



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO-
ESTRUCTURAL DE PANELES PREFABRICADOS DE
FERROCEMENTO HUECOS PARA MUROS DE CASA
HABITACIÓN.”**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Ciencias (Construcción)

Presenta

Ing. Francisco Escamilla Castillejos

Santiago de Querétaro, Querétaro, Mayo de 2016



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO-ESTRUCTURAL DE
PANELES PREFABRICADOS DE FERROCEMENTO HUECOS PARA
MUROS DE CASA HABITACIÓN.

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Ciencias (Construcción)

Presenta:

Ing. Francisco Escamilla Castillejos

Dirigido por:

Dr. José Luis Reyes Araiza

SINODALES

Dr. José Luis Reyes Araiza
Presidente

Firma

Dr. Mario Trejo Perea
Secretario

Firma

Dr. José Gabriel Ríos Moreno
Vocal

Firma

Dr. Alejandro Manzano Ramírez
Suplente

Firma

M. en I. Rubén Ramírez Jiménez
Suplente

Firma

Dr. Aurelio Domínguez González
Director de la Facultad de Ingeniería

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Peña
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Mayo 2016
México

RESUMEN

En materia de vivienda, el cumplimiento del objetivo de ahorro energético no debe comprometer el bienestar de los usuarios, requiriéndose innovaciones en los diseños constructivos para reducir el uso de equipos de climatización, orientadas a proporcionar ambientes confortables desde el punto de vista térmico, visual y de calidad de aire óptima, con el menor consumo de energía posible.

La industria de la construcción continúa desarrollando sistemas constructivos estructurales acorde con la tecnología disponible mientras que en las edificaciones siguen aumentando los requisitos cada vez más exigentes en materia de calidad y medio ambiente. La energía eléctrica es el más importante requerimiento que tienen los edificios, esto se debe al alto nivel de energía que consumen los aparatos eléctricos necesarios para mantener el confort térmico dentro de ellos para contrarrestar la temperatura al exterior.

En las últimas dos décadas ha resurgido el interés por utilizar el ferrocemento involucrando los nuevos desarrollos en las mallas de refuerzo (acero y fibra sintética) y morteros con y sin cemento portland. En el presente trabajo de investigación se presenta una solución sustentable para la construcción en serie de casas habitación, basado en paneles de ferrocemento hueco (prefabricados), los cuales ofrecen mejores características térmicas, sin comprometer su capacidad estructural.

(Palabras clave: Ferrocemento, comportamiento térmico, comportamiento estructural.)

SUMMARY

In housing, the fulfillment of energy savings objectives should not compromise the welfare of users, requiring innovations in building designs to reduce the use of air conditioning equipment, designed to provide comfortable environments in thermal, visual and optimum air quality, at the lowest possible power consumption.

The construction industry continues to develop structural building systems in line with available technology, while construction continues to have ever more demanding requirements for quality and environment. Electricity is the most important requirement that buildings have; this is due to the high energy level necessary to maintain a comfortable temperature within them to counteract the temperature outside.

In the recent two decades there has been increasing interest in using ferrocement, involving new developments in mesh reinforcement (steel and synthetic fiber) and mortars with and without Portland cement. This research work presents a sustainable solution for construction in a range of residential homes based on hollow ferrocement panels (prefabricated), offering better thermal characteristics without compromising structural capacity.

(Key words: Ferrocement, thermal behavior, structural behavior.)

DEDICATORIAS

PARA MI PADRE

Que me demostró que la mejor forma de aconsejar a alguien ha de ser con el ejemplo, que la única forma de crecer es aprendiendo a compartir, y que no hay nada más importante en este mundo que la familia.

PARA MI MADRE

La mujer más entregada, amorosa y fiel que jamás conoceré.
Que siempre ha estado a mi lado apoyando, guiando y empujando mi camino.
Si algún día logro ser una persona de provecho será gracias a ella.

PARA ANGELICA BECERRA

Mi novia y sonriente compañera de camino, la mujer que deseo sea la madre de mis hijos.
Quien me enseñó a disfrutar la vida y que siempre ha estado a mi lado para apoyarme.
Quien me conoce y me ha demostrado lo que es el amor verdadero.

PARA SERGIO

El hermano más alegre y entusiasta de la familia.
Un tipo duro, difícil de convencer, pero con un corazón inigualable.
Dispuesto a cuidar a la familia.

PARA BRUNO

Noble y entregado, muy inteligente y con gran visión.
El hermano que cualquiera quisiera tener, y del que es fácil aprender.
Un gran amigo.

PARA BRAULIO

El menor de mis hermanos, más de 10 años de diferencia y seguimos siendo tan parecidos.
Aquel hermano con más semejanza a mí.
Gracias por acompañarme en mi camino.

POR SU AMOR, SU APOYO Y SU SABIDURÍA EMBEBIDA EN MÍ.....

NADA HA DE DETENERME

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. José Luis Reyes Araiza, mi asesor de tesis, por el interés, asesoría y apoyo en el transcurso de la elaboración de este trabajo.

A la UAQ, que me permitió ser parte de su historia a través de los estudios y poder conocer mucha gente que influyó en mí.

Al CONACYT, por beneficiarme como becario, dándome la oportunidad de dedicarme por completo a la maestría estos dos años.

Al Laboratorio de Mecánica de Suelos y al Laboratorio de Física y Química de la Facultad de Ingeniería de la UAQ, por haberme permitido realizar el trabajo experimental de mi investigación en sus instalaciones, además por haberme facilitado las herramientas y equipo necesario. En especial agradezco a todo el personal que labora en este lugar por su apoyo y amistad.

A Darío Mendoza, colega dentro y fuera de las aulas de clase, el sujeto más inteligente que he conocido y que tengo la fortuna de poder llamarlo amigo.

A Jesús Castillejos, mi tío, amigo y colaborador de este proyecto, que me brindo grandes aportaciones debido a su gran ingenio, que siempre me recibió en su taller con una sonrisa y a quien le deseo lo mejor.

A Pancho Escamilla, quien es un maestro de vida, a quien es un placer escucharlo, aprender de él y convivir con él, por haberme influenciado por el buen camino a lo largo de mi desarrollo.

Al Dr. Mario Trejo Perea, al Dr. José Gabriel Ríos Moreno, al Dr. Alejandro Manzano Ramírez, al M. en I. Rubén Ramírez Jiménez, al Dr. José Luis Reyes Araiza, por haber formado parte del sínodo que sin duda aportaron sus grandes conocimientos para corregir y hacer de esta no solo una tesis más sino una investigación centrada y con carácter.

ÍNDICE

RESUMEN.....	II
SUMMARY.....	III
DEDICATORIAS.....	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
ÍNDICE.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE FÓRMULAS.....	XII
ÍNDICE GRÁFICAS.....	XIII
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Hipótesis.....	3
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo General.....	3
1.2.2 Objetivos Particulares.....	3
2 REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	4
2.1 Ferrocemento.....	4
2.1.1 Diseño del ferrocemento.....	5
2.1.2 Relación de volumen y superficie específica de refuerzo.....	6
2.1.3 Recubrimiento.....	7
2.1.4 Límite de ancho de grietas.....	7
2.1.5 Rango de esfuerzos.....	7
2.1.6 Esfuerzos permisibles.....	9

2.2	Transferencia de calor	10
2.2.1	Interacción de la termodinámica con la transferencia de calor.....	10
2.2.2	Limitaciones de la termodinámica clásica	11
2.2.3	Transferencia de calor en la ingeniería	12
2.2.4	Flujo de calor.....	13
2.2.5	Leyes básicas de la transferencia de calor	18
3	METODOLOGÍA	22
3.1	Especificación y Clasificación de los Materiales.....	22
3.1.1	Cemento.....	22
3.1.2	Agregados.....	22
3.1.3	Ensayos de fluidez	35
3.1.4	Resistencia a la compresión	35
3.2	Diseño Experimental.....	36
3.3	Diseño y fabricación de paneles	39
3.4.1	Diseño Geométrico	40
3.3.1	Diseño del refuerzo	41
3.4	Proceso constructivo	43
3.4.1	Armado.....	46
3.4.2	Cimbras.....	47
3.4.3	Mezclas	48
3.5	Pruebas de conductividad térmica.....	48
3.5.1	Conductividad por radiación sin aislamiento	49
3.5.2	Prueba de placa caliente.....	52
4	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	63

4.1	Prueba de placa caliente	63
4.2	Flexión pura del panel	87
5	CONCLUSIONES.....	92
5.1	Conclusiones Generales.....	92
5.2	Conclusiones específicas.	92
6	REFERENCIAS.....	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades del cemento CPC 30R.	22
Tabla 2. Límites recomendables para la selección del agregado.	25
Tabla 3. Granulometría del agregado propuesto inicialmente.	28
Tabla 4. Granulometría de arena retenida en la malla #200.	29
Tabla 5. Proporciones de las mezclas.	36
Tabla 6. Resultados del diseño del mortero.....	38
Tabla 7. Proporciones de la mezcla.....	48
Tabla 8.- Mediciones de temperatura del espécimen A.....	78
Tabla 9.- Gradiente térmico de los especímenes estudiados.....	86
Tabla 10.- Valores de conductividad térmica de especímenes estudiados.....	86
Tabla 11.....	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Diagrama que ilustra la convección de signos para el flujo de calor por conducción.	19
Figura 2.2. Distribución de temperatura a través de una pared plana.	20
Figura 3.1. Rangos para el tamaño de grano del agregado.	24
Figura 3.2. Calibración de recipiente.	31
Figura 3.3. Ensayo para determinar el revenimiento.	35
Figura 3.4. Máquina universal en prueba de resistencia a compresión a 28 días.	36
Figura 3.5. Punto frágil por el uso de fluidificante no homogenizado.	39
Figura 3.6. Diseño del panel.	40
Figura 3.7. Diseño del área transversal para muestras.	41
Figura 3.8. Tipos de mallas para usar en estructuras de ferrocemento.	42
Figura 3.9. Dosificación en peso de los materiales que conforman la matriz de ferrocemento.	44
Figura 3.10. Mezcla del mortero con la consistencia adecuada.	45
Figura 3.11. Colocación de la malla hexagonal inferior.	45
Figura 3.12. Colocación de cimbra interna del panel.	46
Figura 3.13. Acabado final del panel con cilindros de muestra.	46
Figura 3.14. Distribución del acero de refuerzo.	47
Figura 3.15. Diseño de cimbra.	48
Figura 3.16. Panel expuesto a radiación térmica.	51
Figura 3.17. Equipo Fluke.	52
Figura 3.18. Esquema del aparato de placa caliente protegida.	54

Figura 3.19. Panel con trazo de área donde se midió la variación de temperatura.....	55
Figura 3.20. Panel preparado para colocarle los termopares.....	56
Figura 3.21. Instalación de termopares.....	57
Figura 3.22. Prueba de placa caliente.....	58
Figura 3.23. Recopilación de temperaturas por termopares.....	60
Figura 3.24. Vista frontal de colocación de especímenes.....	60
Figura 3.25. Vista lateral de la colocación de especímenes.....	61
Figura 3.26. Espécimen ensayado en panel universal.....	62
Figura 3.27. Fractura de panel.....	62

ÍNDICE DE FÓRMULAS

(1)	8
(2)	8
(3)	19
(4)	20
(5)	20
(6)	21
(7)	21
(8)	37
(9)	38
(10)	49
(11)	50

ÍNDICE GRÁFICAS

Gráfica 3.1. Granulometría de la arena sin lavar.	26
Gráfica 3.2. Granulometría de la arena lavada por la malla # 200.....	27

1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación nace de un proyecto conjunto para desarrollar un prefabricado (muro panel), que sea la base de un prototipo de vivienda de interés social tipo unifamiliar que satisfaga las demandas de funcionalidad, comportamiento estructural y economía; así como ofrezca confort térmico al interior de la vivienda.

Algunos autores, como Ahmed (2007) han estudiado el rendimiento de los elementos sándwich de ferrocemento en términos de resistencia final a la compresión y a la flexión, absorción de agua, unidad de peso total y el modo de fallo, (sin embargo se carece de estudios relativos a las temperaturas internas de edificaciones elaboradas con este tipo de paneles, por lo que esta propuesta se basa en paneles huecos de ferrocemento prefabricados que provean de confort térmico dentro del edificio.

El uso de nuevos elementos constructivos en la edificación de viviendas, tiende a mejorar la calidad de vida del usuario, dando soluciones sustentables a la problemática de clima que se presenta en nuestro planeta, por lo que se requiere estudiar a fondo las propiedades térmicas que presentan estos nuevos materiales.

El ferrocemento es definido por el ACI Committee 549 como un tipo de concreto reforzado de pared delgada que puede ser la respuesta a las nuevas demandas sustentables en la arquitectura actual. La matriz de este material está construida de mortero de cemento hidráulico reforzado con capas cercanamente espaciadas de malla de alambre continuo y de diámetro pequeño (ACI, 1997). En su rol como elemento de concreto reforzado delgado y como laminado compuesto en base de mortero de cemento Portland, se ha utilizado en numerosas aplicaciones tanto en estructuras nuevas como en la reparación y rehabilitación de las ya existentes.

Comparándolo con el concreto reforzado convencional, el ferrocemento tiene refuerzo en dos direcciones brindándole propiedades homogéneas e isotrópicas; consiguiendo de esta manera una alta gran resistencia a la tensión, un módulo a la

ruptura alto y los anchos de grieta más pequeños; esto último debido a que el área específica del refuerzo es de una a dos veces más alta que la del concreto reforzado convencional, promoviendo una mayor fuerza de adherencia entre la matriz y el refuerzo (Naaman y Shah 1971a, 1978b;). Aunado a estas, el ferrocemento es de fácil fabricación y de bajo costo en mantenimiento y reparación.

A pesar de sus virtudes, debido a que es un compuesto laminado, el ferrocemento sufre frecuentemente de astillamiento severo de la cubierta de la matriz y delaminación de la capa externa a tensión, resultando en fallas prematuras. Por lo tanto, se consideró el criterio de servicio en el diseño del compuesto, más que la resistencia al límite. Como solución a los problemas descritos, se adicionaron fibras cortas discontinuas a la matriz de cemento, con la finalidad de producir mejoras significativas en ductilidad y capacidad a cortante así como incremento moderado en la resistencia a tensión.

En las últimas dos décadas ha resurgido el interés por utilizar el ferrocemento involucrando los nuevos desarrollos en las mallas de refuerzo (acero y fibra sintética) y morteros con y sin cemento Portland; al respecto se han publicado métodos de diseño en las siguientes guías de diseño del ACI: "Guide for the Design, Construction, and Repair of Ferrocement" (ACI, 1993), "Ferro-cement Design, Techniques, and Application" (Bingham, 1974) y "Ferrocement and Laminated Cementitious Composites" (Naaman, 2000).

En relación al refuerzo, la malla de acero es el principal material utilizado en el ferrocemento, sin embargo, las mallas de fibra sintética (fibra de refuerzo utilizada en materiales compuestos poliméricos) son una alternativa promisoría para sustituir a la malla de acero (Guerrero y Naaman, 1998; Lopez y Naaman, 1998; Naaman y Chandrangsu, 2000; Wang *et al.*, 2004). Comparada con las mallas de acero, el refuerzo de fibras sintéticas continuas presenta mayor ligereza, alta resistencia a tensión e inherente resistencia a la corrosión. Sin embargo, éstas tienen un comportamiento elástico-frágil hasta la falla, a diferencia del acero que tiene un comportamiento elástico-plástico.

1.1 Hipótesis

La distribución y topología de huecos sobre la sección transversal de un panel prefabricado de ferrocemento mantiene su capacidad estructural y genera un sistema aislante que reduce la transferencia de calor al interior de una vivienda.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Obtener una configuración topológica de huecos en un panel de ferrocemento que reduzca el gradiente de temperatura en los muros de una casa-habitación, sin disminuir su capacidad estructural.

1.2.2 Objetivos Particulares

1. Analizar la conductividad térmica en paneles de ferrocemento hueco variando la topología del elemento en su área transversal.
2. Analizar de resistencia estructural en paneles de ferrocemento hueco variando la topología del elemento en su área transversal.
3. Por medio de la prueba de placa caliente analizar la conductividad térmica de los paneles elaborados (al menos dos pruebas por cada espécimen..)
4. Identificar la o las topologías que satisfagan la relación más alta de eficiencia entre resistividad térmica y capacidad estructural.

2 REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 *Ferrocemento*

El arquitecto Raúl Soto, define al ferrocemento como “un sistema constructivo consistente en un mortero de arena – cemento y una malla electrosoldada, con el que se logra un material de 2.5 cm de espesor”. El ferrocemento es hoy, un material compuesto, considerado una alternativa versátil, hecho de mortero de cemento y capas de malla de alambre, o de un emparrillado de acero de diámetro pequeño similar, ligado íntimamente para crear una estructura rígida. Este material también es considerado una forma especial del concreto reforzado común, pero que muestra características diferentes a éste, en relación con su funcionamiento, resistencia y aplicaciones potenciales, que normalmente es clasificado en forma separada (Saavedra, 2002).

De manera similar, Chao (2005) define el ferrocemento, como “un concreto armado que cuenta con mayores proporciones de hierro, pero con espesores más finos y mejor distribuidos, que permite aumentar el rendimiento frente a los esfuerzos mecánicos”; también señala que además de ser fuerte es ligero, como para mantener a flote a barcos. Por su parte, Aragón define el ferrocemento como una lámina delgada de mortero altamente reforzada con acero, distribuido uniformemente en la masa de mortero, que se comporta como un material homogéneo.

El Comité 549 del Instituto Americano de Concreto define el ferrocemento como: “un tipo de hormigón armado que se construye en secciones de pared delgada habitualmente utilizado con mortero de cemento hidráulico reforzado con capas muy juntas de malla de alambre continuas y de diámetro relativamente pequeño; la malla puede ser de acero u otro material que resulte adecuado” [CAIS/INCAP].

Algunas definiciones similares son encontradas en la literatura: Wainshtok, (1998), CEPIS-OPS-OMS (2000), Abdullah *et al.* (2003), Arnés y Sáez (2004).

Aplicaciones típicas en las que se utiliza el ferrocemento son: tanques de agua, botes marítimos, paneles para muros de casa habitación, techos, etc. (Guerra *et al.*, 1978; Nimityongskul *et al.*, 1980; Kadir *et al.*, 1997).

La matriz en el ferro-cemento tiene 95% o más influencia sobre el comportamiento del producto final (ACI, 1997), el cual, depende completamente sobre la composición de la mezcla del mortero. Investigaciones como las de Kumar *et al.* (2002), han estudiado las características de las mezclas de morteros tradicionales para usarse en el ferro-cemento. En su trabajo, Memon *et al.* (2007) reportaron el uso de slag (escoria granulada) como agente cementante, mientras que Masood *et al.* (2003) utilizaron fly ash (ceniza volante) para sustituir una porción en el peso del cemento Portlan para la elaboración del mortero; cabe resaltar que tanto el slag y el fly ash son considerados desechos industriales. Ambos trabajos reportan variantes en la utilización de matrices cementantes diferentes a las tradicionales con buenos resultados en la durabilidad y propiedades mecánicas. En este sentido, en este proyecto se utilizan morteros que incluyen ceniza volante, los cuales, se han diseñado previamente en trabajos de tesis de alumnos del posgrado de esta facultad (Bernal, 2008; Baltazar, 2009).

La industria de la construcción continúa desarrollando sistemas constructivos estructurales acorde con la tecnología disponible mientras que en las edificaciones siguen aumentando los requisitos en materia de calidad y medio ambiente. La energía eléctrica es el más importante requerimiento que tienen los edificios, éste se debe al alto nivel de energía necesario para mantener el confort térmico dentro de ellos para contrarrestar la temperatura al exterior (Uygunoglu y Kecebas, 2011).

2.1.1 Diseño del ferrocemento

Cualquier recomendación de diseño aplicada al ferrocemento estructural depende del tipo de aplicación y debe estar basada en un análisis racional apoyado por resultados de ensayos experimentales. Considerando el estado del arte sobre el ferrocemento, y haciendo una excepción para aplicaciones especiales donde un análisis preciso puede ser necesario para asegurar una interpretación adecuada del comportamiento estructural, la presente investigación

sobre paneles huecos de ferrocemento conduce a dar una interpretación adecuada sobre su comportamiento estructural.

Para predecir el comportamiento de los paneles de ferrocemento huecos prefabricados bajo condiciones de cargas de servicio, un análisis elástico similar al aplicado al concreto reforzado es aceptable, proporcionando el módulo del sistema de malla en consideración.

En la caracterización del ferrocemento, es importante definir los dos siguientes parámetros comúnmente usados:

V_t = Relación de volumen de ferrocemento, es decir, el volumen total de refuerzo por unidad de volumen de ferrocemento. Para un ferrocemento reforzado con mallas cuadradas, V_t es igualmente dividido entre V_{tL} y V_{tT} para las direcciones longitudinal y transversal respectivamente.

S_r = Superficie específica del refuerzo. Es el área total de capas de área de refuerzo por unidad de volumen del compuesto. Para mallas de refuerzo cuadradas, S_r es dividido en S_{rL} y S_{rT} para la dirección longitudinal y transversal respectivamente.

Aunque las definiciones de la mayoría de los componentes de ferrocemento son las mismas para concreto reforzado, una propiedad definida aquí como Módulo Efectivo E_r , del sistema de refuerzo, necesita ser clarificado. Esto es porque el módulo de una malla (de acero o cualquier otro material) no es necesariamente el mismo que el módulo elástico de un filamento (cable u otro).

2.1.2 Relación de volumen y superficie específica de refuerzo.

La relación de volumen total de ferrocemento V_t , en cada dirección no debe ser menor a 1.8%; la superficie específica de refuerzo S_r , en ambas direcciones, debe ser $> 0.08 \text{ mm}^2/\text{mm}^3$. Es recomendado que para un material de ferrocemento dado de espesor h , los espaciamientos recomendados de malla transversal s no deben ser superiores a h . Más aún, el número de capas de malla n , es:

$$n \geq 0.16h \text{ donde } h \text{ está en mm}$$

Si se utiliza el refuerzo esquelético, es recomendable que dicho refuerzo no ocupe más del 50 % del espesor del material de ferrocemento. Si h es el espesor en el cual las mallas son distribuidas, el número de capas de malla se calcula como sigue:

$$n \geq 0.16h' \text{ donde } h' \text{ está en mm}$$

2.1.3 Recubrimiento

El promedio de recubrimiento neto recomendado para el refuerzo son 2mm. Sin embargo, un menor valor puede ser utilizado si el refuerzo es galvanizado. Es también recomendable que para espesores >12 mm, el recubrimiento neto no exceda $1/5$ del espesor h o 5 mm, el que sea más pequeño, con motivo de asegurar una adecuada distribución de la malla a través del espesor.

2.1.4 Límite de ancho de grietas

Una de las características distintivas del ferrocemento en comparación con el concreto reforzado es el gran número de pequeños agrietamientos para el mismo esfuerzo en el acero de refuerzo. El rango de servicio depende en gran parte del ancho de agrietamientos bajo cargas de servicio, por este motivo la predicción del ancho de fractura (máximo y/o promedio) es una importante consideración en el diseño (Naaman, 1979).

Es recomendable que el máximo valor calculado de grieta sea <0.10 mm para un ambiente no corrosivo y 0.05 mm para ambientes corrosivos o estructuras contenedoras de agua.

2.1.5 Rango de esfuerzos

En estructuras de ferrocemento para mantener una vida de dos millones de ciclos, el rango de esfuerzo en el acero debe estar limitado a $f_{sr} = 207$ MPa. Un valor de $f_{sr} = 248$ MPa puede ser usado para un millón de ciclos y 380 MPa para cien mil ciclos.

Durabilidad

1. La capacidad del ferrocemento está sujeta al congelamiento y descongelamiento mientras la humedad debe contener 10% de aire encapsulado.
2. Utilizar el recubrimiento protector probado experimentalmente.
3. Los agregados deben estar libres de cloruros u otros materiales que induzcan la corrosión del acero.
4. En el diseño de ferrocemento para ambientes corrosivos, las siguientes consideraciones son válidas: (a) uso de refuerzo galvanizado; (b) mínimo contenido de agua; (c) uso de aditivos químicos y minerales para reducir la permeabilidad; y (d) uso de recubrimientos apropiados.

En el caso del cortante para elementos prismáticos, se tiene:

1. La resistencia a la fractura diagonal se incrementa mientras la relación a/h es reducida o, la fracción de volumen de ferrocemento y la resistencia del mortero son incrementados. Un incremento en la cantidad de refuerzo cerca de la cara de compresión incrementa la resistencia a la fractura diagonal por cortante.
2. Resistencia a la fractura, diagonal en ferrocemento; el reporte ACI proporciona predicciones altamente conservativas acerca de éste.
3. La fórmula empírica (1) proporciona una estimación para fractura diagonal en un rango aceptable de variables consideradas en el estudio.

$$\frac{V_{cr}}{bd} = 6.8 \left(f' c \rho \frac{d}{a} \right)^{0.75} \quad (1)$$

4. En el refuerzo simétrico, se puede utilizar la ecuación (2) para calcular la fractura diagonal con suficiente precisión. En este caso la posición del eje neutro no es necesaria.

$$\frac{V_{cr}}{bh} = 3.54 \left(f' c V_f \frac{h}{a} \right)^{0.76} \quad (2)$$

5. La falla por cortante último ocurre con una alta fracción de volumen de refuerzo y poca resistencia del mortero debida a la baja relación a/h .
6. La falla a cortante en elementos a base de ferrocemento es precedida por el límite de su capacidad a flexión.

2.1.6 Esfuerzos permisibles

El esfuerzo a tensión permisible en el acero de refuerzo puede ser tomado en $0.60 f_y$. El esfuerzo permisible de compresión en ferrocemento puede ser tomado como $0.45 f'_c$, donde el f'_c es la resistencia a compresión del mortero medida en pruebas aplicadas a cilindros de 76 x 152 mm.

Para el modelado de cualquier solido homogéneo y no homogéneo con huecos, se considera el proceso de transferencia de calor global desde la parte interior de una habitación hasta el medio ambiente en tres etapas: la convección y radiación que sucede desde la superficie interna de la pared a través del sólido la conducción de calor de la superficie interna de la pared a la superficie exterior, y la convección y radiación de la superficie exterior de la pared con el medio ambiente. En rigor, el proceso de transferencia de calor a través del muro es inestable por naturaleza, debido a que las condiciones internas y externas están cambiando constantemente. Sin embargo, desde el punto de vista de la ingeniería, el diseño térmico de las edificaciones se realiza suponiendo en estado estable condiciones internas y externas algunas situaciones típicas.

2.2 Transferencia de calor

2.2.1 Interacción de la termodinámica con la transferencia de calor

En cualquier situación en la que exista un gradiente de temperatura del sistema, o bien que dos sistemas a diferente temperatura entren en contacto, existirá una transferencia de calor; debido a que es el tipo de energía que circula de un sistema a otro. Sin embargo, el calor es difícil de medir u observar directamente, por lo que resulta más sencillo estudiar sus efectos. Al igual que en la ejecución de un trabajo, el flujo de calor es un proceso donde existe intercambio de energía interna dentro de un sistema.

La termodinámica es la rama de la ciencia que estudia estos fenómenos, relaciones entre el calor y otras formas de energía. Sus principios están basados en observaciones y han sido generalizados en leyes que se suponen ciertas para cualquier proceso presente en la naturaleza; y esto, al igual que el resto de los fenómenos de la naturaleza, seguirá siendo válido porque ninguna excepción ha sido observada. Uno de estos principios, denominado **primera ley de la termodinámica**, establece que “la energía no se crea ni se destruye, más sin embargo si cambia de forma”. Este principio rige cualquier tipo de transformación de energía, pero es muy ambigua con respecto a la dirección de la transformación; sin embargo, se sabe por experiencia, que es imposible un proceso cuyo único resultado sea una transferencia de calor neta de una región de mayor temperatura a una región de menor temperatura. Este enunciado, comprobado de manera experimental es bien conocido como la **segunda ley de la termodinámica**.

Cualquier proceso de transferencia de calor involucra por ende la transferencia y conversión de energía, por lo cual se debe cumplir tanto la primera como la segunda ley de la termodinámica. De manera intuitiva, podría pensarse que los principios de transferencia de calor pueden derivarse de las leyes básicas de la termodinámica; sin embargo, esto podría llevar a una conclusión errónea, debido a que la termodinámica clásica está orientada principalmente al estudio de sistemas en equilibrio, incluidos el químico, mecánico y térmico, por lo cual es, por sí sola,

de poca ayuda en la cuantificación de las transformaciones que ocurren debido a la falta de equilibrio en los procesos en cuestión. Como el flujo de calor es el resultado de la falta de equilibrio en las temperaturas, para su cuantificación se utilizan otras ramas de la ciencia. El mismo razonamiento se aplica a otros tipos de procesos de transporte, tales como la transferencia de masa y difusión.

2.2.2 Limitaciones de la termodinámica clásica

La termodinámica clásica trata a los sistemas desde un punto de vista macroscópico; por lo que no considera la estructura de la materia. Para realizar un análisis termodinámico, es necesario describir el estado de un sistema en términos de características en conjunto, tales como la temperatura, presión y volumen, que pueden medirse directamente y no involucran hipótesis especiales relativas a la estructura de la materia. Estas variables o propiedades termodinámicas son significativas para el sistema como un todo, solo cuando son uniformes a través de él, es decir, cuando el sistema está en equilibrio. Por lo tanto, la termodinámica clásica no está relacionada con los detalles de un proceso, sino más bien, con los estados de equilibrio y las relaciones entre estos. Los procesos empleados en un análisis termodinámico son procesos idealizados, dispuestos solamente para dar información sobre los estados de equilibrio.

Desde un punto de vista termodinámico, la cantidad de calor transferido durante un proceso, simplemente es igual a la diferencia entre el cambio de energía del sistema y el trabajo realizado. Es evidente que este tipo de análisis no considera ni el mecanismo de flujo de calor ni el tiempo requerido para su transferencia. Simplemente, señala qué cantidad de calor proporciona o recibe un sistema durante un proceso, entre estados finales específicos, sin considerar cuándo o cómo podría realizarse; debido a que el **tiempo** no se considera una variable. La pregunta de cuánto tiempo tomaría transferir una cantidad específica de calor no es de gran importancia en el análisis termodinámico.

2.2.3 Transferencia de calor en la ingeniería

Desde el punto de vista de la ingeniería, la determinación de la rapidez de transferencia de calor a una diferencia de temperatura específica constituye el problema principal. Con el objeto de estimar el costo, la factibilidad y el tamaño del equipo necesarios para transferir una cantidad específica de calor en un tiempo dado, debe realizarse un análisis detallado de este proceso. Las dimensiones de calderas, calentadores, refrigeradores e intercambiadores de calor dependen no únicamente de la cantidad de calor que debe ser transmitida, sino también, del tiempo con que deba transferirse el calor bajo condiciones dadas. La operación apropiada de las componentes del equipo, tales como los alabes de las turbinas o las paredes de las cámaras de combustión, dependen de la posibilidad de enfriamiento de ciertas partes metálicas, retirando el calor de la superficie en forma continua y a gran velocidad. Asimismo, en el diseño de máquinas eléctricas, transformadores y rodamientos, debe hacerse un análisis de transferencia de calor para evitar las condiciones que provocan sobrecalentamiento y daño al equipo. Estos ejemplos muestran que en la mayoría de las ramas de la ingeniería, se encuentran problemas de intercambio de calor que no pueden resolverse por simple análisis termodinámico, sino que requieren un análisis de transferencia de calor.

En la transferencia del calor, como en otras ramas de la ingeniería, la solución adecuada de un problema requiere hipótesis e idealizaciones. Algunas veces, al resolver un problema, la información insuficiente o las propiedades físicas, hacen necesario usar además, aproximaciones, por lo que es casi imposible describir los fenómenos físicos en forma exacta, y para expresar un problema en forma de ecuación que pueda resolverse, es necesario hacer algunas consideraciones. En el cálculo de circuitos eléctricos, por ejemplo, generalmente se supone que los valores de las resistencias, capacitancias e inductancias son independientes de la corriente que fluye a través de ellas. Esta hipótesis simplifica el análisis, pero puede, en ciertos casos, limitar en forma apreciable la exactitud de los resultados. Debido a esto, es importante tener en mente la hipótesis, idealizaciones y

aproximaciones hechas durante un análisis, cuando son interpretados los resultados finales.

Por ejemplo, en el diseño de elementos de máquinas para operar a altas temperaturas, es necesario estimar el límite proporcional o la resistencia a la fatiga de un material, a partir de datos dados a bajas temperaturas. Para asegurar la operación satisfactoria del elemento, el diseñador debe aplicar un factor de seguridad a los resultados que obtuvo de su análisis. Aproximaciones similares son también necesarias en problemas de transferencia de calor. Propiedades físicas, tales como la conductividad térmica o la viscosidad, cambian con la temperatura, pero si se seleccionan valores promedio convenientes, los cálculos pueden ser considerablemente simplificados sin introducir un error apreciable en el resultado final. Cuando el calor es transferido de un fluido a una pared, como por ejemplo, una caldera, se forman incrustaciones debido a la operación continua y estas reducen la rapidez del flujo de calor. Con el objeto de asegurar una operación satisfactoria por un largo período, se debe aplicar un factor de seguridad que contrarreste ese fenómeno.

Cuando se considera necesario formular una hipótesis o una aproximación en la solución de un problema, el ingeniero debe confiar en su habilidad y en su experiencia. No existen guías simples para problemas nuevos y desconocidos, y una hipótesis válida para un problema puede dar resultados equivocados en otro. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que el primer y principal requisito para formular hipótesis o aproximaciones correctas en ingeniería, es un completo y amplio conocimiento del fenómeno físico involucrado en el problema dado. Esto requiere en el campo de la transferencia de calor, no únicamente estar familiarizado con las leyes y mecanismos físicos del flujo de calor, sino también con la mecánica de fluidos, física y matemáticas.

2.2.4 Flujo de calor

La transferencia de calor puede definirse como la transferencia de energía de una región a otra, resultado de la diferencia de temperatura existente entre ellas. Puesto que las diferencias de temperatura existen en todo el universo, los

fenómenos del flujo de calor son tan universales, como aquellos asociados con la atracción gravitacional. Sin embargo, a diferencia de la gravedad, el flujo de calor no está regido por una sola relación, sino más bien por una combinación de varias leyes de la física independientes.

La transferencia de calor suele suceder en tres modos distintos: conducción, radiación y convección. Estrictamente hablando, únicamente la conducción y la radiación deberían ser clasificadas como procesos de transferencia de calor, porque solamente estos dos mecanismos dependen para su operación, de la existencia de una diferencia de temperatura. El último, la convección, no cumple estrictamente con la definición de transferencia de calor, porque para su operación también depende del transporte mecánico de masa. Pero, puesto que en la convección también se efectúa transmisión de energía desde regiones de temperatura más alta a regiones de temperatura más baja, ha sido generalmente aceptado el término transferencia de calor por convección.

Cada uno de estos modos de transferencia de calor será descrito y analizado en forma separada. Sin embargo, se aclara que en muchas de las situaciones que se presentan en la naturaleza, el calor fluye, no por uno, sino por varios de estos mecanismos que actúan de forma simultánea. Es particularmente importante en ingeniería conocer la intervención de los diferentes modos de transferencia de calor, en virtud de que en la práctica, cuando uno de los mecanismos domina cuantitativamente, se obtienen soluciones útiles aproximadas, despreciando el resto de los mecanismos que no participan en el proceso dominante. Sin embargo, un cambio de condiciones externas exige que uno o ambos de los mecanismos previamente desaparecidos sean tomados en cuenta.

Conducción

La conducción es un proceso mediante el cual fluye el calor de una región de temperatura alta a una región de temperatura baja dentro de un medio (sólido, líquido o gaseoso) o entre diferentes medios en contacto físico directo. En el flujo de calor por conducción, la energía se trasmite por comunicación molecular directa sin desplazamiento apreciable de las moléculas. De acuerdo con la teoría cinética,

la temperatura de un elemento de materia es proporcional a la energía cinética media de sus constituyentes moleculares. La energía que posee un elemento de materia debido a la velocidad y la posición relativa de las moléculas, recibe el nombre de energía interna. Por lo tanto, para un elemento dado de materia, mientras más rápido se muevan sus moléculas, mayor será su temperatura y su energía interna. Cuando las moléculas de una región adquieran una energía cinética media mayor que la de las moléculas de una región adyacente, lo que se manifiesta por una diferencia de temperaturas, las moléculas que posean mayor energía transmitirán parte de ella a las moléculas de la región más baja de temperatura, que es la de menor temperatura. La transferencia de energía podría realizarse por choque elástico (por ejemplo, en fluido) o por difusión de los electrones rápidos desde la región de alta temperatura a la región de baja temperatura (por ejemplo, en los metales). Independientemente del mecanismo exacto, que no está completamente entendido, el efecto observable de la conducción del calor es un equilibrio de temperatura. Sin embargo, si la diferencia de temperatura se mantiene por adición y remoción del calor en diferentes puntos, se establecerá un flujo continuo de calor de la región más caliente a la región más fría.

La conducción es el único mecanismo por el cual puede fluir calor en sólidos opacos; importante en fluidos, pero en medios no sólidos está generalmente combinada con la convección, y en algunos casos también con la radiación.

Radiación

La radiación es un proceso por el cual fluye calor desde un cuerpo temperatura más alta a un cuerpo de más baja temperatura, cuando estos están separados por un espacio, que incluso puede ser el vacío. El término radiación es generalmente aplicado a las clases de fenómenos donde intervienen ondas electromagnéticas, pero en transferencia de calor únicamente son de interés los fenómenos en los que interviene la temperatura y por medio de los cuales se establece un transporte de energía a través de un medio transparente o a través del espacio. La energía transmitida en esta forma recibe el nombre de calor radiante.

Todos los cuerpos emiten calor radiante en forma continua, la intensidad de la emisión depende de la temperatura y la naturaleza de la superficie. La energía radiante viaja a la velocidad de la luz ($300,000 \text{ km s}^{-1}$) y es un fenómeno semejante a la radiación de la luz. En realidad, de acuerdo con la teoría electromagnética, la luz y la radiación térmica difieren únicamente en sus respectivas longitudes de onda.

El calor radiante es emitido por un cuerpo en forma de paquetes o cuantos de energía. El movimiento del calor radiante en el espacio es similar al de la propagación de la luz, y puede describirse con la teoría ondulatoria. Cuando las ondas de radiación encuentran algún otro objeto, su energía es absorbida cerca de la superficie. La importancia de la transferencia de calor por radiación se hace mayor conforme se incrementa la temperatura de un objeto. En los problemas de ingeniería que involucran temperaturas similares a las del medio ambiente, el calentamiento por radiación frecuentemente es omitido.

Convección

La convección es un proceso de transporte de energía por la acción combinada de conducción de calor, almacenamiento de energía y movimiento de la mezcla, de gran importancia como mecanismo de transferencia de energía entre una superficie sólida y un líquido o un gas.

La transferencia de energía por convección, desde una superficie cuya temperatura es superior a la del fluido que la rodea, se realiza en varias etapas. Primero, el calor fluye por conducción desde la superficie hacia las partículas adyacentes del fluido; la energía así transferida sirve para incrementar la temperatura y la energía interna de estas partículas del fluido. Entonces, las partículas del fluido se mueven hacia una región del fluido con temperatura más baja, donde se mezcla y transfiere una parte de su energía con otras partículas del fluido. El flujo, en este caso, es de fluido y energía. Realmente la energía es almacenada en las partículas del fluido y transportada como resultado del movimiento de la masa. Para su operación, este proceso no depende únicamente de la diferencia de temperatura y, por lo tanto, no está estrictamente de acuerdo

con la definición de transferencia de calor. Sin embargo, el efecto neto es un transporte de energía y, puesto que éste ocurre en dirección de un gradiente de temperatura, está clasificado como un método de transferencia de calor y conocido como flujo de calor por convección.

La transferencia de calor por convección se clasifica de acuerdo con la forma de inducir el flujo; en convección libre (o natural) y convección forzada. El primero tiene lugar cuando el movimiento de mezclado es resultado de la diferencia de densidades causadas por los gradientes de temperatura; el segundo sucede cuando el movimiento de mezclado es inducido por un agente externo, tal como una bomba, o un agitador, el proceso se conoce como convección forzada.

La eficiencia de la transferencia de calor por convección depende principalmente del mezclado del fluido; como consecuencia, el estudio de la transferencia de calor por convección se basa en el conocimiento de las características del flujo del fluido.

En la solución de problemas de transferencia de calor, es necesario, además de reconocer los modos de la transferencia (que juegan un papel importante en el proceso) determinar si el proceso es o no estable. Cuando la rapidez del flujo de calor de un sistema no varía con el tiempo (es decir, cuando es constante), la temperatura de cualquier punto no cambia y prevalecen las condiciones del estado estable. Bajo las condiciones de estado estable, la rapidez del flujo de calor en cualquier punto del sistema es igual a la rapidez con la que entra dicho flujo y no existe cambio de energía interna.

Ejemplos típicos de estos sistemas son: el flujo de calor procedente de la combustión en los tubos de una caldera hacia el agua, el enfriamiento de una lámpara de luz eléctrica por la atmósfera circundante, o la transferencia de calor de un fluido caliente a uno frío en un intercambiador de calor.

El flujo de calor en un sistema es transitorio o inestable cuando las temperaturas de varios puntos del sistema cambian con el tiempo. Puesto que un cambio de la temperatura indica un cambio de la energía interna, se concluye que una parte de la energía se almacena y la otra constituye un flujo de calor inestable.

Los problemas de flujo de calor en estado inestable son más complejos y con frecuencia pueden resolverse únicamente con métodos de aproximación. Éstos se presentan durante calentamiento de hornos, calderas y turbinas, en el tratamiento térmico, en la eliminación de esfuerzos de los metales fundidos, entre otros procesos.

Un caso especial de flujo de calor en estado inestable se presenta cuando un sistema está sujeto a variaciones cíclicas de temperatura en sus alrededores. En tales problemas, la temperatura de un punto particular del sistema retorna periódicamente al mismo valor; también la rapidez del flujo de calor y el almacenamiento de energía efectúa variaciones periódicas. Los problemas de este tipo se clasifican en periódicos o de transferencia de calor en estado cuasiestable. Entre los ejemplos típicos se pueden mencionar: la variación de temperatura de un edificio en un periodo de veinticuatro horas, el flujo de calor a través de las paredes de un cilindro de una máquina alternativa, cuando la temperatura de los gases en el interior del cilindro cambia periódicamente.

2.2.5 Leyes básicas de la transferencia de calor

Cualquier análisis en ingeniería exige una respuesta cuantitativa para que éste tenga sentido. Para analizar problemas de transferencia de calor, se utilizan leyes físicas y las relaciones que rigen los diversos mecanismos de flujo de calor. Por lo que, para la presente investigación se hizo un análisis preliminar de las ecuaciones que rigen cada uno de los tres modos de transferencia de calor. En el siguiente capítulo, se mostrarán las relaciones cuando intervienen los procesos al mismo tiempo, ya sea en serie o en paralelo. El interés preliminar es obtener un amplio panorama del campo, sin entrar en detalles de cualquier proceso.

1. *Conducción.*

La relación básica para la transferencia de calor fue propuesta en 1822 por el científico francés J. B. J. Fourier. Estableció que la rapidez del flujo de calor por conducción (q_k) en un material, es igual al producto de la conductividad térmica del material, k , el área de la sección transversal a través de la cual fluye el calor

por conducción, A , y el gradiente de temperatura en la sección, dT/dx ; es decir la rapidez de variación de la temperatura T con respecto a la distancia x en la dirección del flujo de calor.

Para escribir la ecuación de conducción del calor en forma matemática, se adopta una convención de signos, donde es positiva la dirección en que se incrementa la distancia x si la dirección del flujo de calor también lo es.

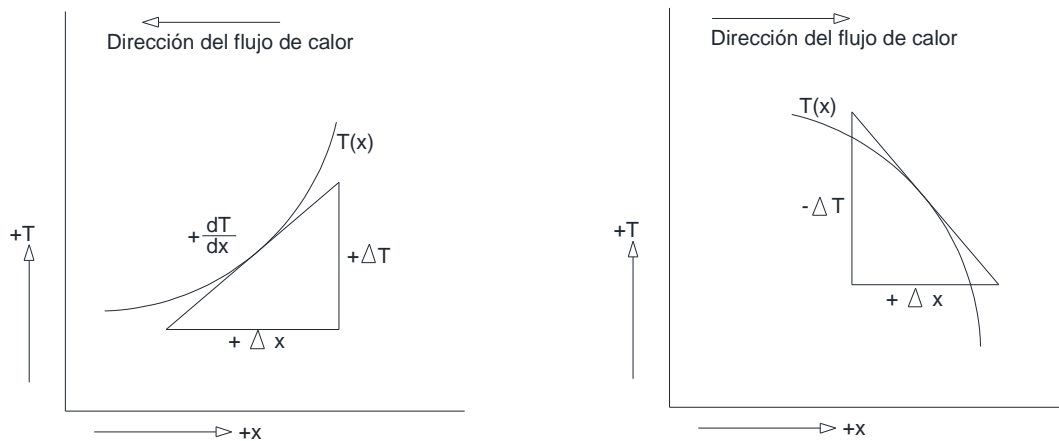


Figura 2.1. Diagrama que ilustra la convención de signos para el flujo de calor por conducción.

De acuerdo con la segunda ley de la termodinámica, el calor fluye automáticamente desde los puntos de más alta temperatura a los puntos de más baja temperatura, por lo que el flujo de calor es positivo cuando el gradiente de temperatura es negativo, como se muestra en la Figura 2.1. Consecuentemente, la ecuación elemental para la conducción en una dimensión en estado estable se expresa en la ecuación (3):

$$q_k = -kA \frac{dT}{dx} \quad (3)$$

Para el caso simple de flujo de calor en estado estable a través de una pared plana, el gradiente de temperatura y el flujo de calor no varían con el tiempo, y el área de la sección transversal a lo largo de la trayectoria del flujo de calor, es uniforme; por lo que las variables de la ecuación (3) pueden separarse, obteniendo la ecuación :

$$\frac{q_k}{A} \int_0^L dx = - \int_{T_{caliente}}^{T_{fria}} k dT \quad (4)$$

Los límites de integración se comprueban mediante la inspección de la Figura 2.2, donde la temperatura ($T_{caliente}$) en el lado izquierdo ($x = 0$) y la temperatura (T_{fria}) en el lado derecho ($x = L$) son uniformes y tienen un valor.

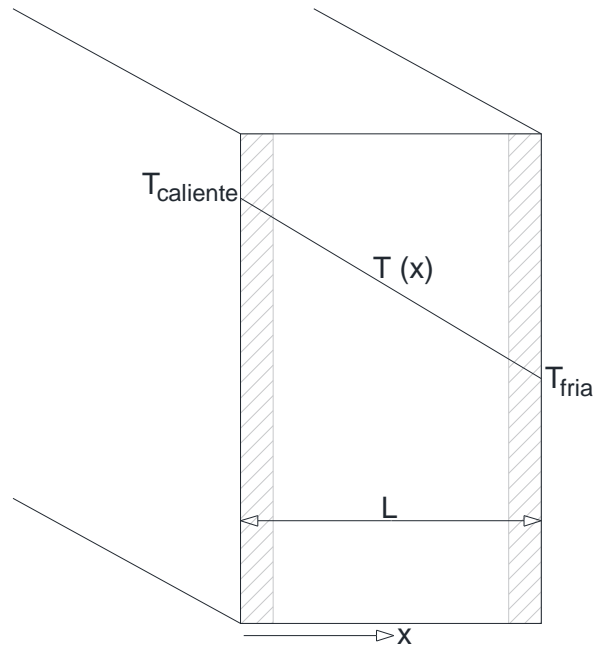


Figura 2.2. Distribución de temperatura a través de una pared plana.

Si k es independiente de T , el resultado de la ecuación (4) expresa la rapidez de la conducción del calor a través de la pared como se muestra en la ecuación (5).

$$q_k = \frac{Ak}{L} (T_{caliente} - T_{fria}) = \frac{\Delta T}{L/Ak} \quad (5)$$

En donde ΔT (diferencia de $T_{caliente}$ y T_{fria}) es el potencial impulsor que provoca el flujo de calor, L/Ak es equivalente a la resistencia térmica, R_k , que presenta la pared al flujo de calor por conducción y se escribe en la ecuación (6).

$$R_k = \frac{L}{Ak} \quad (6)$$

Al recíproco de la resistencia térmica se le denomina conductancia térmica, y se expresa en la ecuación (7).

$$k_k = \frac{Ak}{L} \quad (7)$$

Al resultado de k/L (conductancia térmica por unidad de área) se le llama unidad de conductancia térmica para el flujo de calor por conducción. El subíndice k indica que el mecanismo de transferencia es por conducción. La conductancia térmica tiene como unidades $BTU \text{ hr}^{-1} \text{ }^\circ\text{F}^{-1}$ y la resistencia térmica en $\text{hr }^\circ\text{F } BTU^{-1}$. Los conceptos de resistencia y conductancia térmicas son útiles en el análisis de sistemas térmicos en los que intervienen varios modos de transferencia de calor simultáneamente.

3 METODOLOGÍA

3.1 Especificación y Clasificación de los Materiales

3.1.1 Cemento

Para la presente investigación se utilizó cemento **Portland CPC 30R** de la marca **CEMENTOS CRUZ AZUL** el cual satisface las especificaciones de la **Norma Mexicana NMX-C-414 ONNCCE** y la **Norma Norteamericana ASTM C-1157**, cuyas propiedades se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades del cemento CPC 30R.

Clase Resistente	Resistencia a la Compresión N mm ⁻²		
	Mínimo a 3 días	Mínimo a 28 días	Máximo a 28 días
20	-	20	40
30	-	30	50
30 R	20	30	50
40	-	40	-
40 R	30	40	-

3.1.2 Agregados

Los agregados utilizados son típicos de la región de Santiago de Querétaro, Querétaro, que son arena de mina como agregado fino, y grava triturada como agregado grueso, con un tamaño nominal de $\frac{3}{4}$ ". Ambos materiales fueron clasificados para obtener algunas de sus propiedades físicas de acuerdo con las normas ASTM. A continuación se describen las pruebas realizadas a cada uno de

los agregados; por otra parte, los resultados de éstas se describen en el siguiente capítulo.

Pruebas

- i. Contenido de humedad actual: Este valor se obtuvo siguiendo las especificaciones de la norma **ASTM D-2216**; donde a través de este método se determina el porcentaje de humedad de una muestra de agregado mediante el secado del mismo. El material fue secado en parrilla a temperatura constante para obtener su peso seco y determinar el contenido de humedad presente en el material en ese momento.
- ii. Densidad aparente: Este valor fue obtenido según la especificación **ASTM C 29/ C 29M**. El método cubre la determinación de la densidad aparente del agregado en un estado compactado o suelto. La densidad aparente de un agregado se calcula dividiendo la masa por unidad de volumen. La densidad aparente suelta se determinó llenando un recipiente de peso y volumen conocidos, al dejar caer arena desde una altura aproximada de 5 cm sobre la parte alta del recipiente hasta llenarlo, posterior a esto se realizó el enrasado y pesado del recipiente con el agregado fino y se determinó la masa que contenida en el recipiente. El procedimiento se realizó dos veces y se tomó el valor promedio. La densidad aparente compactada se realizó con el mismo procedimiento, pero a diferencia de la otra, en esta prueba se varillaron las capas para compactar el material y al terminar el llenado el recipiente se enraso y pesó, repitiendo la lectura y tomando el valor promedio.
- iii. Granulometría: La granulometría de los agregados finos se hizo conforme a la norma **ASTM 136**. Este método de ensayo cubre la distribución del tamaño de las partículas de los agregados gruesos y finos por tamizado; donde una muestra de material seco y una masa conocida fueron pasadas a través de una serie de mallas para determinar la distribución de sus partículas.

Granulometría

Para la elaboración del ferrocemento se utilizó arena cuya granulometría está dentro de los parámetros que especifica la **Guía de Construcción para Estructuras de Ferrocemento** y que se observa en la Figura 3.1.

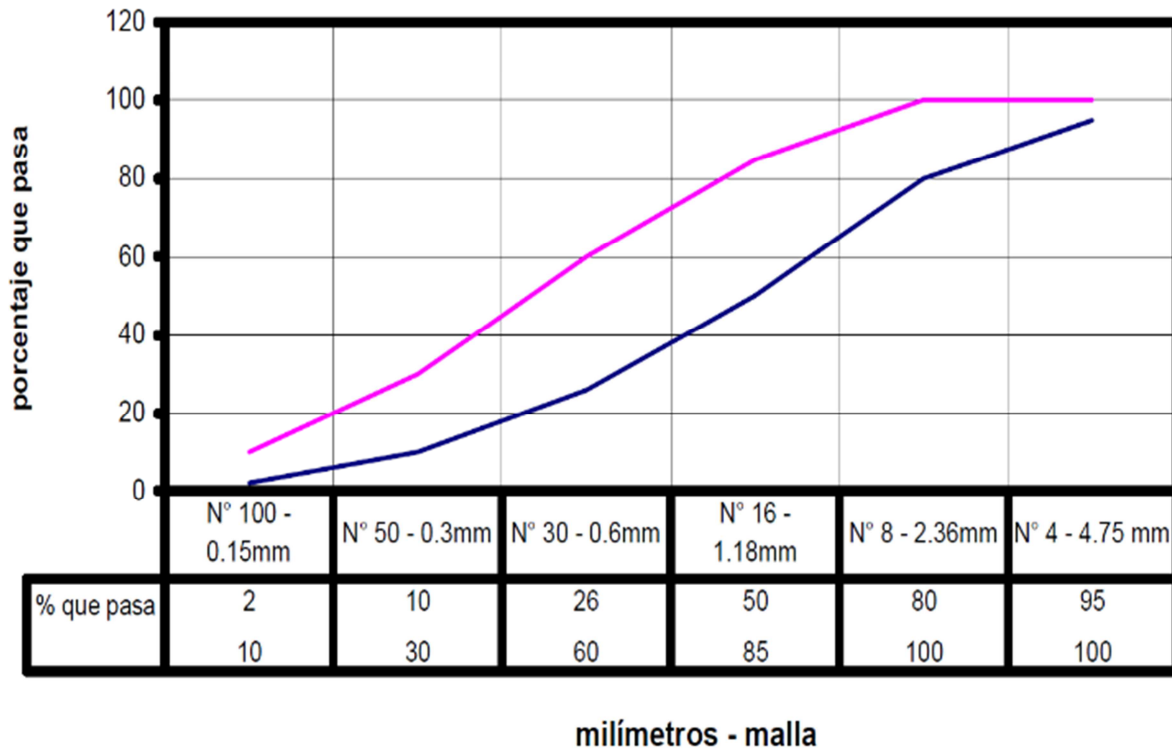


Figura 3.1. Rangos para el tamaño de grano del agregado.

La arena es el agregado más común usado en ferrocemento, el cual cumple con la norma **ASTM C33** o un equivalente; se procuró que estuviera limpia, inerte, libre de materia orgánica y sustancias nocivas, además relativamente libre de limo y arcilla. Sin embargo, se sabe que áridos de sílice duros, fuertes y afilados logran los mejores resultados de resistencia.

La clasificación de agregado fino está de acuerdo con las directrices de la Tabla 2, que se adaptan a partir de la norma **ASTM C 33**; sin embargo, el tamaño máximo de las partículas debe ser controlado por las limitaciones de construcción tales como el tamaño de la malla y la distancia entre capas.

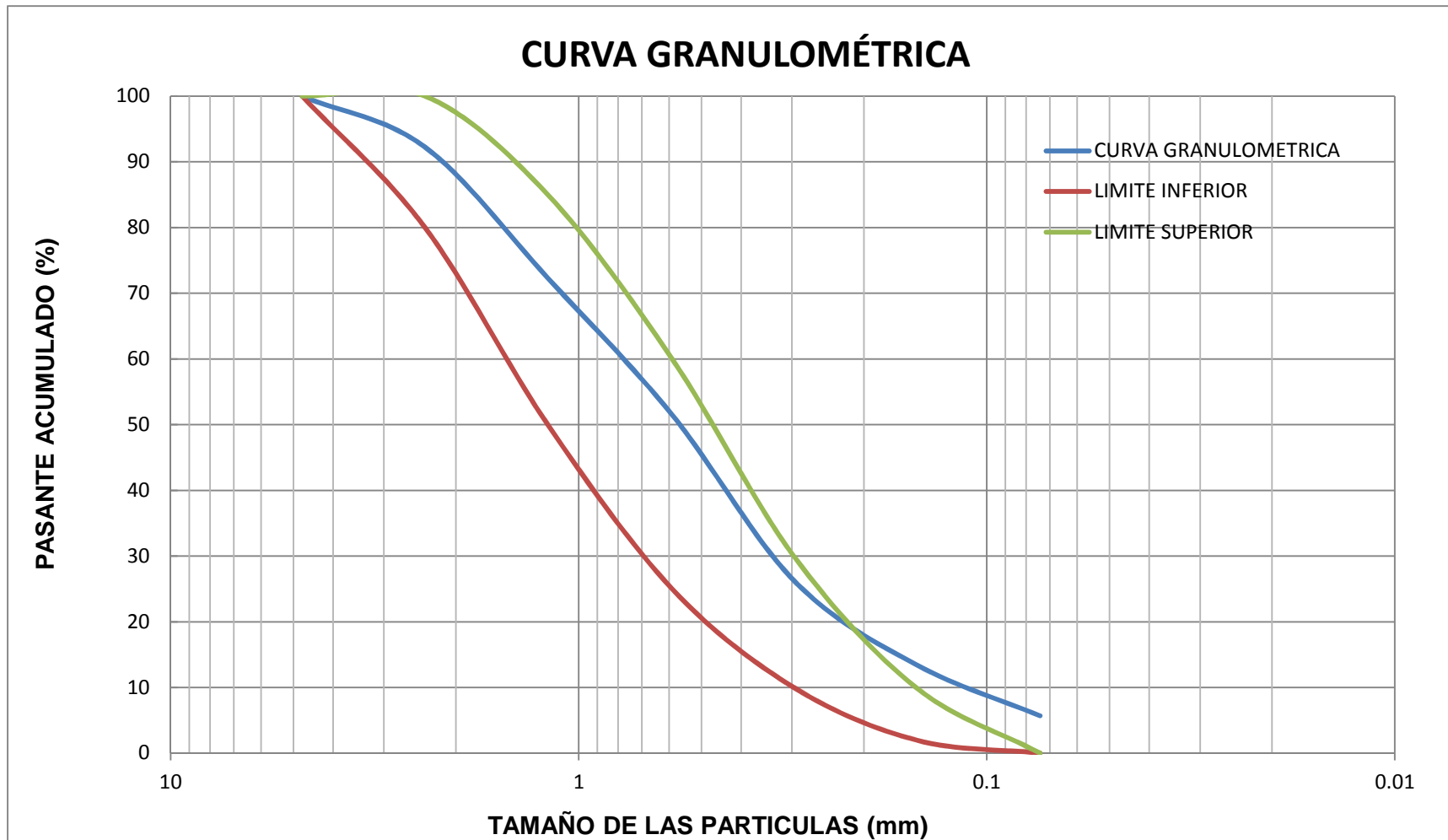
Tabla 2. Límites recomendables para la selección del agregado.

TAMAÑO DE MALLA	PESO (% QUE PASA)
No. 8 (2.36 mm)	80 - 100
No. 16 (1.18 mm)	50 - 85
No. 30 (0.60 mm)	25 - 60
No. 50 (0.30 mm)	10 - 30
No. 100 (0.15 mm)	2 - 10

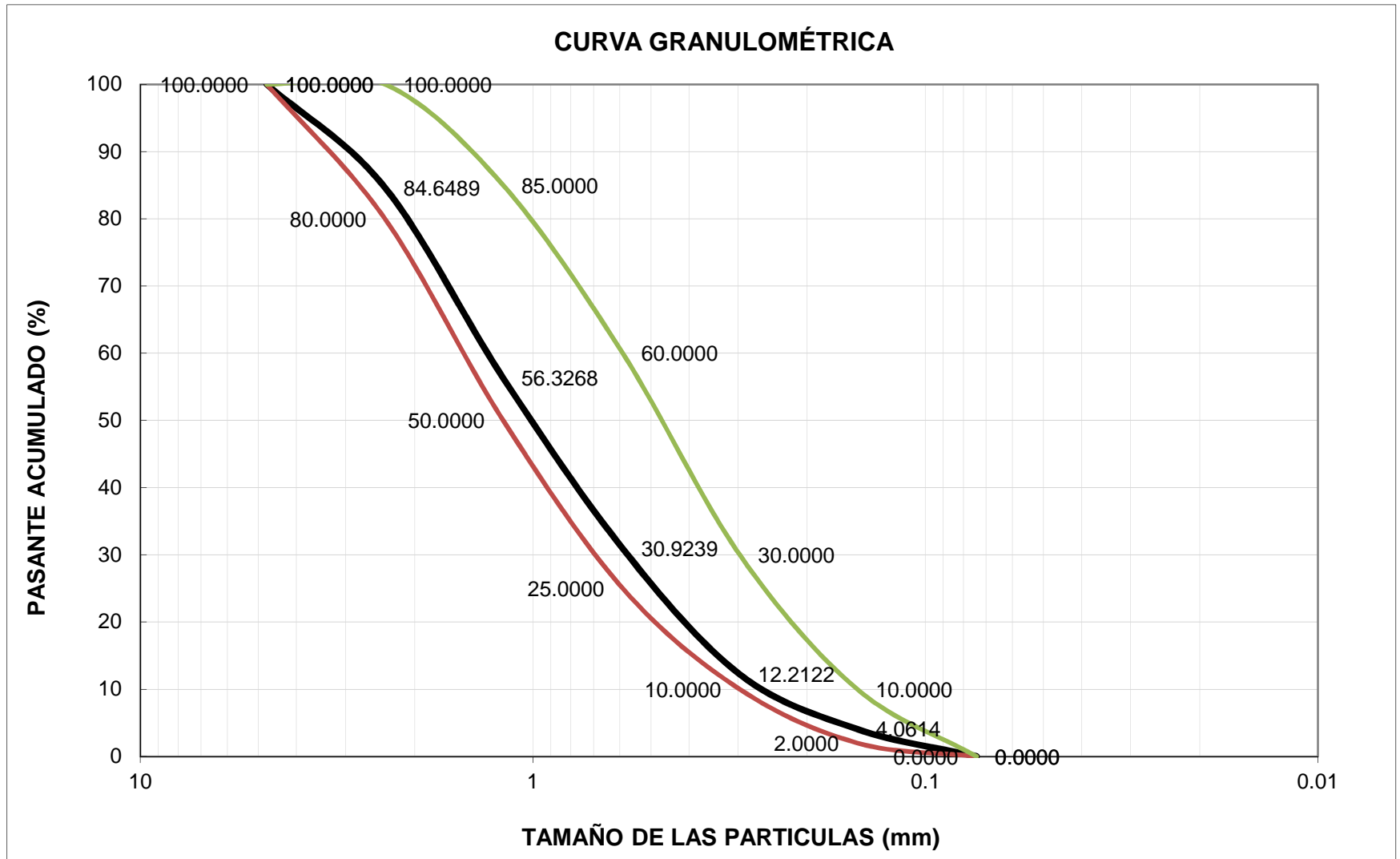
La primera propuesta de agregado con el que se quiso trabajar en esta investigación no cumplía con las características solicitadas por la norma, como se muestra en la Gráfica 3.1, por lo que fue necesario clasificar el material para ajustarlo a los requisitos solicitados. En esta gráfica se presentan las curvas con el límite inferior, superior y la de granulometría del agregado fino propuesto sin lavar.

Para clasificar el material, primero fue necesario retirar el material que no pasaba la malla # 4 y después lavar la arena por la malla # 200, para retirar el alto contenido de finos. Una vez realizado este procedimiento, la granulometría cumplió los parámetros establecidos, como se ve en la Gráfica 3.2.

Los valores de la Gráfica 3.1 y Gráfica 3.2, son resultado de la granulometría para arenas y son producto de las tablas 3 y 4 respectivamente.



Gráfica 3.1. Granulometría de la arena sin lavar.



Gráfica 3.2. Granulometría de la arena lavada por la malla # 200.

Tabla 3. Granulometría del agregado propuesto inicialmente.

N TAMIZ"	FAC MALLA mm	PESO PARCIAL	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO	REQUERIMIENTO	
4	4.76	0.00	0.0000	0.0000	100.0000	100.0000	100.0000
8	2.38	31.09	7.7485	7.7485	92.2515	80.0000	100.0000
16	1.19	79.99	19.9357	27.6842	72.3158	50.0000	85.0000
30	0.59	83.49	20.8080	48.4922	51.5078	25.0000	60.0000
50	0.297	101.22	25.2268	73.7190	26.2810	10.0000	30.0000
100	0.149	51.30	12.7854	86.5043	13.4957	2.0000	10.0000
200	0.074	31.32	7.8058	94.3101	5.6899	0.0000	0.0000
FONDO		22.83	5.6899	100.0000	0.0000		
TOTAL		401.24	100.0000				

Tabla 4. Granulometría de arena retenida en la malla #200.

N TAMIZ"	FAC MALLA mm	PESO PARCIAL	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO	REQUERIMIENTO	
4	4.76	0.00	0.0000	0.0000	100.0000	100.0000	100.0000
8	2.38	76.88	15.3511	15.3511	84.6489	80.0000	100.0000
16	1.19	141.84	28.3221	43.6732	56.3268	50.0000	85.0000
30	0.59	127.22	25.4028	69.0761	30.9239	25.0000	60.0000
50	0.297	93.71	18.7117	87.7878	12.2122	10.0000	30.0000
100	0.149	40.82	8.1508	95.9386	4.0614	2.0000	10.0000
200	0.074	20.34	4.0614	100.0000	0.0000	0.0000	0.0000
FONDO		0.00	0.0000	100.0000	0.0000		
TOTAL		500.81	100.0000				

Densidad aparente

La matriz que conforma el mortero con el que se diseñaron los paneles de ferrocemento se constituye en más del 50% por el agregado fino, es por esto que conocer su densidad aparente, nos dió una referencia de que tan pesado sería nuestro panel. Así que una vez modificada la arena, fue necesario conocer su peso específico.

Para determinar el peso específico existen dos métodos: utilizando el peso específico suelto y el peso específico varillado. Ambas pruebas se realizaron tres veces, y garantizando que la diferencia de estas no fuera mayor de un 3 %, según lo estipula la norma, y los métodos se describen a continuación.

▪ **Peso Específico Aparente**

Es la relación del peso al aire de un volumen unitario de un material a una determinada temperatura y el peso al aire de igual densidad de un volumen de agua destilada a una temperatura establecida. Se calcula dividiendo el peso de la sustancia por el peso de un volumen igual de agua destilada en condiciones normales.

Importancia del peso específico:

- i. Es un índice de calidad que puede utilizarse para separar el material bueno del malo.
- ii. Indica cuanto espacio ocuparán las partículas en la mezcla de concreto.
- iii. Nos sirve para calcular el porcentaje de huecos presentes en el agregado.

El valor para el peso específico para agregados normales oscila entre 2400 y 2900 kg m⁻³.

Procedimiento:

Para realizar esta prueba fue necesario tener un recipiente de volumen y peso conocido, por lo que fue pesado vacío, para verificar su calibración, posteriormente, se llenó de agua destilada como se ve en la Figura 3.2 para calcular el volumen que es capaz de contener.



Figura 3.2. Calibración de recipiente.

Después de verificar la calibración, el recipiente se llenó de agua. Para la siguiente prueba, se llenó el recipiente de metal con el agregado hasta rebosar el mismo, y luego se enraza con la barra compactadora de 5/8" y 60 cm de longitud; a continuación se llevó a pesar en la balanza; repitiendo el experimento para corroborar que el margen de error fue menor al 1 % entre muestra y muestra, lo cual es acorde con la norma **ASTM**.

1. EQUIPO

- a) Recipiente metálico cilíndrico con capacidad aproximada de 3 litros, debidamente calibrado.
- b) Balanza de 20 kg. de capacidad.
- c) Enrasador.
- d) Partidor de muestras.

- e) Pala de punta cuadrada.
- f) Cucharón metálico.
- g) Horno eléctrico con temperatura controlable.

2. EXPLICACIÓN GENERAL

El peso unitario o peso volumétrico seco suelto de la arena, al igual que para el agregado grueso, es el peso de agregado necesario para llenar un recipiente de volumen conocido; es decir, el volumen ocupado por el agregado y los vacíos entre sus partículas.

El valor del peso unitario o peso volumétrico suelto se utiliza para:

- a) Para el diseño de mezclas de concreto.
- b) Para convertir pesos a volumen y viceversa

El peso volumétrico seco suelto se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{peso unitario suelto} = \text{factor de calibración por peso de material} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

3. REQUISITOS PARA EFECTUAR LA PRUEBA

- a) Recipientes metálicos calibrados de aproximadamente 3 litros de capacidad.
- b) La muestra de agregado fue secada al horno a peso constante, a una temperatura entre 105 y 110 °C para quedar completamente mezclada.

4. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

- a) Una vez que el material estuvo seco y enfriado al ambiente, se mezcló y cuarteó con una regla metálica de 1 m. de longitud.
- b) La mezcla se dividió en dos cuartos opuestos bien mezclados, después se tomó en forma alternada la cantidad suficiente con un cucharón.

- c) La muestra se depositó en el molde dejándolo caer desde una altura no mayor de 5 cm., proporcionándole como compactación única al agregado, la que alcanzó con la caída libre desde el cucharón; procurando que el molde rebose.
- d) Se niveló la superficie del agregado con un enrasador y se limpiaron los lados del recipiente con una brocha.
- e) El molde se pesó con todo y material en una balanza de 20 Kg.
- f) Los pasos anteriores se repitieron tres veces y después se hicieron los cálculos descritos anteriormente para el agregado grueso.

Dosificación del mortero

Para obtener un mortero que cumpla con las resistencias de diseño superiores a los 250 kg cm^{-2} y con las especificaciones sobre los materiales señalados con anterioridad, se debe tener un control estricto en la selección de los materiales, dosificación, preparación del mortero, métodos de colocación y curado; con la finalidad de que el producto resultante tenga una adecuada resistencia a la compresión, impermeabilidad, resistencia al ataque de agentes internos y externos, lo que permite prolongar la durabilidad de la estructura.

Para la preparación del mortero, la cantidad de materiales fue determinada por peso, debiendo responder a los resultados obtenidos de los ensayos para una resistencia determinada desde el diseño, por lo que se procuró que estuviera entre los siguientes rangos:

- a) Relación en peso de: agregado/cemento: 1,5 a 2; es decir, se empleó una proporción en peso equivalente a una parte de cemento por 1,5 a dos partes de arena.
- b) Relación en peso de: agua/cemento (a/c): 0,35 a 0,5; se optó por:
 - 0,4 si la arena es bien graduada, y se vibra.
 - 0,5 si se coloca a mano y la arena es angulosa.

Para encontrar que dosificación fue la más adecuada se realizaron diversos especímenes, mismos en los que se midió su fluidez y resistencia a la compresión,

para de esta manera encontrar la mezcla más adecuada; considerando como criterio los siguientes factores:

- a) Fluidéz entre el 110 y 125 %, para garantizar que el mortero cubra todos los espacios del molde y así garantizar un panel compacto.
- b) Ligereza, entre 2000 y 2300 kg m⁻³, ya que a gran escala, esto facilitará mucho más su proceso constructivo.
- c) Resistencia a la comprensión dentro de los parámetros del código del ferrocemento establecidos en el ACI, (que regulan la elaboración de estructuras de ferrocemento) y estipulan que su resistencia debe oscilar de 25 a 30 MPa.

Los rangos de proporciones de la mezcla recomendadas para aplicaciones de ferrocemento comunes son: proporción de cemento y arena en peso, 1,5 a 2,5, y la relación agua-cemento en peso, 0,35 a 0,5; cuanto mayor sea el contenido de arena, mayor es el contenido de agua necesaria para mantener la misma capacidad de trabajo. El módulo de finura de la arena, la relación agua-cemento, y la proporción de cemento y arena se determinaron a partir de lotes de prueba asegurando una mezcla que puede infiltrarse (encapsularse) en la malla y desarrollar una matriz fuerte y densa. La contracción no fue problema en el ferrocemento debido al alto contenido de refuerzo.

Debido a que el contenido de humedad del agregado debe ser considerado en el cálculo de agua requerida, las cantidades de materiales fueron determinadas en peso.

Por otra parte, la mezcla debe ser lo más rígida posible, siempre que ello no impida la penetración completa de la malla, por lo que la caída de mortero fresco no debe exceder de 2 in (50 mm). Para la mayoría de las aplicaciones, la resistencia a la compresión a 28 días de curado se recomienda no sea inferior a 5000 psi.

3.1.3 Ensayos de fluidez

Para la determinación de la proporción de la matriz que constituyó los paneles de ferrocemento fue necesario cuidar los límites enunciados con anterioridad, entre ellos la fluidez. Para esto hubo que utilizar la norma American Society for Testing Materials (ASTM), la cual regula que la fluidez de la mezcla en estado líquido sea la adecuada y óptima en cuestiones de trabajo. Este método de ensayo cubre la determinación del flujo de morteros de cemento hidráulico.

Los rangos aceptables para esta prueba según el apartado: **C 1437 – 01 Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar**, oscilan en un 100 ± 5 y se determinaron como se muestra en la Figura 3.3.



Figura 3.3. Ensayo para determinar el revenimiento.

3.1.4 Resistencia a la compresión

Para la elaboración de los cilindros de concreto se utilizó la norma **Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars** que detalla la fabricación, curado y pruebas a compresión del mortero, a 7, 14 y 28 días después de su elaboración.

El mortero se constituyó utilizando las diferentes proporciones plateadas en el previo diseño experimental y fueron medidas en peso para tener mayor exactitud. El cemento utilizado fue cemento *Portland*. La relación agua cemento de 0.35 a 0.5, suficiente para obtener una variación de flujo en 110 ± 5 en 25 golpes de la tabla de flujo.

Los cilindros se curaron con un día dentro de los moldes, posteriormente se desnudaron y metieron al cuarto de curado hasta su ensaye.

Para ensayar los cilindros se utilizó la máquina universal, como se ve en la Figura 3.4.



Figura 3.4. Máquina universal en prueba de resistencia a compresión a 28 días.

3.2 Diseño Experimental

Una vez teniendo el agregado fino definido y el cemento a utilizar, se procedió a realizar los experimentos para diferentes proporciones, y así encontrar la mezcla que presente mejor resistencia estructural aunado a una facilidad de trabajo. Las proporciones que se generaron se muestran en la Tabla 5, además de sus índices de revenimiento (medidas en porcentaje).

Tabla 5. Proporciones de las mezclas.

M	Cem	Proporciones (%)			
		Arena	Agua	Fluidificante (gr)	Fluidez
1	1	1.5	0.35	0	104.67
2	1	1.5	0.4	0	109.9
3	1	1.5	0.45	0	117.9
4	1	1.5	0.5	0	125.3
5	1	1.5	0.515	0	133.72
6	1	2	0.4	0	107.18
7	1	2	0.45	0	109.58
8	1	2	0.5	0	114.8
9	1	1.5	0.4	0.08	131.91
10	1	1.5	0.45	0.08	143.03
11	1	1.5	0.5	0.08	151.33

Para cada mezcla propuesta, se elaboraron nueve muestras, las cuales se curaron en un cuarto húmedo por 7, 14 y 28 días; dichas muestras se probaron a compresión simple, se registraron los valores y se analizaron los datos, tomando como valores de diseño las resistencias alcanzadas a los 28 días.

Las resistencias registradas a 7 y 14 días sirvieron para tomar precauciones y modificaciones en mezclas posteriores, ya que estos resultados brindan un preliminar de la tendencia en la resistencia final del mortero.

Para determinar cuál de las mezclas de mortero resultó ser más resistente a la compresión, se elaboraron 99 especímenes con diferentes proporciones en su matriz, los cuales fueron probados a 7, 14 y 28 días. A partir de esto se elaboraron 3 especímenes para cada prueba, y de esta manera determinar la resistencia de diseño afectada por la desviación estándar; según la ecuación (8):

$$f^*c = \frac{\overline{fc}}{1 + (2.5 * C.V.)} \quad (8)$$

Dónde:

- f^*c → resistencia de diseño,
 fc → resistencia media y
 C.V. → coeficiente de variación.

Para la ecuación (8), el C.V. está representado por la ecuación (9):

$$C.V. = \frac{\text{desviación estándar}}{\text{resistencia media}} \quad (9)$$

La resistencia media es el promedio de la resistencia que alcanzó cada lote de muestras, hechas con la misma proporción y probadas el mismo día, cuyos resultados se muestran en la Tabla 6. Una vez analizados todos los valores, se observa que únicamente las muestras 3, 4 y 8, están dentro de los rangos establecidos. Ante tal situación, se eligió la muestra número 3, que es la que presenta mayor resistencia a la compresión y una fluidez adecuada, como mezcla para el material del panel.

De esta manera, el diseño de la mezcla quedó del siguiente modo:

- ✓ **Cemento:** 1 proporción en peso
- ✓ **Arena:** 1.5 proporciones en peso (arena seca)
- ✓ **Agua:** .45 proporciones en peso

Tabla 6. Resultados del diseño del mortero.

Muestra	Fluidez (%)	Resistencia (28 días) kg	Coef. de variación	Resistencia de diseño Kg cm ⁻²
1	104.67	4229.39	0.0189	205.67
2	109.9	4005.29	0.0107	198.66
3	117.9	3898.95	0.0182	189.95
4	124.3	3109.44	0.0129	153.4
5	133.72	2676.94	0.0207	129.62
6	107.18	2595.87	0.0448	118.88

7	109.58	2426.86	0.0258	116.12
8	114.8	2168.73	0.0042	109.3
9	131.91	2785.68	0.1115	110.94
10	143.03	2595.21	0.133	99.19
11	151.33	2598.05	0.1944	89.05

Cabe resaltar que se desechó el uso de fluidificantes, puesto que en algunas ocasiones estos producían grumos que ocasionaban un punto frágil en la estructura del mortero. En la Figura 3.5 se observa como uno de estos grumos produjo una falla.



Figura 3.5. Punto frágil por el uso de fluidificante no homogenizado.

3.3 Diseño y fabricación de paneles

Para el diseño del panel existieron algunos puntos limitantes. El primero hace referencia al peso propio del panel, ya que era necesario que el panel fuera lo más ligero posible, en primera instancia para prever el uso de grúa en el proceso constructivo, y en segunda para economizar su fabricación.

El siguiente punto fundamental en el diseño, fue la geometría propia del panel, la cual debía tener dimensiones no mayores a los 30 cm por lado, ni inferiores a los 25 cm por lado. La limitante superior fue, porque de ser más grande el panel, no

cabría en la cámara térmica donde se realizaron las pruebas de conductividad térmica; la limitante inferior, debido a que, de ser más pequeño el panel, no sería posible calcular en él las distancias en las cuales poner los apoyos al momento de realizar las pruebas de flexión pura.

Otra de las limitantes en el diseño fue el espesor del panel, este debería tener un espesor considerable, para proporcionar mayor resistividad térmica a su paso, pero no ser demasiado grueso, porque esto aumentaría su peso.

Una vez considerados estos puntos, se realizó el análisis correspondiente, y el panel quedó con las dimensiones como se muestran en la Figura 3.6.

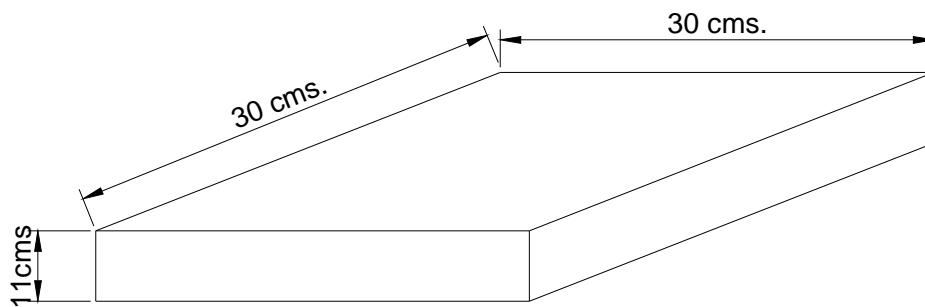


Figura 3.6. Diseño del panel.

3.4.1 Diseño Geométrico

Una vez definidas las dimensiones del panel, fue necesario proponer las variaciones topológicas del área transversal de éste, por lo que se propusieron cuatro diferentes topologías (Figura 3.7).

En la Figura 3.7, el diseño "A" se propuso una fila de huecos circulares de 3 in de diámetro, espaciados 2 cm. Para el "B" se propuso una fila de huecos cuadrados de 3 in de espesor, separados 2 cm. En el diseño "C" se propusieron dos filas de huecos circulares de 1 in de diámetro, con 2 cm entre cada hueco. En el diseño "D" se propusieron dos filas de huecos cuadrados de 1 in de espesor, con 2 cm entre cada hueco. En todos los diseños, el recubrimiento inferior y superior e intermedio del panel fue de 2 cm.

Estos diseños se hicieron principalmente pensando en dejar el panel con la mayor cantidad de vacíos, sin comprometer su resistencia a la flexión; también se buscó que los paneles fueran ligeros y que su proceso constructivo no requiriera equipo especializado.

Todos los paneles fueron hechos con mezclas similares en cuanto a proporción y procesos, con un área de 30 x 30 cm y un espesor de 11 cm.

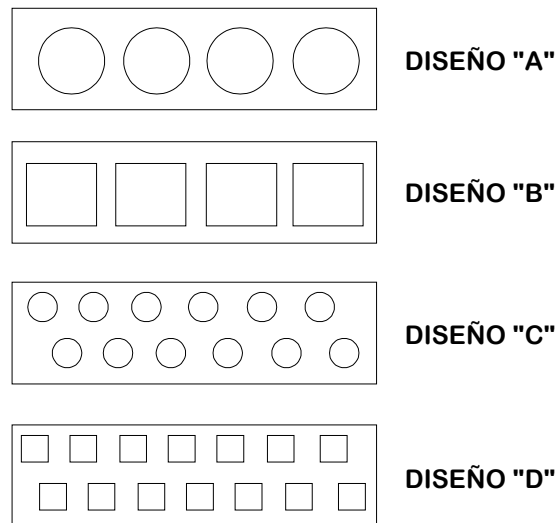


Figura 3.7. Diseño del área transversal para muestras.

3.3.1 Diseño del refuerzo

Para el diseño del refuerzo se utilizó la guía de construcción para estructuras de ferrocemento, la cual establece algunos criterios que se enuncian a continuación:

- El comportamiento del ferrocemento depende en gran medida del tipo, grado de concentración, orientación, resistencia del refuerzo y de las dimensiones de las mallas.*
- Las mallas de refuerzo están formadas de alambres tejidos, trenzados o soldados, que se distribuyen uniformemente en la masa del mortero, y como principales características deben ser manuales y flexibles para adaptarse a diversas formas.*

- c) Para la construcción de ferrocemento se empleó como refuerzo, la malla hexagonal de alambre de la Figura 3.8. Así mismo, podrían emplearse otros tipos de mallas existentes en el mercado, cuyas características tales como resistencia a la fluencia y el módulo de elasticidad, son determinadas mediante ensayos o suministradas por el fabricante. En nuestro caso se eligió esta malla porque era la más flexible y fácil de adquirir, lo que disminuye los costos de producción.
- d) Las mallas hexagonales, mallas cuadradas entretejidas, mallas cuadradas soldadas y mallas de metal expandido, deben ser resistentes a la corrosión.

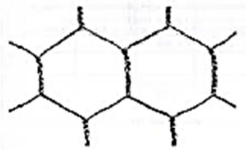
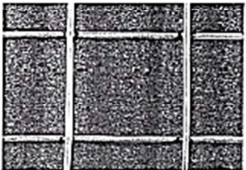
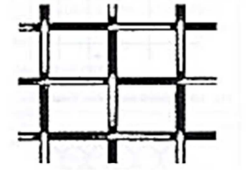

Tipos		Norma	Descripción
Hexagonal de alambre (malla de gallinero)			Fácil de manejar, se forma por el trenzado de alambres galvanizados, se fabrica con alambre estirado en frío.
Malla electro-soldada		ASTM A185	Está formada por alambres rectilíneos de acero, dispuestos de manera que forman cuadrados o rectángulo, soldados entre sí, en los puntos de contacto.
Malla cuadrada tejida		ASTME2016-99	Es una malla tejida, en la que los alambres están simplemente entrelazados, formando una malla cuadrada o rectangular, los alambres no están perfectamente derechos y existe un cierto grado de ondulación, según pruebas estas mallas se comportan tan bien o mejor que la malla hexagonal o cuadrada soldada.
Malla de metal expandido		ASTM C 847	Se forma cortando una hoja delgada de metal desplegado para hacer aberturas en forma de diamante. La desventaja de este material es que tiende a abrirse debido a la acción de "tijera" de la malla en forma de diamante; obviamente existe un límite en cuanto al tamaño y peso de este material para evitar la acción de "tijera".

Figura 3.8. Tipos de mallas para usar en estructuras de ferrocemento. Guía de construcción de estructuras de ferrocemento.

3.4 Proceso constructivo

La elaboración de los paneles representa un proceso sofisticado y cuidadoso, en el que se deben tener en cuenta los tiempos de elaboración, homogenización, vaciado, vibrado, fraguado y desmoldado. Fue de vital importancia el tener cronometradas las actividades, lo que evitó correr el riesgo de que el panel no presente las características deseadas por el fabricante.

El panel se elaboró mediante los siguientes pasos:

1. Dosificación por peso de los materiales que constituyeron la matriz del ferrocemento, como se muestra en la Figura 3.9.
2. Preparación de la cimbra. Es decir, se untó con una brocha el desmoldante en todas las paredes de la cimbra, paredes interiores y exteriores.
3. Elaboración del mortero. Se mezcló el agregado fino con el cemento, una vez homogenizada en seco, se agregó agua, y se mezcló hasta tener la consistencia adecuada como se muestra en la Figura 3.10.
4. Colocación y armado del acero de refuerzo (malla hexagonal), para asegurar el posicionamiento correcto de las mallas, por lo que se cuidó su espaciamiento y colocación de acuerdo a la capa del mortero, tal y como se muestra en la Figura 3.11.
5. Ajuste del molde, que dió la forma de los huecos internos del panel. Cabe resaltar que este molde es variable de acuerdo a cada espécimen, y dicho molde estuvo completamente cubierto de desmoldante, puesto que de lo contrario, tal y como sucedió en pruebas preliminares, dicho molde interno quedo atrapado dentro del panel. En la Figura 3.12 se muestra el vaciado del mortero, al cual aún le falta colocar un recubrimiento de 2 cm, así como dos mallas hexagonales de refuerzo, una por cada centímetro.
6. Vibrado del molde. Para este proceso se recomienda el uso de la mesa vibratoria, pero en este proyecto no se contó con dicho equipo, por lo que fue necesario utilizar un vibrado manual, que consiste en homogenizar el concreto a base de piquetes con una varilla punta de bala y golpear las paredes de la cimbra con un mazo de hule de alta densidad.

7. Acabado final a la superficie, antes de que el panel empiece a fraguar es necesario con el uso de una escuadra y una flota, dejar la superficie lo más pareja posible.
8. Curado del panel en cuarto húmedo por un periodo de 28 días a temperatura ambiente. En la Figura 3.13 se observa el panel terminado, donde también es posible apreciar cilindros de control que sirven para verificar la resistencia de diseño.



Figura 3.9. Dosificación en peso de los materiales que conforman la matriz de ferrocemento.



Figura 3.10. Mezcla del mortero con la consistencia adecuada.

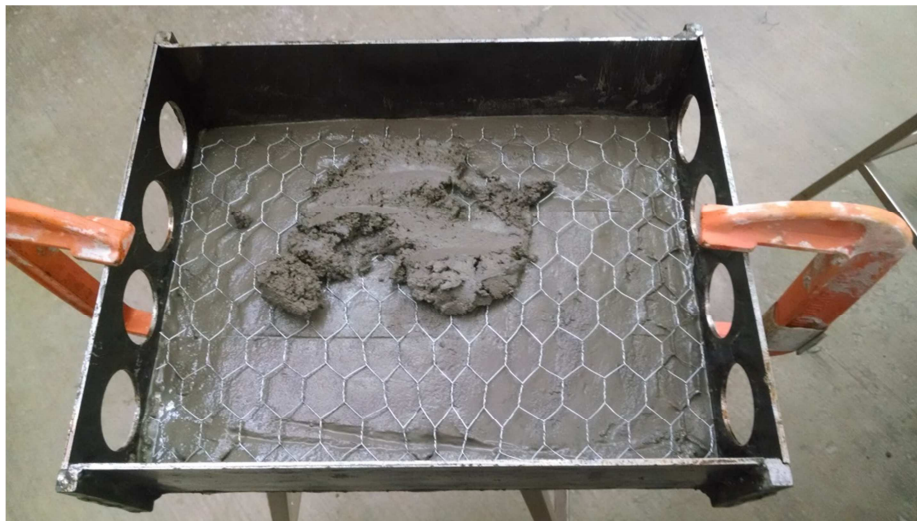


Figura 3.11. Colocación de la malla hexagonal inferior.

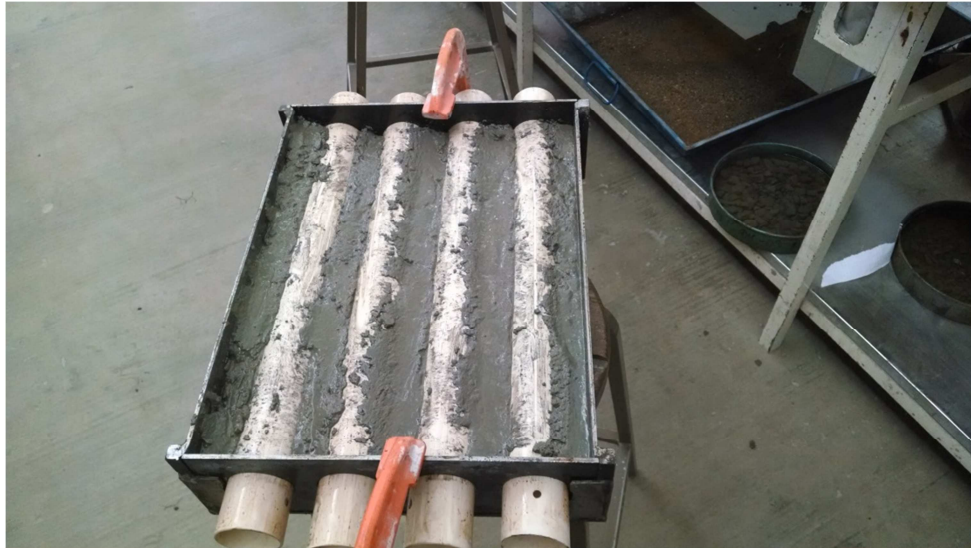


Figura 3.12. Colocación de cimbra interna del panel.

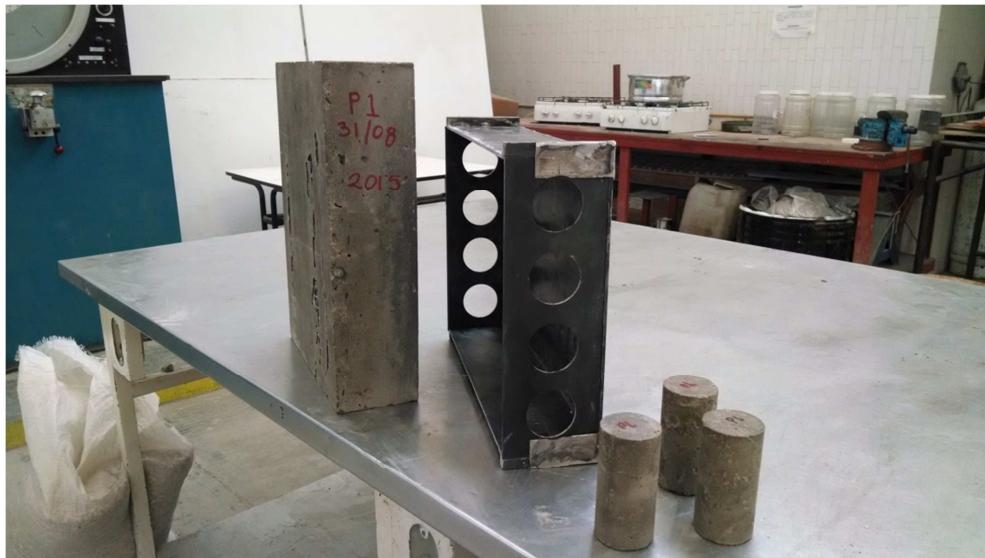


Figura 3.13. Acabado final del panel con cilindros de muestra.

3.4.1 Armado

El esqueleto de refuerzo fue a base de dos capas de malla hexagonal, cada centro de una capa de portero de 1 cm de espesor. Así mismo, entre cada orificio también se utilizó la misma malla para proveer la unión entre las capas superiores y las inferiores. En la Figura 3.14 se muestra el posicionamiento de las mallas.

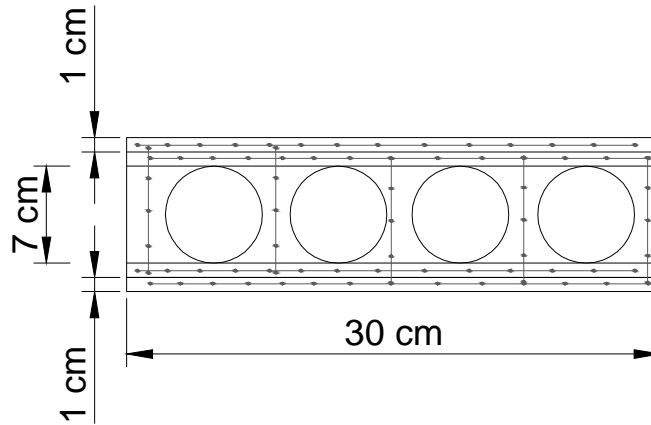


Figura 3.14. Distribución del acero de refuerzo.

Como se aprecia en la Figura 3.14 todas las capas de mortero están reforzadas con malla hexagonal, tal y como lo recomienda el reglamento del **ACI**.

3.4.2 Cimbras

La cimbra diseñada fue el resultado de varios prototipos fallidos, uno de ellos se muestra en la Figura 3.15. Los prototipos fallaron principalmente por no considerar las fuerzas de adherencia entre el concreto y el acero que se generan en la etapa de endurecimiento del concreto.

Debido a esto, se requirió estudiar el fenómeno de adherencia para solucionar el problema, encontrando que en elementos de concreto reforzado es necesario que exista adherencia entre el acero y el concreto de manera que ambos materiales estén íntimamente ligados entre sí, pero para el caso de las cimbras, estas se deben retirar antes de que se generen estos esfuerzos, que son el resultado de:

- Adhesión química entre la cimbra y el acero.
- Fricción entre la cimbra y el concreto, que se desarrolla el deslizarse la cimbra.
- Apoyo directo por diferentes coeficientes de dilatación térmica.

El problema de anclaje se solucionó evitando la adherencia química, girando la cimbra interna a la hora de fraguado para evitar la unión entre la ésta y el

concreto, además de evitar la fricción, siendo necesario retirar la cimbra a las dos horas de la elaboración del panel.

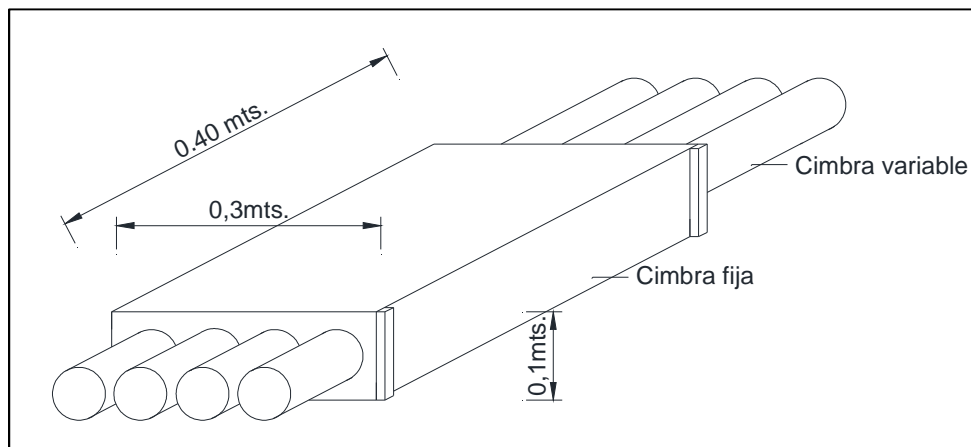


Figura 3.15. Diseño de cimbra.

3.4.3 Mezclas

Como es sabido, la relación agua - cemento es un factor determinante en la resistencia de diseño a compresión del concreto, por lo que es un tema muy delicado en la elaboración de la mezcla. La matriz del mortero se conformó como lo describe la Tabla 7, producto del análisis previo en la dosificación del mortero. El principal reto para poder homogenizar la mezcla fue no exceder el límite de agua propuesto, y mezclar con suficiente energía para no sobrepasar el tiempo de mezclado recomendado por el **ACI** de 15 minutos.

Tabla 7. Proporciones de la mezcla.

Proporciones (Porcentaje)					
M.	Cem.	Arena	Agua	Fluidificante (gr)	Fluidez (%)
3	1	1.5	0.45	0	117.9

3.5 Pruebas de conductividad térmica

Las pruebas de conductividad térmica que se efectuaron fueron comparadas con elementos de construcción convencionales, verificando la efectividad de los paneles diseñados en la presente investigación.

La conductividad térmica de un material es una medida de su capacidad para transferir energía térmica (calor), al imponerle un gradiente de temperatura. Para medir la conductividad térmica de materiales aislantes se puede usar un **Aparato de Placa Caliente**.

Los valores experimentales de esta propiedad termo física de transporte podrían utilizarse en el diseño y simulación de cargas térmicas en edificios, en la operación de plantas y sistemas que utilizan energía, en comparación con sistemas convencionales.

Para mejorar el cálculo de cargas térmicas para modelar el comportamiento térmico de edificaciones con fines de ahorro de energía, es necesario contar con los valores de las propiedades termo físicas: densidad, viscosidad, capacidad calorífica y conductividad térmica. Actualmente en México no existen datos publicados de los materiales que se fabriquen y utilicen en el país, por lo que se optó por tomar los resultados reportados en la literatura, cuyos valores, en su mayoría, no corresponden a los materiales mexicanos.

En esta investigación se utilizaron dos pruebas para medir la conductividad térmica de los especímenes, los cuales se describen a continuación.

3.5.1 Conductividad por radiación sin aislamiento

La ecuación (10), es la de Fourier, y fue utilizada en el cálculo de la transferencia de calor. Partiendo de las constantes de conductividad térmica (k) conocidas de materiales estudiados y caracterizados, se igualan las condiciones para determinar la k del material propuesto.

$$Q = kA \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (10)$$

Donde se supone que el calor inducido por radiación a los paneles de propiedades conocidas es el mismo que el inducido en el panel del que se desea

conocer su conductividad. Por lo cual, igualando las condiciones se puede obtener la k del espécimen representada por la ecuación (6):

$$k_{panel} = k_{tab} \frac{t_2 - t_1}{t_3 - t_1} \quad (11)$$

Donde:

k_{panel} → constante de conductividad que se quiere conocer,

k_{tab} → constante de conductividad del tabicón (material conocido),

t_1 → temperatura inicial del panel en la cara que recibe la radiación solar,

t_2 → temperatura final del tabicón y

t_3 → temperatura final del panel.

Esta consideración es válida partiendo que la radiación que reciben ambos elementos es la misma puesto que están ubicados uno al lado del otro, como se ve en la Figura 3.16; el área de contacto y el diferencial Δx también es el mismo, puesto que la geometría de ambos elementos es la misma.



Figura 3.16. Panel expuesto a radiación térmica.

Para determinar la temperatura de las superficies del panel se utilizó la máquina Fluke Ti400 60hz Thermal Imager (Figura 3.17).

Para determinar estas temperaturas se realizaron pruebas a diversas horas, para encontrar el punto donde la temperatura es estable y poder determinar con mayor precisión la conducción de calor. También fue importante tomar las mediciones a la misma distancia y ángulo de inclinación.



Figura 3.17. Equipo Fluke.

3.5.2 Prueba de placa caliente

Las pruebas de conductividad térmica se basaron en el procedimiento estipulado por la ASTM, verificando las condiciones que debe cumplir un dispositivo para la medición de la conductividad térmica para especímenes de placa caliente en estado estable unidimensional.

Al grupo del estado estable pertenecen los métodos de medición donde las muestras de prueba están sujetas a un perfil de temperatura, el cual es invariable en el tiempo, es decir, para cada punto permanece constante la temperatura en todo momento; así que la conductividad térmica se determina midiendo la velocidad del flujo de calor por unidad de área y la diferencia de temperatura cuando la muestra ha alcanzado el equilibrio.

Estos métodos de prueba cubren la medida del flujo de calor y las condiciones de prueba asociadas para especímenes de placa plana. La medición del flujo de

calor puede ser dependiente de condiciones ambientales y condiciones de prueba de aparato, también como características intrínsecas del espécimen. Basado en las medidas del flujo de calor conducidas con este método, las propiedades de conducción térmica se calcularon de acuerdo a las normas **C518 y C177** de la **ASTM**.

- El método utilizado cubre la forma, y las medidas del flujo de calor en estado estable por medio de especímenes de plancha plana usando un aparato de placa caliente cubierta. Este método envuelve tanto el modo de medida de un lado como el modo de medida del doble lado. Los diseños de plancha de calentamiento y la fuente de línea distribuida, no fueron estudiados, sin embargo se verificó que el equipo estuviera calibrado de acuerdo a la norma.
- Los cálculos de la transmisión térmica se basaron métodos de la norma **C177** de la **ASTM**.
- Este método de prueba es aplicable a la medida de una amplia variedad de especímenes, que abarca desde sólidos opacos hasta porosos, aunado a un amplio campo de condiciones ambientales.

Descripción

La Figura 3.18 muestra los componentes del centro del sistema idealizado: dos unidades isotérmicas de superficies frías y una unidad isotérmica de superficie caliente protegida. La unidad isotérmica de superficie caliente protegida está compuesta por una unidad de área medida y una unidad concéntrica protegida. En medio de estas tres unidades ilustradas en la Figura 3.18, está el material que será evaluado, esto es, el espécimen. En el modo de doble lado de medida, el espécimen está realmente compuesto de dos piezas. La medida en este caso produce un resultado que es el promedio de las dos piezas y así pues es importante que los dos lados sean tan parecidos como sea posible. La unidad de área medida es la proporción del ensamble que provee el poder (el flujo caliente por unidad de tiempo) para la medida y define el volumen de prueba. La porción del espécimen que está siendo medida la llamaremos resistencia eléctrica.

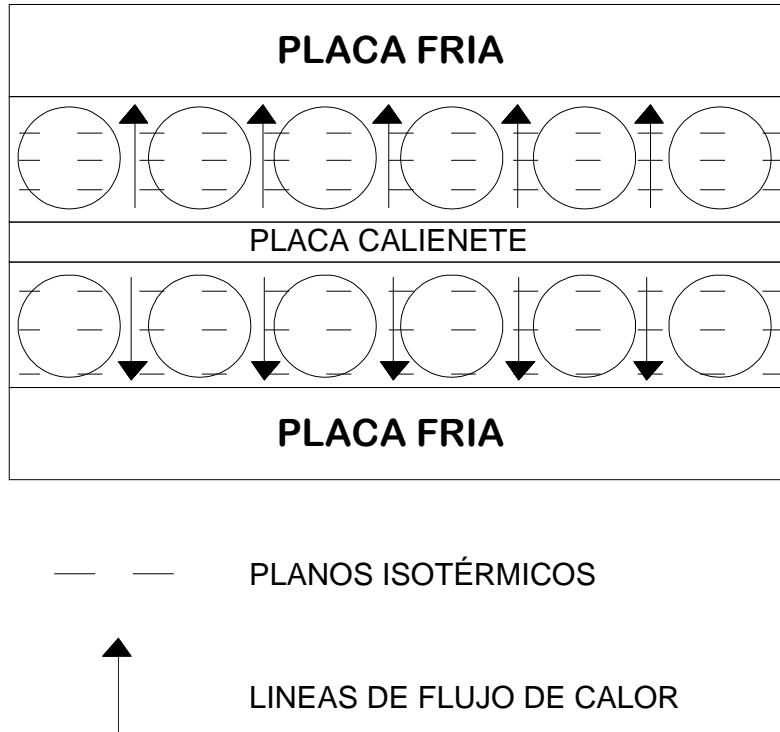


Figura 3.18. Esquema del aparato de placa caliente protegida.

La función de la porción de protección de la unidad isotérmica de superficie caliente es para brindar el poder adicional necesario para crear las condiciones térmicas propias dentro del volumen de prueba. En cualquier caso idealizado, la porción de protección se puede pensar como infinita en ancho, pero en esta investigación se determina por las dimensiones de resistencia y las paredes de protección de la unidad. Las condiciones ideales, son ilustradas en la Figura 3.18 por el aspecto de las superficies isotérmicas y líneas de constante densidad de flujo de calor dentro del espécimen.

Las superficies isotérmicas son paralelas a cada una y al centro de los tres componentes. Además, las líneas de densidad de flujo de calor constante son perpendiculares hacia estas superficies planas y son distribuidas uniformemente por toda el área medida. El establecimiento de las condiciones idealizadas de arriba simplemente quiere decir que no hay componentes radiales de flujo de calor dentro o inmediatamente contiguo al volumen de prueba.

Procedimiento

Una vez establecidos los fundamentos y criterios de prueba, fue necesario preparar los paneles de acuerdo al equipo que fue empleado; estas preparaciones varían de en cuanto a detalles dimensionales, pero presentan el mismo modelo de transferencia de calor anteriormente descrito.

Previo a la prueba, fue necesario trazar en el panel un cuadrado de 11 cm de ancho, como se muestra en la Figura 3.19, el cual corresponde precisamente al área de contacto que analizada. En este cuadro se colocaron 4 termopares, que monitorearon en el transcurso de la prueba las temperaturas superficiales. Para estos termopares fue necesario fabricar un canal para el paso del cable que conduce la corriente, dicho canal de 2 mm de espesor y 4 mm de fondo.



Figura 3.19. Panel con trazo de área donde se midió la variación de temperatura.

Para garantizar el contacto entre las superficies del espécimen y las superficies de las placas, se recomienda que el espécimen este perfectamente

escuadrado y las sus superficies sean paralelas entre sí; de esta manera asegurar el contacto térmico uniforme con la placa de calentamiento y enfriamiento. Debido a esto, las superficies fueron pulidas y así se garantizó el contacto de todos los puntos, como se muestra en la Figura 3.20.

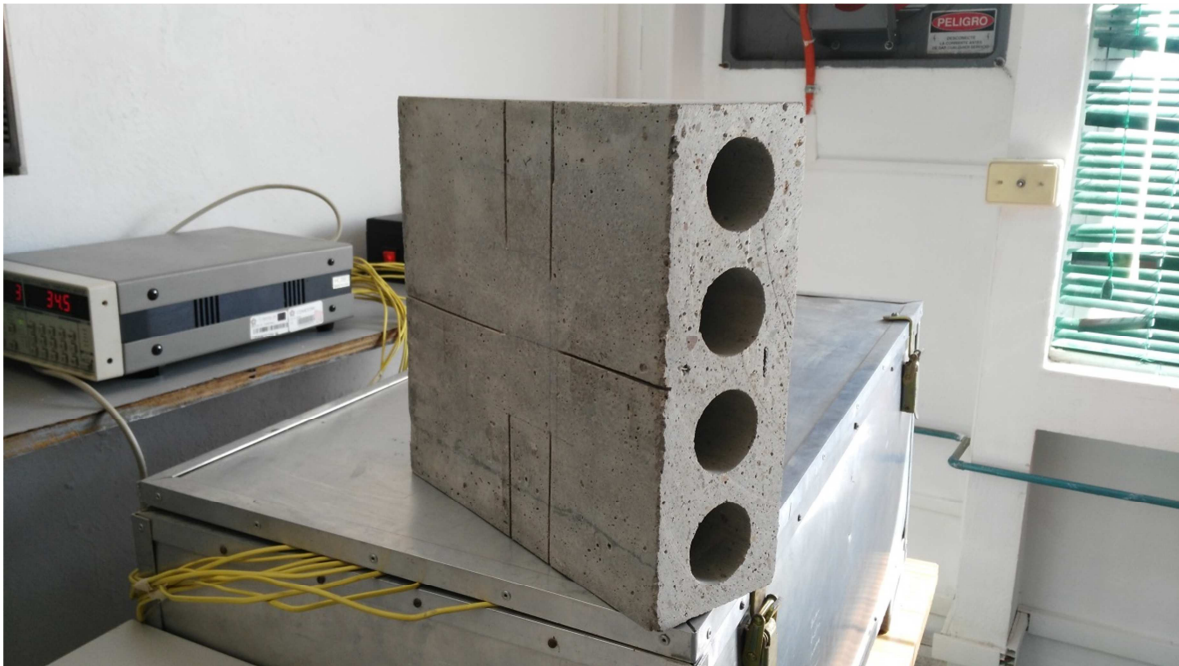


Figura 3.20. Panel preparado para colocarle los termopares.

A cada cara del espécimen llegaron cuatro termopares, considerando que para esta prueba son necesarios dos especímenes, en total se utilizaron 16, como se muestra en la Figura 3.21. Adicionalmente a estos termopares, fue necesario adicionar uno, que fue el encargado de monitorear la temperatura de la placa caliente.

Debido a que el espécimen no tenía las dimensiones requeridas por el equipo que se empleó, se cortaron para adecuarse a las dimensiones mencionadas anteriormente (30 x 30 cm).

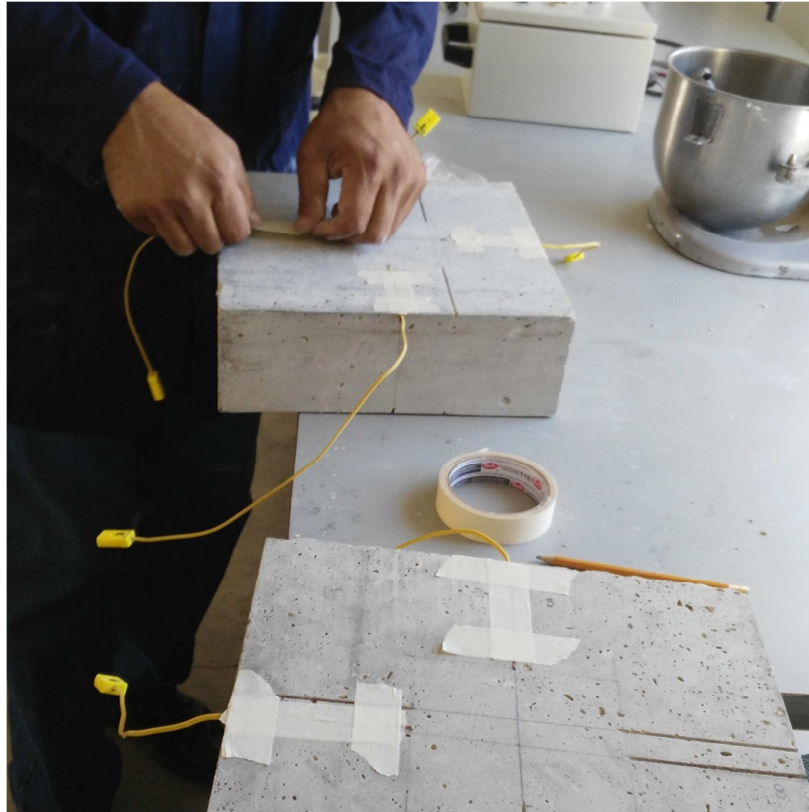


Figura 3.21. Instalación de termopares.

El método requirió lo siguiente: (a) establecimiento de condiciones de estado estable, y (b) medida del flujo de calor unidireccional en la región medida, (c) área medida, (d) temperaturas de las superficies calientes y frías, (e) grosor del espécimen y otros parámetros que puedan afectar el flujo de calor unidireccional a través de la región medida.

El término “aparato protegido de placa caliente” se aplica a todo sistema de especímenes de placa y componentes asociados de control y medidas. La colocación general de los componentes mecánicos de tal sistema se ilustra en la Figura 3.22.

Para la medición de temperatura con sensores de control, cualquier sistema requiere que posea una consistencia precisa, (como en la presente experimentación), el análisis de error calculado se puede usar para medición y control de temperaturas dentro del sistema.

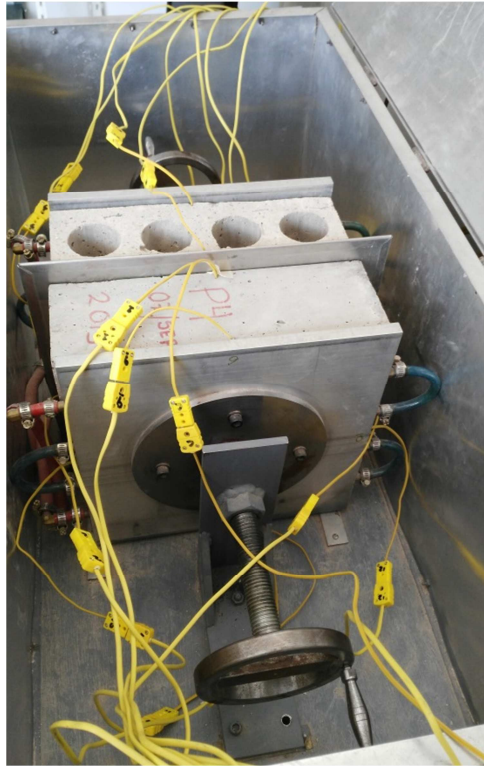


Figura 3.22. Prueba de placa caliente.

Los sensores de temperatura fueron calibrados para una mayor exactitud de diseño del aparato.

La energía hacia la región medida fue determinada con un contador de energía o con medidas de voltaje y corriente a través del calentador en la región media, poniendo especial atención en que las determinaciones de la energía en corriente alterna son más propensas a error que las mediciones de corriente directa.

El tiempo requerido para establecer el estado estable térmico del sistema varía considerablemente con las características del diseño del aparato, el espécimen que será medido y las condiciones de prueba. Sin embargo, generalmente desde que este método de prueba es aplicable a especímenes de baja conducción, el establecimiento de tiempo está en el orden de horas. Tiempos de establecimiento generalmente aumentan con especímenes más gruesos, especímenes con baja difusividad térmica y sólido. Una vez que se logró el estado estable, tres repasos sucesivos de datos adquiridos fueron completados.

La primordial información requerida para este método de prueba incluye energía eléctrica, temperatura de la superficie, el área y espesor. El flujo de calor que se reporta es el que pasa por cada espécimen. Para el modo de operación de doble lado solo la mitad de energía generada por el calentador fluye por cada espécimen.

La precisión o incertidumbre de un resultado medido indica la probable o posible diferencia entre el valor medido y el verdadero valor. Las precisiones dadas pueden ser o muy grandes o muy pequeñas dependiendo el cuidado tomado en la construcción y operación de cada aparato individual.

El reporte de los resultados de cada prueba incluyó identificación del espécimen, la condición ambiental de prueba, detalles salientes del aparato y resultados medidos junto con sus inciertos sistemáticos y estimados. Los resultados medidos fueron los valores promedio tal y como fueron obtenidos en la prueba. No existieron circunstancias extrañas que impidieron realizar las mediciones tal y como lo establece la norma. Recordando que las bases de este método se encuentran en la dirección uniaxial del flujo de calor a través de un cuerpo, a continuación se analizó esta regla aplicada a una pared plana.

En la Figura 3.22 es posible apreciar el sistema puesto en marcha. Para cada prueba se utilizaron dos especímenes de las mismas características y se tomaron 800 mediciones por cada termopar, ya que la literatura establece que al menos deben de tomarse 600 mediciones. Considerando que son 16 termopares, en total se recopilaron 12,800 mediciones de temperatura.

Para la recolección de datos se utilizó el sistema propio del centro de investigaciones y estudios avanzados (CINVESTAV), el cual despliega una gráfica como la Figura 3.23, también arroja un archivo de texto donde recopila las temperaturas de los 16 termopares. Estas mediciones se realizan cada 11 segundos, hasta encontrar la estabilidad del sistema de conducción térmica.

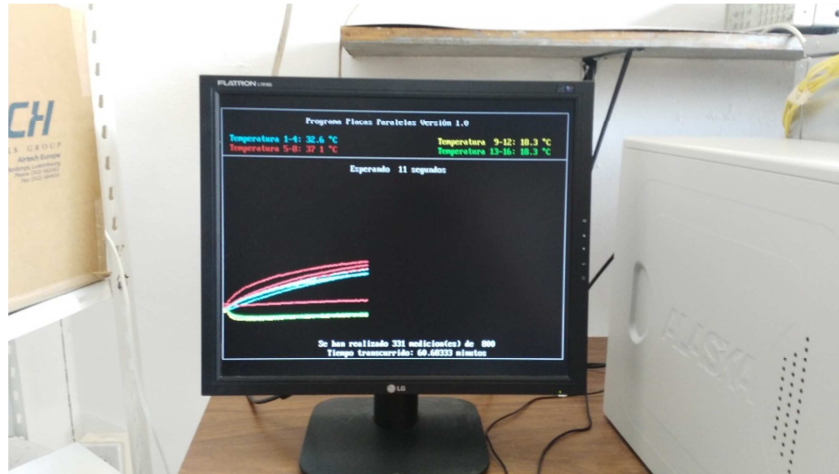


Figura 3.23. Recopilación de temperaturas por termopares.

Resistencia a la flexión

Los ensayos realizados a los paneles de ferrocemento fueron pruebas a flexión hasta su falla, todas ellas se colocaron en la máquina universal ubicada en el laboratorio de física de la Universidad Autónoma de Querétaro, a continuación en la Figura 3.24 y Figura 3.25 se mostraran los diagramas que permitan visualizar de una manera más precisa como se colocaron, instrumentaron y ensayaron los paneles.

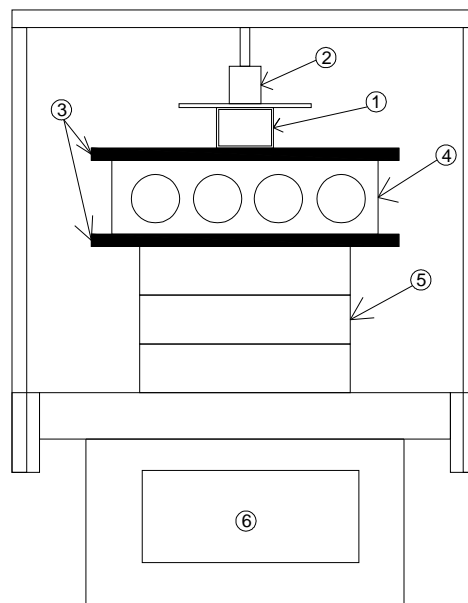


Figura 3.24. Vista frontal de colocación de especímenes.

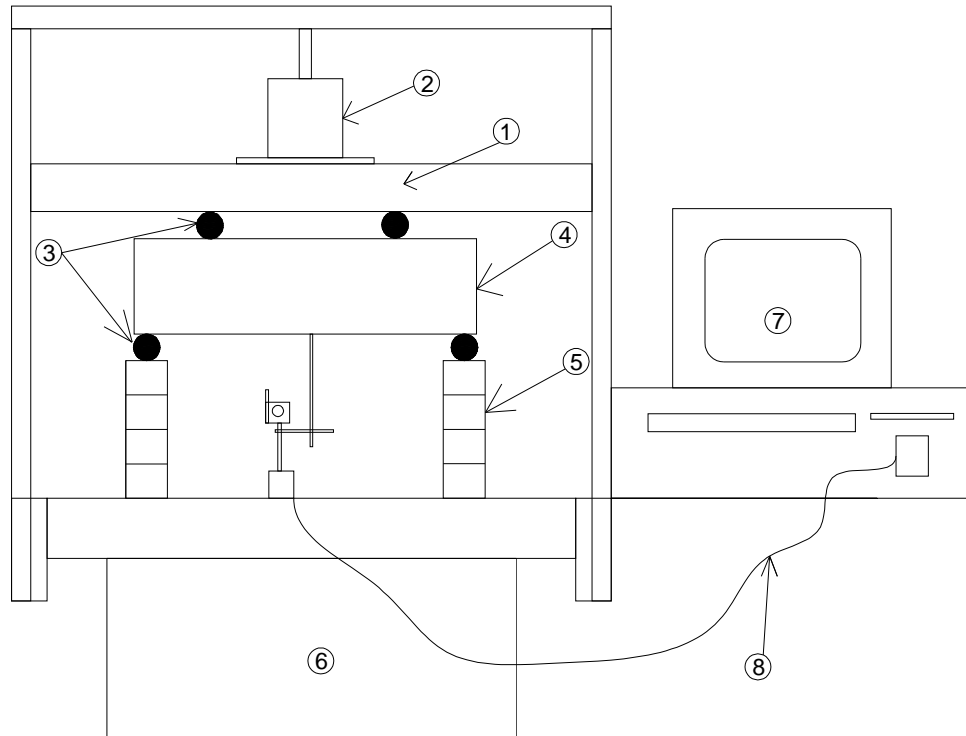


Figura 3.25. Vista lateral de la colocación de especímenes.

Dónde:

1. Perfil de acero estructural PTR.
2. Pistón de carga de máquina universal.
3. Rodillo base.
4. Especimen (panel de ferrocemento).
5. Calzas de madera para panel.
6. Máquina Universal.
7. Computadora para recolección de datos.
8. Cable USB de conexión entre micrómetro y computador.
9. Rodillos para aplicación de carga a los tercios del claro.
10. Micrómetro.

Todos los especímenes se ensayaron como se muestra en los diagramas anteriores, se consideró como resistencia de diseño la experimentación a los 28

días de su elaboración, además se registró la carga aplicada y su deformación cada 25 kg f aplicados a dos tercios del panel.

En la Figura 3.26 se muestra un panel a punto de ser ensayado, en el cual es posible apreciar el equipo empleado así como las partes anteriormente descritas. En la Figura 3.27, es posible apreciar el tipo de fractura presentada en los paneles.



Figura 3.26. Espécimen ensayado en panel universal.



Figura 3.27. Fractura de panel.

4 RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Prueba de placa caliente

Una vez determinados y contruidos los prototipos finales, se concluyó con las topologías que se muestran en la Figura 4. 1, construyendo 4 paneles de cada sección transversal, dando un total de 16 paneles. La mitad de estos (8 paneles) se utilizaron para efectuar la prueba de la placa caliente, la otra mitad se ensayaron a flexión pura.

Para cada espécimen se tomaron 800 mediciones en intervalos de 11 segundos; considerando que cada medición registra la temperatura de 8 termopares, los resultados son bastante espaciosos, por lo que se presentan los resultados de solo uno de ocho especímenes en la Tabla 8.

El resto se presentan en gráficas, donde es más claro su comportamiento térmico ante la inducción de calor.

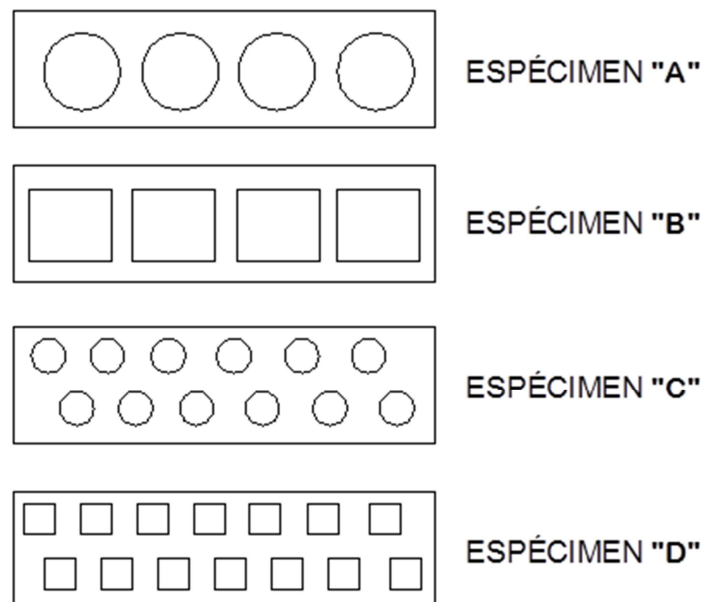


Figura 4. 1 Vista en corte de los especímenes fabricados.

ESPÉCIMEN (A) PRUEBA IZQUIERDA

No. MEDICION	TEMPERATURA DE LA FRONTERA CALIENTE				TEMPERATURA DE LA FRONTERA FRIA			
	Termop ar 1	Termop ar 2	Termop ar 3	Termop ar 4	Termop ar 9	Termopa r 10	Termopa r 11	Termopa r 12
1	19.90	19.60	19.40	20.00	16.30	17.70	18.20	17.60
2	20.10	19.80	19.50	20.20	16.10	17.60	18.10	17.60
3	20.20	19.90	19.60	20.30	15.90	17.50	18.10	17.50
4	20.30	19.90	19.70	20.40	15.80	17.40	18.00	17.40
5	20.40	20.10	19.80	20.60	15.70	17.30	17.90	17.30
6	20.50	20.20	19.90	20.70	15.50	17.20	17.90	17.20
7	20.60	20.30	20.00	20.90	15.40	17.20	17.90	17.20
8	20.70	20.40	20.10	21.00	15.30	17.10	17.80	17.10
9	20.80	20.50	20.20	21.10	15.20	17.10	17.80	17.10
10	20.90	20.60	20.30	21.30	15.20	17.00	17.70	17.00
11	21.00	20.70	20.40	21.40	15.10	16.90	17.70	17.00
12	21.10	20.80	20.50	21.50	15.00	16.90	17.70	16.90
13	21.20	21.00	20.50	21.60	15.00	16.80	17.70	16.90
14	21.30	21.10	20.70	21.70	14.90	16.80	17.60	16.90
15	21.40	21.10	20.70	21.80	14.90	16.90	17.70	16.90
16	21.40	21.20	20.80	21.90	14.90	16.80	17.60	16.80
17	21.50	21.30	20.90	22.00	14.80	16.80	17.60	16.90
18	21.60	21.50	21.10	22.20	14.80	16.70	17.60	16.80
19	21.80	21.60	21.20	22.30	14.80	16.70	17.60	16.80
20	21.80	21.70	21.30	22.40	14.80	16.70	17.60	16.80
21	21.90	21.80	21.30	22.50	14.80	16.60	17.50	16.80
22	22.00	21.90	21.40	22.60	14.70	16.60	17.50	16.80
23	22.00	21.90	21.40	22.60	14.70	16.60	17.50	16.70
24	22.10	22.00	21.50	22.70	14.70	16.60	17.50	16.70
25	22.20	22.10	21.60	22.80	14.70	16.50	17.50	16.70
26	22.20	22.20	21.60	22.90	14.70	16.50	17.50	16.70
27	22.40	22.30	21.70	23.00	14.60	16.50	17.40	16.70
28	22.40	22.30	21.80	23.20	14.70	16.50	17.40	16.60
29	22.40	22.40	21.80	23.30	14.70	16.50	17.50	16.70
30	22.50	22.50	21.90	23.40	14.70	16.50	17.50	16.70
31	22.60	22.70	22.10	23.50	14.70	16.50	17.50	16.60
32	22.70	22.70	22.10	23.50	14.60	16.50	17.40	16.70
33	22.80	22.80	22.20	23.60	14.70	16.40	17.40	16.60
34	22.80	22.80	22.20	23.70	14.60	16.40	17.40	16.60
35	22.90	22.90	22.30	23.70	14.60	16.40	17.40	16.60
36	22.90	23.00	22.40	23.80	14.60	16.40	17.40	16.60
37	23.00	23.00	22.40	23.90	14.60	16.40	17.40	16.60
38	23.10	23.10	22.50	24.00	14.70	16.40	17.40	16.60
39	23.20	23.30	22.60	24.10	14.70	16.40	17.40	16.60
40	23.20	23.20	22.60	24.20	14.70	16.40	17.40	16.60
41	23.30	23.40	22.70	24.30	14.70	16.40	17.40	16.60
42	23.40	23.50	22.80	24.30	14.70	16.30	17.40	16.60
43	23.40	23.50	22.80	24.30	14.60	16.40	17.30	16.50
44	23.50	23.50	22.90	24.40	14.60	16.30	17.30	16.50
45	23.50	23.60	23.00	24.50	14.60	16.30	17.30	16.50
46	23.60	23.60	23.00	24.60	14.70	16.40	17.40	16.50
47	23.60	23.70	23.10	24.70	14.70	16.40	17.30	16.60

48	23.70	23.80	23.20	24.70	14.70	16.30	17.30	16.60
49	23.80	23.90	23.30	24.80	14.70	16.30	17.30	16.60
50	23.80	24.00	23.30	24.90	14.70	16.30	17.30	16.50
51	23.90	24.00	23.40	24.90	14.70	16.30	17.20	16.50
52	23.90	24.00	23.40	25.00	14.70	16.30	17.20	16.50
53	24.00	24.00	23.50	25.00	14.60	16.20	17.20	16.50
54	24.00	24.10	23.50	25.10	14.70	16.30	17.30	16.60
55	24.00	24.10	23.60	25.20	14.70	16.30	17.30	16.50
56	24.10	24.20	23.60	25.30	14.70	16.30	17.20	16.50
57	24.20	24.40	23.70	25.30	14.70	16.30	17.20	16.50
58	24.30	24.40	23.80	25.40	14.70	16.30	17.20	16.50
59	24.30	24.50	23.80	25.40	14.70	16.20	17.20	16.50
60	24.40	24.50	23.80	25.50	14.80	16.20	17.20	16.50
61	24.40	24.50	23.90	25.50	14.80	16.30	17.30	16.50
62	24.50	24.60	24.00	25.70	14.80	16.30	17.30	16.50
63	24.60	24.70	24.00	25.70	14.80	16.30	17.20	16.50
64	24.60	24.70	24.10	25.70	14.80	16.30	17.20	16.50
65	24.70	24.80	24.10	25.80	14.70	16.20	17.20	16.50
66	24.70	24.80	24.20	25.80	14.70	16.20	17.20	16.40
67	24.70	24.80	24.20	25.90	14.70	16.20	17.20	16.50
68	24.80	24.90	24.30	26.00	14.80	16.30	17.20	16.50
69	24.80	24.90	24.30	26.00	14.80	16.30	17.20	16.50
70	24.90	25.00	24.40	26.10	14.80	16.20	17.20	16.50
71	25.00	25.10	24.40	26.10	14.80	16.20	17.20	16.50
72	25.00	25.10	24.50	26.20	14.80	16.20	17.20	16.40
73	25.00	25.10	24.50	26.20	14.80	16.20	17.20	16.40
74	25.10	25.20	24.60	26.20	14.90	16.30	17.20	16.40
75	25.10	25.20	24.60	26.40	14.80	16.30	17.20	16.50
76	25.20	25.20	24.60	26.40	14.80	16.30	17.20	16.50
77	25.30	25.40	24.80	26.40	14.80	16.20	17.20	16.50
78	25.30	25.40	24.80	26.50	14.80	16.20	17.20	16.40
79	25.40	25.40	24.80	26.50	14.80	16.20	17.10	16.40
80	25.40	25.50	24.90	26.60	14.80	16.20	17.10	16.40
81	25.40	25.50	24.90	26.60	14.80	16.10	17.20	16.40
82	25.40	25.50	25.00	26.80	14.90	16.20	17.20	16.40
83	25.60	25.60	25.10	26.80	14.80	16.20	17.20	16.40
84	25.70	25.70	25.10	26.80	14.90	16.20	17.20	16.40
85	25.60	25.70	25.10	26.80	14.80	16.20	17.10	16.40
86	25.70	25.80	25.20	26.90	14.80	16.20	17.10	16.40
87	25.70	25.80	25.20	26.90	14.80	16.10	17.10	16.30
88	25.80	25.80	25.20	27.00	14.90	16.20	17.20	16.40
89	25.90	25.80	25.20	27.00	14.90	16.20	17.20	16.40
90	25.90	25.90	25.40	27.10	14.90	16.20	17.10	16.40
91	25.90	26.00	25.40	27.20	14.90	16.20	17.10	16.40
92	26.00	26.00	25.50	27.20	14.90	16.20	17.20	16.40
93	26.00	26.00	25.50	27.20	14.90	16.10	17.10	16.30
94	26.00	26.00	25.50	27.20	14.90	16.10	17.10	16.30
95	26.00	26.10	25.50	27.30	14.90	16.10	17.10	16.30
96	26.20	26.10	25.60	27.30	15.00	16.20	17.10	16.40
97	26.20	26.20	25.70	27.40	15.00	16.20	17.10	16.40
98	26.20	26.30	25.70	27.50	15.00	16.20	17.10	16.40
99	26.20	26.30	25.70	27.50	15.00	16.20	17.10	16.40
100	26.30	26.30	25.80	27.50	15.00	16.10	17.10	16.30
101	26.30	26.30	25.80	27.50	14.90	16.10	17.10	16.30
102	26.40	26.40	25.80	27.60	15.00	16.20	17.20	16.40
103	26.40	26.50	25.90	27.70	15.00	16.20	17.20	16.40

104	26.50	26.50	26.00	27.70	15.00	16.20	17.10	16.40
105	26.50	26.50	26.00	27.70	15.00	16.20	17.10	16.40
106	26.50	26.60	26.00	27.80	15.00	16.20	17.10	16.30
107	26.60	26.60	26.10	27.80	15.00	16.10	17.10	16.30
108	26.60	26.60	26.10	27.80	15.10	16.20	17.20	16.40
109	26.60	26.60	26.10	27.90	15.00	16.20	17.20	16.40
110	26.70	26.80	26.20	28.00	15.00	16.20	17.10	16.30
111	26.70	26.80	26.30	28.00	15.00	16.20	17.10	16.30
112	26.80	26.80	26.30	28.10	15.00	16.20	17.10	16.30
113	26.80	26.80	26.40	28.10	15.00	16.10	17.10	16.30
114	26.80	26.90	26.40	28.10	15.00	16.10	17.10	16.30
115	26.80	26.90	26.40	28.10	15.10	16.20	17.20	16.30
116	26.90	27.00	26.50	28.20	15.10	16.20	17.10	16.40
117	27.00	27.10	26.60	28.30	15.10	16.20	17.10	16.30
118	27.00	27.10	26.60	28.30	15.10	16.20	17.10	16.40
119	27.00	27.10	26.60	28.40	15.10	16.20	17.10	16.30
120	27.10	27.10	26.60	28.40	15.10	16.10	17.10	16.30
121	27.10	27.20	26.80	28.50	15.10	16.20	17.10	16.30
122	27.10	27.20	26.70	28.40	15.10	16.20	17.20	16.40
123	27.30	27.20	26.80	28.50	15.10	16.20	17.20	16.40
124	27.30	27.30	26.80	28.60	15.10	16.20	17.10	16.30
125	27.30	27.30	26.90	28.60	15.10	16.20	17.10	16.40
126	27.30	27.30	26.90	28.60	15.10	16.20	17.10	16.30
127	27.40	27.40	26.90	28.70	15.10	16.10	17.10	16.30
128	27.40	27.40	27.00	28.70	15.20	16.20	17.20	16.40
129	27.50	27.40	27.00	28.70	15.20	16.20	17.20	16.40
130	27.50	27.50	27.10	28.80	15.10	16.20	17.10	16.40
131	27.50	27.50	27.10	28.90	15.10	16.20	17.20	16.30
132	27.60	27.60	27.20	28.90	15.20	16.20	17.10	16.30
133	27.60	27.60	27.20	28.90	15.10	16.20	17.10	16.30
134	27.60	27.60	27.20	29.00	15.20	16.20	17.20	16.40
135	27.60	27.60	27.20	29.00	15.20	16.20	17.10	16.40
136	27.70	27.60	27.20	28.90	15.20	16.20	17.10	16.40
137	27.80	27.80	27.40	29.10	15.20	16.20	17.10	16.30
138	27.80	27.80	27.40	29.10	15.20	16.20	17.10	16.30
139	27.80	27.80	27.50	29.10	15.20	16.20	17.10	16.30
140	27.80	27.80	27.50	29.20	15.10	16.20	17.10	16.30
141	27.80	27.80	27.50	29.20	15.10	16.20	17.10	16.40
142	27.90	27.90	27.50	29.20	15.20	16.30	17.20	16.40
143	28.00	28.00	27.60	29.30	15.20	16.20	17.10	16.40
144	28.00	28.00	27.60	29.30	15.20	16.20	17.10	16.30
145	28.00	28.00	27.70	29.40	15.20	16.20	17.10	16.30
146	28.00	28.00	27.70	29.40	15.20	16.20	17.10	16.30
147	28.00	28.00	27.70	29.40	15.20	16.20	17.10	16.30
148	28.10	28.20	27.90	29.60	15.10	16.20	17.10	16.30
149	28.10	28.10	27.80	29.60	15.20	16.30	17.20	16.40
150	28.10	28.10	27.80	29.50	15.20	16.20	17.10	16.40
151	28.20	28.20	27.90	29.60	15.20	16.30	17.10	16.30
152	28.20	28.20	28.00	29.70	15.20	16.20	17.10	16.30
153	28.20	28.30	28.00	29.70	15.20	16.20	17.10	16.30
154	28.30	28.30	28.00	29.70	15.20	16.20	17.10	16.30
155	28.30	28.30	28.00	29.70	15.20	16.20	17.10	16.40
156	28.30	28.30	28.00	29.80	15.10	16.20	17.20	16.40
157	28.30	28.30	28.10	29.90	15.30	16.20	17.10	16.40
158	28.40	28.50	28.20	29.90	15.30	16.20	17.20	16.30
159	28.50	28.50	28.20	29.90	15.20	16.20	17.10	16.30

160	28.50	28.50	28.20	29.90	15.20	16.20	17.10	16.30
161	28.50	28.50	28.30	30.00	15.20	16.20	17.10	16.30
162	28.50	28.50	28.30	30.00	15.20	16.20	17.00	16.30
163	28.50	28.60	28.30	30.00	15.30	16.30	17.10	16.30
164	28.50	28.50	28.30	30.00	15.30	16.20	17.10	16.40
165	28.60	28.70	28.40	30.10	15.30	16.20	17.10	16.30
166	28.70	28.70	28.40	30.10	15.30	16.20	17.10	16.30
167	28.70	28.70	28.50	30.20	15.30	16.20	17.10	16.30
168	28.70	28.70	28.50	30.20	15.20	16.20	17.10	16.30
169	28.70	28.70	28.50	30.20	15.20	16.20	17.10	16.30
170	28.70	28.70	28.50	30.20	15.30	16.20	17.10	16.30
171	28.70	28.80	28.50	30.30	15.20	16.10	17.10	16.30
172	28.80	28.80	28.70	30.40	15.30	16.20	17.10	16.40
173	29.00	28.90	28.70	30.40	15.30	16.20	17.10	16.30
174	28.90	29.00	28.70	30.40	15.20	16.20	17.10	16.30
175	28.90	29.00	28.70	30.40	15.20	16.20	17.10	16.30
176	29.00	29.00	28.70	30.40	15.20	16.20	17.10	16.30
177	29.00	29.00	28.80	30.50	15.20	16.20	17.10	16.30
178	29.00	29.00	28.80	30.50	15.30	16.30	17.20	16.30
179	29.00	29.00	28.80	30.50	15.30	16.30	17.20	16.30
180	29.10	29.20	28.90	30.60	15.30	16.20	17.10	16.30
181	29.10	29.20	28.90	30.60	15.30	16.20	17.10	16.30
182	29.20	29.20	29.00	30.60	15.30	16.20	17.10	16.30
183	29.10	29.20	29.00	30.70	15.20	16.20	17.10	16.30
184	29.20	29.20	29.10	30.70	15.20	16.20	17.10	16.30
185	29.20	29.20	29.10	30.70	15.20	16.20	17.10	16.30
186	29.20	29.30	29.20	30.90	15.30	16.30	17.20	16.30
187	29.20	29.30	29.10	30.90	15.30	16.30	17.20	16.30
188	29.30	29.40	29.20	30.90	15.30	16.20	17.10	16.30
189	29.40	29.40	29.20	30.90	15.30	16.30	17.10	16.30
190	29.40	29.40	29.20	30.90	15.30	16.20	17.10	16.30
191	29.40	29.40	29.30	30.90	15.30	16.20	17.10	16.30
192	29.40	29.40	29.30	30.90	15.40	16.30	17.10	16.30
193	29.40	29.50	29.30	31.00	15.30	16.30	17.20	16.40
194	29.40	29.50	29.50	31.10	15.30	16.30	17.20	16.40
195	29.50	29.60	29.50	31.10	15.30	16.30	17.20	16.30
196	29.60	29.60	29.50	31.20	15.30	16.30	17.20	16.30
197	29.60	29.60	29.50	31.20	15.30	16.30	17.20	16.30
198	29.60	29.60	29.50	31.20	15.30	16.20	17.10	16.30
199	29.60	29.70	29.60	31.20	15.30	16.20	17.10	16.30
200	29.60	29.70	29.60	31.20	15.40	16.40	17.20	16.40
201	29.60	29.70	29.60	31.20	15.40	16.30	17.20	16.40
202	29.70	29.70	29.60	31.40	15.30	16.30	17.20	16.40
203	29.80	29.80	29.70	31.40	15.30	16.30	17.20	16.40
204	29.80	29.80	29.70	31.40	15.30	16.30	17.20	16.40
205	29.80	29.80	29.80	31.40	15.30	16.30	17.20	16.40
206	29.80	29.90	29.80	31.40	15.30	16.30	17.20	16.40
207	29.80	29.90	29.80	31.50	15.30	16.30	17.20	16.30
208	29.80	29.90	29.80	31.50	15.30	16.20	17.20	16.30
209	29.80	29.90	29.80	31.50	15.40	16.30	17.10	16.30
210	29.80	29.90	29.80	31.50	15.40	16.30	17.20	16.40
211	30.00	30.00	30.00	31.60	15.40	16.30	17.20	16.40
212	30.00	30.00	30.00	31.60	15.40	16.30	17.20	16.40
213	30.00	30.00	30.00	31.60	15.40	16.30	17.20	16.40
214	30.00	30.00	30.00	31.60	15.30	16.30	17.20	16.40
215	30.00	30.00	30.00	31.70	15.30	16.30	17.20	16.30

216	30.00	30.10	30.10	31.70	15.40	16.30	17.20	16.30
217	30.00	30.10	30.10	31.70	15.40	16.40	17.30	16.30
218	30.10	30.10	30.10	31.70	15.40	16.40	17.20	16.40
219	30.00	30.10	30.10	31.70	15.40	16.30	17.30	16.40
220	30.20	30.20	30.20	31.80	15.40	16.30	17.20	16.40
221	30.20	30.20	30.20	31.90	15.40	16.30	17.20	16.40
222	30.20	30.30	30.20	31.90	15.40	16.30	17.20	16.40
223	30.20	30.20	30.20	31.90	15.40	16.30	17.20	16.30
224	30.20	30.30	30.30	31.90	15.30	16.30	17.20	16.40
225	30.20	30.30	30.30	31.90	15.40	16.30	17.20	16.30
226	30.20	30.30	30.30	32.00	15.30	16.30	17.30	16.40
227	30.20	30.30	30.30	32.00	15.40	16.40	17.30	16.40
228	30.30	30.30	30.40	31.90	15.40	16.30	17.30	16.40
229	30.40	30.40	30.40	32.10	15.40	16.30	17.30	16.40
230	30.40	30.50	30.50	32.10	15.40	16.40	17.30	16.40
231	30.40	30.50	30.40	32.10	15.40	16.30	17.30	16.40
232	30.40	30.50	30.50	32.10	15.40	16.30	17.30	16.40
233	30.40	30.50	30.50	32.10	15.40	16.30	17.20	16.40
234	30.40	30.50	30.60	32.10	15.40	16.30	17.20	16.40
235	30.40	30.50	30.50	32.30	15.50	16.40	17.30	16.50
236	30.50	30.50	30.60	32.30	15.50	16.40	17.30	16.50
237	30.40	30.50	30.60	32.30	15.40	16.40	17.30	16.40
238	30.60	30.70	30.70	32.30	15.40	16.40	17.30	16.40
239	30.60	30.60	30.70	32.30	15.40	16.30	17.30	16.40
240	30.60	30.70	30.70	32.30	15.40	16.30	17.30	16.40
241	30.60	30.70	30.80	32.30	15.40	16.40	17.30	16.40
242	30.60	30.70	30.80	32.40	15.40	16.30	17.30	16.40
243	30.60	30.70	30.80	32.40	15.40	16.30	17.30	16.40
244	30.60	30.70	30.80	32.40	15.40	16.30	17.30	16.40
245	30.60	30.80	30.80	32.40	15.50	16.40	17.40	16.50
246	30.60	30.80	30.90	32.50	15.50	16.40	17.40	16.50
247	30.70	30.90	30.90	32.50	15.50	16.40	17.40	16.50
248	30.80	30.90	30.90	32.50	15.50	16.40	17.30	16.40
249	30.80	30.90	31.00	32.50	15.50	16.40	17.30	16.40
250	30.80	30.90	31.00	32.60	15.40	16.40	17.30	16.40
251	30.80	30.90	31.00	32.60	15.40	16.40	17.30	16.40
252	30.80	31.00	31.00	32.60	15.50	16.40	17.30	16.40
253	30.80	30.90	30.90	32.60	15.40	16.40	17.30	16.40
254	30.90	31.00	31.00	32.60	15.40	16.30	17.30	16.40
255	30.90	31.00	31.10	32.70	15.40	16.30	17.30	16.40
256	30.90	31.00	31.10	32.60	15.40	16.40	17.40	16.50
257	30.90	31.00	31.20	32.70	15.50	16.40	17.40	16.50
258	30.90	31.00	31.10	32.70	15.50	16.40	17.40	16.50
259	31.00	31.10	31.20	32.80	15.50	16.40	17.40	16.50
260	31.00	31.20	31.20	32.80	15.50	16.40	17.40	16.50
261	31.00	31.10	31.20	32.80	15.50	16.40	17.40	16.50
262	31.00	31.10	31.20	32.80	15.50	16.40	17.30	16.40
263	31.00	31.10	31.30	32.90	15.50	16.40	17.40	16.50
264	31.00	31.20	31.30	32.80	15.40	16.40	17.40	16.40
265	31.10	31.20	31.30	32.90	15.50	16.40	17.40	16.40
266	31.10	31.20	31.30	32.90	15.60	16.50	17.40	16.40
267	31.10	31.20	31.30	32.90	15.60	16.50	17.50	16.50
268	31.10	31.20	31.40	32.90	15.60	16.50	17.40	16.50
269	31.10	31.20	31.40	33.00	15.50	16.50	17.40	16.50
270	31.20	31.30	31.50	33.00	15.50	16.50	17.40	16.50
271	31.20	31.30	31.50	33.00	15.50	16.40	17.40	16.50

272	31.20	31.40	31.50	33.00	15.50	16.40	17.40	16.50
273	31.20	31.30	31.50	33.10	15.50	16.40	17.40	16.50
274	31.20	31.30	31.50	33.10	15.50	16.40	17.40	16.50
275	31.20	31.40	31.50	33.10	15.50	16.40	17.30	16.50
276	31.30	31.40	31.50	33.10	15.50	16.40	17.30	16.50
277	31.20	31.40	31.50	33.10	15.50	16.40	17.30	16.40
278	31.20	31.40	31.50	33.10	15.60	16.50	17.50	16.40
279	31.30	31.40	31.60	33.10	15.60	16.50	17.50	16.50
280	31.40	31.50	31.60	33.10	15.60	16.50	17.40	16.50
281	31.40	31.50	31.70	33.20	15.60	16.40	17.40	16.50
282	31.40	31.60	31.70	33.20	15.50	16.40	17.40	16.50
283	31.40	31.50	31.70	33.30	15.50	16.40	17.40	16.50
284	31.40	31.60	31.70	33.30	15.50	16.40	17.40	16.50
285	31.40	31.60	31.80	33.30	15.50	16.40	17.40	16.50
286	31.40	31.60	31.80	33.30	15.50	16.40	17.40	16.50
287	31.40	31.60	31.80	33.30	15.50	16.40	17.40	16.50
288	31.40	31.60	31.80	33.30	15.50	16.40	17.40	16.40
289	31.40	31.60	31.80	33.30	15.50	16.40	17.40	16.50
290	31.40	31.60	31.80	33.30	15.50	16.50	17.50	16.50
291	31.50	31.60	31.80	33.30	15.60	16.50	17.50	16.50
292	31.50	31.60	31.90	33.50	15.60	16.50	17.50	16.50
293	31.60	31.70	32.00	33.40	15.50	16.50	17.50	16.50
294	31.60	31.70	31.90	33.50	15.50	16.50	17.50	16.50
295	31.60	31.70	32.00	33.50	15.50	16.40	17.50	16.50
296	31.60	31.80	31.90	33.50	15.60	16.50	17.50	16.50
297	31.60	31.80	32.00	33.50	15.50	16.40	17.50	16.50
298	31.60	31.80	32.00	33.50	15.50	16.40	17.50	16.50
299	31.60	31.80	32.00	33.50	15.50	16.40	17.40	16.50
300	31.60	31.80	32.00	33.50	15.50	16.40	17.40	16.50
301	31.60	31.80	32.00	33.50	15.60	16.50	17.50	16.50
302	31.60	31.90	32.00	33.50	15.60	16.50	17.60	16.60
303	31.60	31.80	32.00	33.50	15.60	16.50	17.50	16.60
304	31.70	32.00	32.10	33.70	15.60	16.50	17.50	16.60
305	31.70	32.00	32.20	33.70	15.60	16.50	17.50	16.60
306	31.80	32.00	32.10	33.70	15.60	16.50	17.50	16.60
307	31.80	32.00	32.20	33.70	15.60	16.50	17.50	16.60
308	31.80	32.00	32.20	33.70	15.60	16.50	17.50	16.60
309	31.80	32.00	32.20	33.70	15.60	16.50	17.50	16.50
310	31.80	32.00	32.20	33.70	15.60	16.50	17.50	16.50
311	31.80	32.00	32.20	33.70	15.60	16.40	17.50	16.60
312	31.80	32.00	32.20	33.70	15.50	16.50	17.50	16.50
313	31.80	32.00	32.20	33.80	15.50	16.50	17.50	16.50
314	31.80	32.00	32.30	33.70	15.70	16.50	17.60	16.60
315	31.80	32.00	32.30	33.80	15.70	16.60	17.60	16.60
316	31.90	32.10	32.40	33.80	15.60	16.50	17.60	16.60
317	32.00	32.10	32.40	33.90	15.60	16.50	17.60	16.60
318	31.90	32.10	32.40	33.90	15.60	16.50	17.60	16.60
319	31.90	32.10	32.40	33.90	15.60	16.50	17.60	16.60
320	31.90	32.20	32.50	33.90	15.60	16.50	17.60	16.60
321	31.90	32.20	32.40	33.90	15.60	16.50	17.60	16.60
322	31.90	32.20	32.40	33.90	15.60	16.50	17.60	16.60
323	32.00	32.20	32.50	33.90	15.60	16.50	17.60	16.60
324	32.00	32.20	32.50	33.90	15.60	16.50	17.50	16.60
325	32.00	32.20	32.50	34.00	15.60	16.50	17.60	16.60
326	32.00	32.20	32.50	34.00	15.70	16.50	17.60	16.60
327	32.00	32.20	32.50	34.00	15.70	16.60	17.60	16.70

328	32.00	32.20	32.50	34.10	15.70	16.60	17.70	16.60
329	32.00	32.20	32.50	34.00	15.70	16.60	17.70	16.70
330	32.10	32.30	32.60	34.10	15.70	16.60	17.70	16.70
331	32.10	32.40	32.60	34.10	15.70	16.60	17.70	16.60
332	32.10	32.40	32.70	34.10	15.70	16.60	17.60	16.60
333	32.10	32.40	32.70	34.20	15.70	16.60	17.70	16.70
334	32.20	32.40	32.70	34.10	15.70	16.60	17.70	16.60
335	32.10	32.40	32.70	34.10	15.70	16.60	17.60	16.60
336	32.20	32.40	32.70	34.10	15.70	16.50	17.60	16.60
337	32.20	32.40	32.70	34.10	15.60	16.50	17.60	16.60
338	32.10	32.40	32.70	34.10	15.60	16.50	17.60	16.60
339	32.20	32.40	32.70	34.20	15.60	16.50	17.60	16.60
340	32.20	32.40	32.70	34.20	15.60	16.50	17.60	16.60
341	32.20	32.50	32.80	34.20	15.80	16.60	17.70	16.70
342	32.20	32.50	32.70	34.20	15.80	16.60	17.70	16.70
343	32.20	32.40	32.90	34.30	15.70	16.70	17.80	16.70
344	32.30	32.60	32.90	34.30	15.70	16.60	17.80	16.70
345	32.30	32.60	32.90	34.30	15.70	16.70	17.70	16.70
346	32.30	32.60	32.90	34.30	15.70	16.60	17.70	16.70
347	32.30	32.60	32.90	34.30	15.70	16.70	17.70	16.70
348	32.30	32.60	32.90	34.40	15.70	16.60	17.70	16.70
349	32.30	32.60	32.90	34.40	15.70	16.60	17.70	16.70
350	32.30	32.60	32.90	34.40	15.70	16.60	17.70	16.70
351	32.40	32.60	33.00	34.40	15.70	16.60	17.70	16.70
352	32.40	32.70	33.00	34.40	15.70	16.60	17.70	16.70
353	32.40	32.70	33.00	34.30	15.70	16.60	17.70	16.70
354	32.30	32.70	33.00	34.40	15.70	16.60	17.70	16.70
355	32.40	32.70	33.00	34.40	15.70	16.60	17.70	16.70
356	32.40	32.70	33.00	34.50	15.80	16.70	17.80	16.80
357	32.40	32.70	33.00	34.50	15.80	16.70	17.80	16.80
358	32.50	32.80	33.10	34.50	15.80	16.70	17.80	16.80
359	32.40	32.80	33.10	34.50	15.80	16.70	17.80	16.80
360	32.50	32.80	33.10	34.60	15.80	16.70	17.80	16.80
361	32.50	32.80	33.10	34.60	15.80	16.70	17.80	16.80
362	32.50	32.80	33.10	34.60	15.70	16.70	17.80	16.70
363	32.50	32.80	33.20	34.60	15.80	16.70	17.80	16.80
364	32.50	32.80	33.20	34.60	15.80	16.60	17.80	16.70
365	32.50	32.90	33.20	34.60	15.70	16.60	17.80	16.80
366	32.50	32.90	33.20	34.60	15.70	16.70	17.80	16.70
367	32.60	32.90	33.20	34.60	15.80	16.70	17.80	16.70
368	32.60	32.90	33.20	34.60	15.70	16.60	17.70	16.70
369	32.50	32.90	33.20	34.60	15.70	16.60	17.80	16.70
370	32.60	32.90	33.20	34.60	15.90	16.70	17.90	16.80
371	32.50	32.90	33.20	34.60	15.80	16.70	17.90	16.80
372	32.60	32.90	33.30	34.70	15.80	16.70	17.90	16.80
373	32.70	33.00	33.30	34.80	15.80	16.70	17.80	16.80
374	32.70	33.00	33.40	34.80	15.80	16.70	17.80	16.80
375	32.70	33.00	33.40	34.80	15.80	16.70	17.90	16.80
376	32.70	33.00	33.40	34.70	15.80	16.70	17.80	16.80
377	32.70	33.00	33.40	34.80	15.80	16.70	17.80	16.80
378	32.70	33.10	33.40	34.80	15.80	16.70	17.80	16.80
379	32.80	33.10	33.40	34.80	15.80	16.70	17.80	16.80
380	32.70	33.10	33.40	34.80	15.80	16.70	17.80	16.80
381	32.70	33.10	33.40	34.80	15.80	16.70	17.80	16.80
382	32.80	33.10	33.40	34.80	15.80	16.70	17.80	16.80
383	32.80	33.10	33.40	34.80	15.80	16.70	17.90	16.80

384	32.80	33.10	33.40	34.80	15.80	16.70	17.80	16.80
385	32.70	33.10	33.40	34.80	15.80	16.70	17.80	16.80
386	32.80	33.10	33.50	34.80	15.90	16.80	17.90	16.90
387	32.80	33.10	33.50	34.80	15.90	16.80	17.90	16.90
388	32.80	33.10	33.50	35.00	15.70	16.70	17.90	16.90
389	32.90	33.20	33.60	34.90	15.80	16.80	17.90	16.90
390	32.90	33.20	33.60	35.00	15.80	16.80	17.90	16.90
391	32.90	33.20	33.60	35.00	15.90	16.80	17.90	16.90
392	32.90	33.20	33.60	35.00	15.80	16.80	17.90	16.90
393	32.90	33.30	33.60	35.00	15.90	16.80	17.90	16.80
394	32.90	33.30	33.60	35.00	15.90	16.80	17.90	16.90
395	33.00	33.30	33.60	35.00	15.80	16.80	17.90	16.90
396	32.90	33.30	33.60	35.00	15.80	16.80	17.90	16.90
397	32.90	33.30	33.60	35.00	15.80	16.80	17.90	16.80
398	32.90	33.30	33.70	35.00	15.90	16.80	17.90	16.80
399	33.00	33.30	33.60	35.10	15.80	16.80	17.90	16.90
400	33.00	33.30	33.70	35.10	15.80	16.80	17.90	16.80
401	33.00	33.30	33.70	35.10	15.80	16.80	17.90	16.90
402	33.00	33.30	33.70	35.00	15.90	16.90	18.00	16.80
403	32.90	33.30	33.70	35.10	15.90	16.90	18.00	17.00
404	33.10	33.30	33.70	35.10	15.90	16.90	18.00	17.00
405	33.10	33.40	33.80	35.20	15.90	16.90	18.00	16.90
406	33.10	33.50	33.80	35.20	15.90	16.80	18.00	16.90
407	33.10	33.50	33.80	35.20	15.90	16.80	18.00	16.90
408	33.10	33.50	33.80	35.20	15.90	16.90	18.00	16.90
409	33.10	33.40	33.80	35.20	15.90	16.80	18.00	16.90
410	33.10	33.40	33.80	35.20	15.80	16.80	18.00	17.00
411	33.10	33.50	33.80	35.20	15.90	16.80	18.00	16.90
412	33.10	33.50	33.90	35.20	15.90	16.80	18.00	16.90
413	33.10	33.50	33.90	35.20	15.90	16.80	18.00	16.90
414	33.10	33.50	33.90	35.20	15.90	16.80	18.00	16.90
415	33.10	33.50	33.80	35.20	15.80	16.80	18.00	16.90
416	33.10	33.50	33.90	35.30	15.90	16.80	18.00	16.90
417	33.10	33.50	33.90	35.30	15.80	16.80	18.00	16.90
418	33.20	33.50	33.90	35.30	15.90	16.90	18.00	16.90
419	33.20	33.50	33.90	35.30	15.90	16.80	18.00	16.90
420	33.20	33.50	33.90	35.30	15.90	16.90	18.10	17.00
421	33.20	33.50	33.90	35.30	16.00	16.90	18.10	17.00
422	33.20	33.50	34.00	35.40	16.00	16.90	18.10	17.00
423	33.30	33.60	34.00	35.40	15.90	16.90	18.10	17.00
424	33.30	33.70	34.00	35.40	15.90	16.90	18.10	17.00
425	33.10	33.60	34.10	35.40	15.90	16.90	18.10	17.00
426	33.30	33.60	34.00	35.30	15.90	16.90	18.10	17.00
427	33.30	33.70	34.10	35.40	15.90	16.90	18.10	17.00
428	33.30	33.70	34.10	35.40	15.90	16.90	18.10	17.00
429	33.30	33.70	34.10	35.40	15.90	16.90	18.10	17.00
430	33.30	33.70	34.10	35.40	15.90	16.90	18.10	17.00
431	33.30	33.70	34.10	35.40	15.90	16.90	18.10	17.00
432	33.30	33.70	34.10	35.50	15.90	16.90	18.10	17.00
433	33.30	33.80	34.10	35.50	15.90	16.90	18.10	17.00
434	33.30	33.80	34.10	35.50	15.90	16.90	18.10	17.00
435	33.30	33.70	34.10	35.50	15.90	16.90	18.10	17.00
436	33.30	33.70	34.10	35.50	15.90	16.90	18.10	17.00
437	33.30	33.70	34.10	35.50	15.90	16.90	18.10	17.00
438	33.30	33.70	34.10	35.40	15.90	16.90	18.10	17.00
439	33.40	33.70	34.20	35.50	16.00	17.00	18.20	17.10

440	33.30	33.70	34.20	35.50	16.00	17.00	18.20	17.00
441	33.30	33.70	34.10	35.50	16.00	17.00	18.20	17.10
442	33.40	33.70	34.10	35.50	16.00	17.00	18.20	17.10
443	33.50	33.80	34.20	35.60	16.00	17.00	18.20	17.10
444	33.50	33.90	34.30	35.60	16.00	17.00	18.10	17.10
445	33.40	33.90	34.20	35.60	16.00	17.00	18.10	17.10
446	33.50	33.90	34.30	35.60	16.00	17.00	18.20	17.10
447	33.50	33.90	34.30	35.60	16.00	17.00	18.20	17.00
448	33.40	33.90	34.30	35.60	15.90	17.00	18.10	17.10
449	33.50	33.90	34.30	35.60	16.00	17.00	18.20	17.00
450	33.50	33.90	34.30	35.60	15.90	17.00	18.10	17.00
451	33.40	33.90	34.30	35.70	15.90	17.00	18.10	17.00
452	33.50	33.90	34.30	35.60	16.00	17.00	18.10	17.00
453	33.50	33.90	34.30	35.60	15.90	16.90	18.10	17.00
454	33.50	33.90	34.30	35.60	15.90	17.00	18.10	17.00
455	33.40	33.90	34.30	35.70	15.90	17.00	18.10	17.00
456	33.50	33.90	34.30	35.70	15.90	17.00	18.10	17.00
457	33.50	33.90	34.30	35.70	15.90	17.00	18.10	17.00
458	33.50	33.90	34.30	35.70	15.90	17.00	18.10	17.00
459	33.50	33.90	34.40	35.70	16.00	17.10	18.20	17.10
460	33.50	33.90	34.40	35.80	16.00	17.00	18.20	17.00
461	33.50	33.90	34.40	35.70	16.00	17.10	18.20	17.00
462	33.50	33.90	34.30	35.70	16.00	17.10	18.20	17.10
463	33.60	34.00	34.40	35.70	16.00	17.00	18.20	17.10
464	33.60	34.00	34.50	35.80	16.00	17.10	18.20	17.10
465	33.60	34.00	34.50	35.80	16.00	17.00	18.20	17.10
466	33.60	34.00	34.50	35.80	16.00	17.00	18.20	17.10
467	33.60	34.00	34.50	35.80	16.00	17.10	18.20	17.10
468	33.60	34.10	34.50	35.80	16.00	17.10	18.20	17.10
469	33.60	34.10	34.50	35.80	16.00	17.10	18.20	17.10
470	33.70	34.10	34.50	35.80	16.00	17.00	18.20	17.10
471	33.60	34.10	34.50	35.90	16.00	17.00	18.20	17.10
472	33.70	34.10	34.50	35.80	16.00	17.10	18.20	17.10
473	33.70	34.10	34.50	35.90	16.00	17.00	18.20	17.10
474	33.70	34.00	34.50	35.90	16.00	17.00	18.20	17.10
475	33.70	34.10	34.50	35.90	16.00	17.00	18.20	17.10
476	33.60	34.10	34.60	35.80	16.10	17.10	18.20	17.10
477	33.70	34.10	34.50	35.90	16.10	17.10	18.30	17.10
478	33.70	34.10	34.50	35.90	16.10	17.10	18.30	17.20
479	33.70	34.10	34.50	35.90	16.10	17.10	18.30	17.20
480	33.70	34.10	34.70	36.00	16.10	17.10	18.30	17.20
481	33.70	34.10	34.60	36.00	16.00	17.00	18.30	17.20
482	33.70	34.10	34.60	36.00	16.10	17.10	18.30	17.20
483	33.70	34.10	34.60	35.90	16.10	17.10	18.30	17.20
484	33.80	34.20	34.60	36.00	16.00	17.10	18.30	17.20
485	33.80	34.20	34.70	36.00	16.10	17.10	18.30	17.20
486	33.80	34.20	34.70	36.00	16.00	17.10	18.30	17.20
487	33.80	34.20	34.70	36.00	16.10	17.10	18.30	17.20
488	33.70	34.20	34.70	36.00	16.00	17.10	18.30	17.20
489	33.80	34.20	34.70	36.00	16.00	17.10	18.30	17.20
490	33.80	34.20	34.70	36.00	16.00	17.10	18.30	17.20
491	33.80	34.20	34.70	36.00	16.00	17.10	18.30	17.20
492	33.80	34.20	34.70	36.00	16.00	17.10	18.30	17.10
493	33.80	34.20	34.80	36.00	16.00	17.10	18.30	17.20
494	33.80	34.20	34.70	36.00	16.00	17.10	18.30	17.20
495	33.80	34.20	34.70	36.00	16.00	17.10	18.30	17.10

496	33.80	34.20	34.70	36.00	16.00	17.10	18.30	17.10
497	33.80	34.20	34.70	36.00	16.10	17.20	18.40	17.20
498	33.80	34.20	34.70	36.10	16.00	17.10	18.30	17.20
499	33.90	34.40	34.80	36.10	16.10	17.20	18.40	17.10
500	33.80	34.20	34.70	36.00	16.10	17.20	18.40	17.10
501	33.90	34.30	34.70	36.00	16.10	17.20	18.40	17.20
502	33.90	34.40	34.80	36.10	16.10	17.20	18.40	17.20
503	33.90	34.40	34.80	36.10	16.10	17.20	18.40	17.20
504	33.90	34.40	34.80	36.10	16.10	17.20	18.40	17.20
505	33.90	34.40	34.80	36.10	16.10	17.20	18.40	17.20
506	33.90	34.40	34.80	36.10	16.10	17.10	18.40	17.20
507	33.90	34.40	34.90	36.10	16.10	17.20	18.40	17.20
508	33.90	34.40	34.80	36.10	16.10	17.20	18.40	17.20
509	33.90	34.40	34.90	36.10	16.10	17.10	18.40	17.20
510	33.90	34.40	34.90	36.10	16.10	17.20	18.30	17.20
511	33.90	34.40	34.90	36.10	16.10	17.20	18.40	17.20
512	34.00	34.40	34.90	36.10	16.00	17.20	18.40	17.20
513	33.90	34.40	34.90	36.10	16.10	17.10	18.40	17.20
514	33.90	34.40	34.90	36.20	16.20	17.20	18.40	17.20
515	34.00	34.40	34.90	36.10	16.00	17.10	18.40	17.20
516	34.00	34.40	34.90	36.20	16.10	17.10	18.40	17.20
517	34.00	34.40	34.90	36.20	16.10	17.20	18.40	17.20
518	34.00	34.40	34.90	36.10	16.20	17.20	18.50	17.30
519	34.00	34.40	35.00	36.20	16.10	17.20	18.50	17.30
520	34.00	34.50	35.00	36.30	16.10	17.20	18.40	17.30
521	34.00	34.60	35.00	36.20	16.10	17.20	18.50	17.30
522	34.00	34.60	35.00	36.20	16.10	17.20	18.40	17.30
523	34.00	34.60	35.00	36.30	16.20	17.20	18.50	17.30
524	34.00	34.60	35.00	36.30	16.10	17.20	18.50	17.30
525	34.00	34.50	35.00	36.30	16.10	17.20	18.40	17.30
526	34.00	34.60	35.00	36.30	16.10	17.20	18.50	17.30
527	34.00	34.50	35.00	36.30	16.10	17.20	18.50	17.30
528	34.00	34.60	35.00	36.30	16.10	17.20	18.50	17.30
529	34.00	34.60	35.00	36.30	16.10	17.20	18.50	17.30
530	34.10	34.60	35.00	36.30	16.10	17.20	18.50	17.30
531	34.00	34.60	35.00	36.30	16.10	17.20	18.40	17.30
532	34.10	34.60	35.00	36.30	16.10	17.20	18.50	17.30
533	34.10	34.60	35.00	36.30	16.10	17.20	18.50	17.30
534	34.00	34.60	35.00	36.30	16.10	17.20	18.50	17.30
535	34.10	34.60	35.00	36.30	16.20	17.30	18.50	17.30
536	34.00	34.60	35.00	36.30	16.20	17.30	18.60	17.40
537	34.10	34.60	35.10	36.30	16.20	17.30	18.60	17.40
538	34.00	34.60	35.10	36.30	16.20	17.30	18.50	17.40
539	34.20	34.70	35.20	36.40	16.20	17.30	18.50	17.40
540	34.10	34.70	35.20	36.40	16.20	17.30	18.50	17.40
541	34.20	34.70	35.20	36.40	16.20	17.30	18.50	17.40
542	34.20	34.70	35.10	36.40	16.20	17.30	18.50	17.40
543	34.20	34.70	35.20	36.40	16.20	17.30	18.60	17.30
544	34.20	34.70	35.10	36.40	16.10	17.30	18.50	17.40
545	34.20	34.70	35.20	36.40	16.20	17.30	18.50	17.30
546	34.20	34.70	35.20	36.40	16.20	17.30	18.50	17.40
547	34.20	34.70	35.20	36.40	16.20	17.30	18.50	17.40
548	34.20	34.70	35.20	36.40	16.20	17.30	18.50	17.40
549	34.20	34.70	35.20	36.40	16.10	17.30	18.50	17.40
550	34.20	34.70	35.20	36.40	16.10	17.30	18.50	17.40
551	34.20	34.70	35.20	36.40	16.10	17.30	18.50	17.40

552	34.20	34.70	35.20	36.40	16.10	17.30	18.50	17.40
553	34.20	34.70	35.20	36.40	16.10	17.30	18.50	17.40
554	34.20	34.70	35.20	36.40	16.10	17.30	18.50	17.40
555	34.20	34.70	35.20	36.40	16.10	17.30	18.60	17.40
556	34.20	34.70	35.20	36.40	16.20	17.40	18.50	17.30
557	34.20	34.70	35.20	36.50	16.20	17.30	18.60	17.40
558	34.10	34.70	35.20	36.40	16.20	17.30	18.60	17.40
559	34.20	34.80	35.30	36.60	16.20	17.30	18.60	17.40
560	34.30	34.80	35.30	36.50	16.20	17.40	18.60	17.50
561	34.30	34.80	35.30	36.50	16.20	17.40	18.60	17.40
562	34.20	34.80	35.30	36.50	16.20	17.30	18.60	17.40
563	34.30	34.80	35.30	36.50	16.20	17.40	18.60	17.40
564	34.30	34.90	35.30	36.60	16.20	17.40	18.60	17.40
565	34.30	34.80	35.30	36.50	16.20	17.30	18.60	17.40
566	34.30	34.80	35.30	36.50	16.20	17.30	18.60	17.40
567	34.30	34.80	35.30	36.50	16.20	17.30	18.60	17.40
568	34.30	34.80	35.30	36.50	16.20	17.30	18.60	17.40
569	34.30	34.80	35.30	36.50	16.20	17.30	18.60	17.40
570	34.30	34.80	35.30	36.50	16.20	17.30	18.60	17.40
571	34.30	34.90	35.30	36.60	16.30	17.40	18.70	17.40
572	34.30	34.90	35.30	36.50	16.20	17.30	18.60	17.50
573	34.30	34.90	35.30	36.60	16.30	17.40	18.70	17.50
574	34.30	34.90	35.40	36.70	16.30	17.40	18.70	17.50
575	34.50	34.90	35.30	36.60	16.30	17.40	18.70	17.50
576	34.40	35.00	35.40	36.70	16.30	17.40	18.70	17.50
577	34.40	34.90	35.30	36.60	16.30	17.40	18.70	17.50
578	34.40	35.00	35.40	36.70	16.20	17.40	18.70	17.50
579	34.40	35.00	35.40	36.70	16.20	17.40	18.70	17.50
580	34.40	35.00	35.40	36.70	16.30	17.40	18.70	17.50
581	34.40	35.00	35.40	36.70	16.20	17.40	18.70	17.50
582	34.40	35.00	35.40	36.70	16.30	17.40	18.70	17.50
583	34.40	35.00	35.50	36.70	16.30	17.40	18.70	17.50
584	34.40	35.00	35.50	36.70	16.20	17.40	18.70	17.50
585	34.40	35.00	35.40	36.60	16.30	17.40	18.70	17.50
586	34.40	35.00	35.50	36.70	16.20	17.40	18.70	17.50
587	34.40	35.00	35.50	36.70	16.20	17.40	18.70	17.50
588	34.40	35.00	35.50	36.70	16.20	17.40	18.70	17.50
589	34.40	35.00	35.50	36.70	16.30	17.40	18.70	17.50
590	34.40	35.00	35.50	36.70	16.20	17.40	18.70	17.50
591	34.40	35.00	35.50	36.80	16.20	17.50	18.80	17.60
592	34.40	35.00	35.50	36.70	16.30	17.50	18.80	17.60
593	34.40	35.00	35.50	36.80	16.30	17.50	18.80	17.60
594	34.40	35.00	35.50	36.70	16.30	17.50	18.80	17.60
595	34.50	35.10	35.60	36.80	16.30	17.50	18.80	17.60
596	34.50	35.10	35.60	36.80	16.30	17.50	18.80	17.60
597	34.50	35.10	35.60	36.80	16.30	17.50	18.80	17.60
598	34.50	35.10	35.60	36.80	16.30	17.50	18.80	17.60
599	34.60	35.10	35.60	36.80	16.30	17.40	18.80	17.60
600	34.50	35.10	35.60	36.80	16.30	17.50	18.80	17.60
601	34.50	35.10	35.60	36.80	16.30	17.50	18.80	17.60
602	34.50	35.10	35.60	36.80	16.30	17.50	18.80	17.50
603	34.50	35.10	35.60	36.80	16.30	17.50	18.80	17.60
604	34.50	35.10	35.60	36.80	16.30	17.50	18.80	17.60
605	34.50	35.10	35.60	36.80	16.40	17.60	18.90	17.50
606	34.50	35.10	35.60	36.80	16.40	17.50	18.90	17.70
607	34.50	35.10	35.60	36.80	16.40	17.60	18.70	17.60

608	34.50	35.10	35.60	36.90	16.40	17.60	18.80	17.60
609	34.50	35.10	35.60	36.80	16.40	17.50	18.90	17.70
610	34.50	35.10	35.70	36.90	16.40	17.60	18.90	17.60
611	34.60	35.10	35.60	36.80	16.40	17.50	18.80	17.60
612	34.60	35.20	35.70	36.90	16.30	17.50	18.80	17.60
613	34.60	35.20	35.70	36.90	16.40	17.50	18.90	17.60
614	34.60	35.20	35.70	36.90	16.40	17.50	18.80	17.60
615	34.60	35.20	35.70	36.90	16.30	17.50	18.80	17.60
616	34.60	35.20	35.70	36.90	16.30	17.60	18.80	17.60
617	34.60	35.20	35.70	36.90	16.30	17.50	18.80	17.60
618	34.60	35.20	35.70	36.90	16.30	17.50	18.80	17.60
619	34.60	35.30	35.70	36.90	16.40	17.50	18.80	17.60
620	34.60	35.20	35.70	36.90	16.30	17.50	18.80	17.60
621	34.60	35.20	35.70	36.90	16.30	17.50	18.80	17.60
622	34.60	35.20	35.70	36.90	16.30	17.50	18.80	17.60
623	34.60	35.20	35.70	36.90	16.30	17.50	18.80	17.60
624	34.60	35.20	35.70	36.90	16.30	17.50	18.80	17.60
625	34.60	35.20	35.80	37.00	16.40	17.60	18.90	17.70
626	34.60	35.20	35.70	36.90	16.40	17.60	18.90	17.70
627	34.60	35.20	35.70	36.90	16.40	17.60	18.90	17.70
628	34.60	35.30	35.80	37.00	16.40	17.60	18.90	17.70
629	34.70	35.30	35.80	37.00	16.40	17.60	18.90	17.70
630	34.70	35.30	35.80	37.00	16.40	17.60	18.90	17.70
631	34.70	35.30	35.80	37.00	16.40	17.60	18.90	17.70
632	34.70	35.30	35.80	37.00	16.40	17.60	18.90	17.70
633	34.70	35.30	35.80	37.00	16.40	17.60	18.90	17.70
634	34.70	35.30	35.80	37.00	16.40	17.60	18.90	17.70
635	34.70	35.40	35.80	37.00	16.40	17.60	18.90	17.70
636	34.70	35.30	35.80	37.00	16.40	17.60	18.90	17.70
637	34.80	35.40	35.80	37.00	16.40	17.60	18.90	17.70
638	34.70	35.40	35.80	37.10	16.40	17.60	18.90	17.70
639	34.70	35.40	35.80	37.00	16.40	17.60	18.90	17.70
640	34.70	35.40	35.80	37.00	16.40	17.60	18.90	17.70
641	34.70	35.40	35.80	37.00	16.40	17.50	18.90	17.70
642	34.70	35.30	35.80	37.00	16.50	17.70	19.00	17.70
643	34.70	35.30	35.80	37.00	16.50	17.70	19.00	17.80
644	34.70	35.40	35.80	37.00	16.50	17.60	19.00	17.80
645	34.80	35.40	35.80	37.00	16.50	17.70	19.00	17.80
646	34.70	35.40	35.80	37.00	16.40	17.60	19.00	17.80
647	34.80	35.50	35.90	37.10	16.50	17.60	19.00	17.80
648	34.80	35.50	35.90	37.10	16.50	17.60	19.00	17.80
649	34.80	35.50	35.90	37.10	16.50	17.60	19.00	17.80
650	34.80	35.50	35.90	37.10	16.50	17.60	19.00	17.80
651	34.80	35.40	35.90	37.10	16.50	17.60	19.00	17.80
652	34.80	35.50	35.90	37.10	16.50	17.70	19.00	17.80
653	34.80	35.50	35.90	37.10	16.50	17.60	19.00	17.80
654	34.90	35.50	35.90	37.10	16.40	17.60	19.00	17.70
655	34.80	35.50	35.90	37.10	16.40	17.60	19.00	17.70
656	34.80	35.50	35.90	37.10	16.40	17.60	19.00	17.80
657	34.90	35.50	36.00	37.10	16.40	17.70	19.00	17.80
658	34.80	35.50	35.90	37.10	16.40	17.60	19.00	17.70
659	34.80	35.50	35.90	37.20	16.40	17.60	19.00	17.80
660	34.80	35.50	35.90	37.10	16.50	17.60	19.00	17.70
661	34.90	35.50	35.90	37.20	16.40	17.60	19.00	17.70
662	34.90	35.50	35.90	37.20	16.50	17.70	19.10	17.80
663	34.80	35.50	35.90	37.20	16.60	17.70	19.10	17.90

664	34.90	35.50	35.90	37.20	16.50	17.70	19.10	17.90
665	34.80	35.50	36.00	37.20	16.60	17.70	19.00	17.90
666	34.80	35.50	36.00	37.20	16.50	17.70	19.10	17.90
667	34.90	35.60	36.00	37.20	16.50	17.70	19.10	17.80
668	34.90	35.60	36.00	37.20	16.50	17.70	19.10	17.80
669	34.90	35.60	36.00	37.20	16.50	17.70	19.10	17.90
670	34.90	35.60	36.00	37.20	16.50	17.70	19.10	17.80
671	34.90	35.60	36.00	37.20	16.50	17.70	19.10	17.80
672	35.00	35.60	36.00	37.20	16.50	17.70	19.10	17.80
673	35.00	35.60	36.00	37.20	16.50	17.70	19.10	17.80
674	34.90	35.60	36.00	37.20	16.50	17.70	19.10	17.80
675	34.90	35.60	36.00	37.20	16.50	17.70	19.10	17.80
676	34.90	35.60	36.00	37.20	16.50	17.70	19.10	17.80
677	34.90	35.60	36.00	37.20	16.50	17.70	19.10	17.80
678	34.90	35.60	36.00	37.20	16.50	17.70	19.10	17.80
679	35.00	35.60	36.00	37.20	16.50	17.70	19.10	17.80
680	34.90	35.60	36.00	37.20	16.50	17.70	19.10	17.80
681	34.90	35.60	36.00	37.20	16.50	17.70	19.10	17.80
682	34.90	35.60	36.00	37.20	16.50	17.70	19.10	17.80
683	35.00	35.60	36.10	37.30	16.60	17.80	19.10	17.80
684	34.90	35.60	36.00	37.20	16.60	17.80	19.20	17.90
685	34.90	35.60	36.00	37.20	16.60	17.80	19.20	17.90
686	35.00	35.60	36.00	37.30	16.60	17.80	19.20	17.90
687	35.10	35.60	36.00	37.20	16.60	17.80	19.20	17.90
688	35.00	35.60	36.00	37.20	16.60	17.80	19.20	17.90
689	35.00	35.70	36.10	37.30	16.60	17.80	19.20	17.90
690	35.10	35.70	36.10	37.30	16.60	17.80	19.20	17.90
691	35.00	35.70	36.10	37.30	16.60	17.80	19.20	17.90
692	35.00	35.70	36.10	37.30	16.60	17.80	19.20	17.90
693	35.00	35.70	36.10	37.30	16.60	17.80	19.20	17.90
694	35.00	35.70	36.10	37.30	16.60	17.80	19.20	17.90
695	35.00	35.70	36.10	37.30	16.60	17.80	19.20	17.90
696	35.10	35.70	36.10	37.30	16.60	17.80	19.20	17.90
697	35.00	35.70	36.10	37.30	16.60	17.80	19.20	17.90
698	35.00	35.70	36.10	37.30	16.60	17.80	19.10	17.90
699	35.10	35.70	36.10	37.30	16.60	17.80	19.20	17.90
700	35.00	35.70	36.10	37.30	16.60	17.80	19.20	17.90
701	35.00	35.70	36.10	37.30	16.60	17.80	19.20	17.90
702	35.00	35.70	36.10	37.30	16.70	17.90	19.20	17.90
703	35.00	35.70	36.10	37.30	16.60	17.80	19.30	18.00
704	35.00	35.70	36.10	37.30	16.70	17.90	19.30	18.00
705	35.00	35.70	36.10	37.30	16.70	17.90	19.30	18.00
706	35.10	35.70	36.10	37.30	16.70	17.90	19.30	18.00
707	35.00	35.80	36.20	37.40	16.70	17.90	19.30	18.00
708	35.20	35.80	36.20	37.40	16.70	17.90	19.30	18.00
709	35.20	35.80	36.30	37.40	16.70	17.90	19.30	18.00
710	35.20	35.80	36.20	37.40	16.70	17.90	19.30	18.00
711	35.10	35.80	36.20	37.40	16.70	17.90	19.30	18.00
712	35.20	35.80	36.20	37.40	16.70	17.90	19.30	18.00
713	35.10	35.80	36.20	37.40	16.70	17.90	19.30	18.00
714	35.20	35.80	36.20	37.40	16.70	17.90	19.30	18.00
715	35.10	35.80	36.20	37.40	16.70	17.90	19.30	18.00
716	35.20	35.80	36.20	37.40	16.70	17.90	19.30	18.00
717	35.10	35.80	36.20	37.40	16.70	17.90	19.30	18.00
718	35.20	35.80	36.30	37.40	16.70	17.90	19.30	18.00
719	35.20	35.80	36.20	37.50	16.70	17.90	19.30	18.00

720	35.10	35.80	36.20	37.40	16.70	17.80	19.30	18.00
721	35.20	35.80	36.20	37.40	16.70	17.90	19.30	17.90
722	35.20	35.80	36.20	37.40	16.70	17.90	19.30	18.00
723	35.10	35.80	36.20	37.40	16.70	17.90	19.30	18.00
724	35.10	35.80	36.20	37.40	16.70	17.90	19.30	18.00
725	35.20	35.80	36.20	37.40	16.70	17.90	19.30	18.00
726	35.20	35.80	36.20	37.40	16.70	17.90	19.30	18.00
727	35.20	35.80	36.20	37.40	16.70	17.90	19.30	18.00
728	35.20	35.80	36.20	37.40	16.70	17.90	19.30	18.00
729	35.20	35.90	36.20	37.50	16.80	18.00	19.40	18.00
730	35.20	35.90	36.20	37.40	16.80	18.00	19.40	18.00
731	35.20	35.80	36.20	37.40	16.80	18.00	19.40	18.10
732	35.20	35.80	36.20	37.40	16.80	18.00	19.40	18.10
733	35.20	35.80	36.30	37.50	16.80	18.00	19.40	18.10
734	35.30	35.90	36.40	37.50	16.80	18.00	19.40	18.10
735	35.20	35.90	36.30	37.50	16.80	18.00	19.40	18.10
736	35.30	35.90	36.40	37.50	16.80	18.00	19.40	18.10
737	35.30	35.90	36.40	37.50	16.80	18.00	19.30	18.00
738	35.20	35.90	36.20	37.50	16.80	18.00	19.40	18.10
739	35.30	35.90	36.40	37.50	16.80	18.00	19.40	18.10
740	35.30	35.90	36.30	37.50	16.80	18.00	19.40	18.10
741	35.30	35.90	36.30	37.50	16.80	18.00	19.40	18.10
742	35.20	35.90	36.30	37.50	16.80	18.00	19.40	18.10
743	35.20	35.90	36.30	37.60	16.80	18.00	19.40	18.10
744	35.30	35.90	36.30	37.50	16.80	18.00	19.40	18.10
745	35.30	36.00	36.30	37.50	16.80	18.00	19.40	18.10
746	35.30	35.90	36.30	37.50	16.80	18.00	19.40	18.10
747	35.30	35.90	36.30	37.50	16.80	18.00	19.40	18.10
748	35.30	35.90	36.30	37.60	16.80	18.00	19.40	18.10
749	35.30	35.90	36.40	37.50	16.80	18.00	19.40	18.10
750	35.30	36.00	36.30	37.50	16.80	18.00	19.40	18.10
751	35.30	35.90	36.30	37.50	16.80	18.00	19.40	18.10
752	35.30	36.00	36.30	37.50	16.80	18.00	19.40	18.10
753	35.20	35.90	36.30	37.50	16.80	18.00	19.40	18.10
754	35.30	35.90	36.40	37.50	16.70	17.90	19.40	18.10
755	35.30	35.90	36.30	37.50	16.80	18.00	19.40	18.10
756	35.30	36.00	36.40	37.60	16.80	18.00	19.40	18.10
757	35.30	36.00	36.30	37.60	16.80	17.90	19.40	18.10
758	35.30	36.00	36.30	37.50	16.90	18.10	19.50	18.20
759	35.30	35.90	36.40	37.50	16.90	17.90	19.40	18.10
760	35.30	35.90	36.40	37.50	16.80	18.00	19.50	18.20
761	35.30	36.00	36.30	37.50	16.80	18.10	19.50	18.20
762	35.30	36.00	36.30	37.50	16.90	18.10	19.50	18.20
763	35.30	35.90	36.30	37.60	16.90	18.00	19.50	18.20
764	35.30	36.00	36.40	37.50	16.90	18.00	19.50	18.20
765	35.40	36.00	36.50	37.60	16.90	18.00	19.50	18.10
766	35.30	36.00	36.40	37.60	16.80	18.00	19.50	18.20
767	35.40	36.00	36.40	37.60	16.90	18.10	19.50	18.10
768	35.40	36.00	36.40	37.60	16.80	18.00	19.50	18.20
769	35.40	36.00	36.40	37.60	16.80	18.00	19.50	18.20
770	35.40	36.10	36.50	37.60	16.90	18.10	19.50	18.20
771	35.40	36.00	36.40	37.60	16.80	18.10	19.50	18.20
772	35.40	36.00	36.50	37.60	16.80	18.00	19.40	18.10
773	35.40	36.00	36.50	37.60	16.80	18.00	19.50	18.20
774	35.40	36.00	36.40	37.60	16.90	18.00	19.50	18.20
775	35.40	36.10	36.40	37.60	16.90	18.00	19.50	18.10

776	35.30	36.10	36.40	37.60	16.80	18.10	19.50	18.20
777	35.40	36.00	36.50	37.70	16.80	18.00	19.50	18.20
778	35.40	36.00	36.40	37.60	16.80	18.00	19.50	18.20
779	35.40	36.00	36.40	37.60	16.90	18.00	19.50	18.10
780	35.40	36.00	36.40	37.60	16.80	18.00	19.50	18.10
781	35.30	36.00	36.40	37.60	16.80	18.10	19.50	18.20
782	35.40	36.00	36.40	37.60	16.90	18.00	19.50	18.10
783	35.40	36.00	36.50	37.60	16.90	18.10	19.50	18.10
784	35.40	36.00	36.40	37.60	16.80	18.00	19.50	18.20
785	35.40	36.00	36.40	37.60	16.90	18.00	19.50	18.20
786	35.40	36.10	36.50	37.60	16.90	18.20	19.60	18.20
787	35.40	36.00	36.40	37.60	17.00	18.10	19.60	18.20
788	35.40	36.00	36.40	37.70	16.90	18.10	19.50	18.20
789	35.40	36.10	36.40	37.70	16.90	18.20	19.60	18.20
790	35.40	36.00	36.40	37.60	17.00	18.20	19.60	18.20
791	35.40	36.10	36.50	37.70	17.00	18.10	19.60	18.30
792	35.50	36.10	36.40	37.70	16.90	18.10	19.60	18.20
793	35.50	36.10	36.60	37.70	16.90	18.10	19.60	18.20
794	35.50	36.10	36.60	37.70	16.90	18.10	19.60	18.30
795	35.50	36.20	36.50	37.70	17.00	18.10	19.50	18.20
796	35.50	36.10	36.50	37.70	16.90	18.10	19.60	18.20
797	35.50	36.10	36.50	37.70	17.00	18.10	19.60	18.30
798	35.50	36.10	36.50	37.70	17.00	18.10	19.60	18.30
799	35.50	36.10	36.50	37.70	16.90	18.10	19.60	18.30
800	35.50	36.20	36.50	37.70	16.90	18.20	19.60	18.30

Tabla 8.- Mediciones de temperatura del espécimen A

El conjunto de valores mostrados en la anterior tabla se pueden apreciar con mayor claridad en el Gráfico 4. 1, este grafico muestra el gradiente de temperatura a lo largo del tiempo.

En el Gráfico 4. 2 se muestra los valores promedios de los termopares a lo largo del tiempo, aquí se promediaron los 4 termopares de la frontera caliente y los cuatro termopares de la frontera fría.

En el Gráfico 4. 3 se observa el gradiente de temperatura, en dicho grafico es posible apreciar como después de la medición número 600, le gradiente empieza a tener un comportamiento constante.

A continuación en el Gráfico 4. 4 se aprecia el gradiente de temperatura del mismo espécimen A, pero efectuado en la prueba B.

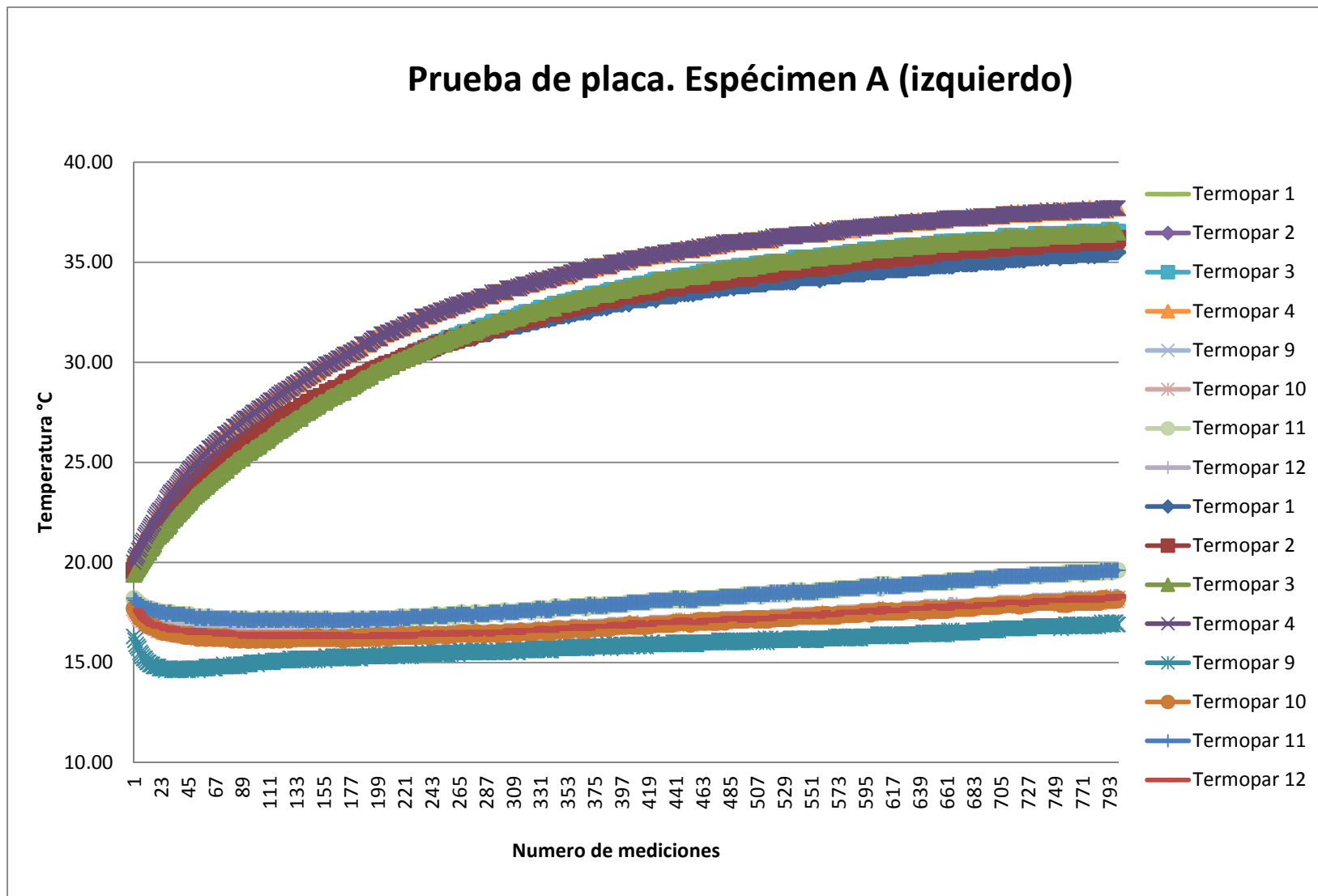


Gráfico 4. 1 Variaciones de temperatura del espécimen. Espécimen A. Prueba 1

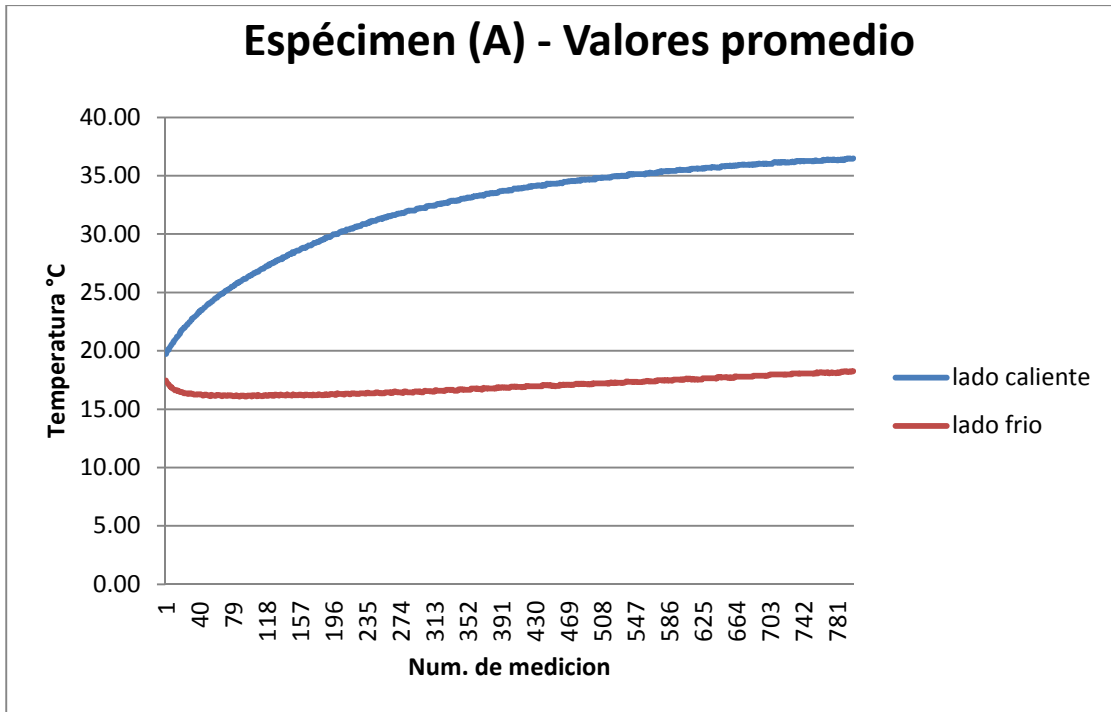


Gráfico 4. 2 Valores promedios de las temperaturas en las fronteras del panel. Panel A. Prueba 1.

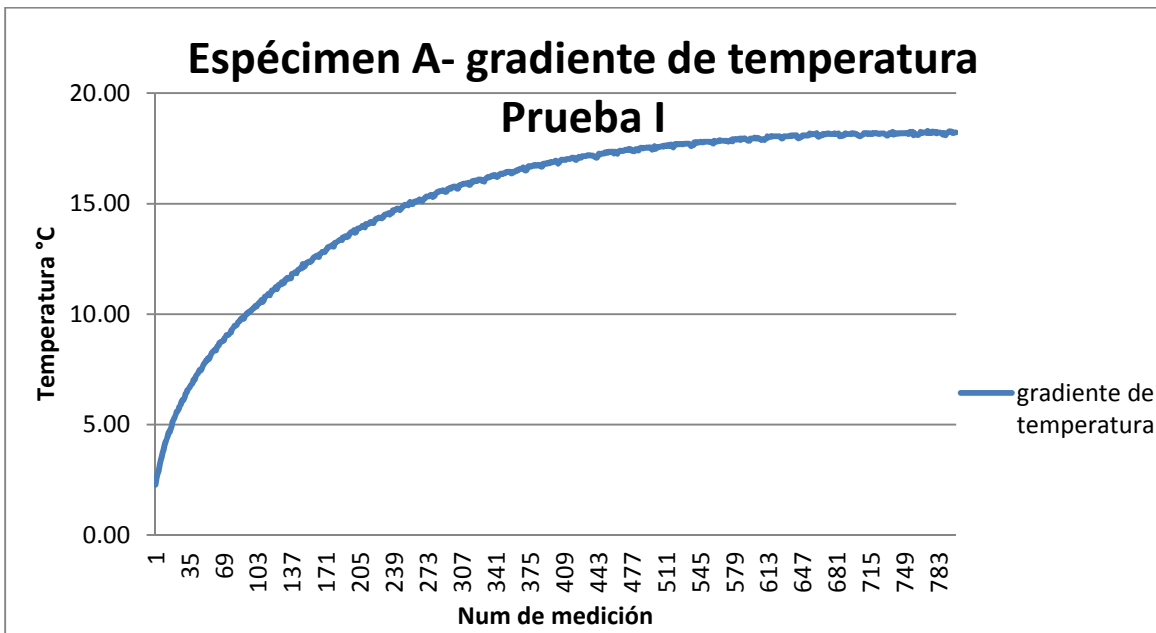


Gráfico 4. 3 Gradiente térmico. Panel A. Prueba I

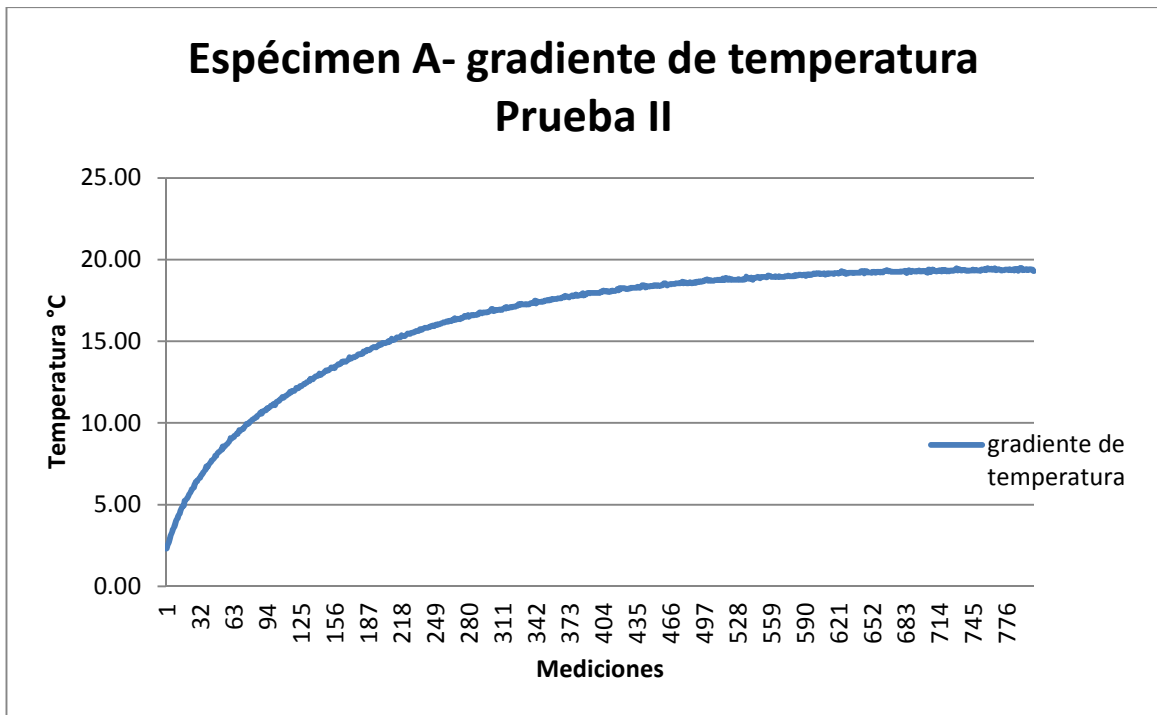


Gráfico 4. 4 Gradiente térmico. Panel A. Prueba II

Después de analizados los anteriores datos, es necesario comparara los gradientes de temperatura resultantes en la prueba A y la prueba B, en caso de que la variación fuera superior a los 2 grados, la prueba se debería repetir, para darle validez a los resultados.

En el grafico Gráfico 4. 5 es posible apreciar los resultados de la prueba I y la prueba II, mientras que en el grafico Gráfico 4. 6 se muestra el promedio de la prueba I y la prueba II.

De este Gráfico 4. 6 apreciamos que el gradiente de temperatura después de la medición número 600 tiende a ser constante, y es ahí cuando determinamos el gradiente que utilizaremos para determinar el índice de conductividad térmica.

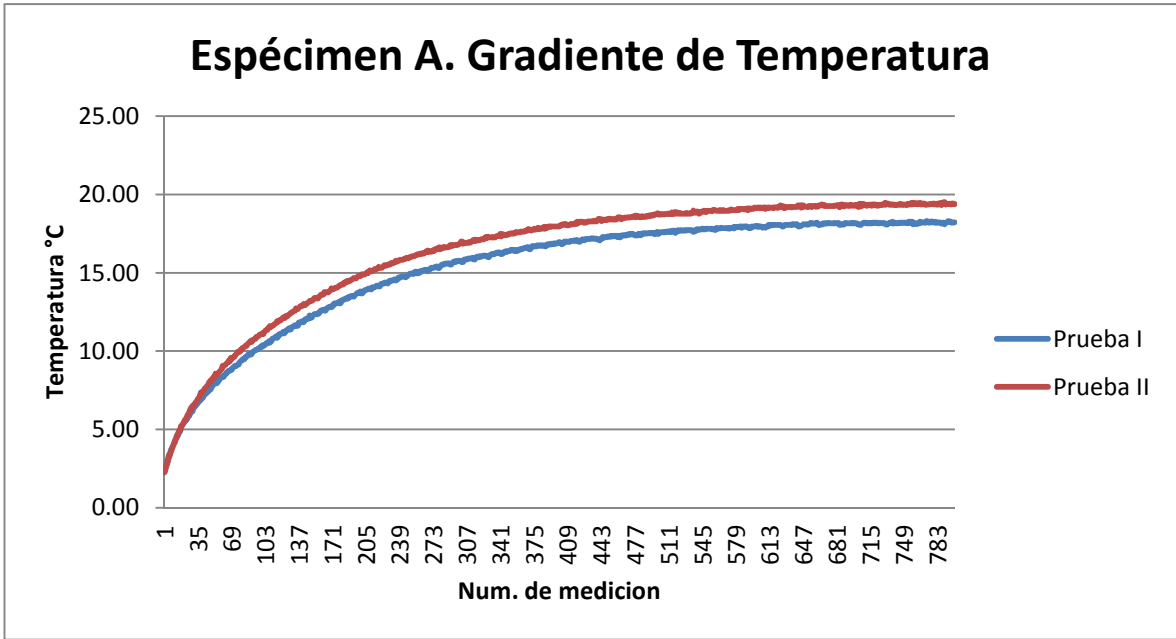


Gráfico 4. 5.- Gradiente de temperatura. Especimen A Prueba I y II

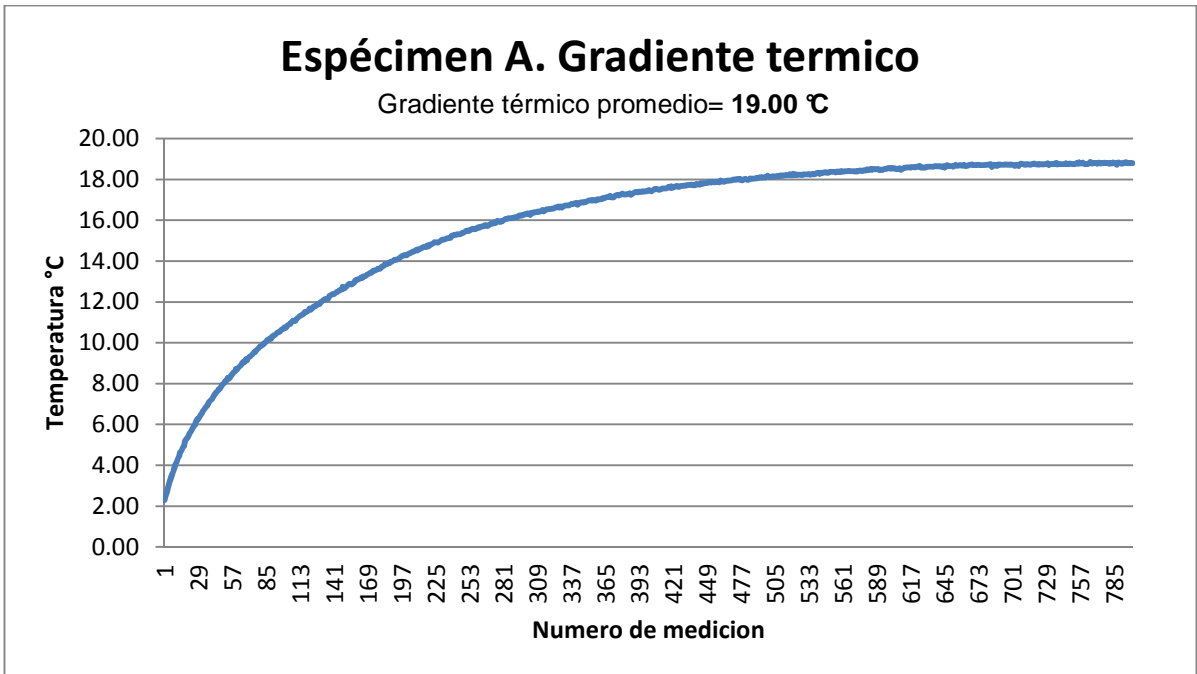


Gráfico 4. 6 Gradiente térmico. Especimen A

Para el resto de los especímenes se presentara únicamente el gradiente térmico final obtenido.

En el Gráfico 4. 7, Gráfico 4. 8 y Gráfico 4. 9, se muestra los gradientes térmicos promedios de las pruebas realizadas a los especímenes B, C y D respectivamente.

Mientras que en el Gráfico 4. 10 se muestran los gradientes térmicos de los cuatro especímenes estudiados. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra el valor los valores numéricos de los gradientes térmicos de los especímenes estudiados, este compilado nos permite observar que espécimen presenta mayor oposición a la trasferencia de energía, así como es útil para calcular el coeficiente de conducción térmica k .

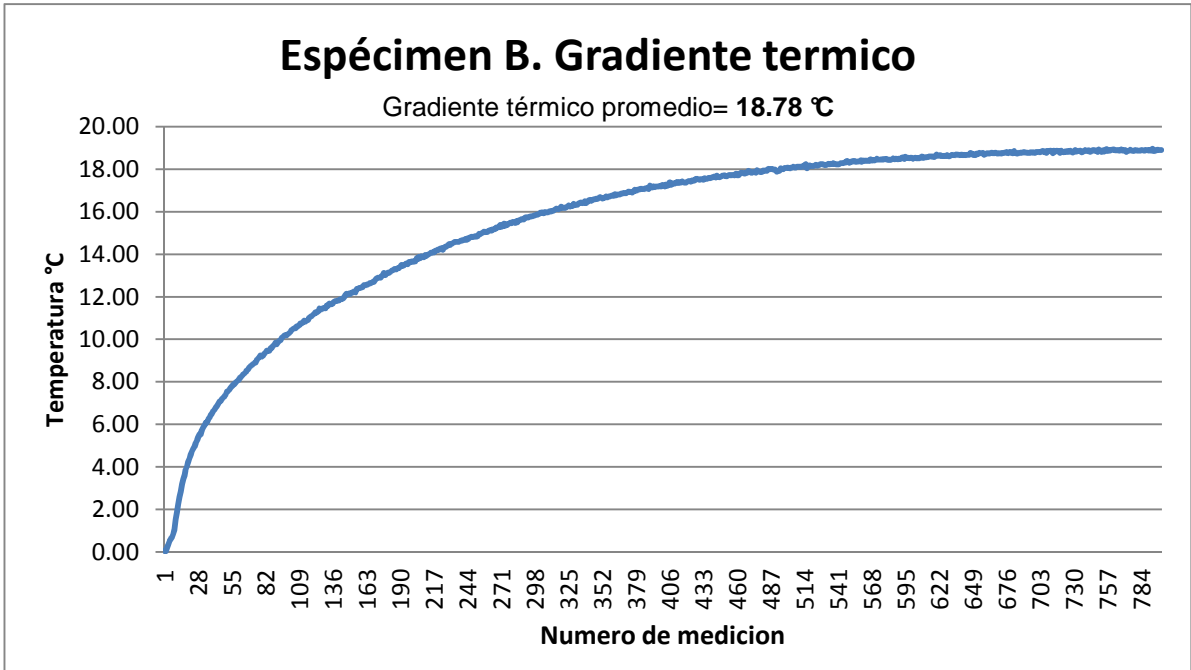


Gráfico 4. 7 Gradiente térmico. Especimen B

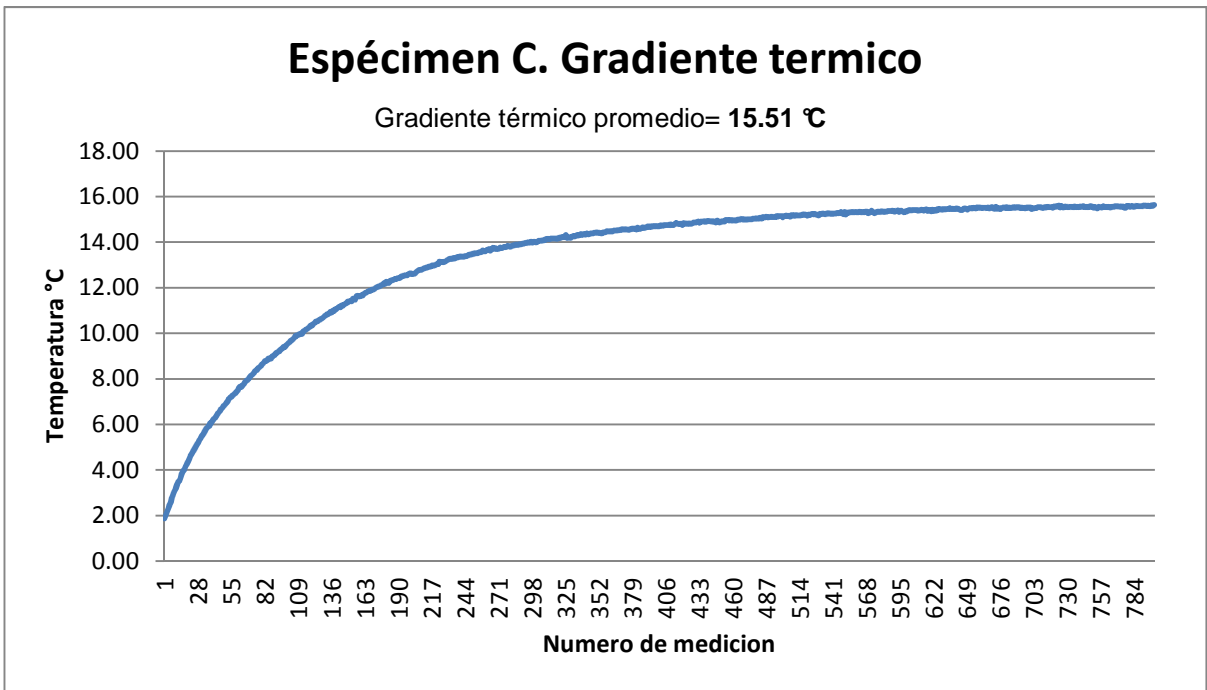


Gráfico 4. 8 Gradiente térmico. Especimen C

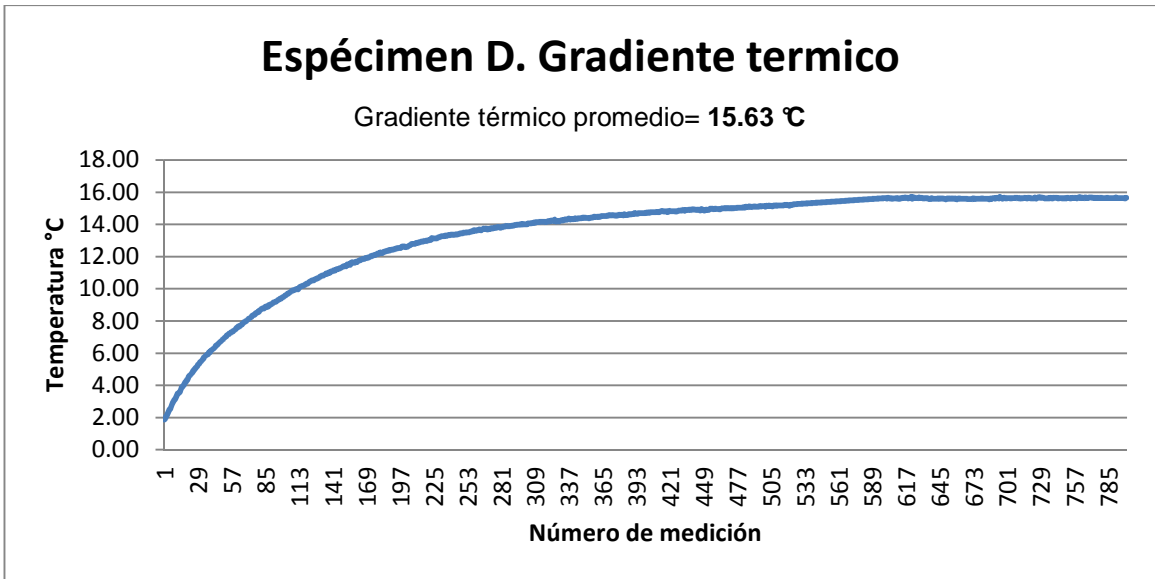


Gráfico 4. 9 Gradiente térmico. Especimen D

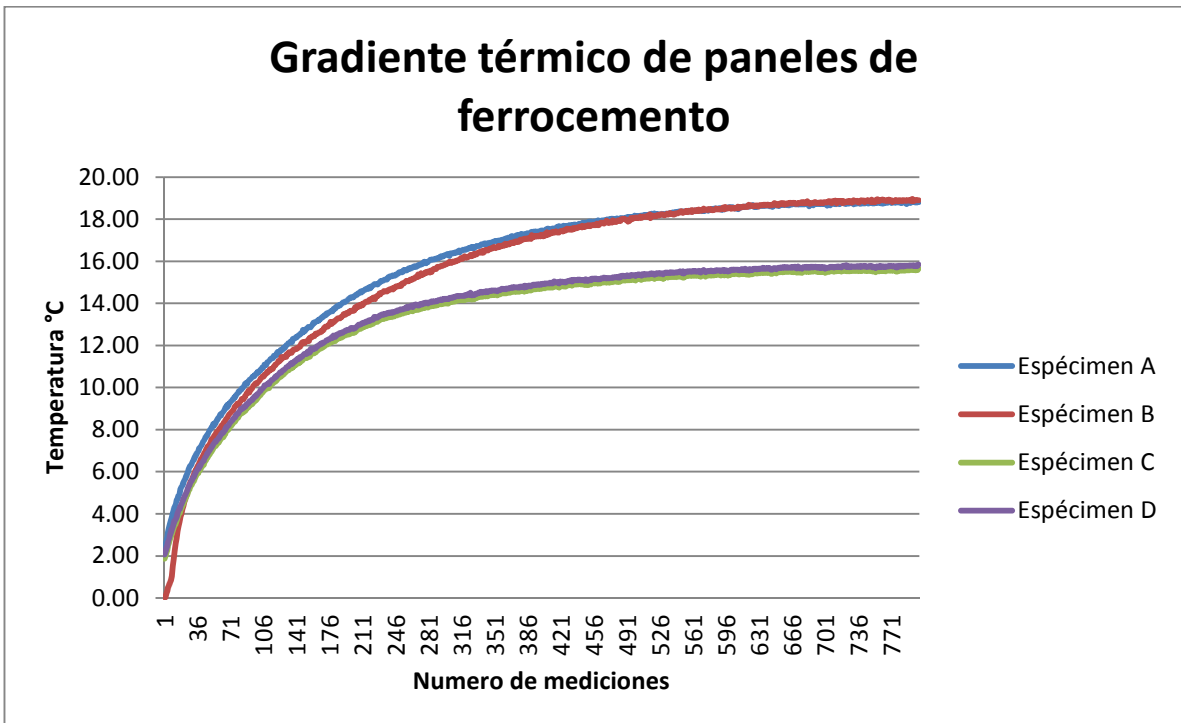


Gráfico 4. 10 Gradiente térmico de paneles de ferrocemento

	T inicial	T final	ΔT
Espécimen A	37.07	18.07	19.00
Espécimen B	37.98	19.20	18.78
Espécimen C	35.77	20.26	15.51
Espécimen D	36.80	21.18	15.63

Tabla 9.- Gradiente térmico de los especímenes estudiados

Muestra	Corriente (V)	Intensidad (Amp)	Delta X (m)	Area (m ²)	Potencia (W)	Tc (°C)	Tf (°C)	Delta T (°C)	Conduct. Térmica	Archivo .dat
Espécimen A	10.5	0.44	0.11	0.0121	2.31	37.0718	18.0691	19.0028	0.4521	pako1.DAT
Espécimen B	10.5	0.44	0.11	0.0121	2.31	37.9821	19.2043	18.7778	0.4575	pako2.DAT
Espécimen C	10.5	0.43	0.11	0.0121	2.2575	35.7702	20.2623	15.5080	0.5414	pako3.DAT
Espécimen D	10.5	0.43	0.11	0.0121	2.2575	36.8041	21.1775	15.6266	0.5373	pako4.DAT

Tabla 10.- Valores de conductividad térmica de especímenes estudiados

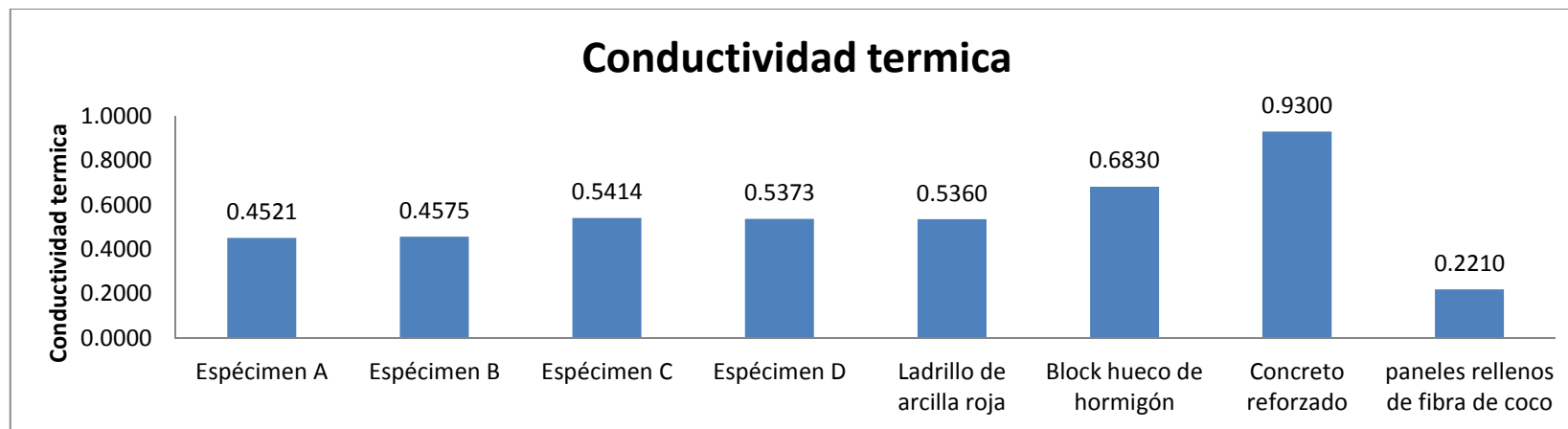


Gráfico 4. 11 Valores de conductividad térmica de especímenes estudiados

4.2 Flexión pura del panel

Los paneles se ensayaron a flexión pura, aplicando carga al centro del panel, y colocando sus resistencias a 2 tercios del panel, estas resistencias fueron apoyos con solo una restricción en el eje X, sin restricción de momento, lo que se conoce como simplemente apoyados.

Con este tipo de prueba se garantiza que el panel fallara únicamente por esfuerzos de flexión. En la Tabla 11 se muestra los valores de las deformaciones registradas por el micrómetro colocado y la carga aplicada por la maquina universal.

Una forma más fácil de ver estos resultados es la mostrada en un gráfico, el cual en el eje de las abscisas muestra el desplazamiento registrado por el micrómetro, mientras que en el eje de las ordenadas muestra la carga aplicada al panel. El Gráfico 4. 12 muestra el comportamiento del espécimen A, ante la carga aplicada.

En el Gráfico 4. 13 es posible apreciar la resistencia que opusieron los paneles ante la aplicación de una carga puntual al centro del claro, dicha grafica nos permite observar los desplazamientos registrados ante la carga aplicada a cada uno de los paneles.

Espécimen A	
CARGA (KG F)	DESPLAZAMIENTO (MM)
0	0.11
25	0.11
50	0.15
75	0.22
100	0.24
125	0.3
150	0.36
175	0.42
200	0.48
225	0.53
250	0.59
275	0.64
300	0.72
325	0.78
350	0.83
375	0.9
400	0.94
425	1
450	1.05
475	1.1
500	1.16
525	1.2
550	1.25
575	1.29
600	1.34
625	1.38
650	1.42
675	1.46
700	1.49
725	1.54
750	1.57
775	1.61
800	1.65
825	1.68
850	1.72
875	1.75
900	1.79
925	1.82
950	1.85

975	1.88
1000	1.91
1025	1.95
1050	1.98
1075	2
1100	2.04
1125	2.06
1150	2.09
1175	2.12
1200	2.15
1225	2.18
1250	2.21
1275	2.25
1300	2.27
1325	2.3
1350	2.32
1375	2.35
1400	2.37
1425	2.4
1450	2.45
1475	2.46
1500	2.48
1525	2.5
1550	2.52
1575	2.55
1600	2.57
1625	2.6
1650	2.62
1675	2.64
1700	2.67
1725	2.69
1750	2.72
1775	2.74
1800	2.77
1825	2.79
1850	2.81
1875	2.83
1900	2.86
1925	2.88
1950	2.9
1975	2.93
2000	2.95
2025	2.97

2050	2.99
2075	3.01
2100	3.03
2125	3.05
2150	3.07
2175	3.1
2200	3.12
2225	3.14
2250	3.16
2275	3.18
2300	3.21
2325	3.23
2350	3.25
2375	3.28
2400	3.29
2425	3.31
2444.8	3.94

Tabla 11 .- Resistencia a la flexión del espécimen A

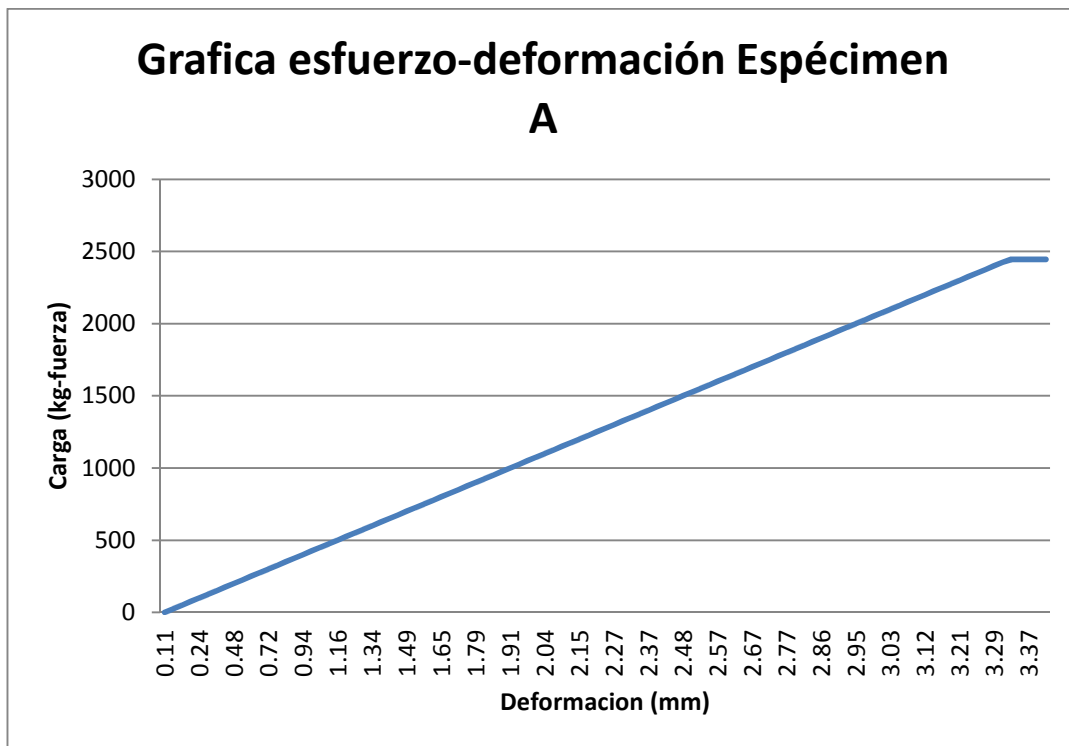


Gráfico 4. 12 Esfuerzo deformación. Espécimen A

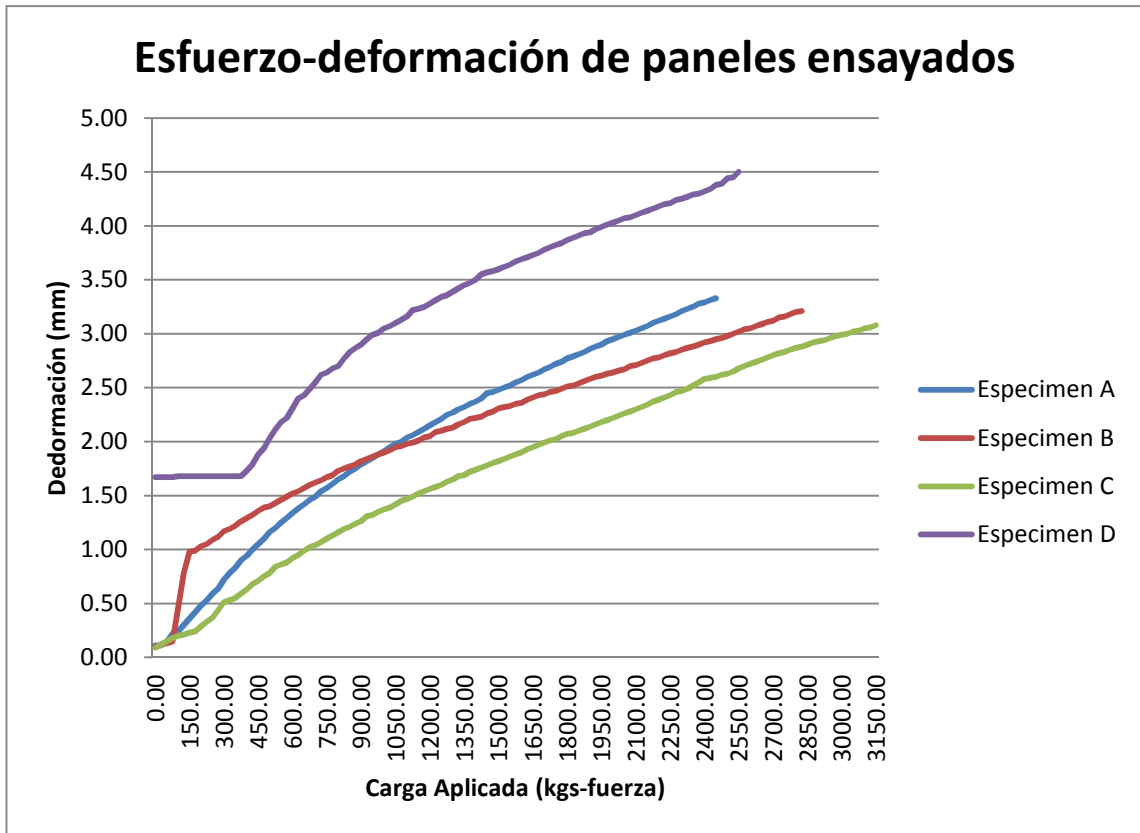


Gráfico 4. 13 Resistencia a la flexión de los cuatro especímenes.

5 CONCLUSIONES

5.1 Conclusiones Generales

SE ACEPTA LA HIPÓTESIS.

La distribución y topología de huecos sobre la sección transversal de un panel prefabricado de ferrocemento mantiene su capacidad estructural y genera un sistema aislante que reduce la transferencia de calor al interior de una vivienda.

Se encontró la topología que presenta mayor resistividad térmica, que fue el espécimen 1, pero a su vez, fue el panel que resistió menor esfuerzo a la flexión.

De igual manera, este panel presenta una mayor resistencia a la flexión que los sistemas convencionales.

Se concluye que los paneles en cuestión, se presentan como una alternativa sustentable y amigable al medio ambiente. Dicho sistema producirá un ahorro energético en la reducción del uso de sistemas de aire acondicionado en las edificaciones.

5.2 Conclusiones específicas.

Es necesario realizar un cálculo económico del proceso constructivo que se propone por su servidor, para determinar la viabilidad de su uso en la industria de la construcción convencional.

El panel propuesto, presentó una conductividad térmica de $0.45 \text{ W K}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$, inferior al sistema tradicional de construcción, que es el ladrillo de arcilla roja recocida, con una conductividad de $0.536 \text{ W K}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$.

6 REFERENCIAS

- ACI Committee 549-1R-88. 1993. Guide for Design Construction, and Repair of Ferrocement ACI 549-1R-88 and 1R-93, in Manual of Concrete Practice, ACI. Detroit. 27.
- ACI Committee 549, 1997. State-of-the-Art Report on Ferrocement (ACI 549-R97) in Manual of Concrete Practice, ACI. Detroit. 26.
- Ahmed, N., S. Radin, and M. Ramli. 2007. Ferrocement encased lightweight aerated concrete: A novel approach to produce sandwich composite. *Materials Letters* 61: 4035–4038.
- Alavez-Ramirez, R., F. Chiñas-Castillo, V. J. Morales-Domínguez M. Ortiz-Guzmán. 2012. Thermal conductivity of coconut fibre filled ferrocement sandwich panels. *Construction and Building Materials*, 37: 425 – 431. doi:10.1016/j.conbuildmat.2012.07.053.
- Allocca C., Q. Chen, and L. R. Glicksman. 2003. Design analysis of single-sided natural ventilation. *Energy and Buildings*. 35(8):785–95.
- Arabali, A., M. Ghofrani, M. Etezadi-Amoli, M. S. Fadali, and Y. Baghzouz. 2013. Genetic-Algorithm-Based Optimization Approach for Energy Management. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 28(1): 162 – 170. doi:10.1109/TPWRD.2012.2219598.
- Baltazar Méndez M., 2009. Contribución de la ceniza volante tipo “F” sobre las propiedades físicas y mecánicas de los concretos de cemento Portland. Tesis de Maestría en Ciencias, línea Terminal en Construcción, Facultad de Ingeniería, Febrero 2010; 90 pp.
- Bernal Elías F. V., 2008. Efecto de la ceniza volante en morteros fabricados con cemento Portland. Tesis de Maestría en Ciencias, línea terminal en Construcción, Facultad de Ingeniería, UAQ., Querétaro, México, [20 Oct. 2008]. 80 pp.

- Bingham, B. 1974. *Ferro-cement Design, Techniques, and Applications*. Cornell Maritime Press. Cambridge, Maryland. 444pp.
- Brager, G. S. and R. J. de Dear. 1998. Thermal adaptation in the built environment: a literature review. *Energy and Buildings*, 27(1): 83 – 96. doi:10.1016/S0378-7788(97)00053-4.
- Coz-Díaz, J.J. del, P.J. García-Nieto, C. Betegón-Biempica, and M.B. Prendes Gero. 2007. Analysis and optimization of the heat-insulating light concrete hollow brick walls design by the finite element method. *Appl. Therm. Eng.* 27: 1445–1456.
- Coz-Díaz, J.J. del, P. J. García-Nieto, J. L. Suárez-Sierra, and C. Betegón-Biempica. 2008. Nonlinear thermal optimization of external light concrete multi-enclosed brick walls by the finite element method. *Int. J. Heat Mass Transfer*. 51; 1530–1541.
- Energy Consumption Guide 19. 1993. *Energy efficiency in offices*. London: Energy Efficiency Office/HMSO.
- Guerra, A. E., A. E. Naaman, and S.P. Shah. 1978. Ferrocement Cylindrical Tanks: Cracking and Leakage Behavior. *ACI Journal, Proceedings*. 75(1): 22 - 30.
- Guerrero, P. and A. E. Naaman. 1998. Bending Behavior of Hybrid Ferrocement Composites Reinforced with PVA Meshes and PVA Fibers. *Ferrocement 6-Lambot Symposium. Proceedings of Sixth International Symposium on Ferrocement*, Naaman, A.E., Editor, University of Michigan.
- Hanifi Binici, Orhan Aksogan, Mehmet Nuri Bodur, Erhan Akca, Selim Kapur. 2007. Thermal isolation and mechanical properties of fibre reinforced mud bricks as wall materials. *Construction and Building Materials* 21; p. 901–906.
- Kadir, M. R. A., A. A. A. Samad, Z.C. Muda, and A. A. Abang-Abdullah. 1997. Flexural Behavior of Composite Beams with Ferrocement Permanent Formwork. *Journal of Ferrocement*. 27(3): 209 - 214.

- Kadir, M.R.A., A.A.A. Samad, Z.C. Muda, and A. A. Abang-Abdullah. 1997. Flexural Behavior of Composite Beams with Ferrocement Permanent Formwork. *Journal of Ferrocement*. 27(3): 209 - 214.
- Martínez, J., A. Fernández, P. Osnaya. 2004. Cambio climático: una visión desde México. *Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. 203 - 206.
- Nimityongskul, P., Chen Bor-Shiun, and P. Karasudhi. 1980. Impact Resistance of Ferrocement Boat Hulls. *Journal of Ferrocement*. 10(1): 1 - 10.
- Sun, B., P. B. Luh, Q.-S. Jia, Z. Jiang, F. Wang, and C. Song. 2013. Building Energy Management: Integrated Control of Active and Passive Heating, Cooling, Lighting, Shading, and Ventilation Systems. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 10(3); 588-602. doi:10.1109/TASE.2012.2205567.
- Uygunoğlu, T. and A. Keçebaş. 2011. LCC analysis for energy-saving in residential buildings with different types of construction masonry blocks. *Energy and Buildings*, 43(9): 2077–2085. doi:10.1016/j.enbuild.2011.04.011.
- Venkateshwarlu D. and V. Raj. 1989. Development of bamboo based ferrocement roofing elements for low cost housing. *J Ferrocement*.19:331–337.
- Yao, W. and Z. Li. 2003. Flexural behavior of bamboo–fiber-reinforced mortar laminates. *Cement and Concrete Research*. 33(1): 15–19. doi:10.1016/S0008-8846(02)00909-2.
-

Hinojosa J.F., R.E. Cabanillas, G. Alvarez, C.E. Estrada, 2005. Nusselt number for the natural convection and surface thermal radiation in a square tilted open cavity, *Int. Commun. Heat Mass Transfer* 32 1184–1192.

Kim D.M., R. Viskanta, 1984. Heat transfer by conduction, natural convection and radiation across rectangular cellular structure, *Int. J. Heat Fluid Flow* 5; 205–212 pp.

Kadir, M.R.A., Samad, A.A.A., Muda, Z.C., and Abang Abdullah, A.A., "Flexural Behavior of Composite Beams with Ferrocement Permanent Formwork," *Journal of Ferrocement*, V. 27, No. 3, 1997, pp. 209-214.

Kumar P.R., Seshu D.R., Rao CBK. 2002. "Studies on high performance mortar mixes (Part I: strength and flow characteristics)". *Journal of Ferrocement*; 32(3):205–14.

Li J., 1997. The effect of the hole types in the concrete hollow blocks on the heat insulation property, in: *The 1997 National Block Buildings' Design and Construction Technology Conference*, China Building Block Association Press, Yangzhou; pp. 261–266.

Li L.P., Z.G. Wu, Y.L. He, G. Lauriat, W.Q. Tao, 2008. Optimization of the configuration of 290×40×90 hollow clay bricks with 3-D numerical simulation by finite volume method, *Energy Buildings* 40; 1790–1799.

Li L.P., Z.G. Wu, Z.Y. Li, Y.L. He, W.Q. Tao, 2008. Numerical thermal optimization of the configuration of multi-holed clay bricks used for constructing building walls by the finite volume method, *Int. J. Heat Mass Transfer* 51; 3669–3682.

Liping W, Hien WN. 2007. The impacts of ventilation strategies and facade on indoor thermal environment for naturally ventilated residential buildings in Singapore. *Building and Environment*; 42(12): p. 4006–15.

Lopez, M. and Naaman, A. E., "Study of Shear Joints in Fiber Reinforced Plastic (FRP) Ferrocement Bolted Connections," *Ferrocement 6 - Lambot Symposium*, Proceedings of Sixth International Symposium on Ferrocement, Naaman, A.E., Editor, University of Michigan, June 1998.

Masood A.M. and S. Akhtar M. Haquie. 2003. "Performance of ferrocement panels in different environments". Cement and concrete research V. 33, p. 555.

Majed M. Al-Hazmy, 2006. Analysis of coupled natural convection–conduction effects on the heat transport through hollow building blocks, Energy Buildings 38; 515–521.

Mansur, M. A., and Ong, K. C. G., "Shear Strength of Ferrocement Beams," ACI Structural Journal, V. 84, No. 1, Jan.-Feb. 1987, pp.10-17.

McHenry, P.G., 1984. Adobe and rammed earth buildings, John Willey and sons, New York.

Memon N.A., Salihuddin R.S., Mahyuddin R. 2007. "Performance of high workability slag-cement mortar for ferrocement". Building and environment, V. 42, p. 2710.

Misra D., A. Sarkar, 1997. Finite element analysis of conjugate natural convection in a square enclosure with a conducting vertical wall, Comput. Methods Appl. Mech. Eng. 141 205–219.

Mobedi Moghtada, 2008. Conjugate natural convection in a square cavity with finite thickness horizontal walls, Int. Commun. Heat Mass Transfer 35 503–513.

Morel, J.C., Mesbah, A., Oggero, M., Walker, P., 2000. Building houses with local material: means to drastically reduce the environmental impact of construction, Building and Environment, Pergamon.

Naaman, A.E. and Shah, S.P., "Tensile Test of Ferrocement," ACI Journal, Proceedings, V. 68, No. 9, Sept., 1971, pp. 693-698.

Naaman, A., Ferrocement and Laminated Cementitious Composites, Techno Press 3000, Ann Arbor, Michigan, 2000, 372pp.

Naaman, A.E., and Chandrangu, K., "Bending Behavior of Laminated Cementitious Composites Reinforced with FRP Meshes," High Performance Fiber Reinforced Concrete Thin Sheet Products, Edited by A. Peled, S.P. Shan and N.

Banthia, ACI SP-190, American Concrete Institute, Farmington Hills, 2000, pp. 97-116.

Nimityongskul, P., Chen Bor-Shiun and Karasudhi, P., "Impact Resistance of Ferrocement Boat Hulls," *Journal of Ferrocement*, V.10, No. 1, 1980, pp. 1-10.

Tayfun Uygunođlua, Ali Kec, ebas, b,*, LCC analysis for energy-saving in residential buildings with different types of construction masonry blocks, *Energy and Buildings* 43 (2011) 2077–2085.

Omer AM. 2008. Renewable building energy systems and passive human comfort solutions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*; 12(6):1562–87.

Orme M. 2001. Estimates of the energy impact of ventilation and associated financial expenditures. *Energy and Buildings*; 33(3):199–205.

Reyes-Araiza José Luis, Alejandro Manzano-Ramírez, Yuri Vorobiev and José de Jesús Perez Bueno. 2009. Unfired Bricks made of Clay-Gypsum–Mechanical and Thermal properties. *Proceedings of the 11th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies (NOCMAT 2009), Materials for sustainable and affordable construction, 6-9 September 2009, University of Bath, Bath, UK. ISBN: 978-1-86197-179-1.*

Ren Zepei, Zhang Lining, Jia Li, 1988. National convention in enclosure combined with conduction and radiation, *J. Eng. Thermophys.* 9 (3) 150–256.

Shah, S.P and Naaman, A.E. 1978. "Crack Control in Ferrocement and Its Comparison with Reinforced Concrete," *Journal of Ferrocement*, V. 8, No. 2, pp.67-80.

Wang S., Naaman A.E., Li V. 2004. "Bending response of hybrid ferrocement plates with meshes and fibers". *Journal of ferrocement*, V.34, No. 1, p. 275.

Yang Dingyi, Sun Wei, Liu Zhiyong, Zheng Keren, 2003. Research on improving the heat insulation and preservation properties of small-size concrete hollow blocks, *Cement Concrete Res.* 33; 1357–1361.

Zhao C.Y., W.Q. Tao, 1995. Natural convections in conjugated single and double enclosures, *Int. J. Heat Mass Transfer* 30; 175–182.

ACI Committee 549, 1997. "State-of-the-Art Report on Ferrocement" (ACI 549-R97) in *Manual of Concrete Practice*, ACI, Detroit; 26pp.

ACI Committee 549-1R-88, 1993. "Guide for Design Construction, and Repair of Ferrocement" ACI 549-1R-88 and 1R-93, in *Manual of Concrete Practice*, ACI, Detroit; 27 pp.

Ahmed. N., Radin, S., Ramli, M. (2007) Ferrocement encased lightweight aerated concrete: A novel approach to produce sandwich composite. *Materials Letters* 61, 4035–4038.

Alavez-Ramirez, R., Chiñas-Castillo, F., Morales-Dominguez, V. J., & Ortiz-Guzman, M. (2012). Thermal conductivity of coconut fibre filled ferrocement sandwich panels. *Construction and Building Materials*, 37, 425–431. doi:10.1016/j.conbuildmat.2012.07.053

Allocca C, Chen Q, Glicksman LR. 2003. Design analysis of single-sided natural ventilation. *Energy and Buildings*; 35(8):785–95.

Arabali, A., Ghofrani, M., Etezadi-Amoli, M., Fadali, M. S., & Baghzouz, Y. (2013). Genetic-Algorithm-Based Optimization Approach for Energy Management. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 28(1), 162–170. doi:10.1109/TPWRD.2012.2219598

ASHRAE, Thermal environmental conditions for human occupancy, in:ANSI/ASHRAE Standard 55, American Society of Heating, Refrigerating and AirConditioning Engineers, Atlanta, 2013.

B.W. Olesen, Local Thermal Discomfort Technical Review, Bruel & Kjaer Englished. (1), 1985, pp. 3–42.

Bingham, B., Ferro-cement Design, Techniques, and Applications, Cornell Maritime Press, Cambridge, Maryland, 1974, 444pp.

Brager, G. S., & de Dear, R. J. (1998). Thermal adaptation in the built environment: a literature review. *Energy and Buildings*, 27(1), 83–96. doi:10.1016/S0378-7788(97)00053-4

D.A. McIntyre, *Indoor Climate*, Applied Science, London, 1980.

D' Ambrosio Alfano, F. R., Olesen, B. W., Palella, B. I., & Riccio, G. (2014). Thermal comfort: Design and assessment for energy saving. *Energy and Buildings*, 81, 326–336. doi:10.1016/j.enbuild.2014.06.033

Guerra, A.E., Naaman, A.E. and Shah, S.P., "Ferrocement Cylindrical Tanks: Cracking and Leakage Behavior," *ACI Journal, Proceedings*, V. 75, No. 1, Jan., 1978, pp. 22-30.

Havenith, G., Holmér, I., & Parsons, K. (2002). Personal factors in thermal comfort assessment: clothing properties and metabolic heat production. *Energy and Buildings*, 34(6), 581–591. doi:10.1016/S0378-7788(02)00008-7

INSHT-NTP 74, Confort térmico - Método de Fanger para su evaluación. Centro de investigación y asistencia técnica – Barcelona. (1983).

ISO 7730, Ergonomics of the Thermal Environment – Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort, International Standardization Organization, Geneva, 2005.

Kadir, M.R.A., Samad, A.A.A., Muda, Z.C., and Abang Abdullah, A.A., "Flexural Behavior of Composite Beams with Ferrocement Permanent Formwork," *Journal of Ferrocement*, V. 27, No. 3, 1997, pp. 209-214.

Martínez, J., Fernández, A., Osnaya, P. (2004). Cambio climático: una visión desde México. (pp. 203-206). Secretaria de Medio ambiente y recursos Naturales.

Naaman, A., *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites*, Techno Press 3000, Ann Arbor, Michigan, 2000, 372pp.

Nimityongskul, P., Chen Bor-Shiun and Karasudhi, P., "Impact Resistance of Ferrocement Boat Hulls," *Journal of Ferrocement*, V.10, No. 1, 1980, pp. 1-10.

P.O. Fanger, Calculation of thermal comfort: introduction of a basic comfort equation, *ASHRAE Transactions* 73 (2) (1967) 1–20.

Parsons, K. (2002). *Human Thermal Environments: The Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human Health, Comfort and Performance*, Second Edition. CRC Press.

Pei-yong, D., & Hui, L. (2010). A novel data-based control strategy of dynamic thermal comfort for inhabited environment. In 2010 8th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA) (pp. 4865–4869). doi:10.1109/WCICA.2010.5554901

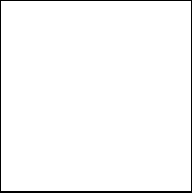
Raj V. Large span bamboo ferrocement elements for flooring and roofing purposes. *J Ferrocement* 1990;20:367–75.

Sun, B., Luh, P. B., Jia, Q.-S., Jiang, Z., Wang, F., & Song, C. (2013). Building Energy Management: Integrated Control of Active and Passive Heating, Cooling, Lighting, Shading, and Ventilation Systems. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 10(3), 588-602. doi:10.1109/TASE.2012.2205567

Torresani, W., Battisti, N., Maglione, A., Brunelli, D., & Macii, D. (2013). A multi-sensor wireless solution for indoor thermal comfort monitoring. In 2013 IEEE Workshop on Environmental Energy and Structural Monitoring Systems (EESMS) (pp. 1–6). doi:10.1109/EESMS.2013.6661697

Uygunoğlu, T., & Keçebaş, A. (2011). LCC analysis for energy-saving in residential buildings with different types of construction masonry blocks. *Energy and Buildings*, 43(9), 2077–2085. doi:10.1016/j.enbuild.2011.04.011

Venkateshwarlu D, Raj V. Development of bamboo based ferrocement roofing elements for low cost housing. *J Ferrocement* 1989;19:331–7.



Yao, W., & Li, Z. (2003). Flexural behavior of bamboo–fiber-reinforced mortar laminates. *Cement and Concrete Research*, 33(1), 15–19. doi:10.1016/S0008-8846(02)00909-2