

UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

DISEÑO DE PANEL DIVISORIO DE CONCRETO CELULAR

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

Presenta:

BERNARDO LECHUGA ESTRADA

Asesor de tesis:

Dr. Roberto Suárez Orduña

LOMA BONITA, OAXACA, MAYO 2015



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN INGENIERÍA EN DISEÑO

LA PRESENTE TESIS TITULADA "**DISEÑO DE PANEL DIVISORIO DE CONCRETO CELULAR**", PRESENTADA POR EL PASANTE BERNARDO LECHUGA ESTRADA DE LA DR. ROBERTO SUÁREZ ORDUÑA, HA SIDO REVISADA Y ACEPTADA POR EL JURADO EXAMINADOR PARA SER DEFENDIDA EN EL EXAMEN PROFESIONAL Y OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO.

JURADO EXAMINADOR

DR. ROBERTO SUÁREZ ORDUÑA
ASESOR

DRA. LAURA PATRICIA RIVAS VÁZQUEZ
REVISOR (A)

DR. AXEL VILLAVICENCIO TORRES
REVISOR

M.B.A ENRIQUE VALDES PLIEGO
REVISOR

M.C. RICARDO ACEVEDO GÓMEZ
REVISOR

LOMA BONITA, OAXACA, MAYO 2015.

DEDICATORIA.

Muchas cosas he vivido a lo largo de esta etapa, tanto como malas como buenas, las cuales me llenaron de experiencias y me hicieron ver de otra manera las decisiones que tomé durante todo este trayecto. Conocí personas que estuvieron conmigo en todo momento, tanto amigos, compañeros, profesores; de los cuales me siento honrado de haber conocido y haber aprendido un poco de cada uno de ellos. Gracias por estar conmigo durante todo este trayecto.

Agradezco y dedico esta tesis **a mis padres** ya que fueron las personas que me apoyaron en todo este camino, el cual no fue fácil para ellos y sin embargo nunca dejaron de brindarme su apoyo incondicional. Muchas gracias por confiar en mí hasta el día de hoy y darme todo su amor, los amo a los dos.

Le doy gracias **a mi hermana**, la única y mejor hermana que tengo, por apoyarme cuando lo pudo hacer; te quiero mucha hermana.

Gracias **a mis amigos que conocí en la universidad** con los cuales conviví y tuve muy buenos ratos hasta el día de hoy, de igual manera brindé mi apoyo y ellos me brindaron el suyo, muchas gracias.

Le doy gracias **a mis amigos de siempre, Stephanie, Gustavo y Eduardo** los cuales han estado ahí conmigo, de diferente manera cada quien ha sabido ser el amigo que se le ha requerido ser conmigo, muchas gracias por todo.

AGRADECIMIENTOS.

A la **Universidad del Papaloapan** por el apoyo brindado durante la carrera y la culminación de mis estudios.

Agradezco al **Dr. Julián Hernández Torres** por el apoyo a la microscopía realizada en el Instituto de Micro y Nanotecnología de la Universidad Veracruzana.

Le doy las gracias al **Dr. Roberto Suárez Orduña**, por ser mi asesor de tesis, por su tiempo, dedicación, paciencia y enseñanzas las cuales fueron fundamentales para la culminación de la tesis, y sobre todo le agradezco por la confianza brindada.

Agradezco a la **Dra. Laura Patricia Rivas Vázquez** mi jefa de carrera por brindarme de su apoyo y motivarme para el término de esta tesis muchas gracias.

A mis revisores de tesis **Dr. Axel Villavicencio Torres, M.C. Ricardo Acevedo Gómez, Dra. Laura Patricia Rivas Vázquez, M.B.A. Enrique Valdés Pliego**, muchas gracias por su apoyo y recomendaciones para el término de esta tesis.

RESUMEN

El objetivo general de este proyecto es explicar los procesos que se llevaron a cabo para la elaboración de los paneles divisorios de concreto celular como también la explicación de la experimentación llevada a cabo, además de la caracterización del concreto celular.

El concreto celular se puede definir como una mezcla con estructura más o menos homogénea de silicatos de calcio en granos finos que contiene pequeñas burbujas de aire no comunicadas entre sí, es un material de peso ligero que puede ser elaborado con o sin agregados, adicionando solo un gas o una espuma que reacciona químicamente.

El objetivo general fue diseñar un panel de concreto celular para obtener un material de fácil instalación y que nos brinde confort por medio de sus propiedades térmicas.

Finalmente se elaboraron paneles de concreto celular con un porcentaje de 1% de aluminio de agregado, el cual brinda una resistencia a la compresión de 91.14 kg/cm^2 a comparación con el aumento del porcentaje de polvo de aluminio que disminuye la resistencia del material, logrando con esto disminuir la densidad del material y logrando una porosidad para que sea utilizado como material base en la manufactura de paneles divisorios ligeros ya que puede ser una alternativa de bajo costo para la construcción de aislantes térmicos de espacios habitables debido a sus características de baja conductividad térmica, y baja densidad, además presentara una elevada resistencia mecánica.

ABSTRACT

The overall objective to this project is to explain the processes that are carried out in the elaboration of cellular concrete dividing panels, and also the explains the experiments carried out in addition to characterization of cellular concrete.

Cellular concrete can be defined as a mixture of structure with approximately homogeneous of fine grains of silicates of calcium that contain small unattached air bubbles, the material is light weight and can be prepared with or without aggregates, simply by adding a gas or a foam that reacts chemically.

The general objective was to design a panel of cellular concrete that is easily installed and that provides comfort through its thermal properties.

Finally, the cellular concrete panels were developed with an addition of 1% percent aluminum, which provides a compressive strength of 91.14 kg/cm² in comparison to the increase of the percentage of aluminum powder which decreases the strength of material, thus achieving a decrease in density. Cellular concrete is to be used as a base material in the manufacturing of light already lightweight dividing panels that can be a low-cost alternative for the construction of thermal insulating habitable spaces due to their characteristics of low thermal conductivity, and low density, it will also present a high mechanical resistance.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
PARTE I. ANTECEDENTES.....	2
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO.....	3
1.1 ANTECEDENTES DEL CONCRETO.....	3
1.2 CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS.....	4
CAPÍTULO 2. PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA.....	6
2.1 PLANTEAMIENTO.....	6
2.2 JUSTIFICACIÓN.....	7
2.3 OBJETIVOS.....	7
2.3.1 Objetivo General.....	7
2.3.2 Objetivos Específicos.....	7
PARTE II. INVESTIGACIÓN.....	8
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	9
3.1 PREPARACIÓN DE MUESTRAS.....	9
CAPÍTULO 4. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	11
4.1 PREPARACIÓN DE MUESTRAS.....	11
4.1.1 Cuantificación para la realización de la mezcla.....	11

Ingeniería en diseño
DISEÑO DE PANEL DIVISORIO DE CONCRETO CELULAR

4.1.2	Mezcla con 0% de polvo de aluminio.....	11
4.1.3	Mezcla con 7% de polvo de aluminio.....	12
4.1.4	Mezcla con 5% de polvo de aluminio.....	13
4.1.5	Mezcla con 3% de polvo de aluminio.....	14
4.1.6	Mezcla con 1% de polvo de aluminio.....	15
CAPÍTULO 5. CARCTERIZACIÓN DE MUESTRAS.....		16
5.1	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	16
5.2	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.....	18
5.3	ULTRASONIDO.....	19
5.4	CORROSIÓN.....	21
5.5	PRUEBA DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO.....	23
5.6	PRUEBA DE RESISTIVIDAD.....	24
CAPÍTULO 6. DISEÑO Y DESARROLLO DE PANEL.....		25
6.1	DISEÑO DE PANEL.....	25
6.1.1	Propuesta 1.....	25
6.1.2	Propuesta 2.....	26
6.1.3	Propuesta 3.....	26
6.1.4	Propuesta 4.....	27
6.1.5	Propuesta 5.....	28
6.2	DISEÑO DE PROPUESTA FINAL DEL PANEL DIVISORIO.....	29
6.3	MODELADO DE PANEL EN 3D.....	30

Ingeniería en diseño
DISEÑO DE PANEL DIVISORIO DE CONCRETO CELULAR

6.4	DISEÑO Y DESARROLLO DE MOLDE.....	32
6.5	ELABORACIÓN DEL PANEL DE CONCRETO-ALUMINIO.....	34
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		37
7.1	CONCLUSIONES.....	37
7.2	RECOMENDACIONES.....	38
REFERENCIAS.....		39
ANEXOS.....		41

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1	Esquema del proceso de la caracterización de material.....	10
Fig. 2	Mezclado del material al 7% de polvo de aluminio.....	12
Fig. 3	Reacción de la muestra con 7% de polvo de aluminio.....	13
Fig. 4	Reacción de la muestra con 5% de polvo de aluminio.....	14
Fig. 5	Reacción de la muestra con 3% de polvo de aluminio.....	14
Fig. 6	Reacción de la muestra con 1% de polvo de aluminio.....	15
Fig. 7	Prensa hidráulica.....	16
Fig. 8	Prueba de conductividad térmica.....	18
Fig. 9	Equipo para realización de prueba de ultrasonido.....	19
Fig. 10	Prueba realizada a cilindro de concreto-polvo de aluminio.....	20
Fig. 11	Resultado de prueba de ultrasonido a concreto convencional.....	20
Fig. 12	Resultado de prueba de ultrasonido a concreto-polvo de aluminio 1%.....	20
Fig. 13	Prueba de corrosión realizada a panel de concreto.....	21
Fig. 14	a) Gráfica de primera prueba de corrosión de panel, b) Gráfica de segunda prueba de corrosión de panel.....	22
Fig. 15	Fotografía de concreto-polvo de aluminio a 140 X, b) Fotografía de concreto-polvo de aluminio a 5000 X.....	23
Fig. 16	Prueba de resistividad eléctrica a panel de concreto-polvo de aluminio con porcentaje a 1%.....	24
Fig. 17	Boceto propuesta 1.....	25

Ingeniería en diseño
DISEÑO DE PANEL DIVISORIO DE CONCRETO CELULAR

Fig. 18	Boceto propuesta 2.....	26
Fig. 19	Boceto propuesta 3.....	26
Fig. 20	Boceto propuesta 4.....	27
Fig. 21	Modelado propuesta 4.....	27
Fig. 22	Boceto propuesta 5.....	28
Fig. 23	Modelado 3D en AutoCAD.....	28
Fig. 24	Dimensiones de panel. Acotación: cm Escala: S/E.....	29
Fig. 25	Vista lateral de panel. Acotación: cm Escala: S/E.....	30
Fig. 26	Ejemplo de pared armada con paneles.....	31
Fig. 27	Ejemplo de construcción utilizando los paneles.....	31
Fig. 28	Vistas de molde. Acotación: cm Escala: S/E.....	32
Fig. 29	Piezas del molde para realización de cajón. a) Cajón para molde, b) Perspectiva de la forma que obtuvo el molde, c) Polín seccionado.....	33
Fig. 30	Paneles colados. a) Panel fracturado, b) Panel no logrado.....	34
Fig. 31	Elaboración de panel con refuerzo de malla electro soldada. a) Molde con malla colocada, b) Vaciado del panel. c) Careado del panel, d) Observación de reacción de mezcla dentro del molde.....	35
Fig. 32	Panel terminado para su montaje.....	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Tabla1. Tabla de proporciones de material.....	11
Tabla1. Pruebas de compresión.....	17
Tabla1. Pruebas de conductividad térmica.....	19

INTRODUCCIÓN

Actualmente el concreto es el material más utilizado para la industria de la construcción en la realización de losa de entrepiso o azotea, ya que estas están diseñadas para soportar cargas vivas y muertas. Estas cargas son transmitidas hacia trabes, columnas, y por último a los cimientos, además las características que posee el concreto, tales como densidad, resistencia a la compresión y resistencia a la tracción, hacen de este material la opción más adecuada (Cervantes Abarca, Alejandro; 2008).

En este sentido, debido a su amplio uso, el concreto ha sido objeto de diferentes estudios, para mejorar o modificar sus propiedades. Una de las vertientes que se han seguido es el desarrollo de concreto celular. El concreto celular se puede definir como una mezcla con estructura más o menos homogénea de silicatos de calcio en granos finos que contiene pequeñas burbujas de aire no comunicadas entre sí, es un material de peso ligero que puede ser elaborado con o sin agregados, adicionando sólo un gas o una espuma que reacciona químicamente.

Está formado por poros de aire micro y macroscópicos, uniformemente distribuidos en la pasta de cemento. Esta estructura es muy importante para determinar las propiedades físicas del material: bajo peso, conductividad térmica, resistencia al fuego, a la compresión y a la congelación.

En lo mencionado con anterioridad, en este trabajo se estudió la obtención de concreto celular, a partir de la adición de polvo de aluminio. Se realizaron pruebas sustituyendo parte del agregado por polvo de aluminio en proporciones de 7%, 5%, 3% y 1% en volumen con relación a la arena en el concreto, los resultados obtenidos dan como el porcentaje óptimo la mezcla realizada con el 1% de polvo de aluminio ya que los estudios elaborados en el laboratorio mediante fabricación de cilindros dieron los resultados esperados.

PARTE I
ANTECEDENTES

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES DEL CONCRETO

El concreto celular se puede definir como una mezcla con estructura más o menos homogénea de silicatos de calcio en granos finos que contiene pequeñas burbujas de aire no comunicadas entre sí. Es un material de peso ligero que puede ser elaborado con o sin agregados, adicionando sólo un gas o una espuma que reacciona químicamente (Rivera L., Gerardo A.; 2012).

Está formado por poros de aire micro y macroscópicos, uniformemente distribuidos en la pasta de cemento. Esta estructura es importante para determinar las propiedades físicas del material: bajo peso, conductividad térmica, resistencia al fuego, compresión y congelación (Rivera L., Gerardo A.; 2012).

El concreto celular aireado está compuesto de arena, agua, cemento y espuma, tiene una densidad entre: 350 kg/m^3 y 900 kg/m^3 , este tipo de productos es especial para rellenos fluidos, protecciones térmicas y acústicas sobre terrazas y bloques prefabricados divisorios.

Existen dos tipos o sistemas de fabricación del concreto celular:

- Químicamente: Consiste en añadir agentes químicos con el fin de buscar reacciones formadoras de hidrógeno en la mezcla de mortero o concreto, este principio es usado en plantas industrializadas de alta producción y básicamente consiste en adicionar compuestos de aluminio, este reacciona con algunos componentes del cemento y forma hidrógeno el cual efervece en la masa

cementante, el uso de este sistema está limitado a plantas de prefabricado y la fase de terminación, fraguado / curado; a base de autoclaves de alta o de baja presión con el fin de obtener un producto de calidad.

- Aire Inyectado / Espuma Preformada. Existen dos formas de inyectar el aire, una con aditivos especiales incorporando aire, los cuales se adicionan directamente a la mezcla, pero, debe tenerse mucho cuidado con la densidad, ya que esta puede fluctuar en rangos o parámetros muy amplios, su mayor uso es para rellenos sin importar la resistencia.

Entre las principales propiedades del concreto celular se tienen:

- Absorción
- Resistencia al fuego
- Durabilidad
- Microclima
- Montaje rápido
- Aislamiento acústico
- Compatibilidad ambiental
- Versatilidad
- Economía
- Protección

1.2 CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS

Los concretos ordinarios preparados con agregados de alto peso específico y elaborado de manera de obtener con el cemento y el agua una masa tan compacta como sea posible. Se caracterizan por su elevado peso específico, su gran resistencia mecánica y por ser impermeables al agua y al aire y relativamente buenos conductores de los ruidos y del calor.

En términos generales, estas propiedades son tanto más acentuadas cuanto más denso y compacto es el hormigón.

Por el contrario, los concretos livianos presentan como principal característica su reducido peso específico y su elevada capacidad como material aislante térmico. Esta aumenta a medida que disminuye el peso específico y la resistencia mecánica.

Teniendo en cuenta que en la elaboración de concretos livianos, es posible hacer variar el peso específico entre límites muy amplios, es fácil comprender la gran diversidad de productos que puede obtenerse.

Es conveniente adaptar el peso específico y la resistencia del producto a elaborar a la función que han de desempeñar dentro de la construcción los elementos a ejecutarse y, algunas veces, supeditar aquellas características a las condiciones de transporte y de manipuleo entre otras, que pueden exigir un mínimo de resistencia al concreto. También pueden intervenir otros factores, por ejemplo la importancia de la retracción a veces considerable para ciertos hormigones livianos, el comportamiento a la intemperie, a la penetración de la lluvia, a la ascensión capilar de la humedad, etc. (<http://www.icpa.org.ar/publico/files/hormliv2.pdf> *Hormigones Livianos*).

Los materiales

Se recomienda seguir las normas para cada material, así como para los ensayos. Con respecto al polvo de aluminio debe estar libre de impurezas.

Los agregados

Debe estar compuesto de partículas limpias y compacta libre de materia orgánica u otras sustancias dañinas. Deben cumplir la especificación granulométrica.

El concreto

Se debe cuidar la característica del concreto celular usando el método de control en la mesa de sacudidas o fluidez con la finalidad de dar conformidad al concreto.

Para el concreto celular no se recomienda la utilización de agregados gruesos porque no pueden ser suspendidos fácilmente por las burbujas de gas. Al ser llenados los moldes con concreto celular se cuidara de no llenar al tope ya que en el proceso de reacción química, el concreto sufre una expansión, debido a la liberación de hidrógeno.

Polvo de aluminio

Los bloques de concreto celular, no representan ningún peligro, porque el polvo de aluminio ya reaccionó con el hidróxido de calcio, y se forma el aluminato tricálcico, que no representa ningún riesgo. (Universidad nacional de ingeniería).

CAPÍTULO 2

PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

2.1 PLANTEAMIENTO

En la región del Papaloapan oscilan temperaturas de calor entre 25°C y 45°C (Instituto de biología y editado por la UNAM). Es por ello que se buscan alternativas de materiales que reduzcan estos cambios de temperatura.

Se planteó el desarrollo de paneles utilizando concreto celular los cuales puedan ser utilizados para la construcción de muros divisorios o paneles de recubrimiento, con la finalidad de reducción en la transferencia del calor al interior de las edificaciones.

2.2 JUSTIFICACIÓN

El concreto en la actualidad es el material más usado para la construcción, sin embargo, por su realización con cemento portland, agua y agregados estos elementos hacen que la mezcla tenga una alta densidad y que llegue a ser muy compacta, por lo tanto llega tener un elevado peso específico.

Con base en lo anterior se propuso elaborar un material menos denso y por consiguiente menos pesado; y por otra parte debido a la ligereza y a la cantidad de poros que presenta puede tener características de un aislante térmico.

2.3 OBJETIVOS

2.3.1 Objetivo General

Diseñar un panel de concreto celular para obtener un material de fácil instalación y que nos brinde confort por medio de sus propiedades térmicas.

2.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar propiedades del concreto celular.
- Obtener material de concreto celular con características de aislante térmico
- Determinar las características, para el diseño del panel aislante térmico.

PARTE II
INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1 PREPARACIÓN DE MUESTRAS

El proceso de elaboración de la mezcla de concreto-aluminio constó en la preparación de mezcla realizada con material previamente seleccionado para la obtención de muestras y así poder realizar las pruebas con más regularidad y exactitud, esta consta en agregar la grava, arena y cemento hasta lograr fusionarlos de forma uniforme. Ya unidos los elementos se agregó el polvo de aluminio hasta obtener la combinación homogenizada, se vertió el agua de manera gradual hasta que la mezcla tuvo la consistencia y el revenimiento adecuado para su uso en la construcción de las muestras.

En este proyecto se realizaron distintas mezclas con proporciones diferentes sustituyendo el polvo de aluminio con relación a la arena en el concreto, esto da diferentes resultados los cuales son comparados mediante estudios realizados en laboratorio, estas muestras fueron clasificadas sucesivamente al porcentaje utilizado de polvo de aluminio los cuales fueron 7%, 5%, 3% y 1% ya que la añadidura del mismo nos aporta distinta reacción en la mezcla elaborada con el procedimiento que se muestra en la Fig. 1 del compuesto concreto-polvo de aluminio.



Fig. 1. Esquema del proceso de la caracterización de material

Fuente: Propia

CAPÍTULO 4

DISEÑO EXPERIMENTAL

4.1 PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Se recolectaron los materiales a ocupar para la obtención de las muestras los cuales fueron grava de ¾", arena de río, cemento Portland Cruz Azul, agua y polvo de aluminio con un 99% de pureza provisto por la empresa Alquimia mexicana, S. de R.L.

4.1.1 Cuantificación para la realización de la mezcla

Las proporciones que se usaron para el desarrollo de las muestras de concreto-polvo de aluminio se muestran en la (Tabla 1).

Material	Porcentaje de aluminio utilizado				
	0%	1%	3%	5%	7%
Agua	5	5	5	5	5
Cemento	8	8	8	8	8
Arena	13.04	12.91	12.65	12.388	12.1272
Grava	21.38	21.38	21.38	21.38	21.38
Desecho	0	0.13	0.39	0.652	0.9128

Tabla 1. Tabla de proporciones de material. Fuente: Propia

4.1.2 Mezcla con 0% de polvo de aluminio.

La primer muestra se elaboró con un porcentaje al 0% de aluminio lo primero que se hizo fue mezclar los materiales secos primero grava y arena hasta que quedo totalmente homogénea, así después se procedió a mezclar el cemento con la grava y arena para después aplicar la proporción de agua requerida para que la mezcla estuviera hidratada y se pueda obtener las muestras para realizar la prueba de revenimiento.

4.1.3 Mezcla con 7% de polvo de aluminio.

Para la segunda muestra con un porcentaje al 7% de aluminio lo primero que se hizo fue mezclar los materiales secos primero grava y arena hasta que quedo totalmente homogénea, posteriormente se procedió a mezclar el polvo de aluminio y se adicionaron 2000 ml de agua para lograr la mezcla total de los materiales, después de que esos tres materiales estaban totalmente mezclados se agregó el cemento y el agua restante para obtener la muestra del compuesto cemento-aluminio, en este caso se observó la reacción de la mezcla al hacer contacto el cemento con el aluminio, después de que se adicionó el agua, se pudo observar la formación de vapor (Fig. 2), esto debido a que la temperatura de toda la mezcla se elevó aproximadamente 90°C y esto provoco que toda el agua se evaporara, resultando en una mezcla seca y porosa y con ninguna manejabilidad (Fig. 3) por lo que se concluye que el porcentaje de aluminio agregado es elevado para que pueda llegar a ser de utilizado.



Fig. 2. Mezclado del material al 7% de polvo de aluminio.

Fuente: propia



Fig.3. Reacción de la muestra con 7% de polvo de aluminio.

Fuente: Propia

4.1.4 Mezcla con 5% de polvo de aluminio.

Con la muestra al 5% de aluminio ocurrió prácticamente lo mismo que con la mezcla al 1% al igual que al que aumentar el porcentaje de aluminio disminuyó la cantidad de arena a 12.38 kg manteniendo de igual manera las cantidades de concreto, grava y arena obteniendo de igual manera un aumento en el volumen de la mezcla pero en esta ocasión la mezcla reaccionó diferente que en la de 7% ya que esta la evaporación del agua fue más lenta pero también reacciono de forma agresiva y aumento su temperatura he hizo que los cilindros se calentaran como podemos ver en la Fig. 4.



Fig. 4. Reacción de la muestra con 5% de polvo de aluminio.

Fuente: Propia

4.1.5 Mezcla con 3% de polvo de aluminio.

Con la muestra al 3% de aluminio ocurrió prácticamente lo mismo que con la mezcla al 1%, igual que al aumentar el porcentaje de aluminio se disminuyó la proporción de arena a 12.65 kg manteniendo de igual manera las cantidades de concreto, grava y arena obteniendo un aumento en el volumen de la mezcla (Fig. 5).



Fig. 5 Reacción de la muestra con 3% de polvo de aluminio.

Fuente: Propia

4.1.6 Mezcla con 1% de polvo de aluminio.

Para la muestra que se realizó con el 1% de aluminio de igual manera se mezclaron los materiales de forma homogénea con las mismas cantidades de concreto, agua y grava sólo cambio la cantidad de grava a 12.91 kg ya que el porcentaje de aluminio disminuyó, al obtener el material después de ser mezclado este tuvo otro tipo de reacción, se pudo ver como las burbujas de hidrógeno expanden el material y este aumenta su volumen de forma considerable ya que al ser colocados en los moldes para la realización de cilindros, la mezcla empieza a derramarse y aumentar de tamaño como se muestra en la Fig. 6.



Fig. 6 Reacción de la muestra con 1% de polvo de aluminio.

Fuente: Propia

CAPÍTULO 5

CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS

A continuación se presentan los resultados de las diferentes pruebas de caracterización del material, las cuales nos sirven para determinar sus propiedades básicas para, determinar las mejores aplicaciones en el ámbito del diseño.

5.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

El propósito de este ensayo es obtener las propiedades mecánicas para determinar la resistencia del material obtenido (American Concrete Institute, 1997).

Para la realización de las pruebas se utilizó una prensa hidráulica modelo Davi 1202 F con una capacidad de 120 toneladas como se puede ver en la Fig.7



Fig.7 Prensa hidráulica.

Fuente: Propia

A fin de la realización del ensayo se toman los cilindros y se les aplica el compuesto con el objetivo de realizar el cabeceado, para este procedimiento se funde el polvo a una temperatura controlada de la cual obtenemos un líquido que es colocado en los cabeceadores. El cabeceador consiste en una placa base la cual contiene al compuesto fundido para colocar el cilindro en la placa y este ser emparejado, con esto se determina un resultado más preciso al introducir el cilindro en la prensa hidráulica, la cual es encendida para obtener la carga máxima que la muestra soporta.

Se hicieron las pruebas de compresión para determinar la resistencia mecánica de cada uno de los cilindros con referencia al porcentaje de utilización de polvo de aluminio usado en su composición (www.astm.org) (Ver Tabla 2).

Datos pruebas de compresión	
Porcentaje de polvo de aluminio	Resistencia mecánica
mezcla con 0% de polvo de aluminio	154.71 kg/cm ²
mezcla con 1% de polvo de aluminio	91.14 kg/cm ²
mezcla con 3% de polvo de aluminio	37.85 kg/cm ²
mezcla con 5% de polvo de aluminio	19.71 kg/cm ²

Tabla 2. Pruebas de compresión. Fuente: Propia

En la tabla 2 podemos observar como el incremento del porcentaje de aluminio disminuye la resistencia del concreto debido al incremento de porosidad en el material. Estos resultados favorecen a la mezcla de 1% de polvo de aluminio ya que nos da una resistencia a la compresión de 91.14 kg/cm².

5.2 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

Para la realización de este ensayo se utilizó el equipo marca Anter, modelo DSC-25 el cual nos brinda el coeficiente de conductividad como se muestra en las Fig. 8



Fig. 8 Prueba de conductividad térmica.

Fuente: Propia

Posteriormente se obtuvieron de los cilindros, pequeñas muestras del material donde se nos permitió calcular el coeficiente de conductividad térmica y poder determinar cuál podrá ser la óptima (Ver Tabla 3).

Pruebas de conductividad térmica	
Porcentaje de polvo de aluminio	Coficiente de conductividad térmica
mezcla con 0% de polvo de aluminio	0.58 W/mK
mezcla con 1% de polvo de aluminio	0.46 W/mK
mezcla con 3% de polvo de aluminio	0.40 W/mK
mezcla con 5% de polvo de aluminio	0.50 W/mK

Tabla 3. Pruebas de conductividad térmica. Fuente: Propia.

En este caso la muestra de 1% de concreto con polvo de aluminio arrojó un coeficiente de conductividad de 0.46 W/mk y al compararla con la muestra de 0% se obtiene un coeficiente más bajo, debido a la porosidad que tiene el material ya que las burbujas de hidrógeno que se forman disminuyen la conductividad entre ellas por lo tanto es favorable para su uso como aislante térmico.

5.3 ULTRASONIDO

Para obtener los datos de pruebas de ultrasonido se usó el equipo Pundit Lab, marca Proceq el cual se muestra en la Fig. 9



Fig. 9 Equipo para realización de prueba de ultrasonido.

Fuente: Propia

Para la realización de esta prueba se utilizaron los cilindros elaborados para los ensayos de compresión (Fig.10). Estos resultados permiten determinar indirectamente, la homogeneidad del material, mediante el paso del sonido a través del cilindro.



Fig.10 Prueba realizada a cilindro de concreto-polvo de aluminio.

Fuente: Propia

Para esto se utilizaron cilindros con 1% de polvo de aluminio los cuales nos arrojaron los siguientes resultados.

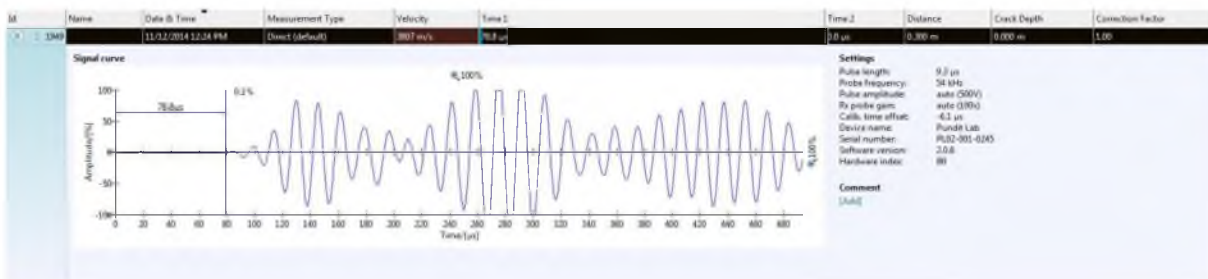


Fig. 11 Resultado de prueba de ultrasonido a concreto convencional.

Fuente: Propia

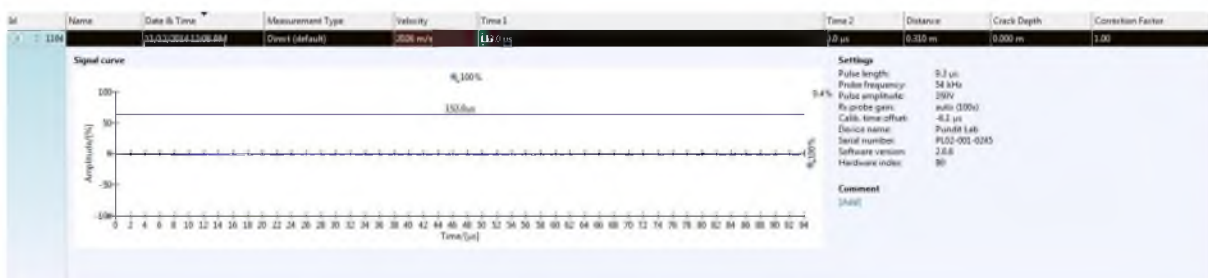


Fig. 12 Resultado de prueba de ultrasonido a concreto-polvo de aluminio 1%.

Fuente: Propia

La velocidad de onda que se observa en el concreto-polvo de aluminio fue de 2026 m/s (Fig.12) mucho menor a la del concreto común que es de 3807 m/s (Fig.11) esto sucede porque las ondas de ultrasonido viajaron a menor velocidad en el concreto compuesto presumiblemente a que el material presenta porosidad interna y por lo tanto tiene menor densidad.

5.4 CORROSIÓN

Con la finalidad de obtener los datos de corrosión se utilizó el equipo Proceq canin+ para el cual se seccionó una parte del panel y dejó expuesta la malla para conectar el equipo y proceder con el muestreo inicial (Fig. 13) tomando como referencia un área seleccionada del panel.



Fig. 13 Prueba de corrosión realizada a panel de concreto.

Fuente: Propia

Después de realizar el procedimiento que se observa en la Fig. 13 el panel se dejó a la intemperie durante un mes para volver a llevar a cabo la prueba de corrosión, la cual es comparada con la primera prueba y es analizada con respecto al resultado obtenido como se ve en la Fig.14.

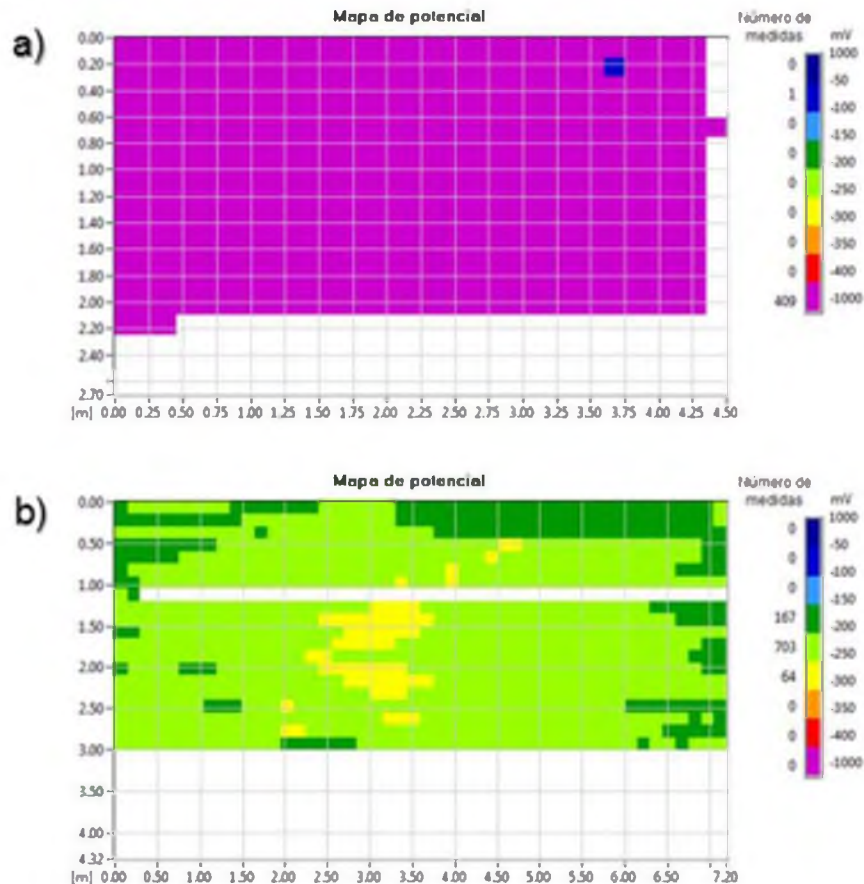


Fig. 14 a) Gráfica de primera prueba de corrosión de panel, b) Gráfica de segunda prueba de corrosión de panel.

Fuente: Propia

En la Fig. 14 a) en color magenta representando el nivel de corrosión alto que percibe el electrodo de cobre ya que en este momento la placa cuenta con un nivel alto de humedad y por lo tanto nos arroja este resultado, al pasar el mes de dejar en la intemperie para que los ataques químicos provocados por el medio ambiente muestre el deterioro del panel como se puede observar en la gráfica.

b) representada por un color verde el cual está dentro del índice de aceptabilidad de resistencia a la corrosión.

5.5 PRUEBA DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

La realización de esta prueba se realizó en el Instituto de Micro y Nanotecnología de la Universidad Veracruzana el cual consta de fotografías a micras la cual es una unidad de medida para visualizar algo extremadamente pequeño, con ello se comprueba lo que se ha mencionado en esta tesis. Se muestra con claridad la porosidad que se logró en el material gracias a la reacción lograda con el compuesto concreto-polvo de aluminio al entrar en contacto con todos sus elementos y formar burbujas de hidrógeno como se muestra en la Fig. 15. En la figura a) se puede observar que el tamaño del poro es aproximadamente de 200 micras y en la figura b) se visualizan micro poros de menos de 1 micra.

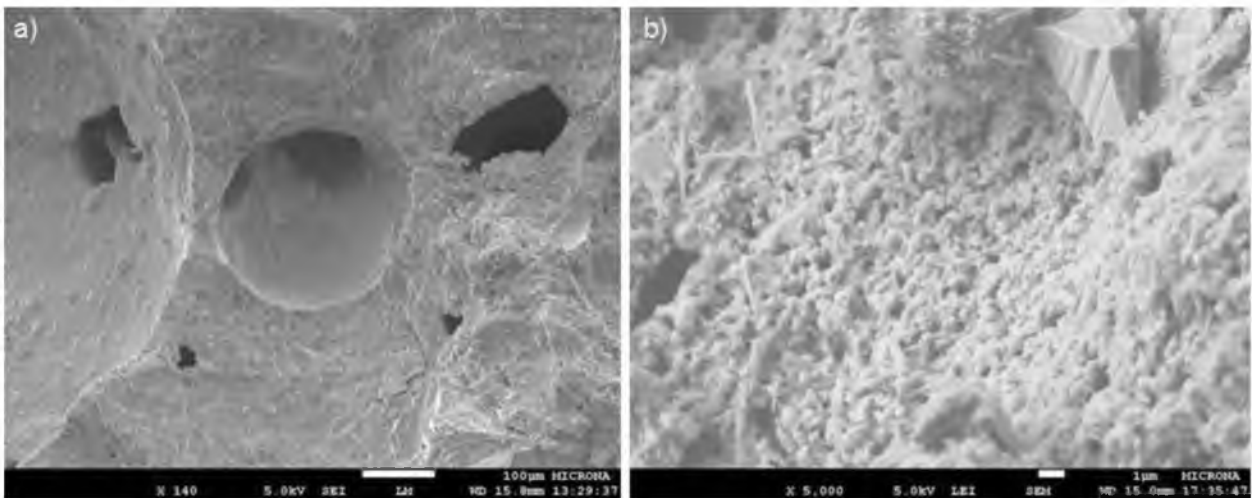


Fig.15 a) Fotografía de concreto-polvo de aluminio a 140 X, b) Fotografía de concreto-polvo de aluminio a 5000 X.

Fuente: Propia

5.6 PRUEBA DE RESISTIVIDAD

Este ensayo consta en aplicar una corriente con el equipo marca Proceq, modelo Resipod el cual aplica mediante cuatro puntos sobre una área determinada del panel previamente húmedo por lo que se aplicara la carga para comprobar si el paso de esta es alta, tomando en cuenta si la resistividad es alta entonces menor es la porosidad del material y mayor será su resistencia (Ver Fig. 16).



Fig. 16 Prueba de resistividad eléctrica a panel de concreto-polvo de aluminio con porcentaje a 1%.

Fuente: Propia

CAPITULO 6

DISEÑO Y DESARROLLO DE PANEL

6.1 DISEÑO DE PANEL

Hoy en día se usan diversos sistemas constructivos para agilizar las edificaciones y con esto nuevas propuestas de material el cual nos brinde características sobresalientes que nos de confort y ahorre tiempo en su utilización para construcción.

Por lo tanto para el diseño del panel divisorio es fundamental que brinde características de fácil instalación y sea resistente. Se tomaron en cuenta diferentes propuestas las cuales se describen a continuación.

6.1.1 Propuesta 1

En la Fig.17 se muestra un boceto de un bloque rectangular que inicialmente se manejó con dimensiones de 2.40 m. x 1.20 m. x 0.10 m. las cuales son medidas estándar como las de los paneles utilizados para la construcción, buscando ahorrar ciertos procesos para montarlos, a continuación se muestra como se inicia la idea (Huete Fuertes, Ricardo; 1987)

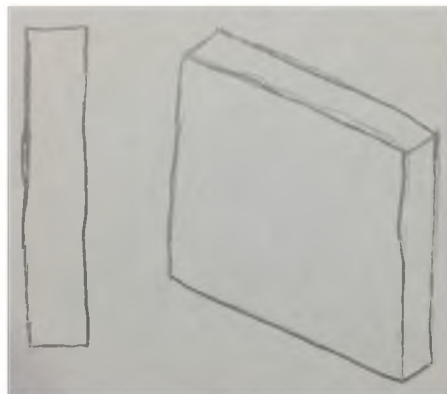


Fig.17 Boceto propuesta 1.

Fuente: Propia

6.1.2 Propuesta 2

Cuando se realizó esta propuesta mostrada en la Fig.18 se hizo pensando en un ensamble como el que es usado en muebles ya que se busca tener una sujeción sólida, pero debido a sus dimensiones y movilidad estas sujeciones son frágiles y no aptas para la construcción.

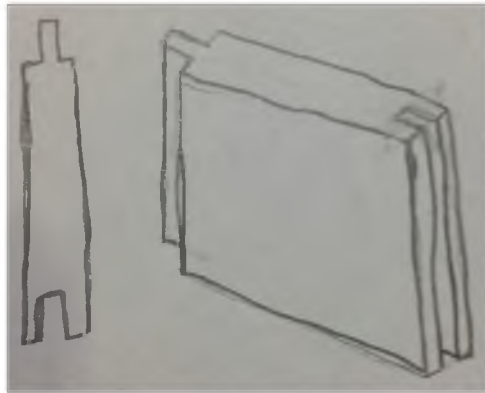


Fig.18 Boceto propuesta 2.

Fuente: Propia

6.1.3 Propuesta 3

Esta propuesta que se puede ver en la Fig.19 de igual forma que la propuesta anterior nos da muy poca resistencia en el empalme y por lo tanto sigue sin ser apto para que se use para realizar edificaciones.

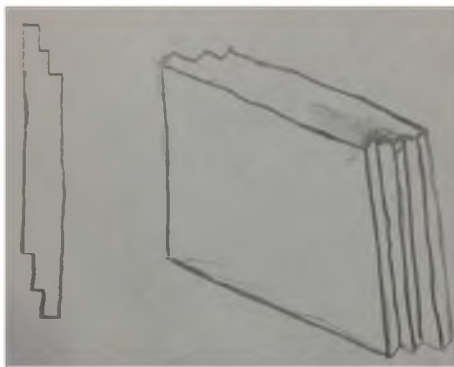


Fig.19 Boceto propuesta 3.

Fuente: Propia

6.1.4 Propuesta 4

Esta propuesta fue de las más sólidas, pero no dio muchas maneras de acomodo ya que sólo podía colocarse hacia un sentido y tendrían que hacerse piezas para recibir algunas sujeciones dejando de ser de fácil instalación y por lo tanto no era factible ni su fabricación y mucho menos su uso como se muestra en la Fig.20 y Fig.21

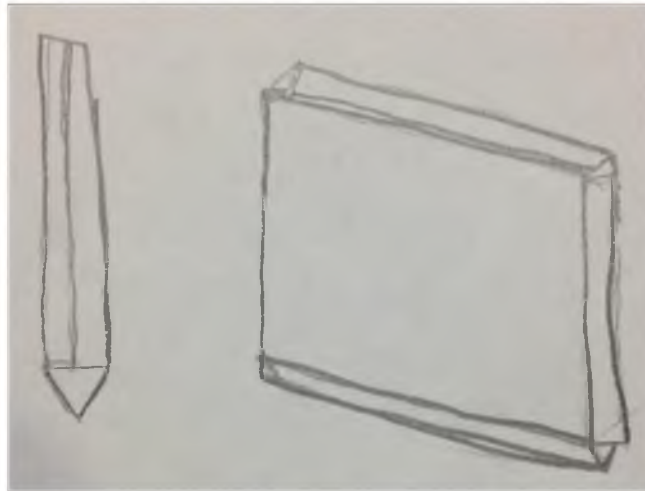


Fig.20 Boceto propuesta 4.

Fuente: Propia

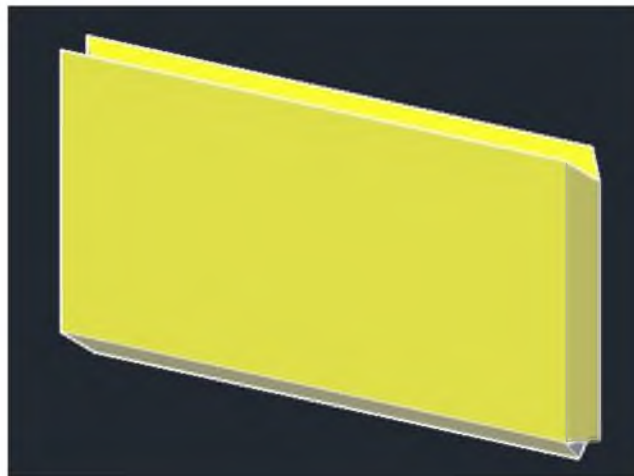


Fig.21 Modelado propuesta 4.

Fuente: Propia

6.1.5 Propuesta 5

La propuesta 4 se adaptó al crear un módulo apilable sobre el mismo módulo colocándolo en diferentes posiciones como un bloque para construcción convencional, Fig.22 y Fig.23 con esto se obtuvo el diseño del panel final con dimensiones de 0.61 m. x 1.27 m. x 0.10 m. estas medidas fueron reducidas de la medida estándar que se maneja para estos tipos de paneles usados para recubrir o realizar divisiones buscando que su maniobrabilidad sea la adecuada para un fácil montaje.

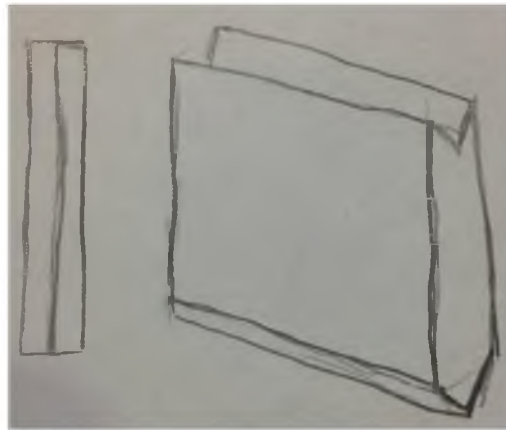


Fig.22 Boceto propuesta 5.

Fuente: Propia

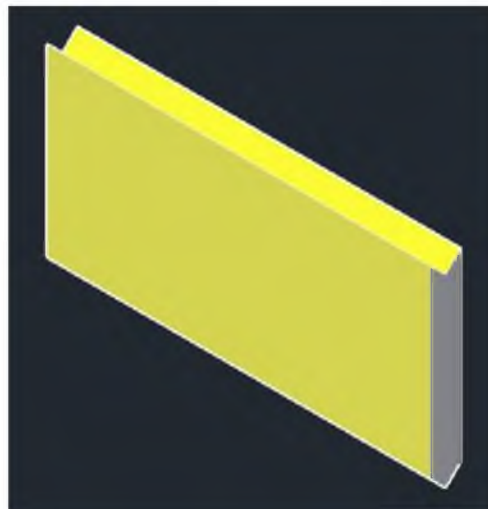


Fig.23 Modelado 3D en AutoCAD.

Fuente: Propia

6.2 DISEÑO DE PROPUESTA FINAL DEL PANEL DIVISORIO

Al finalizar la etapa de realización de bocetos, se decidió desarrollar la propuesta 5 como se presenta en la Fig.24 ya que nos genera una geometría eficiente para la construcción de edificaciones.

Las dimensiones del panel son de 127 cm de largo por 61 cm de ancho con un espesor de 10 cm, así logrando cubrir 7,747 cm².

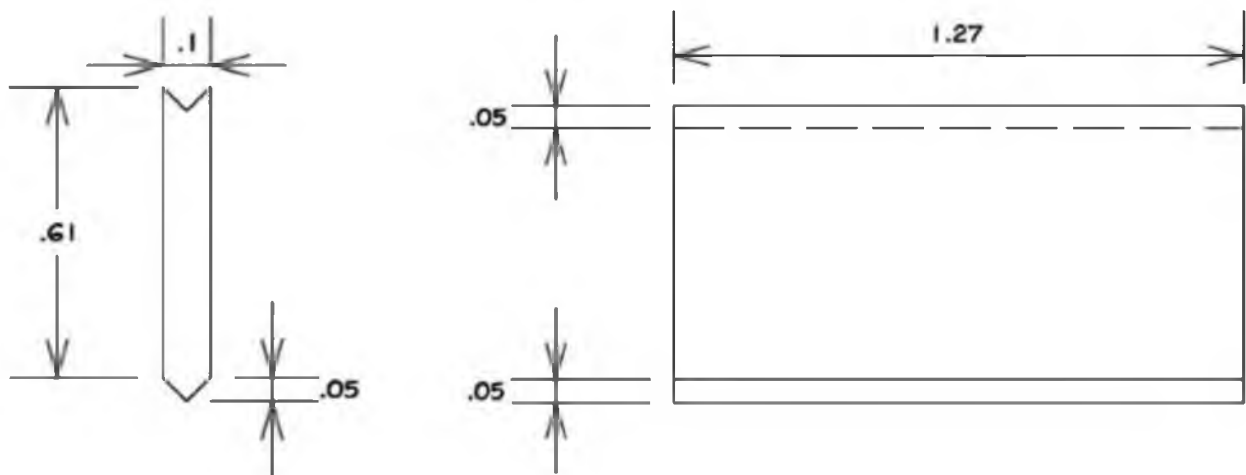


Fig.24 Dimensiones de panel.

Acotación: cm Escala: S/E

Fuente: Propia

En la vista lateral se muestra la figura que tiene el panel, esta surge de la necesidad de acoplamiento por lo tanto el usar como base un triángulo con sus lados a 45° nos da como resultado estabilidad y repartimiento de carga cuando estos son montados para realizar algún tipo de construcción como se muestra en la Fig.25.

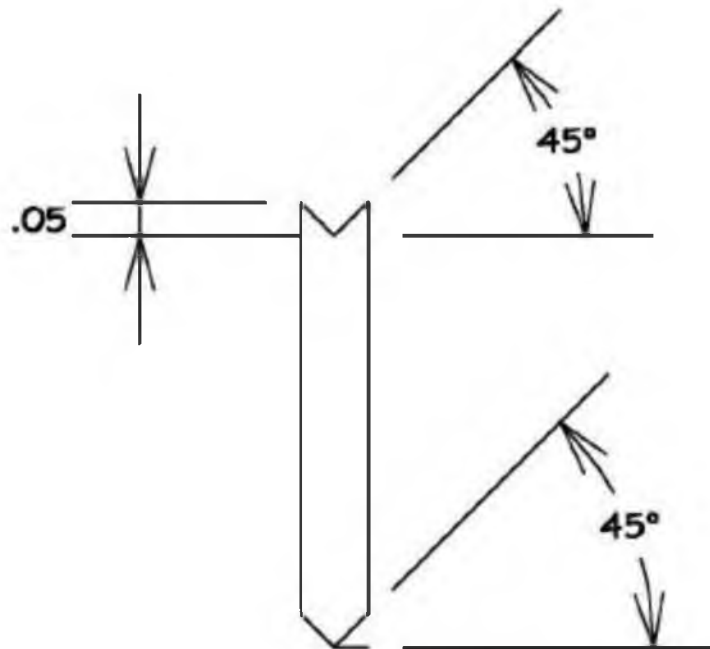


Fig.25 Vista lateral de panel.

Acotación: cm Escala: S/E

Fuente: Propia

6.3 MODELADO DE PANEL EN 3D

Después de la selección final de la propuesta el panel que se deseaba realizar, se procedió al modelado 3D, con la finalidad de visualizar cómo podría aprovecharse o bien llegar a usar el patrón formado modularmente por el panel como se muestra en la Fig.26, donde se puede observar cómo el panel es seccionado para colocar una puerta y es aprovechado para colocarse en algunas áreas de la pared que se muestran.

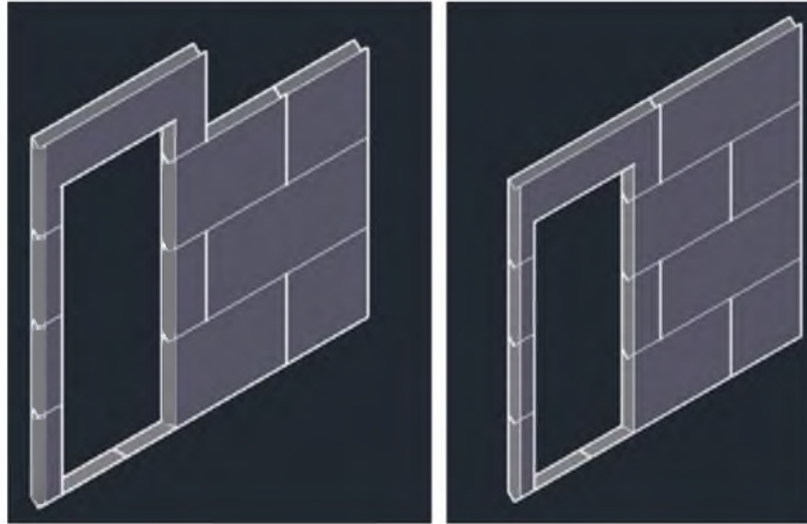


Fig.26 Ejemplo de pared armada con paneles.

Fuente: Propia

El modelado en 3D ayudó a representar la utilización de los paneles en la construcción y con esto tomar en cuenta cómo poder instalar cada uno de ellos sobre la cimentación o castillos los cuales son los comunes ya que la geometría del panel nos brinda esa universalidad para usarse en cualquier sistema constructivo así logrando acelerar una edificación gracias a sus dimensiones brinda: 19das (Fig.27) (Huete Fuertes, Ricardo; 1987)

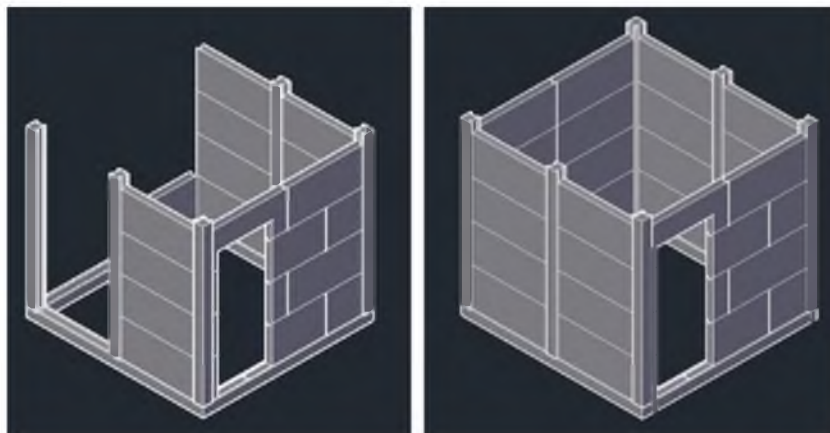


Fig.27 Ejemplo de construcción utilizando los paneles.

Fuente: Propia

6.4 DISEÑO Y DESARROLLO DE MOLDE

Para la realización del molde se hicieron los planos correspondientes los cuales fueron previamente revisados y dimensionados conforme al material que se pudo obtener en una maderería local el cual es el cimbraplay con medidas de 274 cm. largo por 162 cm, de ancho por 2 cm, de espesor y polín de 10 cm, x 10 cm.

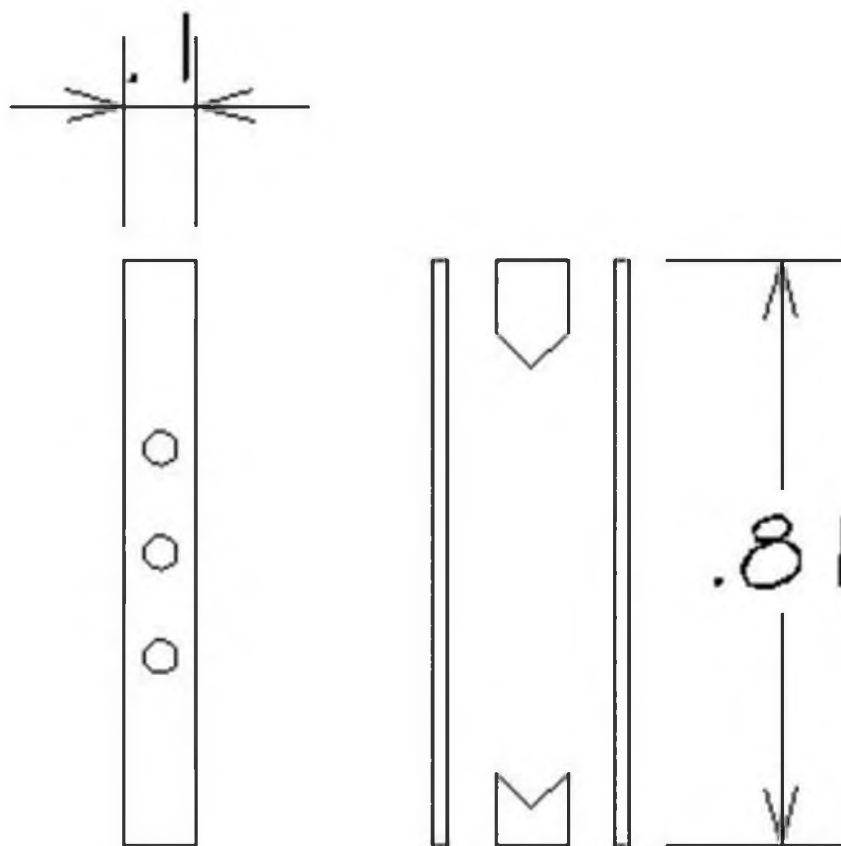


Fig.28 Vistas de molde.

Acotación: cm Escala: S/E

Fuente: Propia

Se escogió la madera como material predominante para la realización del molde por su bajo costo en comparación al metal que es uno de los materiales más utilizados para estos tipos de moldes.

Los polines fueron cortados a 45°, para realizar un saque y con esto obtener un cajón como se observa en la Fig. 29 para hacer el vaciado del concreto y obtener el panel.



Fig.29 Piezas del molde para realización de cajón

a) Cajón para molde, b) Perspectiva de la forma que obtuvo el molde, c) Polín seccionado.

Fuente: Propia

6.5 ELABORACIÓN DEL PANEL DE CONCRETO-ALUMINIO

Después de todos los análisis hechos para obtener la mezcla adecuada para la realización del panel y la creación del molde para hacer el vaciado se pasó a realizar el panel y este se fracturó a la mitad como se muestra en la siguiente imagen (Fig.30).



Fig.30 Paneles colados

a) Panel fracturado, b) Panel no logrado.

Fuente: propia

Ingeniería en diseño
DISEÑO DE PANEL DIVISORIO DE CONCRETO CELULAR

Al obtener este resultado se pensó en disminuir el largo del molde para obtener paneles más pequeños pero se tomó la decisión de adicionarle malla electro soldada para evitar la fractura que se presentaba en el panel como se observa en la Fig.31



Fig.31 Elaboración de panel con refuerzo de malla electro soldada

a) Molde con malla colocada, b) Vaciado del panel.

c) Careado del panel, d) Observación de reacción de mezcla dentro del molde.

Fuente: Propia

Ingeniería en diseño
DISEÑO DE PANEL DIVISORIO DE CONCRETO CELULAR

Finalmente se obtuvo el panel con mejores resultados, se procuró compactar bien el material creado y se engrasaron las paredes del molde por dentro para que al desarmar se consiguiera una pieza sin imperfecciones, fallas y muy resistente para su uso adecuado como se ve en Fig.32



Fig.32 Panel terminado para su montaje.

Fuente: Propia

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

Durante el desarrollo de la presente tesis se ha buscado obtener los resultados más favorables para así ejecutar cada uno de los objetivos

Para la caracterización del material concreto-polvo de aluminio se realizaron varias muestras las cuales son analizadas desde 7%, 5%, 3% y 1% de polvo de aluminio y son sometidas a pruebas de compresión, corrosión, ultrasonido, microscopia, resistividad y conductividad térmica para ser comparadas con el concreto convencional, logrando con esto determinar el porcentaje adecuado utilizable con la finalidad de la realización del panel de concreto-polvo de aluminio.

Con el objetivo de fabricación del molde se utilizó un material que se puede comprar en cualquier maderería y de fácil manejo el cual nos brindó la capacidad para obtener los paneles de concreto-polvo de aluminio.

Con base a los resultados obtenidos, se observó que la mejor muestra por su resistencia mecánica de 91.14 kg/cm^2 y una conductividad térmica de 0.46 W/mK fue la muestra de 1 % de polvo de aluminio la cual presumiblemente por su porosidad producida por las burbujas de hidrógeno dio como resultado las características deseadas. Se obtuvo la mezcla adecuada para la realización de los paneles de cemento-aluminio con las características antes mencionadas, los cuales por sus dimensiones y bajo peso, acelerarían la construcción de edificaciones en corto tiempo, además de que servirán como aislante térmico, fundamentalmente en regiones con incrementos de temperatura elevada.

7.2 RECOMENDACIONES

Debido a sus propiedades mecánicas se recomienda como muro divisorio por su baja resistencia, es recomendable fabricar la estructura que lo recibirá como se observó en la Fig.27.

Para disminuir su peso puede sustituirse tepezil por grava ya que este material pesa menos pero absorbe más humedad.

Al ser un material poroso es reducido su peso y estos contienen burbujas de hidrógeno dentro del material como se puede observar en la prueba de microscopia, es por ello que obtenemos un material con características aislantes comparativamente más eficiente que un concreto convencional.

REFERENCIAS

Aguilera Luis. *El aluminio*.

http://www.luis-aguilera.com/LuisAguilera2_archivos/page0001.htm.

Consulta febrero 2014

American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan. *ACI 214-77 Recommended Practice for Evaluation of Strangth Test Results of Concrete 1997 [Practica recomendada para la Evaluacion de los Resultados de las Pruebas de Resistencia]*, www.concrete.org. (1997).

BASFL. Construction Chemical España. *Fachadas De Hormigón Arquitectónico: Las Posibilidades Estéticas Y Técnicas De La Construcción Industrializada*. (2010)

Cervantes Abarca Alejandro. *Memorias 2008 Congreso Nacional de Administración y Tecnología para la Arquitectura, Ingeniería y Diseño- Nuevas Tecnologías Concretos Concreto celular- Concreto reforzado con fibra- Concreto ligero estructural*. (2008)

<http://www.icpa.org.ar/publico/files/hormliv2.pdf>. *Hormigones Livianos*. (Pag.1). Consulta febrero 2014

<http://www.imcyc.com/cyt/agosto04/CONCEPTOS.pdf>. *Conceptos básicos*.

Consulta octubre 2014.

<http://medic.ula.ve/histologia/anexos/microscoweb/MONOWEB/capitulo6.htm>.

Microscopía. Consulta diciembre 2014

<http://revistapesquisa.fapesp.br/es/2002/11/01/concreto-expandido-2/>

Concreto expandido. Consulta Octubre 2014

<http://ruelsa.com/notas/tierras/pe70.html>. Consulta septiembre 2010

Losch Edwar, PE, SE. *Precast Wall Panel Design*

<http://www.ojocientifico.com/4426/caracteristicas-del-aluminio>. Consulta octubre 2014

Guía de instalación: Panel Hebel para muros de fachada

[/http://www.hebel.mx/es/docs/Hebel_Sistema_Tableros_p_muros_fachada_17JUN%281%29.pdf](http://www.hebel.mx/es/docs/Hebel_Sistema_Tableros_p_muros_fachada_17JUN%281%29.pdf)

Huete Fuertes, Ricardo. *"El arquitecto y el diseño de paneles prefabricados de fachada"*. RE. Revista de Edificación, 1 (1987).

Instituto de biología y editado por la UNAM. *Temperaturas en la región mediante biodiversidad de Oaxaca*.

NINAQUISPE MANCHEGO YURY. *Tesis: Uso del concreto celular en unidades de albañilería no estructural*. Universidad Nacional de Ingeniería.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (P.C.A). *Proyectos y control de mezclas de concreto*. México; Limusa. Primera Edición. (1978).

Rivera L., Gerardo A. *Concreto simple. Capítulo 12 Concretos especiales*. (2012)

Universidad nacional de ingeniería. *Un nuevo hormigón biológico permitirá construir edificios con fachadas vivas*. Revista Electronica de Ciencia, Tecnología, Sociedad y Cultura.

www.nrmca.org. *Concrete in Practice Series [Series Concreto en la práctica]*, NRMCA. Silver Spring, Maryland.

www.astm.org ASTM C 31, C39, C617, C1077, C1231, *Annual book of ASTM Standards [Libro Anual de Normas ASTM]*, Vol 04.02, ASTM. West Conshohocken, PA.

ANEXOS

1

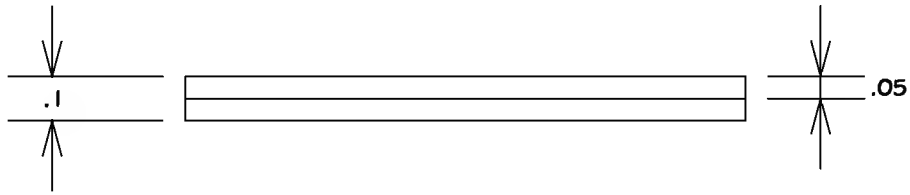
2

3

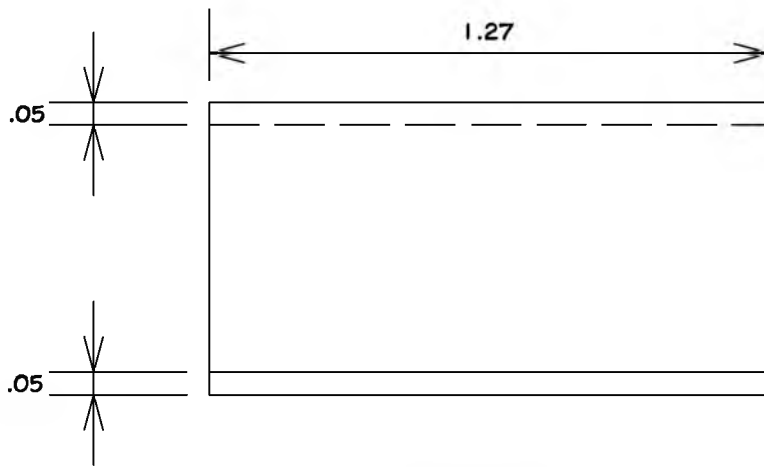
4

5

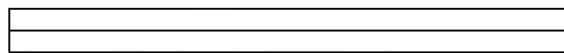
6



Vista Superior



Vista Frontal



Vista Inferior

A

B

C

Nombre:

Bernardo Lechuga Estrada

Fecha:

01/05/15

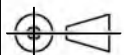
Esc:

S/E

Título:

Panel Divisorio Concreto-Polvo de Aluminio

A4



Planos de vistas generales

Cotas:
cm.

1/2

D

1

2

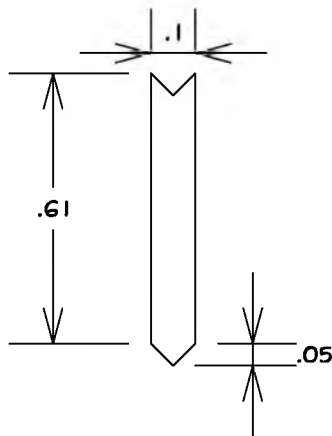
3

4

5

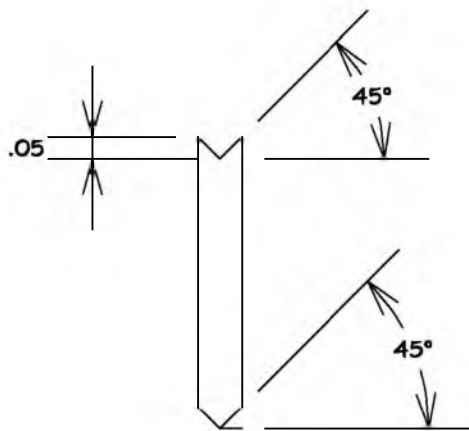
6

A



Vista L.D.

B



Vista L.I.

C

Nombre: Bernardo Lechuga Estrada	Fecha: 01/05/15	Esc: S/E
Título: Panel Divisorio Concreto-Polvo de Aluminio	A4	
Planos de vistas generales	Cotas: cm.	2/2

D

1

2

3

4

5

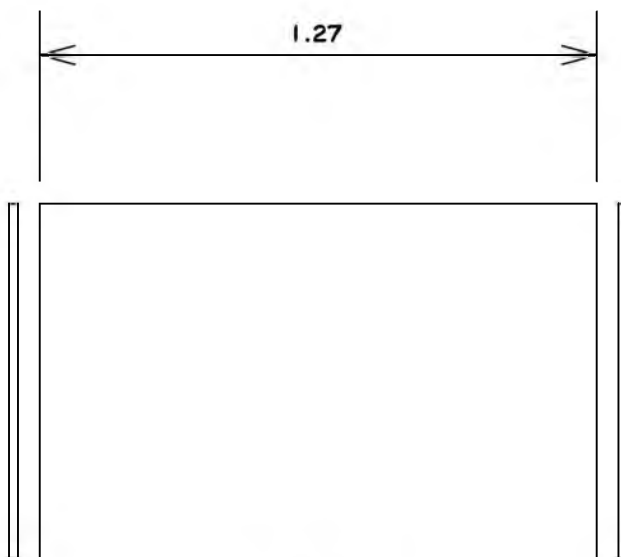
6

A

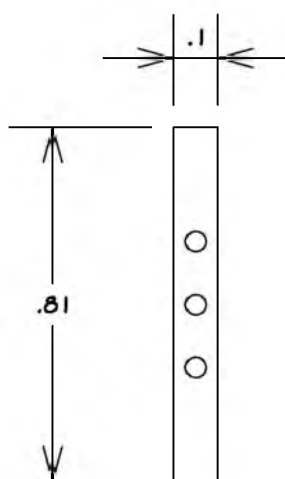
B

C

D



Vista Frontal



Vista Frontal

Nombre: Bernardo Lechuga Estrada	Fecha: 01/05/15	Esc: S/E
Título: Molde Para Panel Divisorio Concreto-Polvo de Aluminio	A4	
Planos piezas de molde	Cotas: cm.	1/2

1

2

3

4

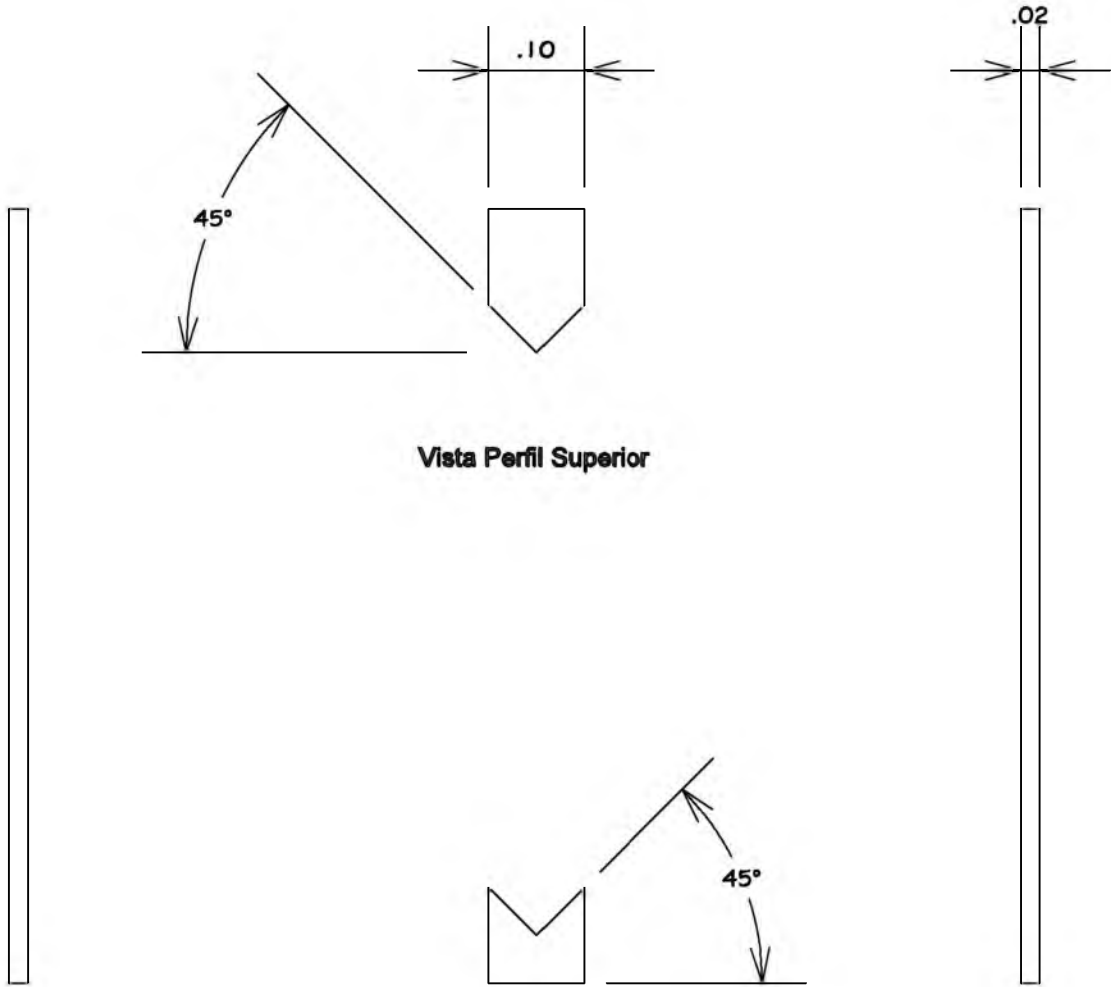
5

6

A

B

C

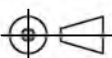


Vista Perfil Superior

Vista Perfil Inferior

Vista Espesor Tapa

D

Nombre: Bernardo Lechuga Estrada	Fecha: 01/05/15	Esc: S/E
Título: Molde Para Panel Divisorio Concreto-Polvo de Aluminio	A4	
Planos piezas de molde	Cotas: cm.	2/2

EL GOBIERNO DEL ESTADO DE OAXACA, LA COORDINACIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR Y SUPERIOR, CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CGEMSSCYT), POR CONDUCTO DEL CONSEJO OAXAQUEÑO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (COCYT), EL CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACYT) Y EL TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO A TRAVÉS DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE OAXACA (ITO), Y EL INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL VALLE DE OAXACA (ITVO).

OTORGAN

RECONOCIMIENTO

a:

BERNARDO LECHUGA ESTRADA

Por su destacada participación en el “2° Encuentro de Jóvenes Investigadores del Estado de Oaxaca”

Ing. Alberto Sánchez López
Director General del COCYT



Oaxaca de Juárez, Oaxaca, 15 de noviembre del 2014

Dr. Juan Cruz Nieto
Director del ITO

