia a Flexión del Concreto.*
- American Section of the International Association for Testing Materials. (1968). *Norma ASTM C 116-68: Método de prueba para medir la Resistencia a la compresión del Concreto.*
- Águila, A. (1986). *Industrialización y Prefabricación.* Madrid: ETSAM.
- Universidad Castilla La Mancha, Escuela de Ingeniería Rural. (2009) Extraído el 18 de Octubre de 2009 de: http://www.uclm.es/area/ing_rural/Trans_const/Tema13.pdf
- Poller, M. (1970). *La Normalización y Tipificación en la Construcción: Experiencia Venezolana.* Guatemala: I Seminario de la Industria de la Construcción de Viviendas para Centro América y México.

BIBLIOGRAFIA

- Acosta, D. y Cilento, A. (2005). *Edificaciones Sostenibles: Estrategias de Investigación y Desarrollo. Tecnología y Construcción* Caracas: IDEC- FAU-UCV.
- Águila, A. (1986). *Industrialización y Prefabricación*. Madrid. ETSAM.
- Aguila, I. (1999). *Tecnología Alternativa de Producción de Cemento Puzolanico ceniza de cascarilla de arroz*. Tesis para optar al título de Magister Scientiarum en Desarrollo Tecnológico de la Construcción, Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción, Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- American Section of the International Association for Testing Materials. (1984). *Norma ASTM C 78-84: Método de prueba para medir la Resistencia a Flexión del Concreto*.
- American Section of the International Association for Testing Materials. (1968). *Norma ASTM C 116-68: Método de prueba para medir la Resistencia a la compresión del Concreto*.
- Balestrini, M. (2006). *¿Cómo se Elabora el Proyecto de Investigación?*. Caracas: BL Consultores Asociados Servicio Editorial.
- Barluenga, G. (2002). *Las juntas en los sistemas de elementos para fachada. Función constructiva, compositiva y estructural*. Tesis Doctoral, España.
- Bremant, A. (1966). *Produit a base de cimentet de fibers végétales telles que: Brevet d'Invention*. París: (s.e)
- Carosio, A. (2009). *Lineamientos para la elaboración de Proyectos y Documentos Finales de Trabajos de Grado en el Postgrado en Ciencias Administrativas*. Caracas: Ediciones Río Orituco.
- Carvalho, A. (1990). *Vegetable Plants and Ther Fibres as Building Material*. Salvador: Editorial Bahía.
- Carlsson, B. Ödeen K.(1977) *Cellulose concret-e an orientating investigation*. Swedish Council for Building Research. (Report 13,-p 2p7). Suecia
- Comisión Venezolana de Normas Industriales (1993). *COVENIN 28:2003. Cemento Portland. Especificaciones. 7ma Revisión*. FONDONORMA. Caracas
- Comisión Venezolana de Normas Industriales (2000). *COVENIN 277:2000. Concreto. Agregados. Requisitos. 3era Revisión*. FONDONORMA. Caracas.

- Comisión Venezolana de Normas Industriales (1978). *COVENIN 263:1978. Metodo de ensayo para determinar el peso unitario del Agregado.* . FONDONORMA. Caracas.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales (1998). *COVENIN 255:1998. Agregados. Determinación de la composición Granulométrica.* 1era Revisión. FONDONORMA. Caracas.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales (1998). *COVENIN 268:1998. Agregados fino. Determinación de la densidad y la Absorción.* 1era Revisión. FONDONORMA. Caracas.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales (1977). *COVENIN 261:1977. Método de ensayo para la determinación cuantitativa de cloruros y sulfatos solubles en las arenas.* FONDONORMA. Caracas.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales (1998). *COVENIN 268:1998. Agregados fino. Determinación de la densidad y la Absorción.* 1era Revisión. FONDONORMA. Caracas.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales (1998). *COVENIN 339:1994. Concreto. Método para la medición del asentamiento con el cono de Abrams.* 1era Revisión. FONDONORMA. Caracas.
- Cyras. (2001). *Relación Estructura Propiedades y Procesamiento del Material Compuesto Biodegradable obtenido a partir de Prolicaprolactona/Almidón y fibra sisal.* Tesis para optar al título de Grado Doctoral en Ciencias de Materiales. Universidad Nacional de Plata, Argentina.
- Datta, K. (1936). *Versuche über die verwendung von bambus im betombau. Der bauingenieur.* 17 jahrgang Heft. [Los experimentos sobre la reutilización de bambú en betombau. El ingeniero civil. 17 libro de la vendimia]. Alemania: (s.e).
- ETERBOARD. (2007). *Paneles Eterboard.* Extraído el 16 de Junio, de 2007, de: pwp.etb.net.co.
- Fibra de Sisal en Tejas. (s.f). (Revista en línea). Disponible: <http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=1513&bd=a&pg=1&>. (Consultado: 2008, Octubre 4).
- Fibroemento. (2007). Extraído el 14 de Junio, de 2007 de: <http://es.wikipedia.org/wiki/Fibroemento>.
- Filho R., Barbosa N. y Ghavami K. (1.990). *Application of Sisal and Coconut Fibers in adobe blocks.* [Aplicación de las fibras de sisal y coco en bloques de adobe] . Editorial Chapman and Hall. *Vegetable Plants and their Fibres as Building Materials Proceeding of the Second International RILEM Symposiun.*

- FUDECO. (2007). *Proyecto Fudeco Sisal*. Extraído el 22 de Junio, 2007, de: <http://www.fudeco.gob.ve>.
- Gran Enciclopedia Larousse (1980). España: Editorial Planeta. (pp. 29-30/ 8).
- Grupo Eureka. (2007). *CEMPANEL*. Extraído el 27 de Junio, de 2007, de: <http://www.grupoeureka.com.mx/>.
- Invienda (1982) *Seminario Viviendas Prefabricadas de Bajo Costo*. Mexico: editorial INVI.
- Juárez, C., Valdez, P. y Durán, A. (2004). *Fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en materiales de construcción*. Universidad Autónoma de Nueva León, Facultad de Ingeniería Civil. México.
- Las Fibras Alternativas al Amianto: Consideraciones Generales. (2007). Extraido el 14 de Junio de 2007 de: http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_306.htm.
- López , L (s.a). *Fibra de Sisal*. Extraído el 22 de Junio de 2007 de: <http://html.rincondelvago.com/fibra-de-sisal.html>.
- Maggi, Gladys. (1987) *Proyecto de Investigación: Proceso de construcción para vivienda de bajo costo basado en técnicas de capas de mortero armado*. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Instituto de Desarrollo Tecnológico de la Construcción.
- March, E (2009). Retratos del PCT: Ecoinventores. *Revista de la OMPI*. Extraído el 13 de Junio de 2009 de:http://www.wipo.int/wipo_magazine/es/2009/02/article_0012.html
- Mujica, A. y Marval, P. (1998). *Situación Actual y Perspectivas del Cultivo de Sisal*. Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado. Barquisimeto: Editorial FUDECO.
- Nilsson, L. (1975) *Reinforcement of concrete with sisal and other vegetable fibres*. [Refuerzo de concreto con sisal y otras fibras vegetales]. Tesis para optar al título de Ingenieros, Escuela de Construcción de Edificios en el Instituto Real de Tecnología de Estocolmo, Suecia: (s.e).
- Oteiza, I. (1993). *Estudio del Comportamiento de la Escayola reforzada con fibra de Sisal para componentes en vivienda de bajo coste*. Tesis Presentada ante el Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónica en la Universidad Politécnica de Madrid, España.

- Osava; M. (2003) *SALUD-BRASIL Una Alternativa al Daño Asbesto*. Revista TierraAmérica. Extraído el 18 de Octubre de 2007 de: <http://www.tierramerica.net/2003/0721/noticias2.shtml>
- Parella, Santa y Martins, F. (2006). *Metodología de la Investigación Cuantitativa*. Caracas: FEDUPEL. 2da ed.
- Pellegrino, O. (1994). *Utilizacáo de Fibras de Vidrio e Poliamida na Producao de Fibrocement.*, Brasil: (s.e).
- Poller, M. ((1970). *La Normalización y Tipificación en la Construcción: Experiencia Venezolana*. Guatemala: I Seminario de la Industria de la Construcción de Viviendas para Centro América y México.
- Plycem. (2007). *Paneles Plystone*. Extraído el 7 de Junio de 2007 de: <http://www.plycem.com>.
- Rilem, NCCL (1986). *Vegetables Plants and their Fibers as Building Materials*. Proceedings of the internatonakl RILEM Sym., pp. A11-A24.
- Roa, J. (2006). *Fachadas Prefabricadas de Paneles Pesados*. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Sevilla, España
- Salvador M., Amigó V., Nuez A., Sahuquillo O., Llorens R., Martí F.(2007). *Caracterización de fibras Vegetales Utilizadas como refuerzo de materiales Termoplásticos*. Tesis para optar por el título Doctoral Presentada ante la Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Sánchez de Guzmán, D. (1993). *Tecnología del concreto y del mortero*, Bogotá: Brandar Editores.
- Sandoval, E. y Bocanegra, R. (1997) *Análisis del comportamiento mecánico del concreto fibro reforzado*. Tesis de Ingeniero Civil. Universidad del Valle. Santiago de Cali.
- Sequeira, J.(1976). *Temas sobre Materiales de Construcción*. Cuba: Editorial Pueblo y Educación.
- Silva; C (2009) *Facultad de Agronomía impulsa producción del cultivo del Sisal en el Zulia* Extraído el 18 de Junio de 2009 de: http://www.agenciadenoticias.luz.edu.ve/index.php?option=com_content&task=view&id=174&Itemid=160
- Sosa, M. (1994). *Las Fibras Naturales y la Producción de Componentes Constructivos*. Revista Tecnología y Construcción. Instituto del Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC). Facultad de Arquitectura y Urbanismo, U.C.V. Caracas.

- Strawjet Project. (s.f). Disponible: www.greeninventor.org/strawjet.shtml.(Consultado: 2007, Octubre 18).
- Sudén, O (1977). *Reinforced material system consisting of Acid Oligomer Silicic Acid Modified Cellulose Fibers as the Reinforcement Material*. Swedish Patent No. 398135. (pp. 1 – 10).
- Torres, M. y Olivera, W (2001). *Fibras Vegetales en el Hormigón y su Protección*. Editorial Universitaria del Ministerio de Educación Superior de la República de Cuba. Extraído el 18 de Junio de 2009 de <http://www.bibliociencias.cu/gsd/collect/libros/index/assoc/HASH4383.dir/doc.pdf>
- Universidad Castilla La Mancha, Escuela de Ingeniería Rural. (2009) Extraído el 18 de Octubre de 2009 de: http://www.uclm.es/area/ing_rural/Trans_const/Tema13.pdf.
- Universidad Pedagógica Experimental Libertador. (2006). *Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales*. Caracas: FEDUPEL.
- Zollo, R. (1997) *Fiber-reinforced concrete: an overview after 30 years of development, Cement and Concrete Composites* 19. (pp. 102-122).