



D-10096

633.58
5684



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Mecánica



**"DISEÑO, ELABORACION Y PRUEBAS DE PANELES
A BASE DE CAÑA GUADUA PARA CONSTRUCCION
DE VIVIENDAS TIPO POPULAR"**

TESIS DE GRADO

**Previa a la obtención del Título de:
INGENIERO MECANICO**

Presentada por:

Paolo A. Solano M.

Guayaquil - Ecuador

1989

A G R A D E C I M I E N T O

Al Sr. Dn. Hermann Moeller,
Ing. Jorge Duque, José Car-
losama, por su ayuda y co-
laboración. I a todos los
que de alguna manera cola-
boraron en la culminación
de este trabajo.

DEDICATORIA

A MIS PADRES
A MIS HERMANOS
A MI ESPOSA
A MI HIJO

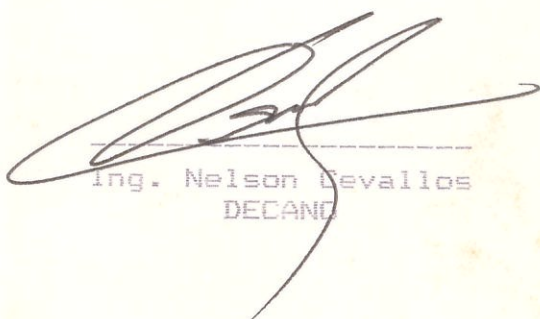
DECLARACION EXPRESA

" La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta Tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

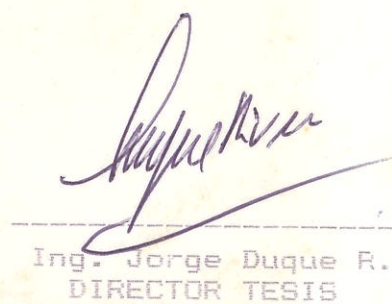
(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).

Paolo Solano

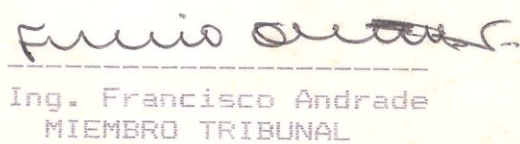
Paolo A. Solano M.



Ing. Nelson Devallos
DECANO



Ing. Jorge Duque R.
DIRECTOR TESIS



Ing. Francisco Andrade
MIEMBRO TRIBUNAL



Ing. Marco Tapia
MIEMBRO TRIBUNAL

RESUMEN

En esta tesis de grado se desarrolló un panel prototipo, a base de caña guadua como estructura y un recubrimiento de mortero mejorado con cascarilla de arroz.

Lo que se plantea entonces es un panel técnicamente normalizado, totalmente confiable y de bajo costo.

Los paneles se sometieron a pruebas según la ASTM para determinar esfuerzos de compresión y de adherencia del mortero, así como las pruebas de esfuerzos, de resistencia al fuego y de resistencia al medio ambiente para los paneles.

Los resultados obtenidos se comparan con los equivalentes a las paredes tradicionales bloque-mortero.

Posteriormente se deberán diseñar las primeras viviendas prototipo, así como los estudios y el financiamiento para el establecimiento de una primera industria de prefabricados usando como base los resultados de este trabajo.

INDICE GENERAL

RESUMEN	6
INDICE GENERAL	7
INDICE DE FIGURAS	11
INDICE DE TABLAS	14
INTRODUCCION	15
1. LA BAMBUSA GUADUA	18
1.1. GENERALIDADES E HISTORIA	18
1.2. PROPIEDADES DE LA BAMBUSA GUADUA	21
1.3. CARACTERISTICAS Y VENTAJAS DE LA BAMBUSA GUADUA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION.	23
2. COMPONENTES DEL PANEL	25
2.1. CONFORMACION DEL PANEL CON SUS RESPECTIVOS COMPONENTES	25
2.1.1. INFORMACION INICIAL	25
2.1.2. VARIACIONES	26
2.2. METODO DE ACOPLAMIENTO DE LOS COMPONENTES	27
2.3. DIMENSIONAMIENTO Y SISTEMA MODULAR	33
2.3.1. LA COORDINACION MODULAR Y LOS SIS- TEMAS PREFABRICADOS	33
2.3.2. SELECCION DE LAS DIMENSIONES	34
2.4. REQUISITOS DEL MATERIAL DE RELLENO	37
2.5. CARACTERISTICAS DEL RECUBRIMIENTO O ENLU- CIDO	39
3. PRUEBAS EXPERIMENTALES	40
3.1. PRUEBA DE ADHESION DEL RECUBRIMIENTO	40
3.1.1. ALCANCE	40



3.1.2. IMPORTANCIA	40
3.1.3. DESCRIPCION DEL PROBLEMA	41
3.1.4. DISPOSITIVO	44
3.1.5. PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS	44
3.2. PRUEBA DE COMPRESION DEL RECUBRIMIENTO	54
3.2.1. ALCANCE	54
3.2.2. IMPORTANCIA	54
3.2.3. DISPOSITIVO	54
3.2.4. PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS	55
3.3. DETERMINACION DE DENSIDADES PARA EL RE- CUBRIMIENTO Y EL MATERIAL DE RELLENO	60
3.3.1. PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS	60
3.4. DETERMINACION DEL MATERIAL DE RELLENO ADECUADO	65
3.5. CONSTRUCCION DEL PANEL	67
3.6. PRUEBAS DE ESFUERZOS DEL PANEL	76
3.6.1. INTRODUCCION	76
3.6.2. ALCANCE	77
3.6.3. MUESTRAS	77
3.6.4. APLICACION DE LAS CARGAS	78
3.6.5. MEDICION DE LAS DEFORMACIONES	78
3.6.6. GRAFICACION DE VALORES	78
3.6.7. SIGNIFICADO	79
3.6.8. PRUEBAS Y RESULTADOS	79
3.7. PRUEBA DE FUEGO DEL PANEL	88
3.7.1. INTRODUCCION	88
3.7.2. ALCANCE	89

3.7.3. CURVA TIEMPO-TEMPERATURA	90
3.7.4. TEMPERATURA DEL HORNO	91
3.7.5. REPORTE DE RESULTADOS	92
3.7.6. MUESTRA	92
3.7.7. CONDICIONES DE ACEPTACION	93
3.7.8. PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS	94
3.8. ANALISIS DE RESULTADOS	103
4. ANALISIS DE COSTOS	119
4.1. ETAPAS DEL PROCESO DE INDUSTRIALIZACION DE PAREDES PREFABRICADAS	119
4.1.1. FUNDAMENTOS BASICOS DE LA PREFABRI- CACION	119
4.1.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA PREFA- BRICACION	120
4.1.2.1. VENTAJAS	120
4.1.2.2. DESVENTAJAS	122
4.1.3. ETAPAS DE LA PREFABRICACION	123
4.1.4. REQUISITOS A CUMPLIR EN CADA ETAPA DE LA PREFABRICACION PARA EL DISEÑO DE LOS ELEMENTOS	123
4.1.5. ELABORACION DE LOS ELEMENTOS PREFE- BRICADOS	125
4.2. ANALISIS DE COSTO-BENEFICIO APROXIMADO DE UN PANEL CARGA-MORTERO	126
4.2.1. CALCULO DE COSTOS	127
4.2.1.1. PARED BLOQUE-MORTERO	127
4.2.1.2. PARED MORTERO-CASCARILLA DE	

ARROZ-CAÑA GUADUA.	130
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	133
APENDICES	135
BIBLIOGRAFIA	139

INDICE DE FIGURAS

- 1.- Componentes del panel original.
- 2.- Panel original sin acoples.
- 3.- Acople con hojalata y tornillos.
- 4.- Panel acoplado con tornillos y hojalata.
- 5.- Panel con acoples, recubierto y no fracturado.
- 6.- Acoples caña-caña.
- 7.- Latilla de caña con desviación.
- 8.- Latilla de caña sin desviación.
- 9.- Método de acople definitivo.
- 10.- Estructura ensamblada.
- 11.- Curvatura y espesores de las latillas.
- 12.- Placa de prueba.
- 13.- Discos de prueba.
- 14.- Dispositivo armado, vista inferior.
- 15.- Dispositivo armado. Vista superior.
- 16.- Regado del mortero.
- 17.- Paleteado del mortero.
- 18.- Compactado del mortero.
- 19.- Máquina de prueba INSTRON.
- 20.- Falla del mortero.
- 21.- Curva carga Vs. velocidad del papel para prueba de adherencia.
- 22.- Moldes cúbicos.
- 23.- Cubos fraguados.
- 24.- Cubos de mortero sometidos a compresión.
- 25.- Curva carga Vs. velocidad del papel para prueba de

compresión.

- 26.- Arcilla - Cascarilla de arroz.
- 27.- Arcilla - Piedra pómez.
- 28.- Mortero - Esponjilla.
- 29.- Mortero - Fibra cabuya.
- 30.- Mortero - Cascarilla de arroz.
- 31.- Latillas sin limpiar.
- 32.- Latillas limpias.
- 33.- Dimensiones de la estructura de caña.
- 34.- Armado de la estructura de caña.
- 35.- Molde metálico desarmable.
- 36.- Aplicación de grasa.
- 37.- Introducción de la estructura.
- 38.- Llenado con mortero.
- 39.- Vibrado y nivelado del mortero.
- 40.- Cerrado del molde.
- 41.- Panel fraguado.
- 42.- Panel de peso reducido.
- 43.- Cámara húmeda o de fraguado.
- 44.- Compresión axial perpendicular.
- 45.- Compresión axial paralela.
- 46.- Compresión diagonal o esfuerzo de tracción.
- 47.- Curva carga Vs. Deformación para ensayo de compresión paralela.
- 48.- Curva carga Vs. Deformación para ensayo de compresión perpendicular.
- 49.- Curva carga Vs. Deformación para ensayo de compresión

diagonal.

- 50.- Curva Tiempo-Temperatura.
- 51.- Elaboración del panel y colocación de las termocuplas
- 52.- Horno.
- 53.- Panel colocado sobre pedestal.
- 54.- Conectado de termocuplas.
- 55.- Conjunto instalado para prueba al fuego.
- 56.- Inicio de prueba al fuego.
- 57.- Curva Temperatura Vs. Tiempo.
- 58.- Falla superficial, mortero 1C-2A.
- 59.- Falla superficial, mortero 1C-3A.
- 60.- Falla interna, mortero-piedra pómez.
- 61.- Falla interna, mortero-cascarilla de arroz.
- 62.- Asentamiento de los bordes del panel.
- 63.- Fisuramiento leve desde el bordes hacia el centro del panel.
- 64.- Ensanchamiento de la fisura diagonal.
- 65.- Panel probado al fuego.
- 66.- Interior del panel después de prueba al fuego.
- 67.- Edificación atacada por el fuego.

INDICE DE TABLAS

- I .- PROPIEDADES MECANICAS DE LA BAMBUSA GUADUA ORIGINA
RIA DEL ECUADOR
- II .- ESFUERZOS DE ADHERENCIA PARA DISTINTOS TIPOS DE
MORTERO
- III .- ESFUERZOS DE ADHERENCIA PARA MORTEROS CON CASCARI-
LLA DE ARROZ
- IV .- ESFUERZOS DE COMPRESION PARA DISTINTOS TIPOS DE
MORTEROS
- V .- VALORES DE DENSIDADES PARA DISTINTOS TIPOS DE MOR-
TEROS
- VI .- VALORES DE DENSIDADES PARA VARIOS TIPOS DE RELLE-
NOS
- VII .- VALORES DE ESFUERZOS DE LOS PANELES
- VIII.- VALORES DE LA CURVA TEMPERATURA-TIEMPO



INTRODUCCION

El derecho básico del hombre al acceso de una vivienda adecuada es reconocido a nivel mundial hace más de veinticinco años. Aún así las condiciones de vivienda y servicios básicos para más de 1.000 millones de humanos en los países subdesarrollados, y en un número significativo de países industrializados, están en deterioro alarmante. Aproximadamente 100 millones de personas no cuentan con ningún tipo de techo, durmiendo en calles, portales, etc. En Latinoamérica se estima que 20 millones de menores de edad crecen y viven en las calles. (1).

En la actualidad se hace imprescindible que los gobiernos cuenten con programas y políticas nacionales que tiendan a dar soluciones justas y eficientes al problema de la vivienda, orientadas principalmente hacia las grandes mayorías de marginados y desposeídos.

Debe haber una continua promoción de las investigaciones y prácticas referidas a aspectos de hábitat. Por tal razón la Facultad de Ingeniería Mecánica, aceptó darle el apoyo necesario al proyecto presentado por Herman Moeller, relacionado a la fabricación en serie de paredes prefabricadas a base de caña guadua.

El proyecto del Sr. Moeller tiene como nombre "Plan Pioneros Para el Ecuador" (2). Este plan se originó por reflexiones referentes a los grandes problemas sociales, que comenzaron a presentarse hace más de diez años en las

ciudades de mayor población en el Ecuador con el inicio de invasiones masivas que forman hoy en día los ya conocidos cinturones de miseria, constituyéndose también en un problema latente para la economía ecuatoriana.

Lo que plantea Moeller originalmente es el desarrollo de colonizaciones agrícolas planificadas y tecnificadas en las que se cuente con servicios básicos y adecuadas conexiones con el resto del país. Unido además a una adecuada política de comercialización de productos con el objetivo final de parar esta migración y aún revertir el proceso. La parte más ambiciosa del plan incluye la instalación de fábricas con sus anexos, como serían la siembra de caña guadua, transporte de materia prima, etc., para formar una gran empresa constructora de paredes y de componentes de viviendas prefabricadas llamada CIVE (Constructora Industrial de Vivienda Económica). Como se ve, el objetivo principal es el de desarrollar una alternativa que permita reducir costos en la fabricación de viviendas, ya sea para los programas habitacionales auspiciados por el gobierno y para llevar a cabo el plan "Pioneros Para el Ecuador" o esquemas similares.

Es de relevancia el indicar que nuestra Universidad no ofrece a sus estudiantes la Carrera de Ingeniería Civil, que vendría a ser la ideal para este campo. Aún así la FIM tomó el reto y trabajó con la colaboración de Ingenieros Civiles de la Facultad de Geología, Minas y

Petróleos, habiéndose también recurrido a la colaboración de la Facultad de Ingeniería Civil de la Escuela Politécnica Nacional.

A través del proceso de investigación que tomó aproximadamente nueve meses de trabajo, se pudo encontrar entre otras cosas que la mal llamada industria de la construcción, debido a que aún emplea técnicas artesanales, no cuenta dentro de sus organismos rectores (Cámara de la construcción y el Colegio de Ingenieros Civiles) con una información completa, en lo referente a normas de construcción. Además son pocos los profesionales conocedores de valores límites para esfuerzos en paredes, pisos y columnas, haciéndose evidente que en nuestro país se trabaja en base a tradiciones.

CAPITULO I

LA BAMBUSA GUADUA

1.1. GENERALIDADES E HISTORIA

El lugar de origen de la caña guadua no está plenamente definido; unos la sitúan como originaria de América, mientras que otros dicen que el género BAMBUSA, en todas sus especies, es nativo de China, India, Japón y toda el Asia Sudoriental.

El bambú o caña como se lo conoce en nuestro medio, no es un árbol, sino una planta. Su género es BAMBUSA, y su nombre científico Bambusa Guadua o Guadua ANGUSTIFOLIA y abarca un total de 1250 especies; entre las que se encuentran:

- Bambusa vulgaris, originaria del Asia, utilizada para fabricar papel.
- Gigante Deudrocolamus Giganteus; originaria de Burma, llegando a tener 30 cm de diámetro.
- Payllosta Chys Nigra, originaria de China usada para decoración.
- Mottled Ochlanda Stridula, originaria de Sri-Lanka

En lo relacionado a su historia, se tienen más referencias procedentes desde Asia. Su significado espiritual se encuentra suntuosa e inexplicablemente entretendida con las raíces de toda la cultura de Oriente, con sus leyendas, con sus poemas, sus pinturas y su erudición.

Desde la prehistoria los Chinos reverenciaban al

bambú como a uno de sus cuatro Caballeros Honorables, al lado de la Orquídea, el Ciruelo y el Crisantemo. En años posteriores, en la época de los sabios, estos lo consideraban como símbolo del divino BUDA junto con el Ciruelo que representaba a Confucio y el Pino a LAO-TSE. Esta trilogía se veía como un símbolo de la fidelidad y la fortuna. Aún en la China atea de MAO sobrevive esta creencia. (3).

Las más antiguas tallas de madera se hicieron con bambú en la dinastía SUNG (años 960 a 1279 DC); y el arte de la caligrafía quizá nunca hubiera florecido sin el fino pincel de caña. Los más antiguos rollos de escritura se hicieron con papel de bambú.

En nuestro país se lo conoce como el material de construcción más antiguo de todos los tiempos, partiendo de la Cultura Valdivia. Nuestros aborígenes sin embargo, no llegaron a procesarla tan avanzadamente como en las zonas de Asia. La Guadua reforzada con piezas de madera fueron los materiales usados por la cultura Bahía en la construcción de grandes templos, los mismos que asombraron a los Españoles que llegaron en la conquista; la gran resistencia de este material permitió la construcción de frontones y complicadas cubiertas. (4).

A través de este brevisimo resumen se ve claramente que esta especie vegetal ha sido determinante en la cultura de ciertas civilizaciones y en el

levantamiento de construcciones preponderantemente. Aún en nuestros días sigue vigente la costumbre de construir viviendas en nuestro Litoral empleando la Bambusa Guadua, por ser uno de los materiales más barato, resistente, duro, ligero, limpio y abundante. Se ha llegado a afirmar que esta planta crece con mayor rapidez que cualquier otro ser viviente de nuestro planeta, llegándose a comprobar casos de crecimiento de más de 100 centímetros en un solo día (5). Por todas estas virtudes que tiene la Bambusa Guadua es que, al plantearse este proyecto para buscar soluciones al déficit de viviendas, se llegó a la conclusión de que la Bambusa Guadua es una buena alternativa como elemento estructural de las futuras soluciones habitacionales.

Nuestro clima tropical se presta para el desarrollo adecuado de la Bambusa Guadua, siendo la caña del trópico la de mayor importancia en el hemisferio occidental debido a su enorme resistencia y su gran tamaño; llega a diámetros de 10 a 18 cm y altura cercana de 35 a 40 m.

Conjuntamente con la instalación de la industria de prefabricados se deberá implementar la correcta siembra de un mayor número de hectáreas con caña guadua, ya sea la nacional o con variedades orientales de aún mayor rendimiento, para asegurar la producción necesaria. Por lo pronto, en el

Ecuador, el recurso caña guadua según un estudio realizado por el MAG-AID en 1985 (6), daría una producción anual de caña que abastecería una producción de 30000 viviendas por año usando el método tradicional de construcción, cantidad que bajo una producción de paredes en serie y con un rendimiento más controlado y de niveles más elevados, podría verse aumentada.

1.2. PROPIEDADES DE LA BAMBUSA GUADUA

La Bambusa Guadua es una de las plantas más versátiles que existe; puede ser rígida, derecha, flexible y dúctil. Tiene propiedades innatas que se explotan en diversos campos del quehacer investigativo. Por ejemplo se sabe que Bioquímicos descubrieron que algunas cañas contienen un polvo blanco y fino de sílice puro, agente usado para absorber toxinas, que obra en forma parecida al carbón vegetal activado. También se ha obtenido una hormona vegetal que acelera el crecimiento de bejucos, arbustos y árboles frutales, así como también un compuesto químico que conserva los alimentos y desodoriza el pescado (7). En ciertos países Europeos de occidente han logrado extraer de la caña cierto combustible líquido para motores Diesel. Algo aún que resulta de extraordinario de esta PLANTA es que ha sido la única especie vegetal

que rebrotó en el epicentro de la bomba atómica que cayó sobre Hiroshima.

En lo referente a sus propiedades físicas y mecánicas, estas se encuentran ya tabuladas en ciertos libros.

Los valores obtenidos para la Bambusa Guadua originaria y propia de El Ecuador son los valores tabulados a continuación (8) en la tabla I:

TABLA I.- PROPIEDADES MECANICAS DE LA BAMBUSA GUADUA ORIGINARIA DE EL ECUADOR.

Propiedades	Mínimo (Kg/cm ²)	Máximo (Kg/cm ²)
Resistencia a la Tensión (Promedios máximos)	2300	2640
Módulo de elasticidad a la tensión (Promedios)	140000	316000
Resistencia a la compresión	560	860
Módulo de elasticidad a la compresión (promedios)	150000	198000
Resistencia a la flexión	1800	3500

Estos datos nos indican las buenas propiedades que presenta la caña guadua sin llegar a ser una madera de costo excesivo. Su resistencia a la tensión es cercana a la del acero de 0.2% de carbono, que tiene un valor de 2485 Kg.cm², mientras que el de la caña llega a los 2400 Kg/cm².

1.3. CARACTERISTICAS Y VENTAJAS DE LA BAMBUSA GUADUA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION

Tres características distintivas del bambú son:

- Su resistencia; como lo indican los valores de las propiedades mecánicas. En oriente se fabrican puentes y cables del bambú de garantizada resistencia.
- Su durabilidad; es una de las maderas más duras; en condiciones naturales, rara vez es atacada por polillas y plagas, peor aún si se le aplica algún tratamiento previo. Es empleada muchas veces para levantar canales, techos y acueductos, lo que indica que toma algún tiempo para que se vea afectada, superando a muchas otras maderas. El ataque del fuego se puede aliviar durante algún tiempo mediante la aplicación de retardantes.
- Su fertilidad; esta especie vegetal crece y se reproduce con mayor rapidez que cualquier otro árbol que produzca madera comercial para construcciones. En climas subtropicales prolifera exhuberantemente.

Haciendo una comparación con otros tipos de maderas que puedan usarse como posibles estructuras en prefabricados con mortero, se han encontrado las siguientes ventajas como material de construcción:

- Barata; su precio en el momento de cortarla en los sitios de producción es de 50 a 60 sucres,

llegando a la ciudad a través de intermediarios con un precio de 120 sucres; precio que sigue estando aún por debajo de la maderas llamadas duras.

- Abundante; como ya se indicó previamente, se da más fácil y en menor tiempo que cualquier otra madera comercial.
- Dura y ligera; si se la compara con otras maderas duras como son la Teca, el Guayacán, Palo de Vaca, Roble, Colorado, etc.
- Propiedades mecánicas; dos de la maderas más comunes en la construcción de viviendas, son el abeto y el pino, las cuales tienen valores de resistencia a la compresión que no exceden los 590 Kg/cm², y módulos de elasticidad en compresión no mayores a 120000 Kg/cm². Los valores para la Bambusa Guadua son de 860 Kg/cm² y de 198000 Kg/cm² respectivamente.
- Rendimiento; el porcentaje de pérdidas por viruta y aserrín en otras maderas es relativamente alto. En la caña guadua las pérdidas se pueden reducir a un mínimo en un proceso productivo industrializado debido a su configuración fibrosa.

Considerando todo lo antes mencionado, la Bambusa Guadua resulta ser la mejor alternativa entre las maderas típicas empleadas en la construcción de viviendas.

CAPITULO II

COMPONENTES DEL PANEL

2.1. CONFORMACION DEL PANEL CON SUS RESPECTIVOS COMPONENTES

A continuación se presenta una explicación detallada de la idea original. Se explicarán también ciertos cambios introducidos, las dimensiones y además se dará en forma abreviada una pequeña introducción de lo que significa el sistema modular.

2.1.1. INFORMACION INICIAL

La disposición de los componentes, según la idea original de Moeller (9) quien postula paneles a base de caña-mortero-yeso, es de la siguiente manera:

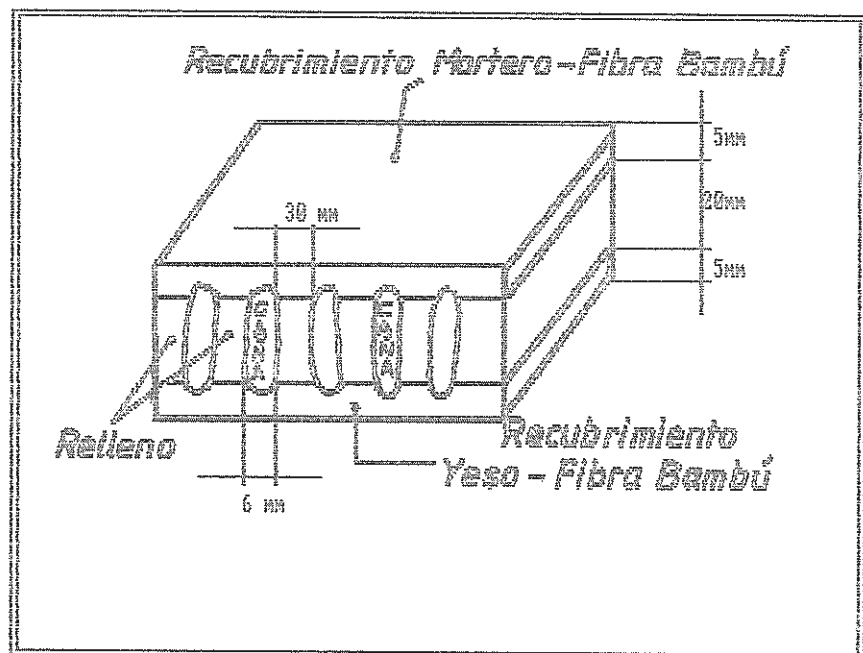


FIGURA 1.- COMPONENTES DEL PANEL ORIGINAL

En la figura 1, se muestra que la parte estructural del panel está dada por la caña guadua cortada en forma de latillas longitudinales y dispuestas de canto.

Entre cada latilla hay un material de relleno con la función de evitar una cantidad excesiva de caña, aligerar los paneles, permitir una buena adherencia del recubrimiento o enlucido, así como para dar buen acabado.

La cara del panel que tiene contacto con el medio ambiente, es un mortero de cemento reforzado con fibras de caña guadua con un espesor de 5 mm. La cara que mira hacia el interior de la vivienda está constituida de yeso y fibras de caña.

Los paneles planteados por Moeller originalmente son de 2.10x0.90mts, y además no presentan ningún método de acoplamiento entre sus componentes.

2.1.2. VARIACIONES

Se haran variaciones en lo que respecta a los espesores de los recubrimientos, se determinará un relleno adecuado y se buscarán métodos de acoplamiento entre los componentes del panel.

En la mayoría de las pruebas a realizarse, se trabajará con paneles de 50x50 cm, debido a las limitaciones físicas de los equipos para las pruebas de esfuerzo y de resistencia al fuego.

2.2. METODO DE ACOPLAMIENTO DE LOS COMPONENTES

Podría decirse que el método de acoplamiento es la parte fundamental y decisiva en los paneles, para que estos presenten uniformidad, estética, consistencia y resistencia; características indispensables y necesarias que debe tener la pared o panel para obtener una aceptación general en los programas habitacionales.

La parte práctica y experimental de esta investigación, parte inicialmente al construir un panel de 50 x 50 cm con los detalles señalados, en forma empírica.

En la figura 1 podemos ver el panel que no lleva acoplamiento alguno.

Se pensó en un principio que el mortero sería capaz de mantener a todo el conjunto unido, circunstancia que no se cumplió como se ve en la figura 2.

El panel se fisuró, se agrietó y luego se partió en varios pedazos.



FIGURA 2.- PANEL ORIGINAL SIN ACOPLÉS.

De esta experiencia viene la primera variación al descubrirse la necesidad de adecuar un método de acoplamiento entre las latillas de caña guadua y el relleno para luego ser recubiertas con el mortero.

Se buscaron distintas maneras usando elementos metálicos, como tiras de hojalata de 0.5 mm sujetas con tornillos como se muestra en las fig. 3 y 4. Otro intento se lo hizo con tiras cortadas de mallas metálicas y sujetas con clavos.

Lamentablemente aunque estos métodos parezcan efectivos y den una buena unión al panel ya cubierto como se ve en la figura 5, no cumplen con la premisa de abaratar costos y de dar una perfecta unión entre

las cañas que forman la estructura principal.



FIGURA 3.- ACOPLA CON HOJALATA Y TORNILLOS.



FIGURA 4.- PANEL ACOPLADO CON TORNILLOS Y HOJALATA.



FIGURA 5.- PANEL CON ACOPLES, RECUBIERTO Y NO FRAC-
TURADO.

Se tenía que ver la forma de encontrar algún método de unión, usando las mismas cañas.

Se probaron entonces a continuación, únicamente acoples entre caña y caña sin emplear clavos o tornillos. En la figura 6, se indican cada uno de estos acoples.

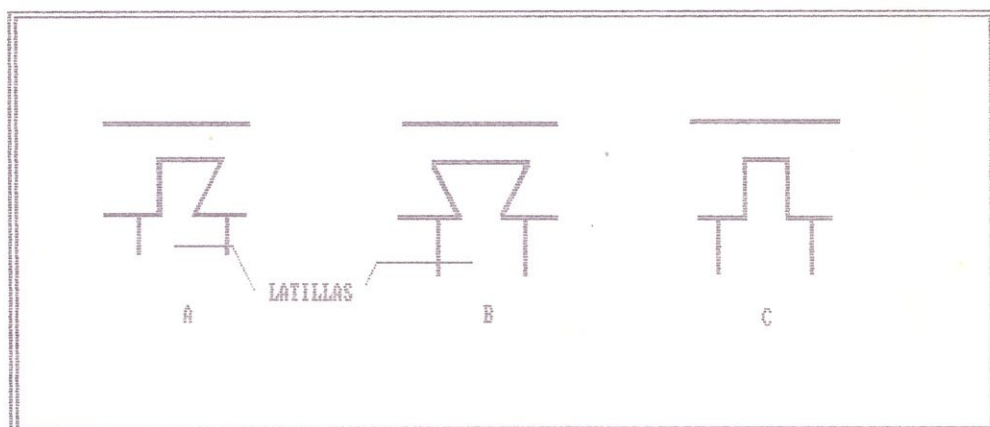


FIGURA 6.- ACOPLES CAÑA-CAÑA.

Debido a que la caña guadua está conformada por fibras longitudinales de extremo a extremo, el acople que se seleccionó fue el de tipo C. Este acople da la ventaja de que al hacerse los cortes en las latillas horizontales, se puede dejar una diferencia para que las latillas verticales entren con ajuste y se fijen aún más con tachuelas.

Es indispensable que las cañas pasen por un proceso de selección para obtener tanto latillas verticales como horizontales sin desviaciones notables, como se muestra en las figuras 7 y 8.

Encontrado el método de acoplamiento más adecuado y de costo relativamente barato, se procedió a probarlo. Resultó ser tan efectivo como los acoples antes mencionados. Ver figuras 9 y 10.



FIGURA 7.- LATILLA DE CAÑA CON DESVIACION



FIGURA 8.- LATILLA DE CAÑA SIN DESVIACION.

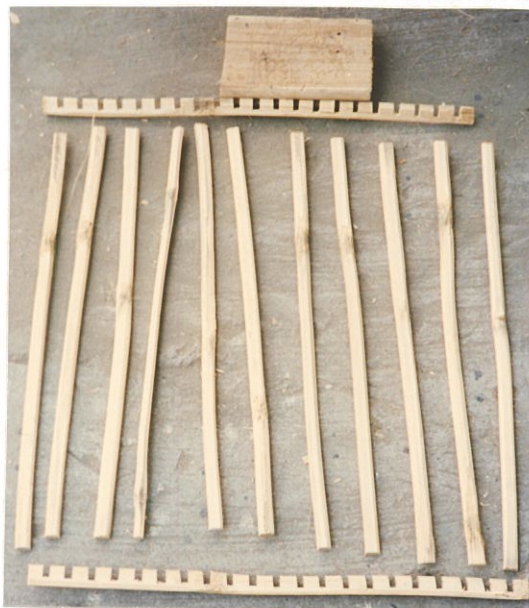


FIGURA 9.- METODO DE ACOUPLE DEFINITIVO



FIGURA 10.- ESTRUCTURA ENSAMBLADA.

Como se expresó al inicio, se busca dar una alternativa de bajo costo, confiable y segura, usando dentro de lo posible materiales netamente nacionales en todos los detalles de construcción.

2.3. DIMENSIONAMIENTO Y SISTEMA MODULAR

2.3.1. LA COORDINACION MODULAR Y LOS SISTEMAS PREFABRICADOS.

El objetivo primordial de la coordinación modular es el de eliminar la fabricación o adaptación de piezas en obra, reduciendo el trabajo en ésta al armado o montaje de las unidades en sus correspondientes conjuntos y elementos funcionales. Esto se pretende conseguir mediante la fabricación industrial en grandes series de las partes llamadas "Unidades", como son ladrillos, bloques, cañerías, etc., dimensionadas con múltiplos de un único módulo y de modo que las distintas medidas de cada conjunto (calefacción, cerramientos, etc.) estén referidas a la serie natural o a una selección sistemática convenida de números múltiplos, posibilitando la existencia de varias medidas de un mismo producto mediante la adición de componentes.

Los llamados sistemas "Prefabricados", no son otra cosa que sistemas de todas las piezas

referidas a uno o más proyectos tipo o a varios de los conjuntos funcionales como son los sanitarios, paredes, etc.

Las paredes de caña guadua de nuestro proyecto no constan de unidades como son los ladrillos o bloques, sino que se conforman con una estructura interna de caña, como se ve en la fig. 10, dispuestas en forma de paneles, para completar una sola pared. Se deberá entonces determinar un sistema modular propio a nuestro medio, a más de una serie de parámetros extras que delinean en su totalidad la prefabricación de viviendas. Ver apéndice A.

2.3.2. SELECCION DE LAS DIMENSIONES.

Para seleccionar las dimensiones de los componentes de las viviendas, debe existir una situación de compromiso entre:

- Requerimientos funcionales
- Estudios empíricos sobre las dimensiones utilizadas con más frecuencia
- Series sistemáticas.

No es posible hacer la elección definitiva de todos los términos en una serie sistemática. De todas maneras, a fin de llegar a una serie de tamaños completamente correlacionados, es necesario adoptar primero una serie sistemática

ca de números; estos números se multiplicaran luego por una unidad de medida, el módulo, que es también un denominador común de la mayoría de los tamaños existente, lo que resultará así incluido en la serie sistemática que resulte.

En nuestro caso particular al tratar de entregar una pared totalmente fuera de los contextos tradicionales, es decir, sin el uso ni de bloques, ladrillos y peor estructuras de hierro, el dimensionamiento final de una de estas paredes, antes de comercializarse, está sujeto a otros factores. Estos factores, como son la esbeltez, problemas de pandeo, dispositivos de sujeción, transporte y movilización, instalación y prueba de esfuerzos más completas para paredes de tamaño definitivo, deben de encontrar solución a través de la experimentación a futuro. Para toda esta serie de pruebas, se tendrá que fabricar necesariamente la cantidad de equipos justa, ya que lamentablemente en nuestro País no existe aún un laboratorio de pruebas con la totalidad de equipos que las normas actuales exigen.

Para el caso del dimensionamiento a nivel de paneles se tuvo como primer dato el espesor.

Este espesor se deberá mantener también en igual valor para el caso de las paredes, debido a su relación directa con la disposición de las latillas que forman la estructura. Como se señaló en la figura 1, las latillas, cortadas longitudinalmente y puestas de canto, no son planas, sino que poseen una curvatura según el diámetro de la caña guadua. De acuerdo a ese diámetro y cortando las latillas hasta un punto en que su curvatura no repercuta negativamente, se obtuvo el espesor correcto y adecuado para los paneles. Esto se muestra en la figura 11.

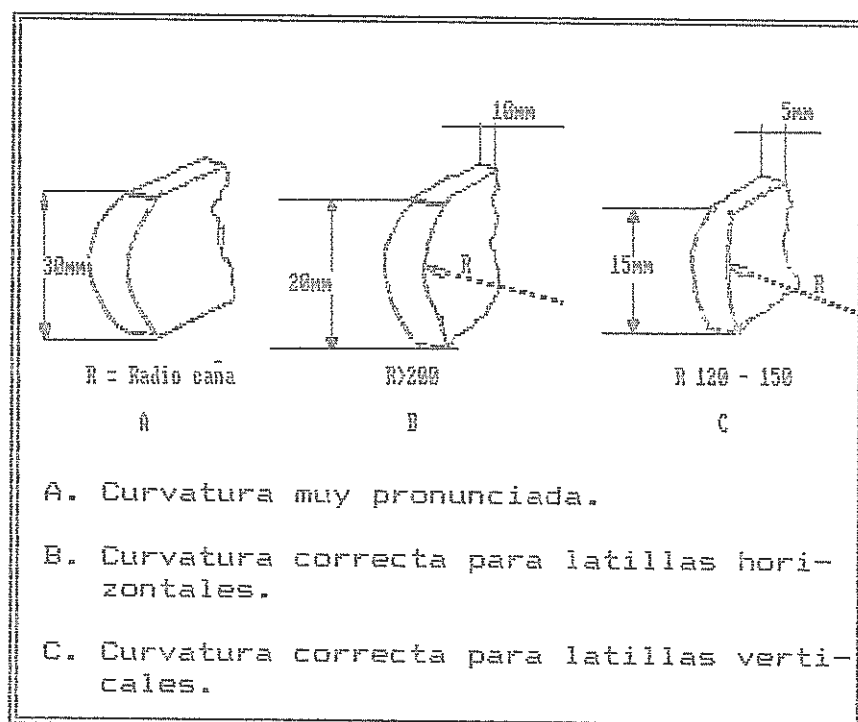


FIGURA 11.- CURVATURAS Y ESPESORES DE LAS LATILLAS.

Tal como se aprecia en las figuras 9 y 10, se requieren latillas horizontales y verticales para poder construir la estructura. Las latillas deben cortarse de cañas con diámetros mayores a 20 cm y con espesores de aproximadamente 1 cm para el caso de que sean de posición horizontal en la estructura. Las latillas verticales o soportantes, que normalmente tendrán una longitud mayor y por lo tanto desviaciones más pronunciadas (ver figuras 7 y 8), deben cortarse a un ancho de 1.5 cm, en cañas con diámetros entre 12 y 15 cms. El resto de las dimensiones del panel se las debió ajustar a las medidas dadas por los equipos de prueba, es decir que se tuvo este limitante por no existir equipos de mayor capacidad.

Todas las pruebas y resultados de esta investigación se las hacen en paneles que no sobrepasan la dimensión de 60 x 60 cms por lado, que bien podría tomarse como pauta para darse una idea de los posibles valores de esfuerzos límites que alcanzarían las paredes definitivas.

2.4. REQUISITOS DEL MATERIAL DE RELLENO.

El material de relleno es parte constitutiva

importante en el panel. Su función es la de no tener que colocar demasiadas latillas soportantes o verticales, dar propiedades térmicas adecuadas y permitir un enlucido de buen acabado.

Los requisitos y características deseadas que se buscan son los siguientes:

- Bajo peso específico
- Alta durabilidad
- Facilidad de adherencia con el recubrimiento
- Facilidad de industrialización

Se desea bajo peso específico para no tener problemas de movilización y de instalación en obra. Si es posible, se desearía llegar a obtener un valor de peso específico tal, que las paredes se puedan maniobrar con fuerza humana.

La alta durabilidad se desea justamente para dar viviendas con vidas de servicio lo más prolongadas posibles, bajo las más variadas condiciones ambientales.

Como el recubrimiento viene a continuación del material de relleno, debe darse la condición de perfecta unión entre ambas partes para evitar rasgaduras y desprendimientos del enlucido.

La facilidad de industrialización representa costos de producción bajos y trae a su vez costos globales reducidos que darían viviendas realmente rentables.

2.5. CARACTERISTICAS DEL RECUBRIMIENTO O ENLUCIDO

En obras civiles de toda clase, ya sean viviendas, edificios, puentes, etc., el acabado final, así como su presentación externa siempre reflejan buena estética y una sensación de seguridad a la vista. El enlucido o recubrimiento final de cualquier tipo de estructura es fundamental en toda obra de mampostería y albañilería. La ausencia de grietas y fisuras, así como su consistencia, nos dan argumentos para poder afirmar que se trata de una obra segura, confiable y solvente. Por lo tanto, las características que debe reunir el enlucido o recubrimiento de acuerdo a nuestros objetivos son:

- Buen acabado
- Ausencia total de fisuras y grietas
- Elevado esfuerzo de adherencia
- Durabilidad

En base a estos requisitos se procederá a buscar los mejores resultados posibles a través de la experimentación.

CAPITULO III

PRUEBAS EXPERIMENTALES

Las pruebas efectuadas a los paneles se basan en las normas dadas, para construcciones habitacionales, por la AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS, ASTM. Se efectuaron ensayos para determinar los esfuerzos de compresión y de adherencia del mortero, así como los ensayos de esfuerzo, de resistencia al fuego y de resistencia al medio ambiente para los paneles.

3.1. PRUEBA DE ADHESION DEL RECUBRIMIENTO

NORMA ASTM C 353 - 73

3.1.1. ALCANCE

Este método empleado cubre la medición de la adherencia del mortero de acabado ó enlucido a una superficie de prueba particular. A la vez que este ensayo es provechoso para clasificar generalmente estos productos, se debe recalcar y señalar que la adherencia del mortero a un tipo de superficie no da una completa seguridad de que otro tipo de mortero se comporta de igual manera en la misma superficie.

3.1.2. IMPORTANCIA

Debido a que el esfuerzo de adherencia del mortero de enlucido es bajo, este no puede

soportar fuerzas mecánicas muy elevadas, como aquellas relacionadas a las vibraciones. Adicionalmente, fuerzas mecánicas accidentales, tales como colisiones o sacudidas, no deberían causar separación entre el enlucido y la estructura.

El ensayo de adherencia, que mide la fuerza necesaria para separar el enlucido ya fraguado, de una superficie de prueba, indicará la capacidad del mortero para permanecer adherido durante condiciones normales de servicio.

Muchos factores afectan la adherencia, tales como la calidad y cantidad de agua en el mortero, el método de mezclado y aplicación del mortero, el tipo y condición de la superficie, el método de fraguado, el tiempo requerido para el fraguado y por último las condiciones ambientales.

3.1.3. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Adherencia sobre una superficie, es la fuerza perpendicular requerida para lograr desprender al mortero, expresada en libras por pulgada cuadrada de área de contacto o en kilopascales.

El desprendimiento del mortero podrá ocurrir

en la superficie de interfase, o también podrá ocurrir en el interior del mortero ya fraguado, si es que el esfuerzo de cohesión del mortero es menor que el esfuerzo de adherencia del mortero hacia la superficie.



BIBLIOTECA

3.1.4. DISPOSITIVO

a. Placa de prueba. Placa rectangular de acero inoxidable o galvanizada (432x203 x 12.7 mm), provista de 3 aberturas de diámetro superior de 94.7 mm y con avellanado de 20° hacia abajo, es decir agujeros cónicos, como se muestra en la figura 12.

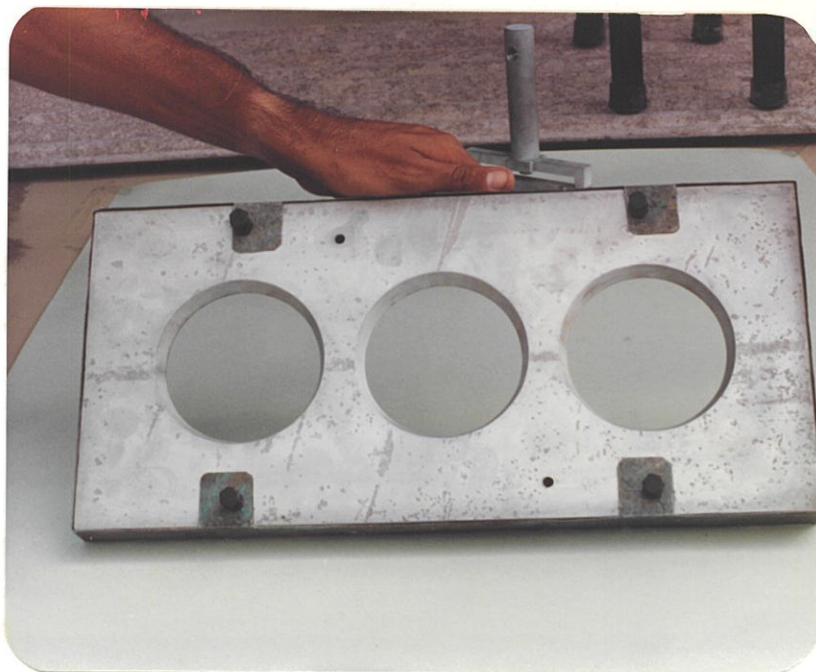


FIG. 12.- PLACA DE PRUEBA.

- b. discos de prueba. Discos de acero inoxidable o galvanizado de 12.7 mm de espesor, cada uno con un área de 64.5 cm^2 . Una de las superficies debe ser finamente pulida, y en la otra superficie se hará una perforación para la entrada de un perno de 10 mm de diámetro, como se verá en la figura 14.
- c. Molde soporte. Molde desmontable para disponer de un espesor constante del mortero a 19 mm, durante la aplicación sobre la placa y discos de prueba, como se muestra en la figura 13.

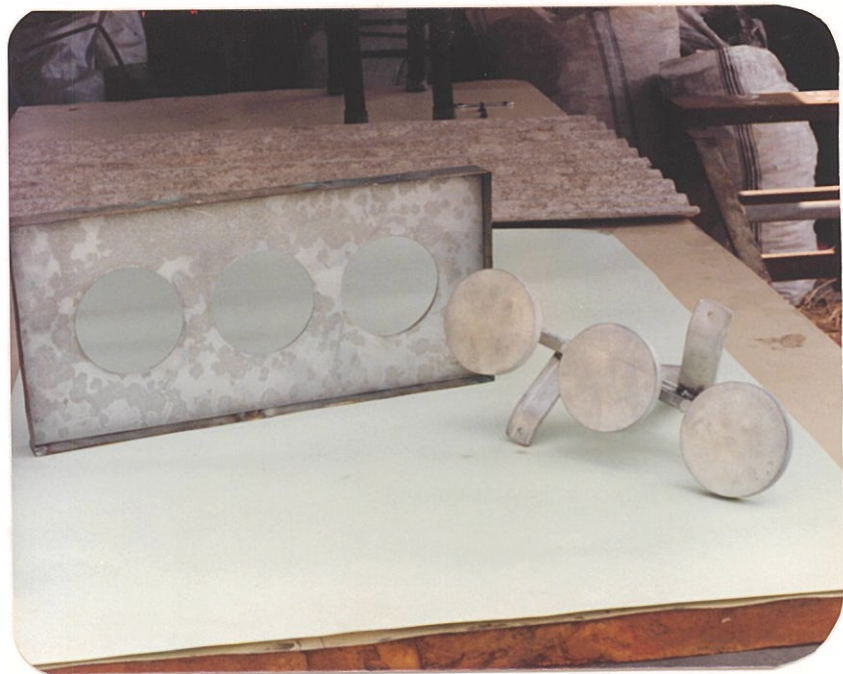


FIG. 13.- DISCOS DE PRUEBA.

d. Rodillo especial. Rodillo de 76 mm de diámetro, 152 mm de largo, peso de 9 libras, con 15 pupos por hilera. Los pupos deben tener 10 mm de diámetro, deben extenderse a partir de 3 mm desde el borde y tener una separación de 25 mm entre ellos. Las filas deben ir alternadas, como se observará en la figura 18.

3.1.5. PROCEDIMIENTOS Y RESULTADOS

a. Cuidadosamente limpiar los discos de prueba y la placa con agua y jabón, enjuagar y secar al viento; luego montar los discos de prueba junto con la placa de prueba y el molde soporte.

Todo el conjunto irá sobre un soporte como se indica en las figuras 14 y 15.

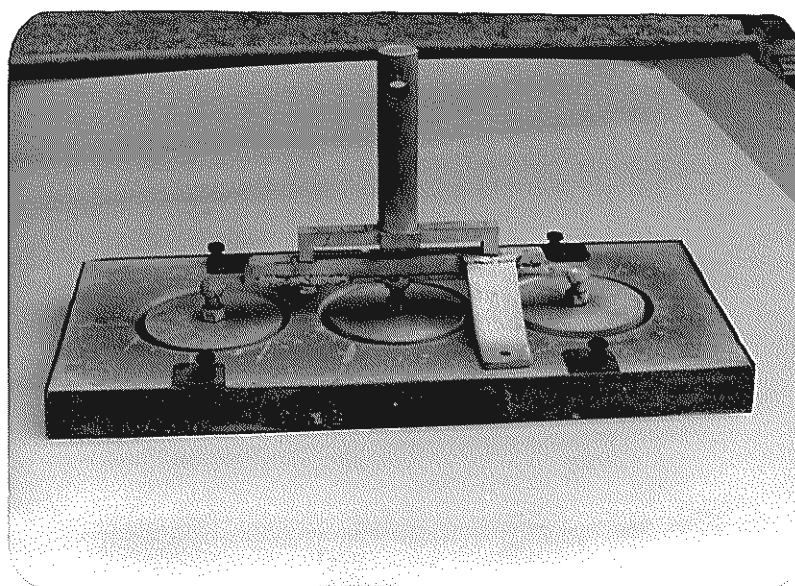


FIG. 14.- DISPOSITIVO ARMADO. VISTA INF.



FIG. 15.- DISPOSITIVO ARMADO. VISTA SUP.

Tener cuidado de no tocar las superficies de prueba con los dedos durante el montaje, y de que los discos queden totalmente centrados.

- b. Holgada y lentamente regar el mortero correctamente mezclado en el molde soporte. Ver figura 16.

Luego presionar y paletear suavemente hasta llenar completamente el molde, hasta una profundidad aproximada de 19 mm. Figura 17.



FIG. 16.- REGADO DEL MORTERO



FIG. 17.- PALETEADO DEL MORTERO.

c. Colocar una película húmeda, luego una tela de peso medio sobre el molde lleno y pasar el rodillo 15 veces a lo largo del molde. Una pasada debe consistir en tirar del rodillo hacia todo lo largo del molde en una sola dirección. Siempre se deberá halar el rodillo y no empujarlo en ningún caso. Observar la figura 18.



FIG. 18.- COMPACTADO DEL MORTERO

d. Levantar el rodillo y remover la tela.
e. Cuando alcance un fraguado total, invertir cuidadosamente el conjunto, luego con un instrumento puntiagudo limpiar y sacar el material ya seco de las ranuras

circundantes en cada disco de prueba para prevenir atascamiento o adherencia en los bordes.

f. Alinear el conjunto sobre el bastidor de una máquina de prueba, capaz de medir la carga con un margen de error de ± 454 gr. La máquina universal de ensayos INSTRON, del laboratorio de Mecánica de Sólidos realizó las pruebas como se observa en la figura 19.

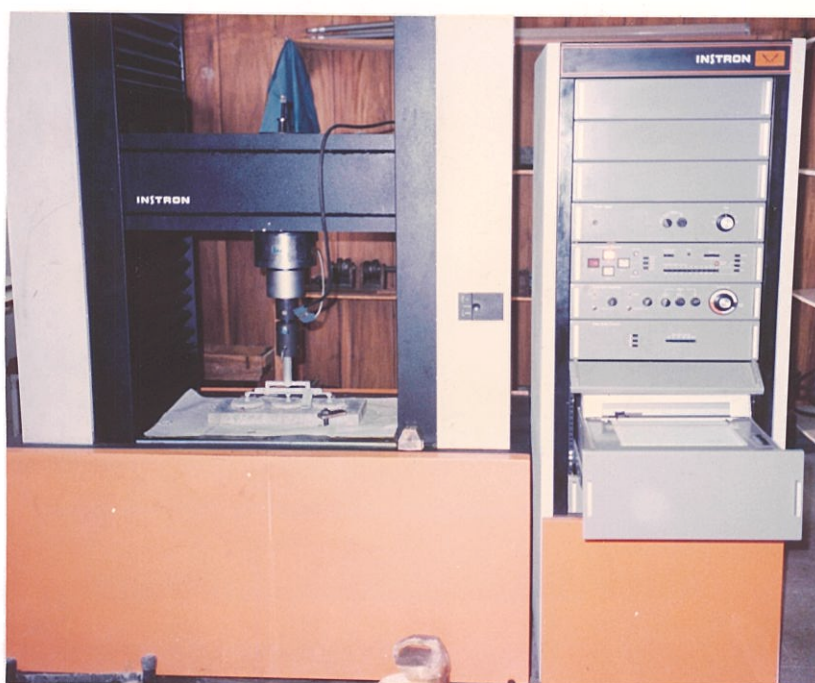


FIG. 19.- MAQUINA DE PRUEBA INSTRON.

Luego levantar los discos lentamente, hasta que falle el mortero, a una

velocidad no mayor de 22.7 Kg/min.

Ver figura 20.

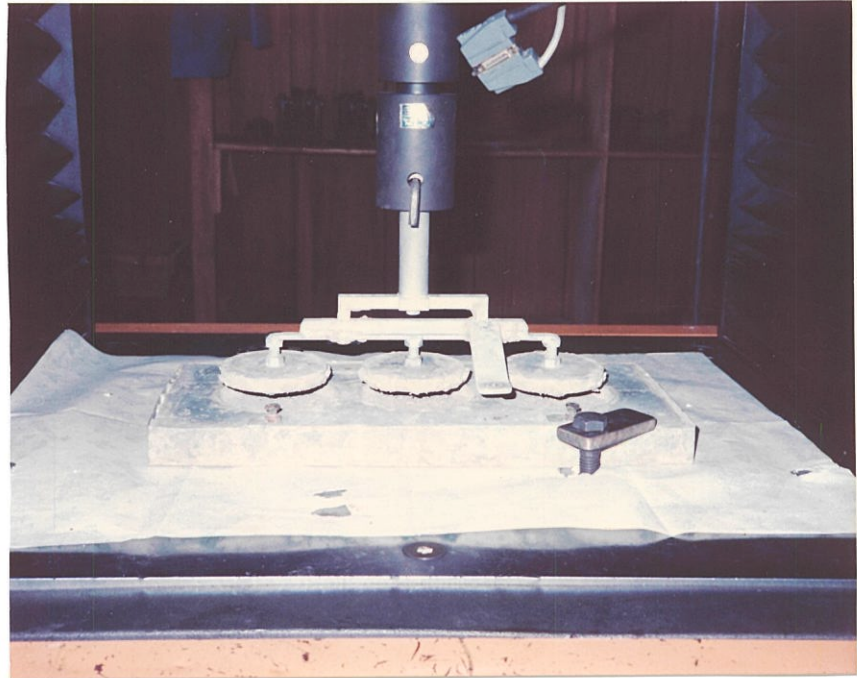


FIG. 20.- FALLA DEL MORTERO.

Los resultados se obtuvieron directamente del graficador de la máquina de prueba en lo referente a las cargas de falla, y teniendo como dato la superficie se determina a continuación el esfuerzo de adherencia.

Siguiendo entonces el procedimiento establecido por la ASTM se realizan en un principio ensayos de adherencia a morteros con mayor utilización en el quehacer constructivo vigente, que son simplemente

morteros arena-cemento a distintas relaciones. Posteriormente vienen las pruebas a los morteros mejorados con fibras vegetales, piedra pómez y cascarilla de arroz.

Se los llama morteros mejorados debido a que los valores obtenidos para los esfuerzos de adherencia mejoran añadiendo estos agregados.

Cabe indicar que el tiempo completo de fraguado para el cemento es de 28 días, lo que no se cumplió para todas las pruebas, a excepción del mortero que dió los más altos valores de esfuerzo. Se decidió esto debido a los limitantes de tiempo, ya que se tuvo que efectuar tres pruebas por cada mortero, que en total suman 27.

Se hicieron entonces las pruebas a los tres días de fraguado, y el trabajo total tomó cerca de tres meses, lo que hubiera tomado más de dos años si se las hubiera realizado a los 28 días justos.

A continuación se muestran los resultados para la prueba de adherencia. Ver tablas II y III. Ver figura 21.

TABLA II

ESFUERZOS DE ADHERENCIA PARA DISTINTOS TIPOS DE MORTEROS

TIPO DE MORTERO RELACION EN VOLUMEN	ESFUERZO DE ADHERENCIA EN Kg/cm ²
CEMENTO: 1 ARENA : 1	0.63
CEMENTO: 1 ARENA : 2	0.546
CEMENTO: 1 ARENA : 3	0.47
CEMENTO: 1 ARENA : 2 PIEDRA POMEZ: 0.5	0.77
CEMENTO: 1 ARENA : 2 CASCARILLA ARROZ: 0.5	0.716
CEMENTO: 1 ARENA : 2 FIBRA DE ABACA: 0.5	0.673
CEMENTO: 1 ARENA : 2 FIBRA DE CABUYA: 0.5	0.659
CEMENTO: 1 ARENA : 2 FIBRA CARA GUADUA: 0.5	0.652

TIEMPO DE FRAGUADO: 3 DIAS.

TABLA III

ESFUERZOS DE ADHERENCIA PARA MORTEROS CON CASCARILLA DE ARROZ

MORTEROS - CEMENTO:1, ARENA:2	
RELACION EN VOLUMEN DE CASCARILLA DE ARROZ	ESFUERZO DE ADHERENCIA Kg/cm ²
0.25	0.628
0.4	0.739 0.822 a los 28 días.
0.5	0.716
0.6	0.676
0.75	0.58

TIEMPO DE FRAGUADO: 3 DIAS.

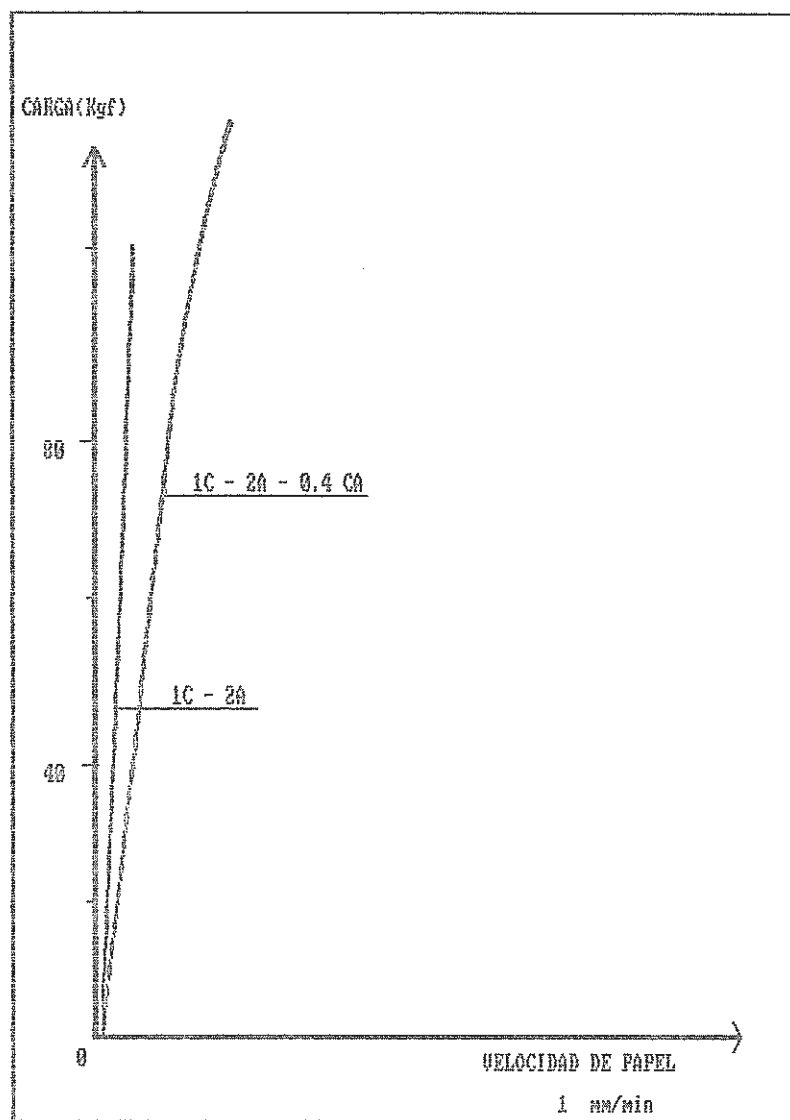


FIG.21.-CURVA CARGA vs. VELOCIDAD DEL PAPEL PARA PRUEBA DE ADHERENCIA.

3.2. PRUEBA DE COMPRESION DEL RECUBRIMIENTO.

NORMA ASTM C-354-70

3.2.1. ALCANCE

Este método cubre la medición del esfuerzo de compresión para morteros de cemento, empleados como acabados o enlucidos.

3.2.2. IMPORTANCIA

Algunos tipos de cemento, así como morteros, son empleados y aplicados externamente de las estructuras en construcciones monolíticas. Recubrimientos como estos pueden ser dañados por fuerzas mecánicas; como cuando se reclina una escalera contra la superficie o cuando se arrima o se apoya algún mueble o persona. Aunque no es recomendado este tipo de abusos, estos suceden. Por esta razón, la información sobre esfuerzos de compresión es necesaria para el diseño y especificaciones ingenieriles.

3.2.3. DISPOSITIVO

a. Máquina de prueba. Cualquiera que sea normalizada, tanto hidráulica como mecánica. Se empleó nuevamente la máquina INSTRON de ensayos, perteneciente al LABORATORIO DE SOLIDOS-ESPOL.

- b. Cilindros Compresivos. Cilindros con dispositivos de asentamiento uniforme, deben de poseer una superficie no menor de 23000 mm².

3.2.4. PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS

- a. Cuidadosamente limpiar, los moldes cúbicos de 50 mm por lado, con agua y jabón, luego enjuagar y secar al viento. Los moldes cúbicos sirven para elaborar las probetas de mortero.
- b. Untar una fina película de grasa o vaselina en las caras interiores de los moldes para prevenir adhesión.
- c. Lentamente verter el mortero previamente mezclado, en los moldes cúbicos como se indica en la figura 22.



FIG. 22.- MOLDES CUBICOS

- d. Fraguado y desarmado de los moldes
- e. Remover todo material en exceso en las superficies superior e inferior, para obtener superficies de contacto limpias y planas, así como también para controlar las dimensiones exactas. Ver figura 23.



FIG. 23.- CUBOS FRAGUADOS

- f. Centrar cuidadosamente el cubo de prueba sobre el cilindro compresivo fijo. Iniciar la aplicación de cargas perpendiculares a la cara superior del cubo mediante el cilindro compresivo móvil, como se muestra en la figura 24.

Asegurarse de que el cilindro móvil esté en contacto con toda la superficie superior del cubo probeta. Comprobar también el paralelismo entre ambos cilindros y el bastidor de la máquina.

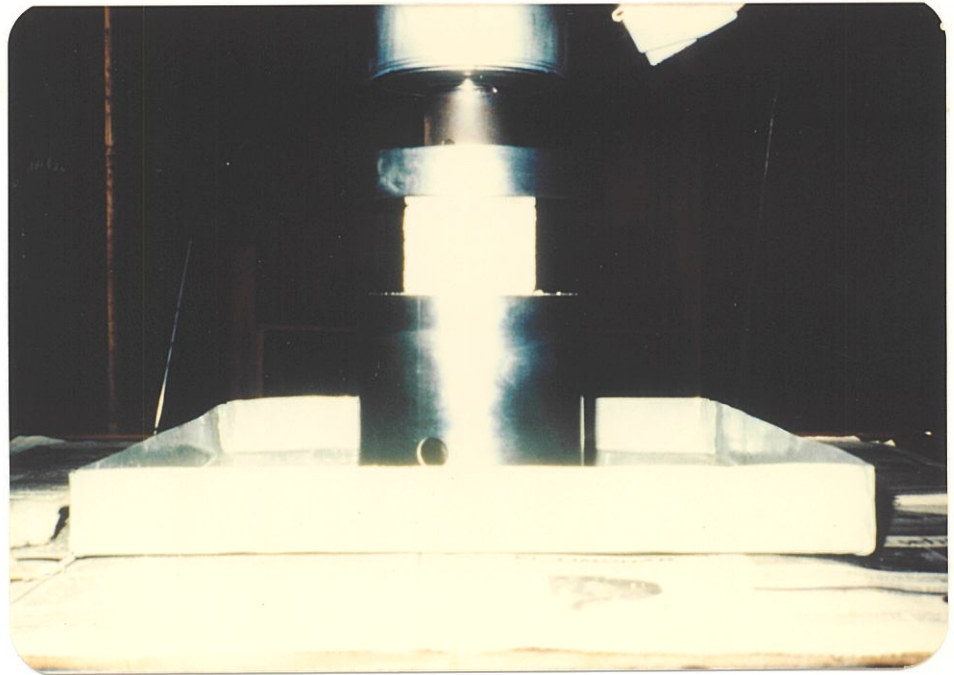


FIG. 24.- CUBOS DE MORTERO SOMETIDOS A COMPRESION.

g. La velocidad del cilindro móvil no deberá exceder de 1 mm/min. Registrar los valores de las cargas de falla en tres probetas como mínimo.

Seguidamente están los resultados en la tabla IV y figura 25.



BIBLIOTECA

TABLA IV

ESFUERZOS DE COMPRESION PARA DISTINTOS TIPOS DE MORTEROS

TIPO DE MORTERO RELACION EN VOLUMEN	ESFUERZO DE COMPRESION EN Kg/cm ²
CEMENTO: 1 ARENA : 2	169.50
CEMENTO: 1 ARENA : 3	81.25
CEMENTO: 1 ARENA : 2 CASCARILLA ARROZ: 0.4	191.25 326 a los 28 días
CEMENTO: 1 ARENA : 2 FIBRA DE ABACA: 0.5	65.40
CEMENTO: 1 ARENA : 2 FIBRA DE CABUYA: 0.5	57.00
CEMENTO: 1 ARENA : 2 FIBRA CABA GUADUA: 0.5	134.50
CEMENTO: 1 ARENA : 2 PIEDRA POMEZ: 0.5	97.00

TIEMPO DE FRAGUADO: 10 DIAS.

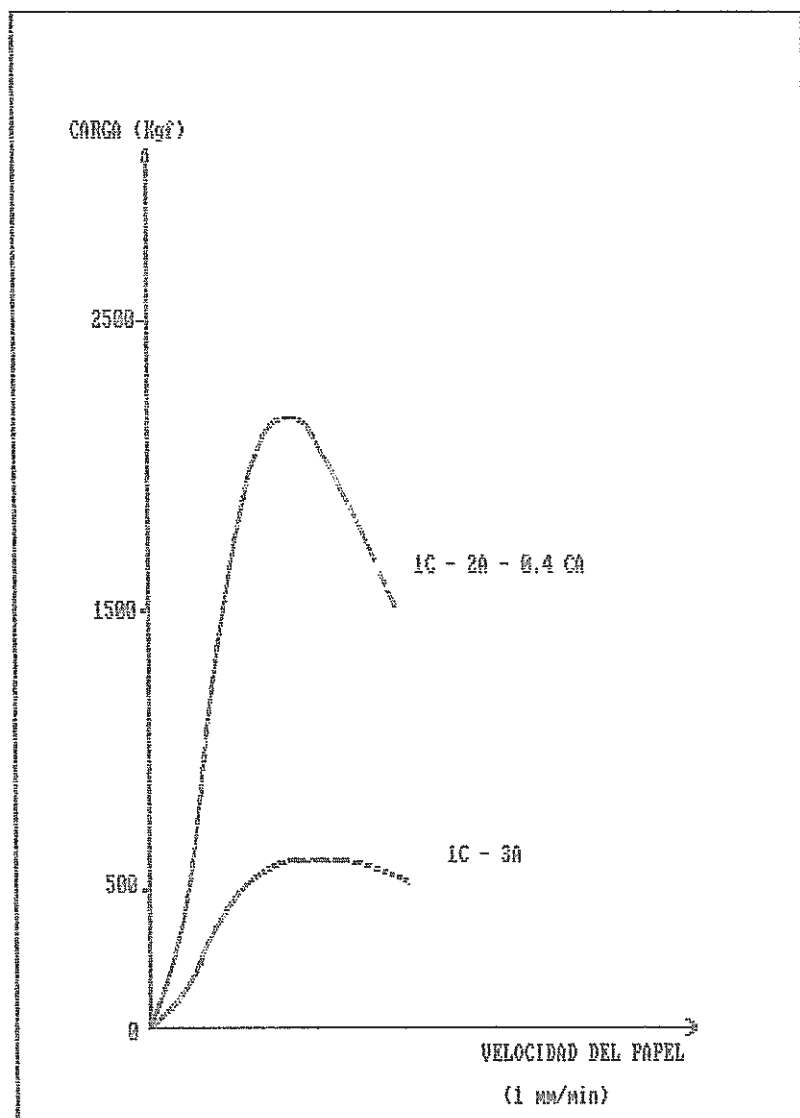


FIG. 25.- CURVA CARGA vs. VELOCIDAD DEL PAPEL PARA PRUEBA DE COMPRESION

3.3. DETERMINACION DE DENSIDADES PARA EL RECUBRIMIENTO Y EL MATERIAL DE RELLENO.

A parte de todas las pruebas normalizadas, se buscó tener otro parámetro de selección, al efectuar la determinación de las densidades de todas las variedades de mortero hasta ahora probadas para el recubrimiento. También se determinarán las densidades para ciertos posibles materiales de relleno.

3.3.1. PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS

El procedimiento consiste únicamente en colocar el material dentro de un volumen conocido y posteriormente pesarlo. Para el caso de los morteros, estos deberán fraguar durante 28 días.

Las probetas de arcilla deberán ser cocidas previamente. Los resultados están en las tablas V y VI.

TABLA V

VALORES DE DENSIDADES PARA DISTINTOS TIPOS DE MORTEROS

TIPO DE MORTERO RELACION EN VOLUMEN	DENSIDAD EN Kg/cm ²
CEMENTO: 1 ARENA : 2	1780.54
CEMENTO: 1 ARENA : 3	1737.50
CEMENTO: 1 ARENA : 2 CASCARILLA ARROZ: 0.4	1689.50
CEMENTO: 1 ARENA : 2 FIBRA DE ABACA: 0.5	1748.64
CEMENTO: 1 ARENA : 2 FIBRA DE CABUYA: 0.5	1733.25
CEMENTO: 1 ARENA : 2 FIBRA CAÑA GUADUA: 0.5	1751.43
CEMENTO: 1 ARENA : 2 PIEDRA POMEZ: 0.5	1794.45

TIEMPO DE FRAGUADO: 28 DIAS.

TABLA VI

VALORES DE DENSIDADES PARA VARIOS TIPOS DE RELLENO

TIPO DE RELLENO	DENSIDAD EN Kg/ m ³
MADERA DE ENCOFRADO	368.00
CEMENTO: 1 ARENA : 2 ESPONJILLA	1651.00
ARCILLA: 1 P. POMEZ: 0.4	1458.00
ARCILLA: 1 P. POMEZ: 0.5	1479.00
ARCILLA: 1 P. POMEZ: 0.6	1495.00
ARCILLA: 1 C. ARROZ: 0.4	1460.00
ARCILLA: 1 C. ARROZ: 0.5	1485.00
ARCILLA: 1 C. ARROZ: 0.6	1504.00

TEMPERATURA DE COCIDO DE LA ARCILLA = 1000°C

3.4. DETERMINACION DEL MATERIAL DE RELLENO ADECUADO

Una vez explicado en forma detallada, en la sección 2.4, lo que se desea obtener como material de relleno, se procede a realizar combinaciones y mezclas con materiales de construcción tales como cemento y arcilla con añadidura de fibras vegetales, piedra pómez y cascarilla de arroz. Todos estos agregados buscan primordialmente bajar el peso específico y mejorar las propiedades físicas de los morteros.

El primer posible relleno estudiado fue la espuma de poliestireno. Esta se cortó en tiras de 50 cm x 2 cm x 1.5 cm. Luego se las unió a las latillas con Urea formaldehído, para después cubrirlas con un mortero 1C-2A.

El mortero nunca logró adherirse correctamente a la espuma. Otra desventaja es su precio elevado y el aumento de costo que produce la inclusión de un pegamento entre las latillas de caña.

Las maderas como la balsa y la de encofrado también se probaron. Teniendo únicamente la ventaja del bajo peso específico, se desecharon por su baja durabilidad y su poca resistencia al fuego.

Posteriormente se hicieron tiras de relleno a base de arcilla cocida con cascarilla de arroz y luego arcilla cocida con piedra pómez a distintos porcentajes volumétricos. La temperatura de cocido

fue 1000°C. Los porcentajes volumétricos variaron desde un 20% a 90%. En ambos casos se tuvo una rigidez aceptable hasta el 70%.



FIG. 26.- ARCILLA-CASCARILLA DE ARROZ

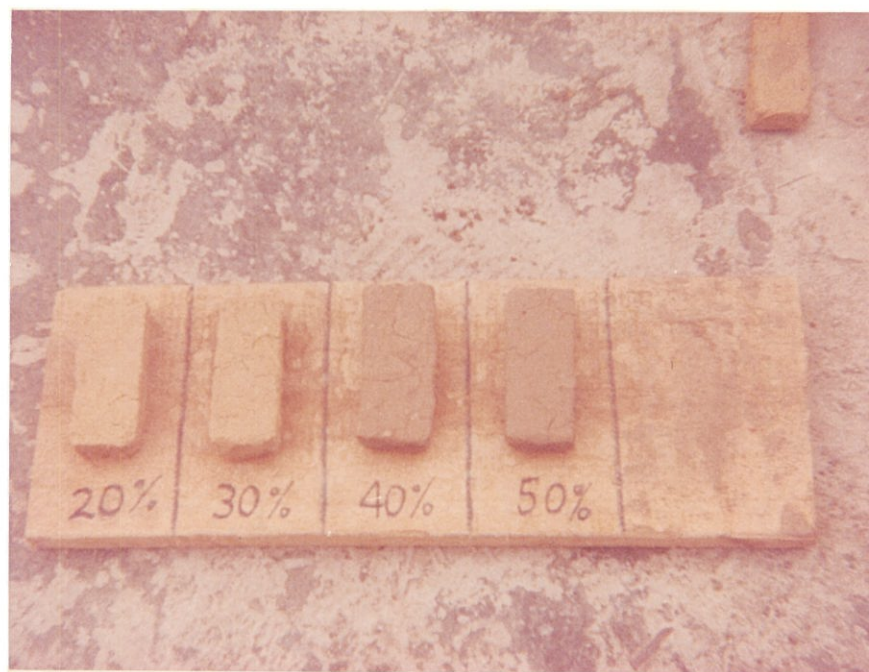


FIG. 27.- ARCILLA-PIEDRA POMEZ



La arcilla aligerada da densidades bajas (ver tabla VI), pero el inconveniente que se presenta está en el proceso de industrialización, al introducir hornos para el cocido. Otra desventaja es la manera de poder unirse a las latillas de caña, ya que si no hay una buena unión se produciría esfuerzos internos que rajarían o romperían el enlucido.

La alternativa restante es la de morteros con agregados como la esponjilla, cascarilla de arroz, fibra de caña, fibra de cabuya y fibra de abaca.



FIG. 28.- MORTERO-ESPONJILLA

Teniendo además como precedente los resultados de las pruebas de adherencia y compresión, así también como las densidades, se concluyó que el mortero con cascarilla de arroz serviría tanto como material de relleno así como también de recubrimiento y enlucido para los paneles.

Esto acortaría pasos en el proceso de industrialización, como son la elaboración de las tiras de relleno en moldes, métodos de unión entre el relleno y la estructura, etc.



FIG. 29.- MORTERO-FIBRA CABUYA



FIG. 30.- MORTERO-CASCARILLA DE ARROZ

3.5. CONSTRUCCION DEL PANEL

A partir de los resultados de las pruebas de adherencia y compresión para el recubrimiento, de las efectuadas para obtener el material de relleno, se pudo encontrar que el mortero que tiene como componentes a la cascarilla de arroz, cemento y arena es el más apropiado. Este mortero cumplirá una doble función, es decir, servirá como material de relleno, debido a su bajo peso y durabilidad, así también como de material para el enlucido.

Conociendo los materiales que conforman el mortero definitivo, se procede a construir los paneles probeta para las pruebas restantes. Primero se arma la estructura de caña, luego se la coloca en un molde metálico desarmable, en donde se le vierte el mortero. Una vez fraguado se retira el molde.

- Armado de la estructura de caña

Se cortan las latillas longitudinalmente. Latillas de 2 cm de ancho para ubicación horizontal y latillas de 1.5 cm de ancho para ubicación vertical. Figura 31. Posteriormente se limpian las latillas, como se observa en la figura 32.



FIG. 31.- LATILLAS SIN LIMPIAR

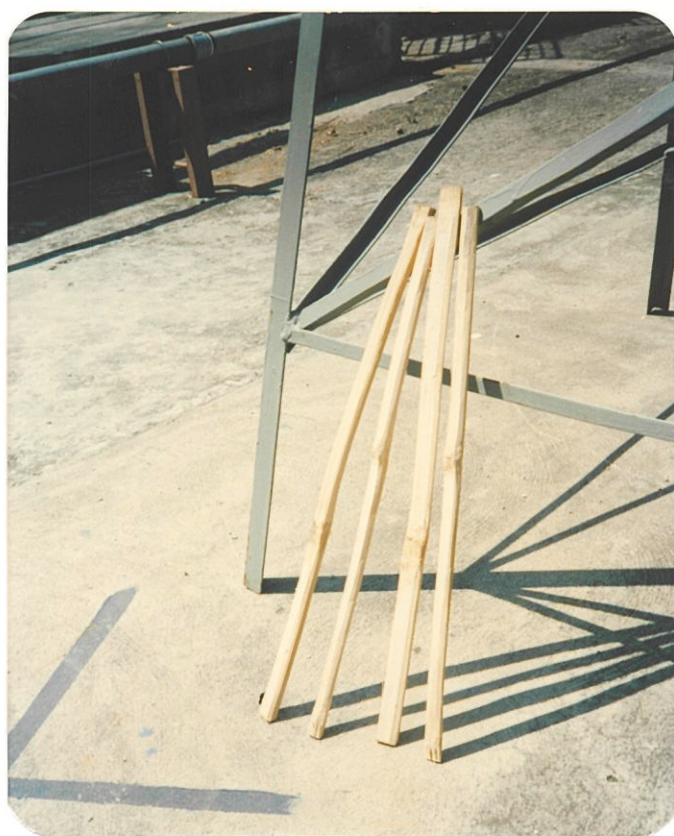


FIG. 32.- LATILLAS LIMPIAS

Las latillas horizontales tienen un largo de 55 cm y las verticales miden 53 cm. Luego se seccionan las latillas horizontales para hacer los acoples.

Una vez limpias y cortadas a medida, se arma la estructura según la figura 33, además revisar las figuras 9 y 10.

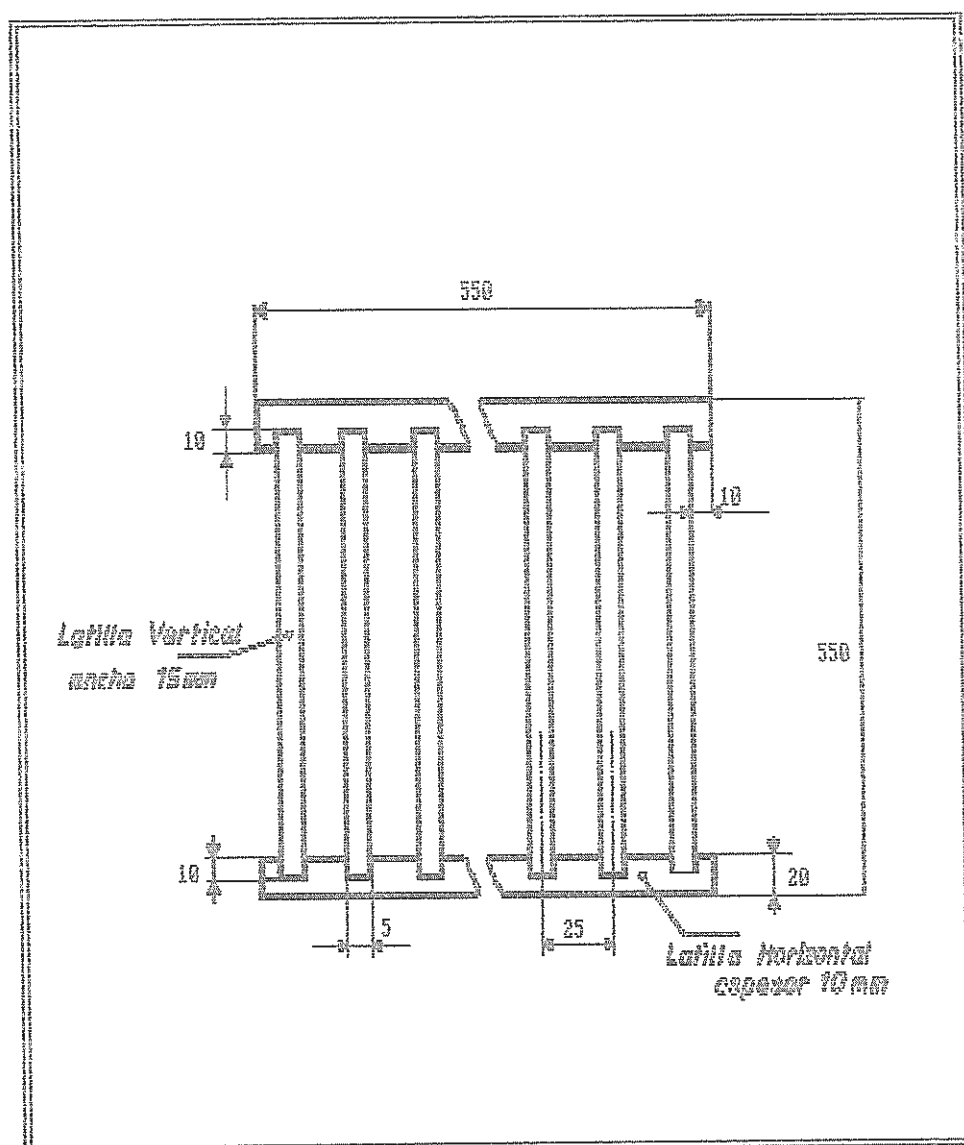


FIG. 33.- DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA DE CARA

Armada la estructura con todas las latillas, ésta tendrá un espesor promedio de 20 mm. El recubrimiento o enlucido debía ser de 5 mm por cara, según el planteamiento original (revisar figura 1), pero fue cambiada a 10 mm por cara, para evitar la presencia de fisuras y grietas, así como para garantizar durabilidad. Esto nos da como resultado un panel y una pared de apenas 40 mm de espesor, comparada con las paredes convencionales bloque-mortero que varían de 100-140 mm de espesor. Ver figura 34.



FIG. 34.- ARMADO DE LA ESTRUCTURA DE CAÑA

- Construcción del molde metálico

Como se había indicado anteriormente, el ancho de las latillas verticales es de 15 mm, pero al

considerar las desviaciones propias de la caña, la estructura de caña en promedio, tendrá un ancho aproximado a los 20 mm.

Para construir el molde metálico, se cortaron 2 láminas de plancha galvanizada de 2 mm de espesor, una hará las veces de fondo y la otra de tapa.

También se colocaron ángulos desmontables, de 38 mm de ancho y 580 mm de largo, sobre las láminas para dar un enlucido de 9.05 mm a cada lado del panel.

La lámina de fondo se agarra por medio de bisagras a una base de madera para permitir un mejor asentamiento del mortero por medio de vibrado.

El panel fraguado sale del molde con dimensiones de 58 x 58 cm de lado y un espesor de 3.8 cm.



FIG. 35.- MOLDE METALICO DESARMABLE

- Untado de grasa o vaselina sobre el molde.

Este untado tiene como objetivo el de prevenir y evitar el pegado y atascamiento del mortero fraguado sobre el molde, como se indica en la figura 36.



FIG. 36.- APLICACION DE GRASA

- Ensamble del panel.

Sobre el molde previamente untado con grasa, se coloca una capa de mortero de 9 mm de espesor aproximadamente. Se mueve el molde para conseguir un llenado total y homogéneo. Luego se coloca la estructura de caña, debidamente centrada, espaciada 15 mm de cada lado del molde. (ver figura 37). Posteriormente se riega el mortero

restante hasta llegar al espesor de 38 mm o el
borde límite del molde.



FIG. 37.- INTRODUCCION DE LA ESTRUCTURA



FIG. 38.- LLENADO CON MORTERO

- Nivelado del mortero

Lleno todo el molde, se procede a quitar el mortero en exceso y a nivelar al espesor final, como se observa en la figura 39. Se hace vibrar ligeramente todo el conjunto para evitar residuos de aire.



FIG. 39.- VIBRADO Y NIVELADO DEL MORTERO

- Cierre del molde

Por último se coloca la tapa galvanizada untada de grasa sobre el molde, para evitar la excesiva pérdida de humedad del panel.



FIG. 40.- CERRADO DEL MOLDE

- Fraguado y desarmado

Luego de conseguir un fraguado total a los 28 días, mediante remojo continuo, se abre o desarma el molde metálico al aflojar los pernos sujetadores de las platinas. Ver figura 41.



FIG. 41.- PANEL FRAGUADO

El resultado es un panel sin grietas ni fisuras, de buen acabado, de peso reducido y macizo, como se puede observar en la figura 42.



FIG. 42.- PANEL DE PESO REDUCIDO

3.6. PRUEBAS DE ESFUERZOS DEL PANEL

NORMA ASTM E 72-68

3.6.1. INTRODUCCION

Los diseños de ingeniería para estructuras que usan materiales ya existentes, requieren datos técnicos precisos sobre los esfuerzos y valores de rigidez para los elementos básicos que se emplean en los diversos sistemas de construcción.

El propósito de estas pruebas es el de dar

información confiable de datos ingenieriles para ciertos elementos de construcción y además sobre detalles estructurales que puedan servir de valor para los diseñadores, constructores, etc.

Los resultados deben de aproximarse lo más posible a las condiciones reales de servicio.

3.6.2. ALCANCE

Estas pruebas cubren los procedimientos para la determinación de las propiedades estructurales de segmentos de paredes, pisos y techos.

3.6.3. MUESTRAS

Las probetas deben de ser lo más representativas en lo referente a los materiales así como a mano de obra. En nuestro caso, los paneles deberán tener un tamaño tal, que no perjudique su movilización, de manera que no se den daños estructurales internos.

Obviamente, el tamaño de los paneles se verá limitado al dimensionamiento máximo que pueda probar una máquina de ensayos de cualquier laboratorio bien equipado.

Las probetas que emplean como base el

concreto o mortero, en las que las propiedades estructurales dependen de la edad, deberán de ser probadas no más allá de 25 a 31 días después de su fabricación.

3.6.4. APLICACION DE LAS CARGAS

Las cargas que se aplicaran a cada panel, en cualquiera de los ensayos, deberán ser de tal manera que los incrementos que se escojan puedan dar un número suficiente de lecturas para determinar en forma definitiva la curva "Carga-Deformación".

El "Rango de Cargas" deberá permitir lecturas de lo más exactas posibles.

3.6.5. MEDICION DE LAS DEFORMACIONES

Las deformaciones deberán ser medidas con suficiente precisión para definir la relación "Carga-Deformación". Las deformaciones tendrán un rango máximo de tolerancia de 0.25 mm.

3.6.6. GRAFICACION DE VALORES

Los resultados de cada una de estas pruebas deben ser representados gráficamente. Las cargas irán en la ordenada y las deformaciones en la abcisa.

Deberá experimentarse con tres paneles como

mínimo para cada prueba y los resultados se presentarán en un solo gráfico. De los tres valores obtenidos deberá hallarse un valor promedio.

3.6.7. SIGNIFICADO

Los procedimientos a continuación son aquellos que probarán el comportamiento de segmentos de paredes construidas bajo condiciones representativas de servicio.

El criterio obtenido de los resultados y del comportamiento, basados en las observaciones y gráficos del experimento, podrán asegurar cabalmente estructuras y vida de servicio adecuadas.

3.6.8. PRUEBAS

Las pruebas fueron realizadas en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil de la Escuela Superior Politécnica Nacional, por lo que hubo la necesidad de transportar por tierra 12 paneles elaborados en la ESPOL.

Se tuvo que completar el tiempo de fraguado normalizado de 28 días en una cámara húmeda o cuarto de fraguado.

La cámara de fraguado consiste en un cuerto

de 2x2x2 mts, cerrado, en el que se brinda un ambiente de alta humedad. Esta humedad es absorbida por los paneles para poder extraer el oxígeno necesario, procedente del agua, y realizar el fraguado completo. Ver figura 43.



FIG. 43.- CAMARA HUMEDA O DE FRAGUADO

Basicamente se hicieron tres tipos de ensayos:

- a. Compresión paralela a las latillas verticales.
- b. Compresión perpendicular a las latillas verticales.
- c. Compresión Diagonal.

Para cada caso se usaron tres paneles con un tiempo de fraguado de 28 días.



BIBLIOTECA

La Máquina Universal de Ensayos SUZPECAR trabajó a la apertura máxima de 80 cm entre sus mordazas.

El procedimiento constó únicamente en colocar perpendicularmente los paneles con respecto al cabezal fijo de la máquina de ensayo. Escogida la escala adecuada y la velocidad del cabezal móvil a 0.8 mm/min, se inició el ensayo hasta llegar al punto de falla. Ver figuras 44, 45 y 46. Todos los valores de carga y deformación se registraron gracias a un graficador funcional automático marca SUZPECAR, con su capacidad de graficar en dos dimensiones.

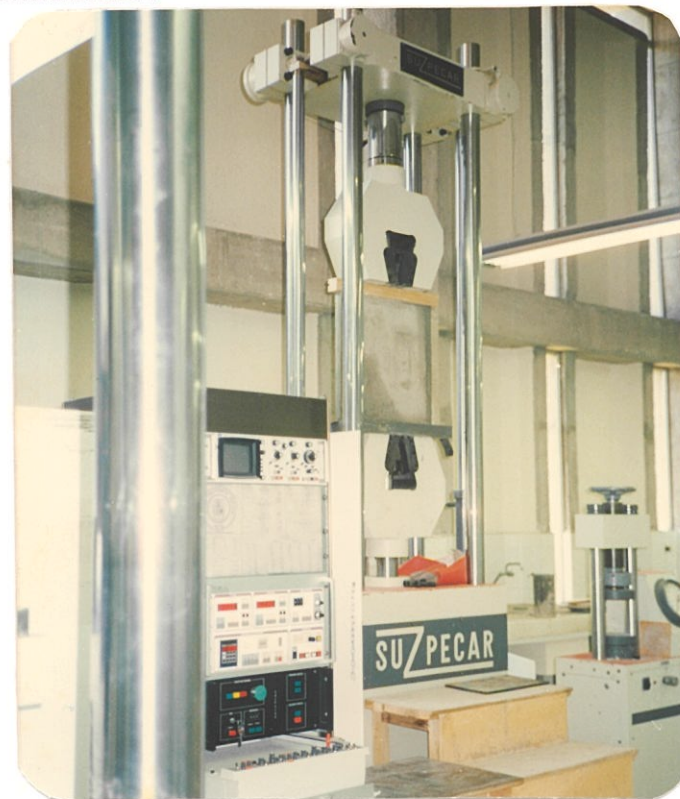


FIG. 44.- COMPRESION AXIAL PERPENDICULAR

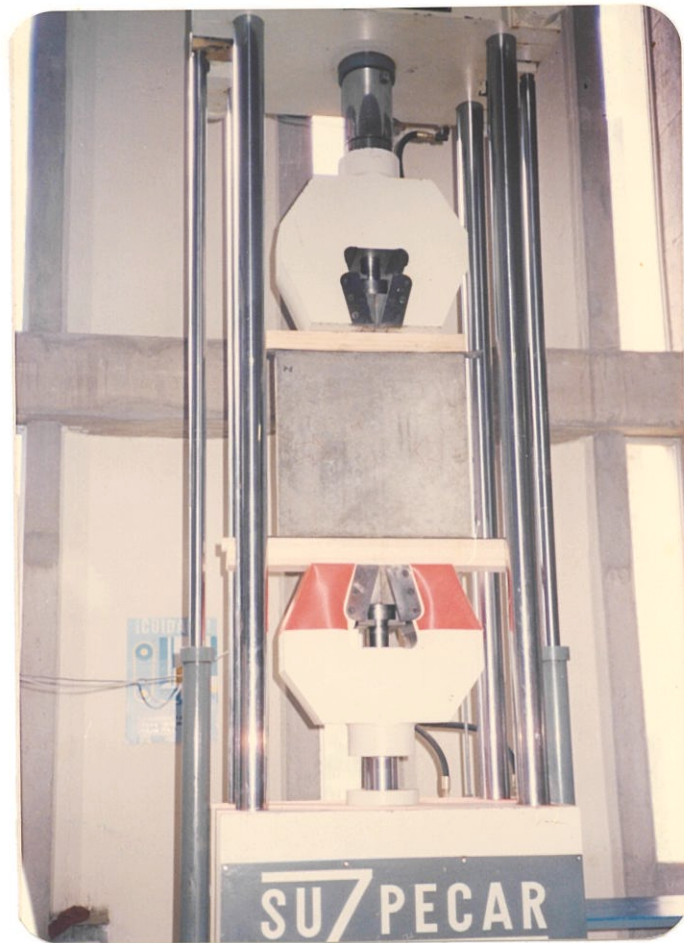


FIG. 45.- COMPRESION AXIAL PARALELA

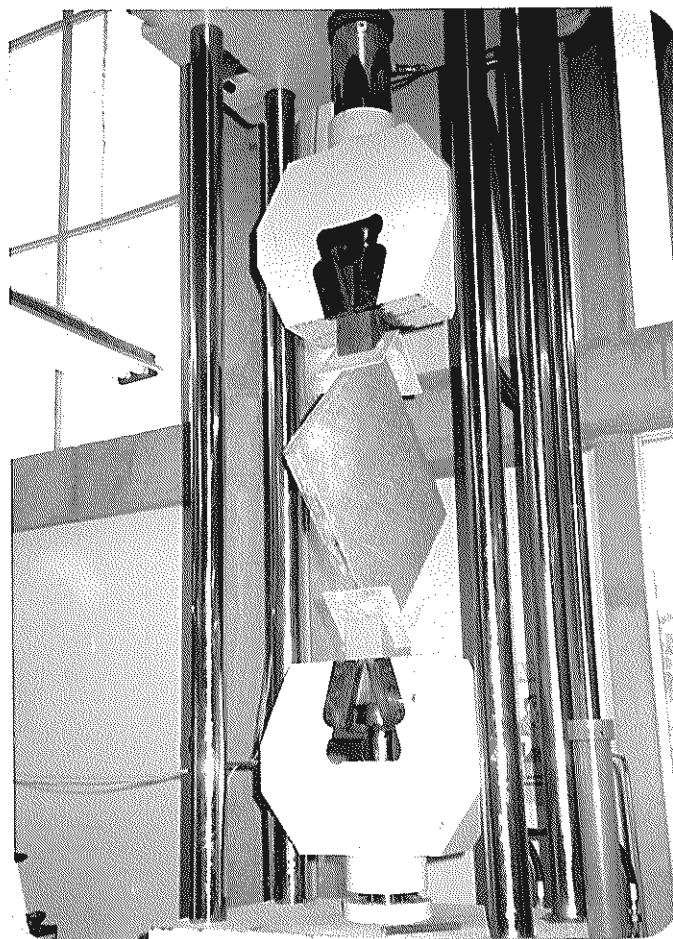


FIG. 46.- COMPRESION DIAGONAL O ESFUERZO DE TRACCION.

Los resultados de los valores de los esfuerzos están en la tabla VII, así mismo las curvas de comportamiento para cada prueba se ven en las figuras 47, 48 y 49.

TABLA VII
VALORES DE ESFUERZOS DE LOS PANELES

TIPO DE ENSAYO	MAXIMO ESFUERZO CRECIENTE Kg/cm ²	ESFUERZO DE ROTURA Kg/cm ²
COMPRESION PARALELA A LAS LATILLAS	33.12	9.3
COMPRESION PERPENDICULAR A LAS LATILLAS	31.30	18.83
COMPRESION DIAGONAL $\sigma = 0.707 \times F/A$	9.78	3.2

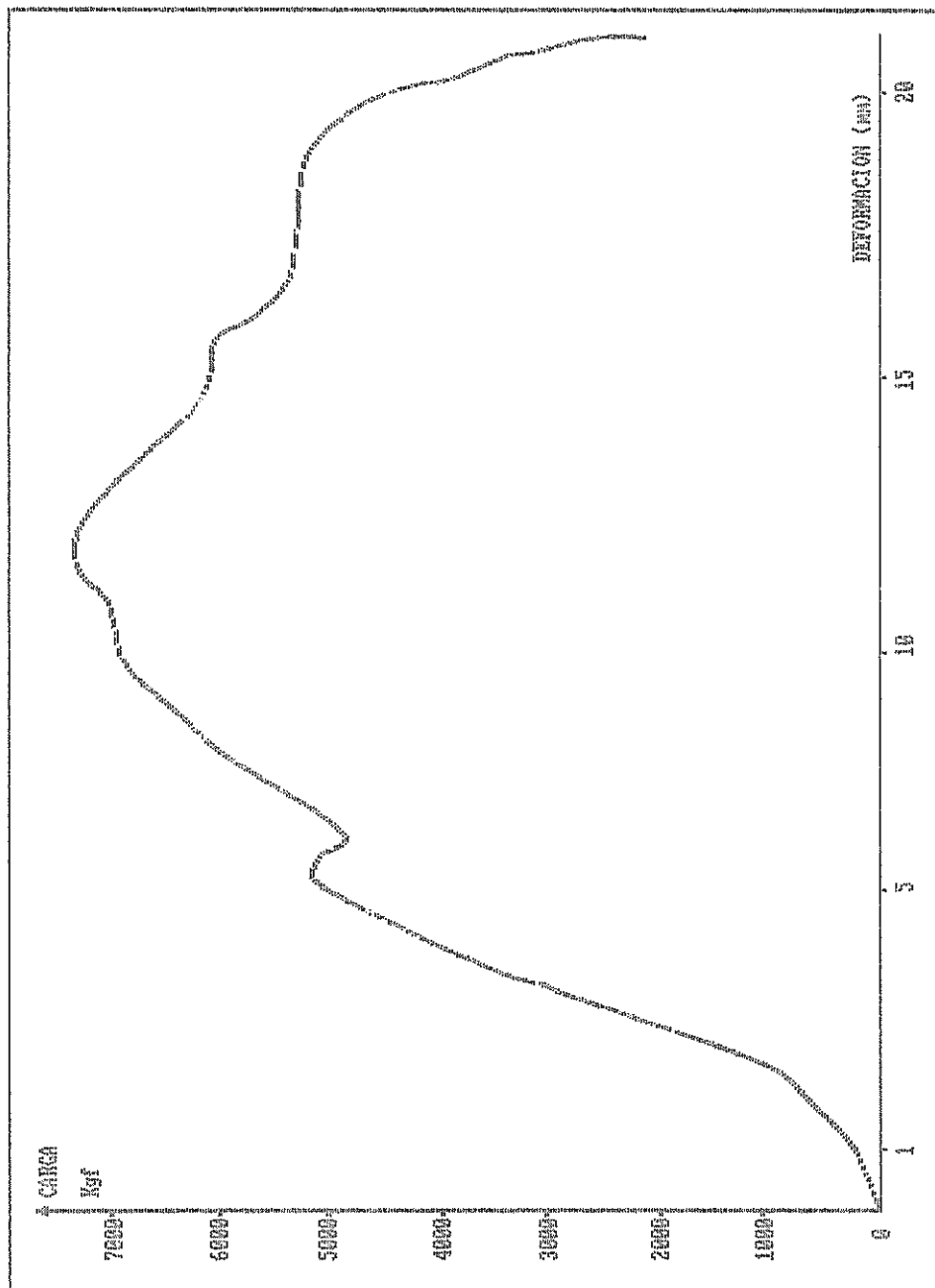


FIG. 47 - CURVA CARGA VS. DEFORMACION PARA ENSAYO DE COMPRESION PARALELA.

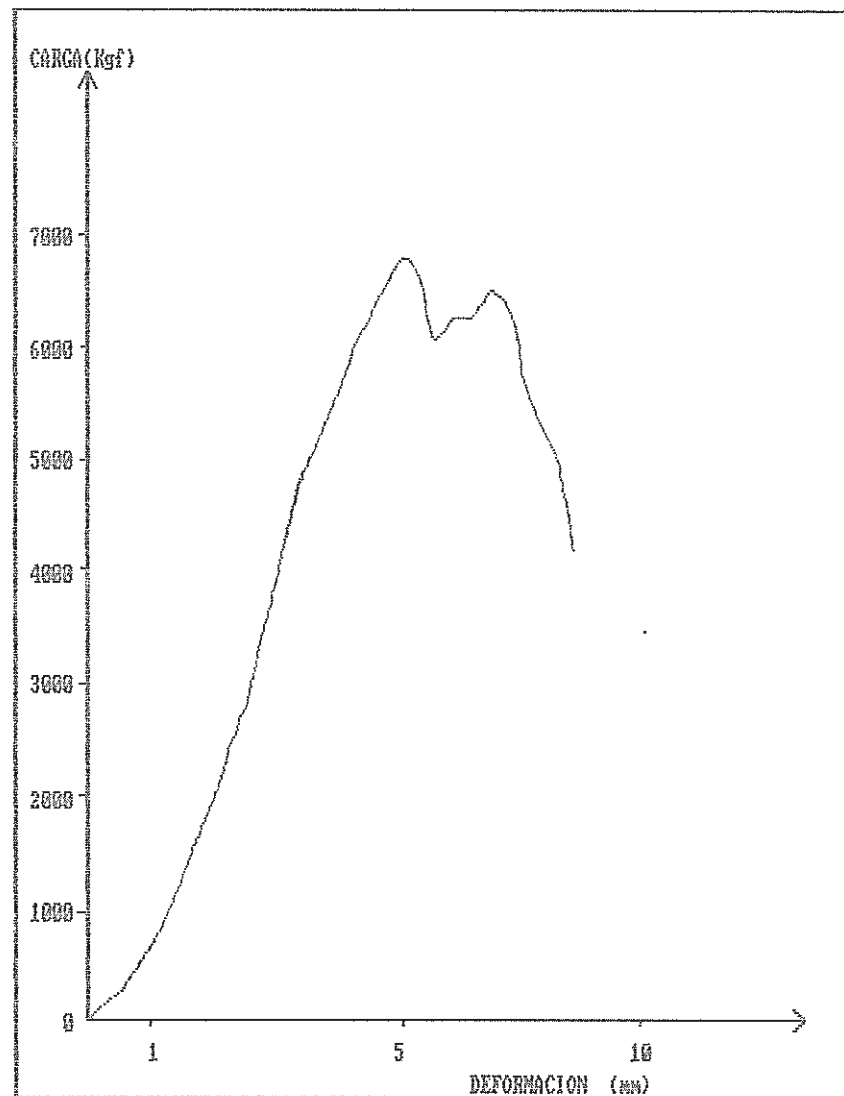


FIG. 48.- CURVA CARGA Vs. DEFORMACION PARA ENSAYO COMPRESION PERPENDICULAR

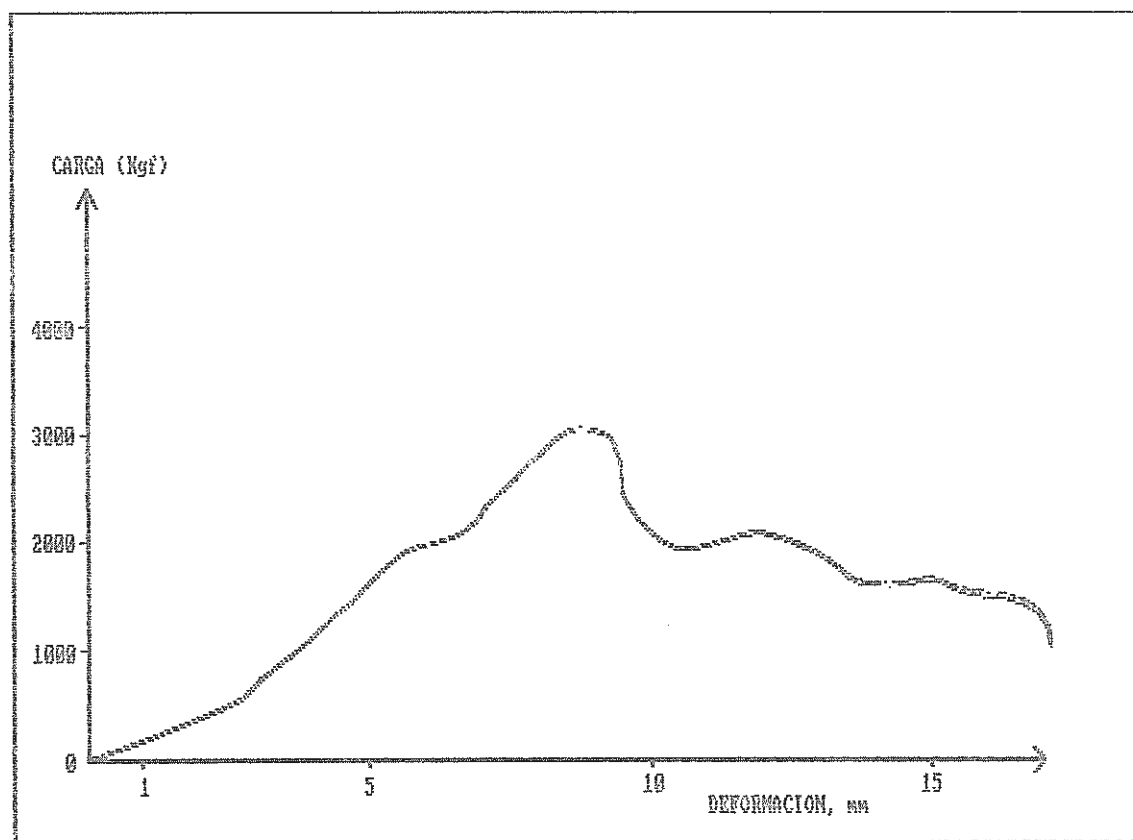


FIG. 49.- CURVA CARGA Vs. DEFORMACION PARA ENSAYO DE COMPRESION DIAGONAL

3.7. PRUEBA AL FUEGO DEL PANEL

NORMA ASTM E 119-73

3.7.1. INTRODUCCION

El comportamiento de paredes, columnas, pisos y otras partes de edificios o viviendas, al ser sometidas a condiciones de exposición al fuego, es uno de los factores de mayor importancia en el campo de la seguridad para la industria de la construcción.

Todo esto es reconocido por muchas Autoridades y Municipios en todo el mundo.

Debido a esto es que es necesario que se pueda medir y especificar las propiedades de resistencia al fuego de los materiales de construcción de acuerdo a una norma común expresada en términos que sean aplicables por igual a una gran variedad de materiales, situaciones y condiciones de exposición al fuego.

Esto se consigue con un método que sugiere una exposición al fuego que sea estandar, tanto en un período de tiempo controlado, como en su severidad.

La efectividad del material será definida, como el período de resistencia a una exposición estandar justo hasta el punto en que se note un cambio crítico en su

comportamiento.

Se reportará resultados en unidades con las cuales se podrá juzgar y expresar las pruebas de exposición.

Estos métodos se denominaran "Pruebas al Fuego Estandard" y sus resultados de acuerdo a las exposiciones en "1/2 h", "2 h", "6 h", etc.

Cuando se requiera un factor de seguridad mayor al que se establece bajo condiciones normalizadas, se tendrá que hacer variaciones específicas en lo referente al período de tiempo de exposición.

3.7.2. ALCANCE

Estos métodos son aplicables a montajes de manpostería y para estructuras mixtas (apoyos, paredes, columnas, vigas, lozas, etc.). También son aplicables para otros montajes y unidades estructurales que constituyen partes integrales permanentes de una edificación terminada.

Se persigue obtener que las clasificaciones puedan registrar la eficacia durante el período de exposición y no deberá ser interpretado como si se hubiera determinado una total conveniencia para que, ese material

en especial, resista exposiciones al fuego.

3.7.3. CURVA TIEMPO-TEMPERATURA

Las pruebas de resistencia al fuego para materiales y construcciones, deberán ser controladas mediante la curva estandar "Tiempo-Temperatura" mostrada a continuación.

Los puntos en la curva son:

TABLA VIII

VALORES DE LA CURVA TEMPERATURA-TIEMPO

538°C	5 MIN
704°C	10 MIN
843°C	30 MIN
927°C	1 HR
1010°C	2 HR
1093°C	4 HR
1260°C	8 HR o más

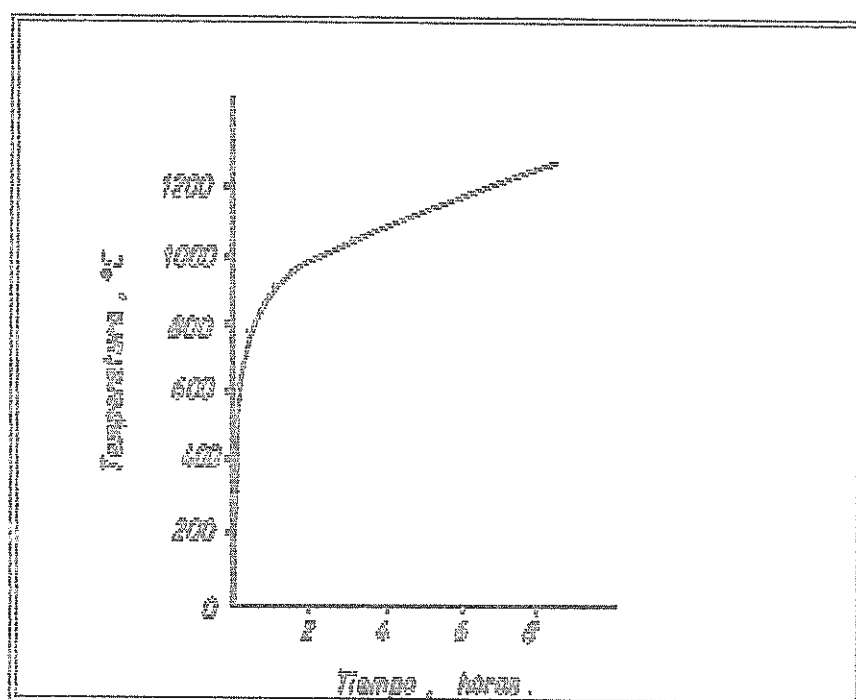


FIG. 50.- CURVA "TIEMPO-TEMPERATURA"

3.7.4. TEMPERATURA DEL HORNO

Las temperaturas indicadas en la curva debieron ser estimadas como el promedio de las temperaturas obtenidas de las lecturas de no menos de 6 termocuplas para el caso de paredes, techos y pisos. Las termocuplas deben ser recubiertas por porcelana con un espesor de 3 mm y con un diámetro externo de 19 mm o se puede emplear termocuplas recubiertas con tubos de acero negro con un diámetro externo de 13 mm. Para el caso de un pirómetro su distancia de exposición no deberá ser menor de 300 mm. Para el caso

especifico de paredes las termocuplas deben ser colocadas a 150 mm de la cara de la pared muestra-muestra desde el comienzo de la prueba.

Las lecturas de temperatura se deberán hacer a intervalos no mayores a 5 minutos durante las primeras dos horas, y de ahí en adelante los intervalos se podrán incrementar hasta no más de 10 minutos.

3.7.5. REPORTE DE RESULTADOS

Los resultados deben ser reportados de acuerdo al comportamiento durante la prueba prescrita en este método. Serán expresados en periodos de tiempo de resistencia hasta el último minuto representativo.

Los reportes deberán incluir observaciones de detalles significativos del comportamiento de los materiales de construcción durante la prueba y luego de que el horno haya sido apagado, incluyendo además información acerca de deformaciones, fisuramientos, grietas, quemado de los componentes de la muestra, duración del quemado y producción de humo.

3.7.6. MUESTRA

La muestra o panel debe ser plenamente

representativa de la construcción que se desea analizar. Los paneles deberán ser acabados con el debido recubrimiento que será puesto a prueba.

El método de ensamblaje, los materiales, detalles de construcción, todo bajo condiciones representativas deben ser igual que en la práctica.

Las propiedades físicas de los materiales y sus ingredientes, usados en el panel, deberán ser anotados y archivados.

Si las condiciones de la prueba son adversas y limitan la construcción a dimensiones reales, se podrán utilizar paneles con una correcta reducción proporcional.

Durante la prueba, la muestra deberá ser sometida a continuas observaciones.

3.7.7. CONDICIONES DE ACEPTACION

Se considerará un éxito la prueba si se dan los siguientes resultados:

- a. El recubrimiento tiene que soportar la exposición al fuego, sin que haya ignición de los materiales del recubrimiento, por un período de tiempo equivalente a las indicaciones deseadas.
- b. La transmisión de calor a través del recu-

brimiento o enlucido durante la prueba al fuego no debe producir una temperatura que alcance más de 139°C, por encima de la temperatura ambiente en el punto de contacto entre la estructura y el enlucido de la pared.

3.7.8. PROCEDIMIENTO

Establecidas todas las condiciones que indica la norma para la prueba al fuego del panel se siguen los siguientes pasos:

- Construcción del panel

Se elaboran tres paneles iguales a lo indicado en la sección anterior, a diferencia de la colocación de un marco de refuerzo hecho con platinas de 38 mm de ancho para evitar posibles derrumbes del panel en el interior del horno.

Además se insertarán las termocuplas durante el período de elaboración del panel, tres termocuplas a la caña y tres termocuplas al relleno y recubrimiento, como se indica en la figura 51.

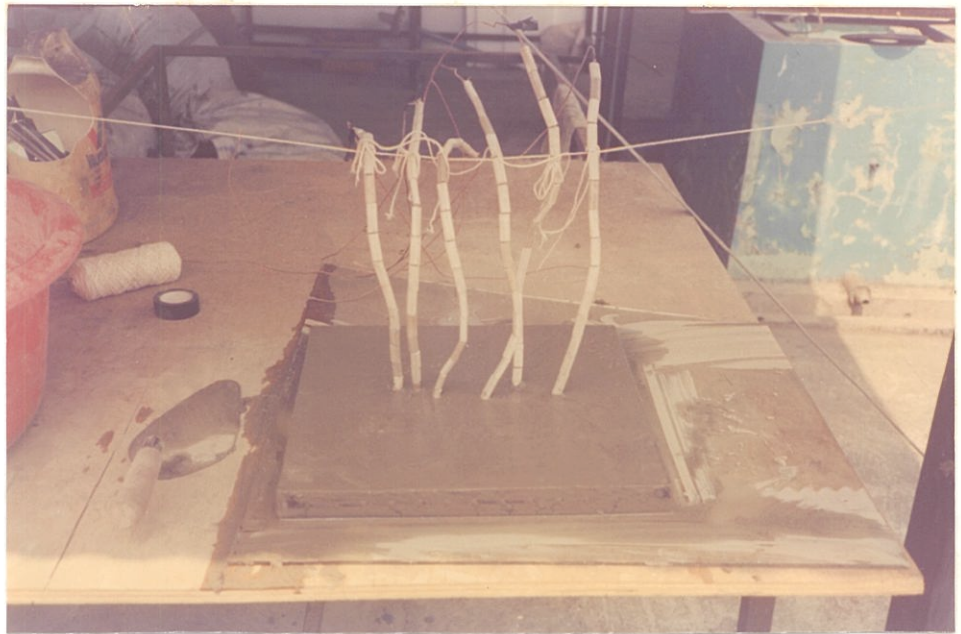


FIG. 51.- ELABORACION DEL PANEL MAS COLOCACION DE TERMOCUPLAS.

- Instalación en el horno.

Las pruebas se realizaron en un horno con quemador a gas instalado en el Lab. de Fundición de la FIM. Figura 52.



FIG. 52.- HORNO

El panel se lo eleva y se lo mantiene en el centro y perpendicular a la base del horno mediante un pedestal. Todo esto para que la llama, que entra en forma tangencial en el fondo del horno, no incida directamente contra el panel. El pedestal eleva al panel a 200 mm del fondo. Figura 53.



FIG. 53.- PANEL COLOCADO SOBRE PEDESTAL

Centrado el panel en el horno, se procede a conectar las 10 termocuplas que pasan por la abertura al graficador de temperaturas, tal como se muestra en las figuras 54 y 55.



FIG. 54.- CONECTADO DE TERMOCUPLAS

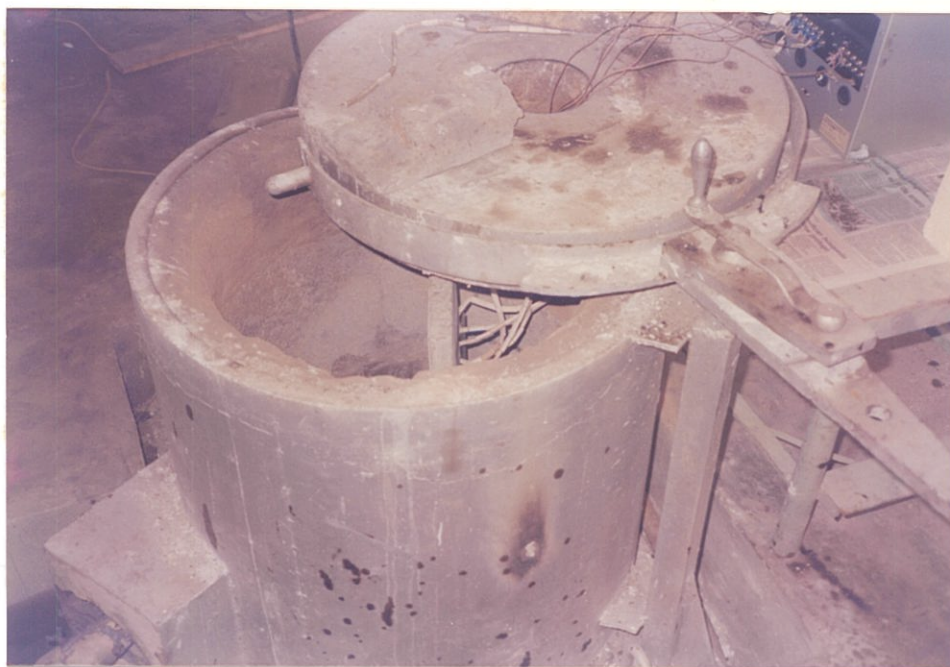


FIG. 55.- CONJUNTO INSTALADO PARA PRUEBA AL FUEGO.

- Inicio de prueba

Hecha la instalación se procede a encender el quemador. Mediante una válvula de control de flujo del gas y un cronómetro, se aproxima lo más exactamente posible las temperaturas del horno a las temperaturas indicadas en la curva normalizada "Tiempo-Temperatura". Ver figura 56.



FIG. 56.- INICIO DE PRUEBA AL FUEGO

Las lecturas de las temperaturas de las cañas y del recubrimiento se registran en el graficador. Además se realizan observaciones continuas a través de la abertura del horno. El graficador, marca

OMEGA, modelo 180A-12, tiene la capacidad de medir temperaturas hasta 1000°C en un total de 12 termocuplas, graficándolas en distintos colores. La curva de comportamiento para los paneles caña-mortero posterior a la prueba está en la figura 57.

3.8. PRUEBA DE RESISTENCIA AL MEDIO AMBIENTE

NORMA ASTM E 241-67

3.8.1. ALCANCE

El método aquí descrito consiste en poder comprobar la permeabilidad de muros, paredes, pisos y otras partes de construcciones, cuando se lo somete a una lluvia artificial creada en determinadas condiciones de caudal de agua a diversas presiones.

La presión y el caudal son variables, con el fin de estudiar la acción aislada de la lluvia y la combinada de lluvia y viento.

3.8.2. IMPORTANCIA

Ciertos tipos de cementos y morteros son empleados externamente sobre las estructuras en edificaciones de tipo industrial así como habitacionales.

Existen prácticas recomendadas aunque limitadas para evitar perjuicios mayores

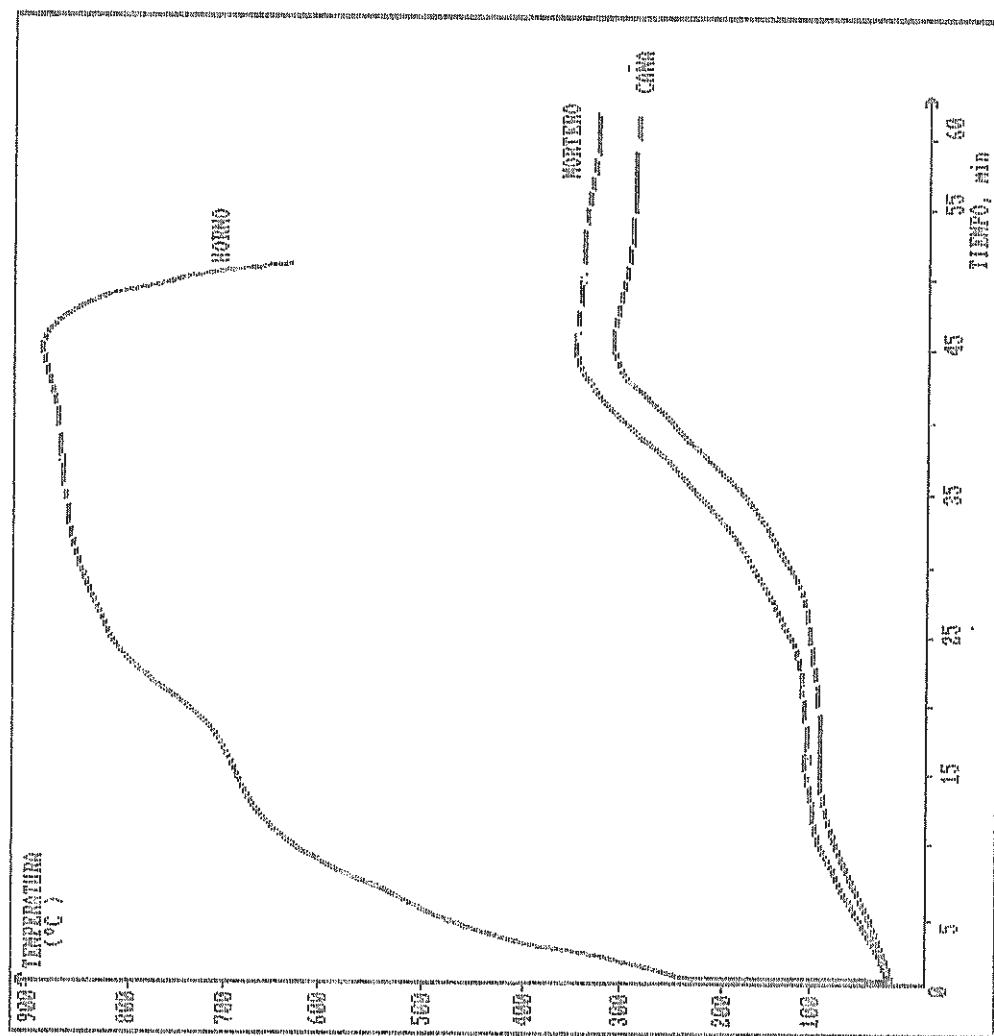


FIGURA 57.- CURVA TEMPERATURA vs. TIEMPO

debido a infiltraciones de agua a través de juntas, bloques y prefabricados.

Las infiltraciones, en su mayoría afectan de manera directa en la resistencia de una estructura o parte de esta. En otras palabras, la durabilidad podrá verse disminuida.

3.8.3. DISPOSITIVOS

a. Compresor de aire

Máquina compresora de aire, con regulador variable de presión en Kg/cm^2 o en Kilopascales.

b. Tanque.

Tanque metálico de 55 litros de capacidad, forma cilíndrica. Deberá tener entrada de aire presurizado y vía de desfogue de 1/2 pulgada para agua. Tanto la entrada de aire como la salida de agua deberán ir centradas axialmente.

c. Válvula de paso.

Válvula de control de tipo lineal; la relación entre la posición del vástago y el área de paso debe ser lineal.

d. Aspersor.

A continuación de la válvula, tipo cilíndrico con capacidad de riego para 1 m^2 .

e. Depósito.

Recipiente con contorno de caucho con área de 0.98 m^2 y capacidad de 8 litros.

3.8.4. REPORTE DE RESULTADOS

Se los harán de acuerdo a las observaciones realizadas desde el inicio de la prueba hasta el último minuto de ésta.

Se deberá detallar los comportamientos más significativos hasta algunos minutos posteriores a la finalización de la prueba.

3.8.5. PROCEDIMIENTO

- a. Cuidadosamente colocar el panel sobre el depósito, controlar que todo el contorno del depósito quede cubierto por el área de la muestra.
- b. Centrado el aspersor con relación al panel se suministra un caudal de agua que oscila entre los 0.75 y 0.85 litros/min- m^2 , durante 30 minutos.
- c. Seguidamente se suministra un caudal igual al anterior, durante lapsos de 10 minutos, empujado por una presión de aire de 4 Kg/cm^2 , luego de 15 Kg/cm^2 y después de 24 Kg/cm^2 respectivamente.

3.9. ANALISIS DE RESULTADOS

A continuación se analizará cada una de las pruebas realizadas por separado para finalmente poder hacer las correspondientes afirmaciones y conclusiones.

Prueba de adhesión del recubrimiento:

Los valores arrojados en las pruebas con solo tres días de fraguado, se presentan en la tabla II.

Los resultados nos señalan que para los morteros a base de arena-cemento únicamente, dan los valores más pequeños de esfuerzos. Dentro de este grupo el mortero 1C-1A da el valor más alto, pero su utilización en la práctica resulta antieconómica.

Es por esto que se elige el mortero 1C-2A para hacerle las mejoras añadiendo las fibras vegetales, ya que si se tomaran morteros con mayor proporción de arena, repercutirá en el acabado, durabilidad, formación de grietas y fisuras, discontinuidades, etc. Ver figura 58 y 59.

El tipo de falla típico de estos morteros es siempre superficial, es decir que el esfuerzo de adhesión interna es superior al esfuerzo de adherencia hacia la superficie.



FIG. 58.- FALLA SUPERFICIAL, MORTERO 1C-2A


 BIBLIOTECA

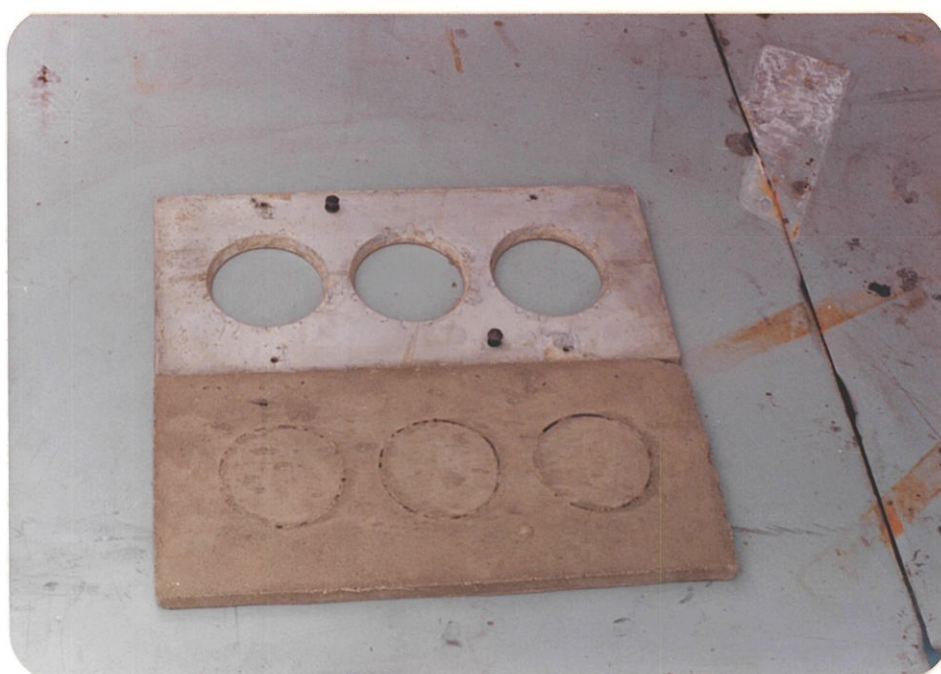


FIG. 59.- FALLA SUPERFICIAL, MORTERO 1C-3A.

En el segundo grupo, que corresponde a los morteros mejorados, los valores más altos los tienen la piedra pómez y la cascarilla de arroz. Ver figuras 60 y 61. En ambos casos la falla ocurre en el interior del mortero y no en la superficie.

Si bien el mortero con piedra pómez nos da el mayor esfuerzo, presenta la desventaja de introducir una trituradora en el proceso industrial.



FIG. 60.- FALLA INTERNA, MORTERO-PIEDRA POMEZ

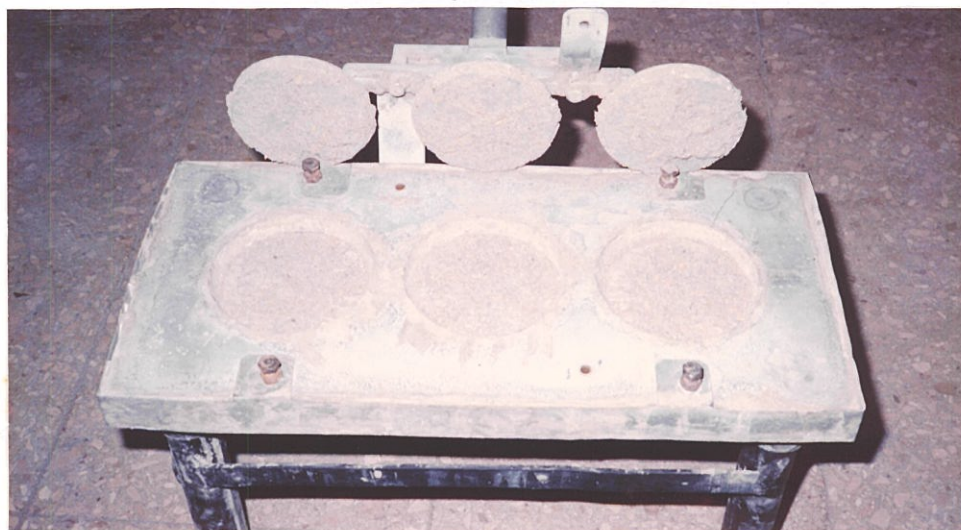


FIG. 61.- FALLA INTERNA, MORTERO-CASCARILLA DE ARROZ

En un tercer grupo se realizaron pruebas para determinar el porcentaje volumétrico óptimo de cascarilla de arroz. Un exceso de cascarilla resulta más perjudicial, lógicamente. Los resultados están en la tabla III, y se tiene como conclusión que el mortero con porcentajes volumétricos de 1 de cemento a 2 de arena y 0.4 de cascarilla de arroz obtiene los máximos valores de esfuerzo de adherencia.

La última parte consiste en determinar el valor exacto del esfuerzo, al realizarse las pruebas a los 28 días de fraguado total de la mezcla. El valor determinado se incrementa aún más, llegando a un 12% superior al de las pruebas efectuadas a tan solo 3 días de fraguado.

Todos los valores se los obtuvo de la máquina de ensayos INSTRON a través de su graficador. Este graficador nos da el valor de la carga en las ordenadas Vs. la velocidad del papel en las abcisas; velocidad que fue de 1 mm/min.

La curva típica de comportamiento para estos ensayos es la propia de los materiales frágiles. Como se indica en la figura 21, la relación entre el esfuerzo y la deformación es prácticamente lineal hasta llegar a la resistencia última del material.

El fenómeno de la fluencia no existe en el caso del concreto. Dado que los valores de esfuerzo fueron mayores para los morteros con cascarilla de arroz,

aparte de presentar la carga de falla más alta, el área bajo la curva es un poco mayor al tener una pendiente no tan pronunciada, lo que indica que es el mortero con resistencia mayor.

Prueba de compresion del recubrimiento:

Al igual que en la prueba anterior, se trabajó con las mismas variedades de mortero. De los morteros arena-cemento, se comprueba que a mayor proporción de cemento, más alto será el valor de esfuerzo de falla. Por esto, se toma otra vez la relación 1C-2A para hacerle la adición de fibras. Vale repetir que la mezcla 1 de cemento - 1 de arena, se emplea muy poco en la industria de la construcción por aumentar el costo de las obras.

Analizando los resultados de la tabla IV, tenemos que el mortero con cascarilla de arroz en un 0.4% da nuevamente el valor más alto de esfuerzo, seguido por el mortero con fibra de caña guadua.

Todas estas pruebas se hicieron a los 10 días de fraguado. El valor del esfuerzo de falla para el mortero con cascarilla de arroz se incrementa aún más al hacerle la prueba a los 28 días, de 191.25 Kg/cm² pasa a 326 Kg/cm².

La curva representativa es la indicada en la figura 25, la cual nos señala que se da un aumento en la resistencia para los morteros con agregados. La

tenacidad permanece sin muchas variaciones para todos los morteros en general.

Análisis de densidades:

El mortero con relación 1C-4A arroja el valor más bajo, entendiéndose que a mayor porcentaje volumétrico de arena, la densidad y por lo tanto el peso específico se reducen. Revisar las tablas V y VI.

A continuación el mortero 1C-2A con cascarilla de arroz al 0.4% es el que representa la densidad más baja. Este mortero a pesar de tener la relación 1C-2A, reduce su densidad de 1780.54 Kg/m³ a 1689.5 Kg/m³. Es decir que al añadir cascarilla de arroz la densidad baja en un 5.11%. Este aligeramiento no se da con ninguno de los otros morteros con agregados. Una explicación puede ser que la morfología propia de la cascarilla de arroz, al dejar un espacio libre entre ambas juntas de la cáscara, formó intersticios con aire que propician la reducción de peso.

Pruebas de esfuerzos en los paneles:

Efectuadas las pruebas de esfuerzos sobre los paneles, se analiza el comportamiento, forma de falla y se determina el esfuerzo máximo creciente y el esfuerzo de rotura. Ver tabla VII.

Compresión paralela a las latillas:

El panel mostró tener una elevada tenacidad como se observa en la figura 47. A diferencia de las paredes convencionales bloque-mortero que colapsan súbitamente, los paneles con caña guadua se presentan más elásticos y con mayor resistencia, es decir que la rotura o colapso demora en ocurrir. Lo que va sucediendo es un fisuramiento progresivo con desprendimiento del mortero de la estructura de caña.

La forma de falla típica que se dió fue la siguiente:

- 1.- Asentamiento de los bordes (ver figura 62)
- 2.- Fisuramiento vertical en el centro del panel y en los extremos laterales
- 3.- Abarrilamiento del panel
- 4.- Desprendimiento de los extremos laterales
- 5.- Desprendimiento parcial del mortero
- 6.- Falla de la estructura de caña en los extremos laterales
- 7.- Colapso

De la figura 47 se obtiene el esfuerzo máximo creciente y el esfuerzo de rotura. Se obtuvo el valor de 33.12 Kg/cm² y 9.3 Kg/cm² respectivamente.

De la información recogida sobre ensayos a paredes bloque-mortero, bloques semi-industriales o industriales, realizados por la Politécnica

Nacional, se obtuvo un valor promedio para el esfuerzo máximo creciente que oscila entre el rango de 6-28 Kg/cm² (10). Esto se debe básicamente a que los fabricantes de bloques no se rigen a ninguna norma de construcción en especial.

Comparando valores, el panel con caña 'guadua' excede en 1.9 veces al valor promedio de las paredes convencionales.



BIBLIOTECA

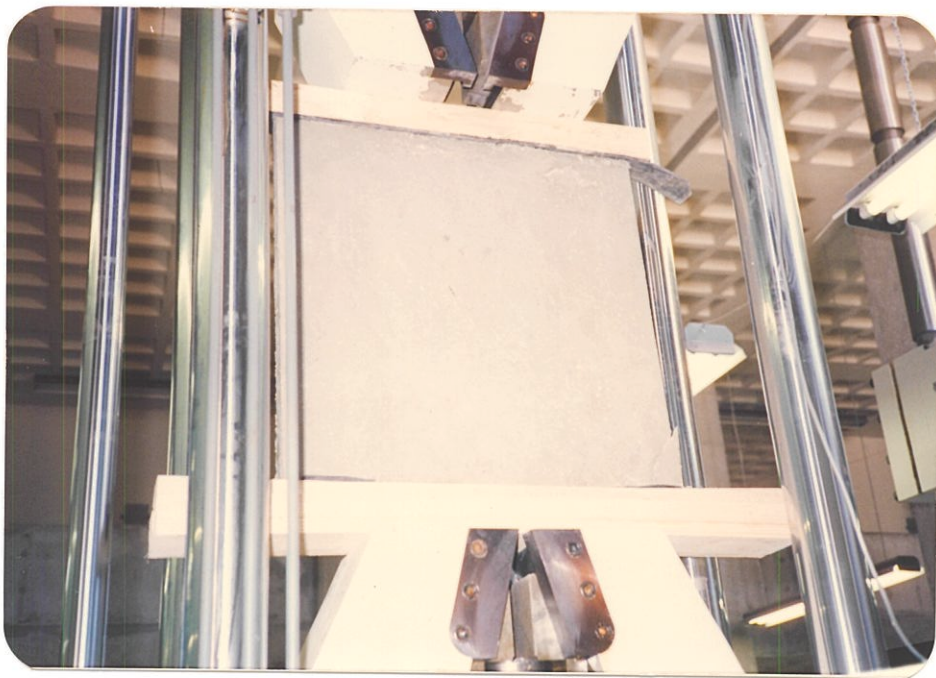


FIG. 62.- ASENTAMIENTO DE LOS BORDES DEL PANEL

Compresión perpendicular a las latillas:

El gráfico nos presenta otro tipo de curva y comportamiento. Figura 48. El área bajo la curva es menor y por lo tanto lo es su tenacidad.

La falla total se da en un menor tiempo, parecida a

la de las paredes bloque-mortero. En este caso las latillas verticales no soportan carga mayormente, motivo de que el panel falle más rápidamente. La forma de falla es la siguiente:

- 1.- Asentamiento de los bordes
- 2.- Fisuramiento horizontal en el centro y bordes
- 3.- Desprendimiento parcial del mortero
- 4.- Falla de la estructura en los extremos
- 5.- Colapso

El valor del esfuerzo máximo creciente es de 31.3 Kg/cm². El esfuerzo de rotura es a los 18.83 Kg/cm².

Compresión diagonal:

Bajo este ensayo el panel vuelve a comportarse en forma más elástica. El área bajo la curva vuelve a incrementarse, es decir que la tenacidad y la capacidad de absorber energía aumentan. Figura 49. La falla ocurre de la manera siguiente:

- 1.- Asentamiento de los bordes.
- 2.- Fisuramiento leve desde los bordes hacia el centro del panel. Figura 63.
- 3.- Ensanchamiento de la fisura diagonal. Figura 64.
- 4.- Abarrilamiento del panel
- 5.- Falla de la estructura de caña
- 6.- Colapso

El esfuerzo máximo creciente es 9.78 Kg/cm² y el esfuerzo de rotura es de 3.2 Kg/cm².

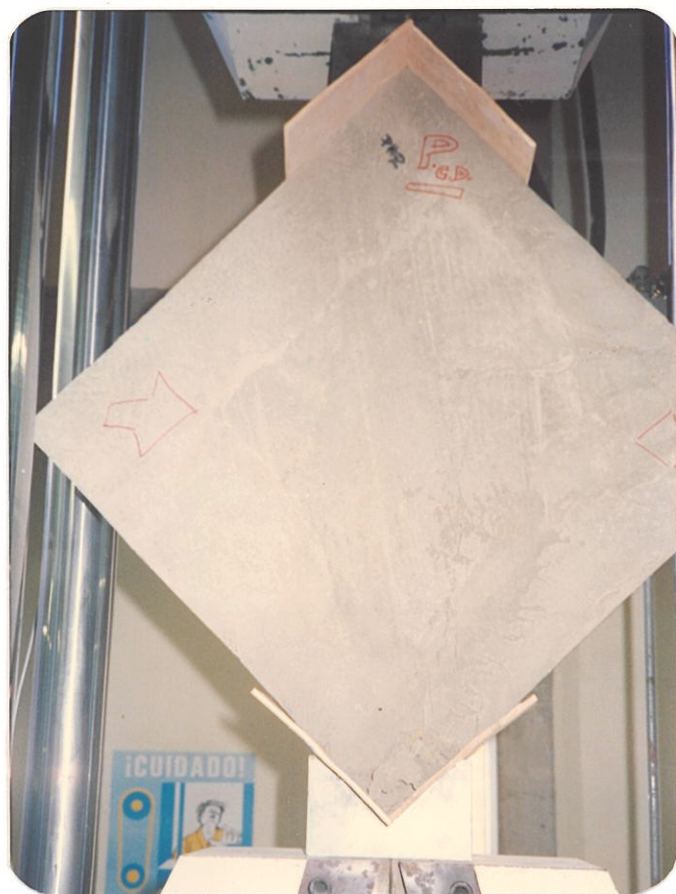


FIG. 63. FISURAMIENTO LEVE DESDE BORDES HACIA CENTRO



FIG. 64.- ENSANCHAMIENTO DE LA FISURA DIAGONAL

Los trabajos realizados por la Politécnica Nacional en muretes, fabricados con bloque y mortero, dan un esfuerzo máximo creciente de 1.721 Kg/cm². Comparando el panel con caña guadua supera al murete bloque-mortero en 5.7 veces.

Otra característica que se observa en todas estas curvas, es la forma un poco escalonada que ellas presentan. Esto significa, que durante todos los ensayos, los paneles siempre tenían etapas de estabilidad respecto a las cargas, llegando incluso a indicar incrementos en su resistencia para luego volver a ceder.

Esto nos hace ver que se trata de paneles, cuya estructura así como también el mortero que emplean, presentan una muy buena elasticidad y una gran capacidad de recuperación ante la acción de cargas mecánicas.

Prueba al fuego:

Terminadas las tres pruebas realizadas se obtuvo la curva Temperatura Vs. Tiempo que nos representa el comportamiento que tuvo el panel bajo condiciones de fuego. Figura 57. Se aproximó la temperatura del horno lo más que se pudo a la curva estandar (figura 50), llegándose a tener 852°C a los 30 minutos de encendido el horno.

El panel presentó un lapso de estabilidad entre los

10 y 23 minutos a una temperatura promedio de 110°C , para después iniciar la curva un comportamiento ascendente. A los 30 minutos la estructura de caña estuvo a 140°C aproximadamente, mientras que el relleno-recubrimiento marcaba 180°C .

La curva de la estructura de caña y la del mortero siguen su ascenso, aumentando ambos 15°C cada minuto. La caña alcanza los 270°C a los 40 minutos, el mortero está a 325°C y el horno a 880°C , y es cuando empieza la emanación de gases producto del desprendimiento de los elementos volátiles.

Paralelamente a esto comienza el agrietamiento del panel producto de la dilatación del mortero, la alta temperatura y el escape de los gases. Con estas observaciones se procede a apagar el horno. El panel continúa emanando gases durante 20 minutos más.

La diferencia de temperatura entre la estructura de caña y el mortero durante toda la prueba no sobrepasa nunca los 60°C . Sacando el panel del horno (Figura 65), se observan claramente las grietas y a través de ellas el paso de los gases.

Posteriormente se procede a romper el panel para revisar el estado de la estructura de caña. Figura 66.



FIG. 65.- PANEL PROBADO AL FUEGO



FIG. 66.- INTERIOR DEL PANEL DESPUES DE PRUEBA AL FUEGO.

La estructura de caña se ha pirolizado en su totalidad, mientras que el mortero se ha fragilizado por la temperatura, y también porque la cascarilla de arroz, que está carbonizada, no cumple ya su función de darle más resistencia y rigidez.

Vale recalcar que el agrietamiento del panel se debe en parte al escape de los gases o elementos volátiles de la caña, así como debido a que el mortero no es muy compacto, por la presencia de la cascarilla de arroz. Este agrietamiento siempre se dá en las paredes bloque-mortero debido a las dilataciones que experimenta el mortero por las altas temperaturas.



FIG. 67.- EDIFICACION ATACADA POR EL FUEGO

En la figura 67, se puede observar una edificación incendiada que muestra grietas en distintos puntos. Del comportamiento y de las observaciones durante la prueba, se concluye que el panel tiene una resistencia al fuego de 40 minutos.

Prueba de resistencia al medio ambiente:

En la primera fase del ensayo, al aplicarse un caudal de agua durante 30 minutos, no se observa ninguna modificación ni infiltración.

En la segunda parte, al aplicar agua durante 10 minutos empujada con aire a una presión de 4 Kg/cm², tampoco aparecen infiltraciones.

En la tercera fase, con presión de 15 Kg/cm², justo a los 6 minutos de someterlo a esta acción de agua-aire, aparecen pequeñas infiltraciones puntuales en el panel a nivel de los bordes.

En la última etapa de la prueba, con 24 Kg/cm² de presión de aire, a los 8 minutos de iniciada, se acentuaron las goteras en el lugar en que comenzaron las infiltraciones.

Terminada la experiencia, se observan pequeñas burbujas de aire que se forman por los poros en que filtraba el agua.

Basándose en que únicamente al final de la etapa última del ensayo, se ve un acentuamiento en las infiltraciones, y que soporta normalmente las

primeras etapas de prueba, se afirma que el panel es resistente a la lluvia combinada con viento.

CAPITULO IV

ANALISIS DE COSTOS

4.1. ETAPAS DEL PROCESO DE INDUSTRIALIZACION DE PAREDES PREFABRICADAS.

La prefabricación tiene gran importancia como técnica de construcción que sirve de instrumento para industrializar la construcción, pero debemos aclarar de principio que prefabricar no implica industrializar la construcción y que industrializar la construcción si implica prefabricar.

Prefabricar es fragmentar una estructura en distintas partes o elementos que serán contruidos en un lugar aparte, posteriormente estos elementos serán transportados al lugar definitivo donde serán izados y colocados de manera que formen una edificación completa.

4.1.1. FUNDAMENTOS BASICOS DE LA PREFABRICACION

La prefabricación de edificaciones toma auge en la post-guerra. Los países Europeos tuvieron que aplicar una nueva técnica de construcción para satisfacer las necesidades existentes producto de la devastación.

La carencia de madera y la gran demanda de edificaciones, fundamentalmente de viviendas, produjo que se aplicará esta nueva técnica de construcción.

Aunque esta carencia de madera fue determinante, el prefabricar posee dos fundamentos básicos y son de índole económico y político-social.

Económico.- Porque la productividad y rendimiento de un obrero puede aumentar de 8 a 10 veces en comparación con los métodos tradicionales debido entre otras cosas a que el obrero llega a especializarse en su puesto de trabajo por la repetición de la actividad. También tenemos que el uso eficiente de todos los recursos determinan que en conclusión sea económica la prefabricación en un país que posee una economía y desarrollo planificado, donde las crecientes necesidades y demandas de viviendas sean estables.

Político Social.- La prefabricación se basa en que su producto, en serie, es ejecutado con mejores condiciones de trabajo del obrero, pudiendo ser dentro de una industria con otra concepción de lo que es la construcción.

4.1.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA PREFABRICACION

4.1.2.1. VENTAJAS

Debemos dividir las ventajas de la prefabricación en 2 aspectos:

a.- Ventajas desde el punto de vista económico.

b.- Desde el punto de vista de la producción.

Al ser la construcción una de las ramas fundamentales de la economía del país, cualquier mejora técnica o de producción debe redundar en beneficios económicos.

VENTAJAS ECONOMICAS

Economía parcial o total de madera, producto de la eliminación en un 50% a 80% de andamiaje y encofrado y un uso repetido de moldes.

Reducción de la mano de obra, producto de la especialización de los grupos de obreros y de la organización cíclica del trabajo.

Reducción del tiempo de trabajos de ejecución, por la continuidad de los procesos productivos.

Reduce el consumo de cemento, por tener un uso controlado de este material.

VENTAJAS EN LA PRODUCCION

Permite organizar el trabajo en forma industrial.

Permite al obrero trabajar en condiciones más favorables y sin peligros.

Aumento de la calidad y de la producción en la fabricación de los elementos, aplicación de nuevas técnicas, curado, vibrado, etc.

Aumenta la calificación de la mano de obra, por la necesidad de dominio de nuevas técnicas.

Evita las interrupciones en el hormigonado por inclemencias climatológicas.

4.1.2.2. DESVENTAJAS

Entre las desventajas tenemos lo siguiente:

El no monolitismo completo de la estructura, producto de la fragmentación en varios elementos componentes.

Requiere el uso de equipos muy costosos, como los equipos de izaje y los de transporte.

Requiere plantas de producción cuya inversión inicial resulta a veces muy elevada.

4.1.3. ETAPAS DE LA PREFABRICACION

La prefabricación es un método avanzado de ejecución de obras, fundamentalmente de hormigón armado, aunque es factible su aplicación con cualquier material, ya que no es más que una técnica de construcción.

Como vemos la prefabricación no es más que la reducción del proceso de ejecución de una edificación o una operación de montaje de elementos, pre-elaborados en fábricas o plantas productoras. Se puede así considerar las etapas componentes de la prefabricación.

1. Producción de los elementos componentes
2. Transporte y almacenaje de los elementos
3. Montaje de los elementos
4. Construcción de la edificación

4.1.4. REQUISITOS A CUMPLIR EN CADA ETAPA DE LA PREFABRICACION PARA EL DISEÑO DE LOS ELEMENTOS

a.- Etapa de producción

- Simplicidad de la forma del elemento
- Tipificación del elemento para la producción en serie

- Tamaño de los elementos
 - Capacidad y alcance del equipo de izaje
 - Facilidad de transporte
 - Resistencia, durabilidad y estabilidad del elemento.
- b.- Etapa de transporte y almacenaje
- Facilidad y tipos de transporte
 - Volumen de los medios de transporte
 - Resistencia y estabilidad del elemento
 - Capacidad y alcance de los equipos de izaje
 - Correspondencia del almacenaje con la organización de la obra.
- c.- Etapa de montaje
- Capacidad y alcance de los equipos de izaje
 - Estabilidad propia del elemento
 - Capacidad de carga y volumen de los medios de transporte
 - Facilidad de la forma de izaje de los elementos
 - Método de montaje adecuado a la tipología estructural
 - Cantidad mínima de juntas y uniones que redundan en una menor cantidad de actividades de montaje.
- d.- Etapa de construcción

- Estabilidad propia del elemento
- Cantidad mínima de juntas y uniones
- Cumplimiento de las especificaciones técnicas.
- Facilidad de ejecución de uniones
- Colocación de las instalaciones y drenajes.

La omisión de cualquiera de estos requisitos produce alteraciones, aumentando el costo total de la obra.

Como se puede apreciar, la problemática de cada una de estas etapas implica un trabajo colectivo, es por ello que en la operación de un proyecto intervienen distintas ramas entre las que se encuentran: Arquitectura, Ingeniería Mecánica, Ingeniería Civil, Economía, Ing. Industrial, Tecnología, etc. Consecuentemente, el producir prefabricados a base de mortero-caña guadua, es un proyecto de grandes dimensiones que, colectivamente debe ser estudiado con otras profesiones.

4.1.5. ELABORACION DE LOS ELEMENTOS PREFABRICADOS

Establecidos los requisitos del diseño para la etapa de producción y una vez que se hayan cumplido a cabalidad viene el proceso de elaboración o fabricación. En este proceso de

elaboración se requieren ejecutar una serie de procesos que en ordenamiento y cantidad son los mismos para cualquier producción. Lo que puede variar únicamente es la técnica empleada. El ordenamiento de los procesos es el siguiente:

- Armado de la estructura
- Preparación del mortero u hormigón
- Preparación del molde
- Introducción a la estructura
- Hormigonado
- Vibrado
- Curado
- Extracción
- Transporte (interno y externo)
- Almacenaje

Un análisis completo de cada proceso es difícil de realizar por no existir una tecnología propia en el campo de la prefabricación.

4.2. ANALISIS DE COSTO - BENEFICIO APROXIMADO DE UN PANEL CAÑA-MORTERO.

El análisis de costo que se realizará será únicamente una evaluación, en base a materiales, de 1 m² de construcción tipo tradicional bloque-mortero, y luego se lo hará para 1 m² de panel a

base de caña guadua, para comparar diferencias.

Lamentablemente no se podrá hacer un análisis de costo exacto para las viviendas prefabricadas con peneles, que incluyan costo de mano de obra, inversión inicial de equipos, costo de edificaciones para la planta productora, depreciación de maquinaria de izaje, transporte, etc. por no haber información ni estudios sobre técnicas adecuadas de construcción de acuerdo a nuestro medio, así como de los equipos y maquinarias a emplearse, etc. A parte de esto no hay estudios realizados para las uniones entre paneles, columnas, vigas, instalaciones sanitarias, etc.

Como se señaló en la sección anterior, las etapas para un proceso de prefabricación implican una combinación de estudios de diferentes campos profesionales que den como resultado una industrialización de la construcción. Por estas razones la obtención del valor de una vivienda prefabricada no es posible por ahora.

4.2.1. CALCULO DE COSTOS

4.2.1.1. PARED BLOQUE-MORTERO

El siguiente cálculo se lo realizó de acuerdo a los costos vigentes en Enero de 1989, para la pared bloque-mortero más usada en los programas

habitacionales. Esta pared emplea bloques semi-industriales, mortero 1 cemento-3 arena (relación en volumen) y enlucido a ambos lados de 2.5 cm de espesor. A continuación se desglosan los costos unitarios de cada elemento:

Cemento

Enlucido: 45.45Kg - 16m² de enlucido
 2.48Kg - 1m² de enlucido
 de 1 lado
 5.70Kg - 1m² de enlucido
 de 2 lados

Manposteria:

45.45Kg - 15m² empleando
 bloques
 3.03Kg - 1m²

Total cemento en 1 m²:

= 5.70Kg + 3.03 Kg
 = 8.73 Kg

Costo cemento:

50.00Kg - S/. 517
 8.73Kg - S/. 90.26

Costo Cemento = S/. 90.26

Arena

Enlucido: 18.24Kg - 1m² ambos lados
 enlucido

Manposteria:

$$9.70\text{Kg} - 1\text{m}^2$$

Total Arena en 1 m²:

$$= 18.24\text{Kg} + 9.70 \text{ Kg}$$

$$= 27.94 \text{ Kg}$$

Costo Arena:

$$36.40\text{Kg} - \text{S/}. 100.00$$

$$27.94\text{Kg} - \text{S/}. 76.77$$

$$\text{Costo Arena} = \text{S/}. 76.77$$

Bloques

$$12.5 \text{ bloques} - 1 \text{ m}^2$$

$$\text{Costo unitario} = \text{S/}. 40.00$$

$$\text{Costo bloques} = \text{S/}. 500.00$$

Perdidas

Las perdidas llegan al 40%, es decir que una parte del mortero cae desperdiciado al suelo, producto de salpicaduras y excedentes.

Costo Total

$$\text{Costo Total} = \text{Cemento} + \text{Arena} + \text{Bloques} + \text{Perdidas}$$

$$\begin{aligned} \text{Costo Total} &= \text{S/}. 90.26 + \text{S/}. 76.77 \\ &+ \text{S/}. 500 + \text{S/}. 66.8 \end{aligned}$$

$$\text{Costo total para } 1\text{m}^2 = \text{S/}. 734$$

4.2.1.2. PANEL MORTERO - CASCARILLA DE ARROZ - CAÑA GUADUA

La cantidad de cada elemento del panel se determinó durante la construcción de cada panel. Los precios de cada elemento corresponden a Enero de 1988.

Cemento

10.95 Kg - 1 m²

Costo Cemento:

50.00 Kg - S/. 517.0

10.95 Kg - S/. 113.2

Costo Cemento = S/. 113.2

Arena

24.08 Kg - 1 m²

Costo arena

36.40 Kg - S/. 100.00

24.08 Kg - S/. 66.15

Cascarilla de arroz

0.325 Kg - 1 m²

0.325 Kg - S/. 0.36

Costo por gastos de transporte

Caña guadua

Costo de 1 caña

S/. 90.0 (Ciudad)

S/. 40.0 (Campo)

Largo promedio = 6 mts

Costo de latillas

6 mt - S/. 50.00

1 mt - S/. 15.00

Se pone un precio de S/. 50.00 considerando que se la obtiene directamente del productor más el gasto de transporte.

1 mt. de caña da 20 latillas aproximadamente.

Costo de 1 latilla = S/. 0.75

En 1 m² de estructura entran 40 latillas.

Costo de caña en 1 m² = S/. 30.0

Costo Total

Costo total = Cemento + arena + caña
quadua + cascarilla de
arroz.

Costo total = S/. 113.2 + S/. 66.15
+ S/. 30 + (sin precio
aún)

Costo total para 1m² = S/. 209.35

Haciendo una comparación, se observa que sólo en lo que respecta a materiales, el panel a base de caña quadua y cascarilla de arroz es aproximadamente 3.5 veces más barato que una pared convencional bloque-

mortero.

Cabe señalar que la fabricación del panel no presenta pérdidas.

Ademas el costo de los bloques está en dependencia con el del cemento, lo que no ocurre con la caña guadua que se mantiene constante hace casi tres años.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

Debido a que el problema de las viviendas en el Ecuador es crítico y tiende a agudizarse, debe de ser atendido de una manera más técnica, práctica y objetiva.

De este trabajo se concluye que:

- En nuestro País existen las materias primas necesarias para poder investigar en alternativas de solución al problema habitacional. Entre ellas, el recurso caña guadua en el Ecuador debe ser aprovechado al máximo al igual que el recurso cascarilla de arroz.
- La cascarilla de arroz es un agregado que a parte de aligerar el mortero, mejora su esfuerzo de adherencia y compresión. Así mismo, el recubrimiento de mortero-cascarilla de arroz evita una acción rápida del fuego sobre la estructura de caña.
- Los valores de resistencia de los paneles superan a las paredes bloque-mortero tradicionales en un 350%.
- El costo de los materiales por m² para un panel es menor al de las paredes bloque-mortero en un 350%.
- El panel de caña guadua es una alternativa para producir viviendas populares.

El gobierno y la empresa privada colaborando conjuntamente en la formación de una empresa mixta puede ser un buen punto de partida.

Lo trascendental es que ya se dió el primer paso en la investigación de la fabricación de paneles con materias

primas netamente nacionales. Los resultados obtenidos son ya un inicio y sólo cabe recalcar que los estudios, así como las pruebas preliminares sirven de fundamento e incentivo para que las inversiones se den, y pueda fundarse en un futuro no muy lejano una de las industrias que posiblemente de soluciones definitivas al problema de vivienda que es tan grave en nuestro país.

Recomendaciones:

- Se debe proseguir la investigación para determinar el tamaño definitivo del panel que se empleará en las viviendas prefabricadas.

Se debe instalar un laboratorio completo con equipos de prueba normalizados, ya que es primordial para la investigación y diseño de paneles de bajo costo garantizados.

- Se debe industrializar la producción de viviendas para poder aliviar la demanda nacional. La instalación de esta industria de prefabricados debe hacerse en base a tecnologías y conocimientos ya existentes en otros países, para adaptarlas a nuestro medio.

APENDICE A

DIMENSIONAMIENTO Y SISTEMA MODULAR

Conceptos e historia

El objetivo a largo plazo de este estudio es el de llegar a la instalación de una industria de prefabricados que ofrezca viviendas a reducido costo, por lo tanto se debe de tener conocimiento integral de todo lo que involucra un proceso industrial para producir todo tipo de prefabricados. Está hoy en día admitido que la industrialización de la construcción es, para la mayoría de los países, la clave que permitirá resolver el problema habitacional (7). La historia de esta industria demuestra claramente que no es posible lograr una verdadera industrialización sin una normalización de los productos; y en la industria de la construcción no puede lograrse esa normalización sin una aplicación sistemática de la coordinación dimensional-modular.

Pasemos a definir ciertos términos para una mayor comprensión:

- Sistema modular: Conjunto de reglas que coordinan las dimensiones de las partes y elementos de una construcción basadas en el empleo de módulos.
- Coordinación modular: Armonía que debe de existir entre las distintas partes y elementos de una construcción.
- Módulo: Unidad de longitud establecida como base en la coordinación de las dimensiones en las construcciones.

Se tiene conocimiento que casi todos estos conceptos tuvieron su origen en Grecia y Roma en donde se conocía y



aplicaba un sistema conveniente de medidas basadas en una específica, que sería patrón o "modulus", para la coordinación estética de las dimensiones arquitectónicas, fijada arbitrariamente para cada edificio.

La revolución industrial, en el siglo XVIII, requirió la unificación de medidas de modo que se justificara el intercambio de productos como herramientas, máquinas y repuestos. En el año 1792 se proponen las bases del sistema métrico decimal como forma de protesta ante el confusionismo existente en las medidas. Este sistema no es sino otro sistema modular de medidas, en el cual se elige como patrón o módulo al metro.

Con todos estos antecedentes es que se pensó en el sistema de coordinación modular, como en el medio de racionalizar la industria de la construcción. Poco antes de la Segunda Guerra Mundial, Albert F. Bemis formuló en los Estados Unidos la idea básica de una coordinación dimensional completa en la industria de la construcción, mediante la utilización de componentes cuyas dimensiones fuesen múltiplos de una unidad fundamental, el módulo, cuya longitud, propuso Bemis, de 4 pulgadas. Paralelamente se ideó en Alemania un sistema "Octamétrico de coordinación dimensional, con un módulo básico de 12.5 cm. Igualmente en Suecia se estaba trabajando con un módulo de 10 cms en la misma época.

Desde entonces en casi todos los países industrializados se mantienen vigentes estos sistemas como parte

constitutiva de la industria de la construcción.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Habitat Research, Lund University, Suecia, 1985.
- 2.- H. Moeller, Plan Pioneros para el Ecuador (1^{ra} edición; Guayaquil: Moeller, 1985), pp. 1-8.
- 3.- Botánica Trópical, Peter Maas, Tsampa Co. Inc., 1973.
- 4.- Botánica, Samuel A. Reiter, Montana, 1974.
- 5.- Seminario Internacional de La Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Junio 4-7, 1987, "La Bambusa Guadua" (Ambato: Facultad de Ingenieria Civil, 1987), pp. 1-5
- 6.- Recurso Caña Guadua, Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1985.
- 7.- Conferencias, Coordinación modular y Prefabricación de edificios, Guayaquil, Septiembre 15-20, 1986, "Producción, Productividad y Rendimiento por Ing. Vitervo A. O'Reilly Dr. Sc." (Guayaquil: Facultad de Arquitectura y Urbanismo, 1986), pp. 1-30.
- 8.- Torres G. Patricio, "Comunicación Personal", Facultad Ingeniería Civil, Politécnica Nacional, Quito, 1988.

- 9.- Marks Manual del Ingeniero Mecánico, Volumen III (México: McGraw-Hill, Inc., U.S.A., 1987).
10. E. P. Popov, Introducción a la Mecánica de Sólidos (México: Editorial Limusa, 1980), pp. 127-172.
11. F. L. Singer, Resistencia de Materiales (USA: Harper & Row Latinoamericana, 1971), pp. 45-71.
12. J. E. Shigley, Diseño en Ingeniería Mecánica (New York: McGraw Hill, Inc., 1983).
13. L. H. Van Vlack, Materiales para Ingeniería (México: 1981).