



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA**

**FACULTAD DE ARQUITECTURA**

**AREA: TECNOLOGÍA**

**“SISTEMAS PARA MEJORAR TÉRMICAMENTE EL  
FERROCEMENTO EMPLEADO EN LA ARQUITECTURA  
ORGÁNICA”**

**TESIS**

**Que para optar por el grado de:**

**Maestría en Arquitectura**

**Presenta:**

**ARQ. ALEJANDRA ALVARADO CASTAÑEDA**

**Tutor:**

- **Dr. en Arq. AGUSTÍN HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ,  
Facultad de Arquitectura UNAM**

**Sinodales:**

- **Mtro .en Arq. JORGE RANGEL DÁVALOS  
Facultad de Arquitectura, UNAM**
- **Mtro .en Arq. LEONARDO ZEEVAERT ALCÁNTARA  
Facultad de Arquitectura, UNAM**
- **Mtro .en Arq. ERNESTO OCAMPO RUÍZ  
Facultad de Arquitectura, UNAM**
- **Dr. en Ing. ALEJANDRO SOLANO VEGA  
Facultad de Arquitectura, UNAM**

**MÉXICO, D. F. DICIEMBRE 2014**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**

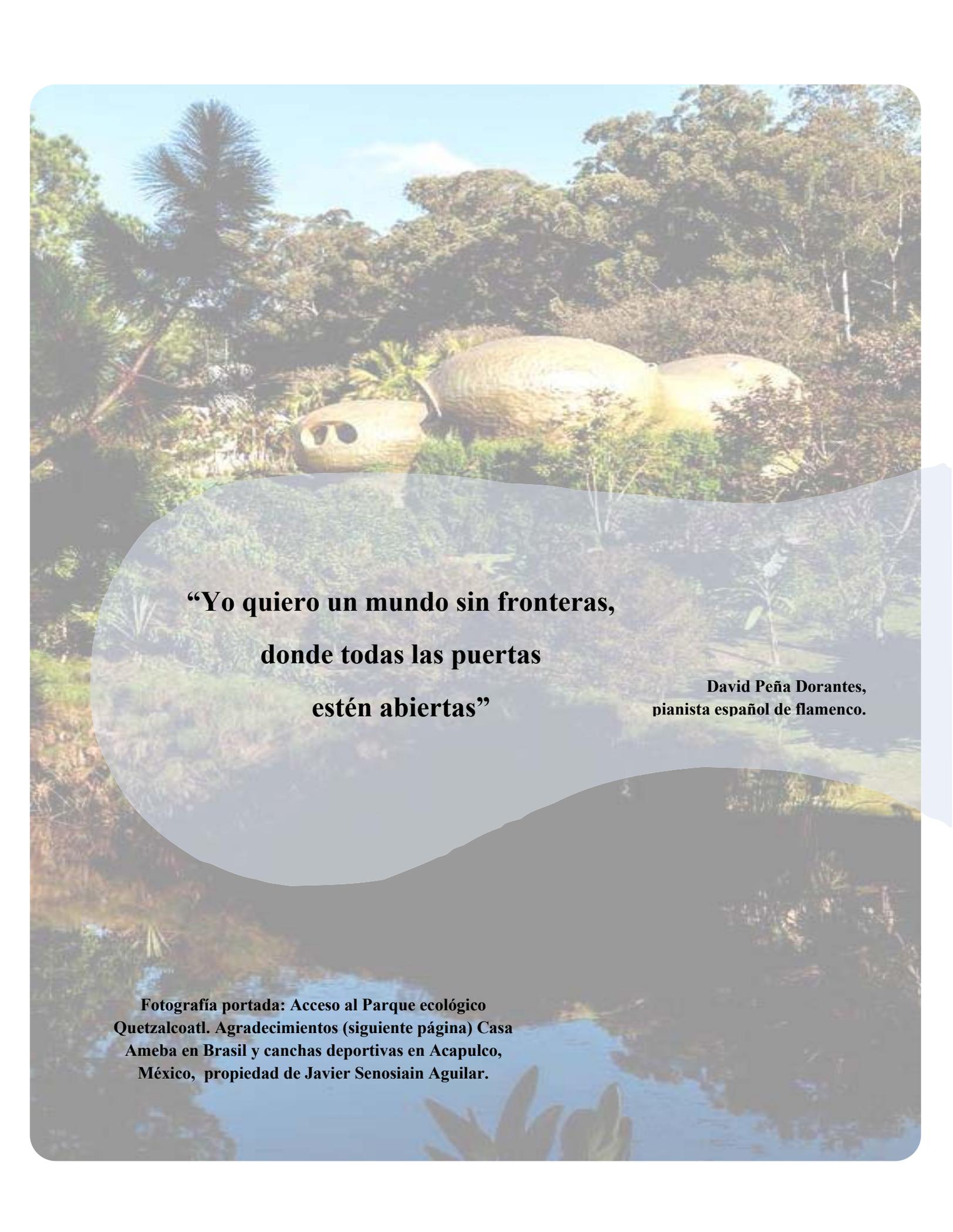


**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**“Yo quiero un mundo sin fronteras,  
donde todas las puertas  
estén abiertas”**

**David Peña Dorantes,  
pianista español de flamenco.**

**Fotografía portada: Acceso al Parque ecológico  
Quetzalcoatl. Agradecimientos (siguiente página) Casa  
Ameba en Brasil y canchas deportivas en Acapulco,  
México, propiedad de Javier Senosiain Aguilar.**

## AGRADECIMIENTOS

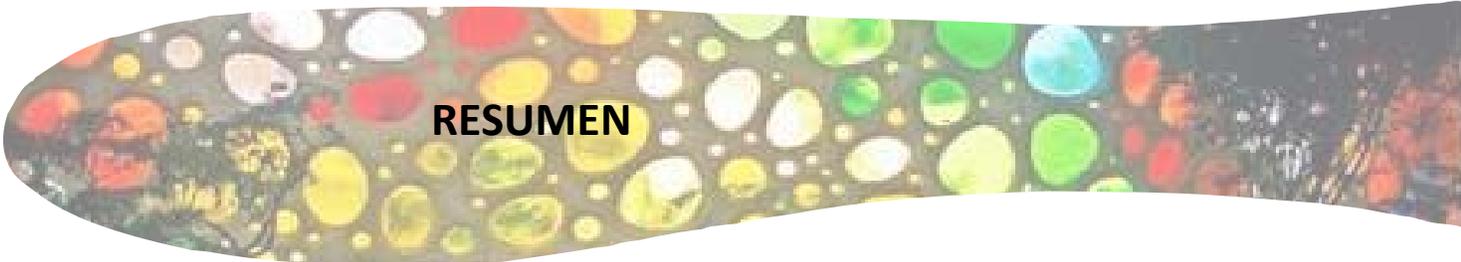
Un agradecimiento especial a mi hermano Diego Arturo Alvarado Castañeda, aun cuando se encontraba estudiando fuera del país nunca faltó su apoyo incondicional. A mis amigos de la maestrías con quien he pasado horas muy amenas tanto estudiando como de broma en broma.

Agradezco la disposición para la asesoría de esta investigación sinceramente y por sus aportaciones a las personas que me apoyaron para lograr terminar esta tesis. Mi tutor el Dr. Agustín Hernández H, mis sinodales: Mtro. en Arq. Jorge Rangel Dávalos, Mtro. en Arq. Leonardo Zeevaert Alcántara, Mtro. en Arq. Ernesto Ocampo Ruiz, Dr. en Ing. Alejandro Solano Vega.

Así como al Arq. Javier Senosiain Aguilar y al Ing. Arq. Luis Enríquez Montiel, con quienes he laborado ya 10 años desde que cursaba el 7to semestre de la licenciatura en arquitectura y me ayudaron tanto en introducirme en el campo de la arquitectura orgánica elaborada con ferrocemento, como con correcciones, préstamo de libros y consejos para elaborar el documento.

También al Ing. Arq. Alfonso e. Olvera Montes, Ing. Rogelio C. Uriza Salgado y al Ing. Civ. J. Eduardo Gutiérrez Martínez del Laboratorio de estructuras de Ingeniería Civil de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura ESIA Zacatenco y al Ing. Juan Luis Cottier Caviades del posgrado de Ingeniería Civil UNAM por su apoyo y asesorías.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por ser una institución que me ha brindado muchas oportunidades de desarrollo, he cursado en ella desde la formación preparatoria, licenciatura y ahora Maestría. También al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), ya que esta tesis fue realizada gracias a una beca otorgada por ella.



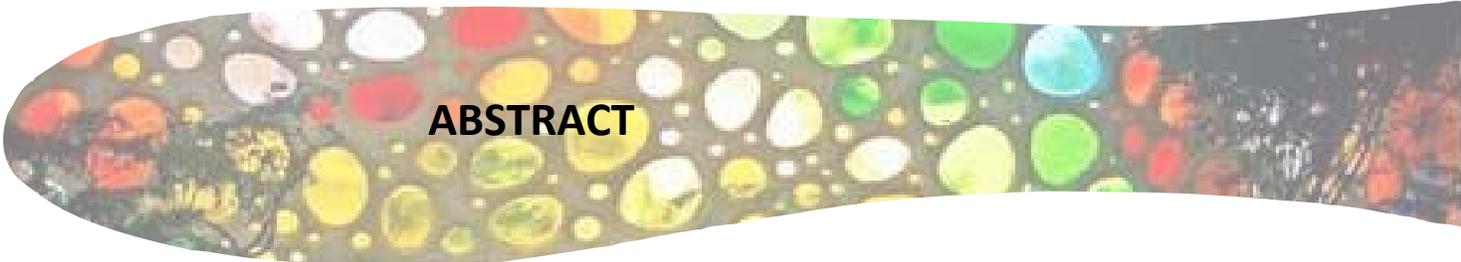
## RESUMEN

El ferrocemento es un material para la construcción de poco espesor, de 2 a 6 cm dependiendo la actividad destinada a cumplir, con varias mallas de alambre de acero de pequeño diámetro (de 2 a 6 mallas totales) distribuidas uniformemente en dos direcciones, mortero y arena. Se puede emplear tanto para construir espacios y elementos ortogonales así como espacios orgánicos, es decir, de formas libres, cuya resistencia estructural está dada por la geometría de las piezas.

El tema nace de la preocupación por el inconveniente que presenta el ferrocemento por su escaso espesor y gran cantidad de acero transfiriendo rápidamente el clima exterior. Actualmente esta problemática se resuelve de manera poco satisfactoria con una capa de 2” de espuma de poliuretano y poliuria o con una cubierta verde adicional. Pero ésta espuma es altamente contaminante, difícilmente reciclable y cancerígena. (Reglamento (CE) n° 842/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, (2006). Es por eso que se exploran otras opciones de aislamiento.

Los aspectos estudiados son:

- a) **La intervención del mortero en el ferrocemento** para analizar la factibilidad de la introducción a la mezcla de algunos materiales como perlita y vermiculita para evaluar las mejoras en cuanto a su aislamiento térmico y que estos no afecten las propiedades mecánicas del material.
- b) Analiza una propuesta donde **el muro de ferrocemento sea portante de una cubierta vegetal** que a la vez ayude térmicamente por el colchón que forma el sustrato vegetal y las plantas (cubresuelos de 5 a 30cm de altura) y proporcione una vista ajardinada así como también un acabado final.
- c) Evaluación de las capacidades de aislamiento térmico del material comercial llamado **MasaRoca®**
- d) Como conclusión se crea una propuesta de aislamiento que incorpora varios de los métodos de aislamiento empleados en la experimentación.



## ABSTRACT

Ferrocement is a thin building material having a thickness from 2 to 6 cm depending on its application, it comprises multiple small-diameter steel meshes (from 2 to 6 meshes in total) uniformly distributed in two directions, as well as mortar and sand. It can be employed for building orthogonal elements and spaces as well as organic spaces, namely free forms, whose structural strength is determined by the geometry of the parts.

This study arises from the drawback caused by the thinness of ferrocement and its intensive use of steel which results in a rapid transmission of external climate. Currently, this problem is inadequately solved using a 2” layer of polyurethane foam and polyurea or with an additional plant covering. However, said foam is highly polluting, difficult to recycle and carcinogenic (Regulation (Ec) No. 842/2006 of the European Parliament and of the Council, 2006). For this reason different insulation options are being explored.

The aspects being studied are:

- a) **The role of mortar in ferrocement** in order to analyze the feasibility of introducing to the mixture materials such as perlite and vermiculite to assess improvements in thermal insulation without affecting the mechanical properties of the material.
- b) Analysis of a proposal in which the **ferrocement wall has a vegetal covering** that simultaneously provides thermal improvements due to the cushion formed by the vegetal substrate and plants (a groundcover with a height from 5 to 30 cm) and provides a landscaped view as well as a final finish.
- c) Assessment of the capabilities of the **MasaRoca®** commercial insulation material.
- d) In conclusion, an insulation proposal integrating several of the insulation methods in experimental setups is developed.

# INDICE

VII

INTRODUCCIÓN

01

## CAPITULO 1. ANTECEDENTES

01

### 1.1 Arquitectura Orgánica

03

#### 1.1.1 Antecedentes

05

#### 1.1.2 Construir como la naturaleza

06

#### 1.1.3 Los materiales

06

#### 1.1.4 Inspiración

07

#### 1.1.5 Raíces y conceptos

10

### 1.2 Ferrocemento

11

#### 1.2.1 Cualidades. ¿Por qué el material?

13

#### 1.2.2 Diferencias y similitudes físicas y mecánicas con el concreto armado

15

#### 1.2.3 Antecedentes históricos.

20

#### 1.2.4 Diversos usos actuales

20

#### 1.2.5 Características del ferrocemento

28

#### 1.2.6 Materiales

29

#### 1.2.7 Preparación del mortero

33

#### 1.2.8 Propiedades Físico químicas y mecánicas del mortero

33

#### 1.2.9 Recubrimiento

34

#### 1.2.10 Ventajas y desventajas

34

#### 1.2.11 MasaRoca- Armados MT3

42

### 1.3 Aislamiento térmico

44

#### 1.3.1 Confort

46

### 1.4 Espuma de poliuretano

47

#### 1.4.1 Ventajas y desventajas de su uso en la construcción

48

#### 1.4.2 Contaminación ambiental. Contaminación en la capa de ozono.

#### 1.4.3 Agentes cancerígenos y tóxicos

#### 1.4.4 Reciclaje. Vida útil de la espuma de poliuretano y degradación

51

## CAPITULO 2. ESTADO DEL ARTE

51

### 2.1 Ejemplos actuales de Arquitectura Orgánica en ferrocemento

51

2.1.1 Eugene Tsui

52

2.1.2 Javier Senosiain

53

2.1.3 Mario Moscoso

2.1.4 Eisaku Ushida y Kathryn Findlay

54

### 2.2 Ferrocemento hoy

55

2.2.1 Uso de fibra de coco para conductividad térmica en paneles de ferrocemento

56

2.2.2 Ferrocemento con fibras de coco

57

2.2.3 Ferrocemento con barro y varas de bambú.

57

2.2.4 Durabilidad de Polímeros y cenizas volantes modificando el Ferrocemento

58

2.2.5 Matrices de cemento de alta Resistencia para aplicaciones de ferrocemento

58

2.2.6 Composiciones de morteros estructurales ligeros.

59

2.2.7 Indicadores económicos y ecológicos para las inversiones de construcción de aislamiento térmico

63

## CAPITULO 3. REGLAMENTOS

63

### 3.1 Morteros, consideraciones.

64

3.1.1 Consistencia

64

3.1.2 Tiempo de utilización o trabajabilidad

65

3.1.3 Tiempo vierto

65

3.1.4 Densidad

65

3.1.5 Adherencia

66

3.1.6 Contenido de iones de cloruro

66

3.1.7 Capacidad de retención de agua

66

3.1.8 Características del mortero endurecido

67

3.1.9 Resistencia mecánica

68

3.1.10 Adherencia

68

3.1.11 Retracción

69

3.1.12 Absorción de agua

69

3.1.13 Comportamiento térmico

69

3.1.14 Comportamiento ante el fuego

69

### 3.2 Reglamentos de ferrocemento en el mundo

69

3.2.1 Norma Cubana

72

### 3.3 Normas aplicables a México

72

3.3.1 Prestaciones térmicas de los productos y componentes para edificación

73

3.3.2 UNE-EN-1015-1

75

## **CAPITULO 4. ETAPA EXPERIMENTAL**

75

4.1 Descripción del experimento

76

4.2 Laboratorios utilizados para las pruebas

77

4.2.1 Clima sobre el que se va a evaluar

77

4.2.2 Laboratorio en Dragón

84

4.2.3 Laboratorio sobre el Edificio de Posgrado

85

4.3 Materiales propuestos.

87

4.4 Aspectos a medir

88

4.5 Módulos y paneles para las pruebas de laboratorio

88

4.5.1 Elaboración de los módulos

89

4.5.2 Panel de ferrocemento

89

4.5.3 Paneles con agregados minerales

90

4.5.4 Panel elaborado con MasaRoca

90

4.5.5 Panel de ferrocemento verde

92

4.5.6 Proporcionamiento comparativo entre los paneles

93

4.5.7 Pesos comparativos entre los paneles

93

4.5.8 Costos de los paneles de prueba

95

4.6 Aparatos propuestos para la medición.

95

4.6.1 SD Card Data Logger Thermometer SCH

95

4.6.2 Cámara térmica Fluke Ti55

96

4.6.3 General HT 10 RH Temp Data

97

4.6.4 GPS Etrex Garmin

99

## **CAPITULO 5. RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACIÓN**

101

5.1 Resultados sobre prueba térmica de los experimentos realizados en el Laboratorio de Dragón evaluando Ferrocemento sin espuma de Poliuretano.

105

5.2 Resultados sobre prueba térmica de los experimentos realizados en el Laboratorio de Dragón evaluando Ferrocemento con espuma de Poliuretano.

109

5.3 Resultados sobre fotos térmicas obtenidas en el Laboratorio de Dragón

111

5.4 Estado actual de la tecnología del ferrocemento para el aislamiento térmico.

111

5.4.1 TRL

113

## CAPITULO 6. APLICACIONES

113

6.1 Casas para turistas en playa de Belice.

113

6.1.1 Planos arquitectónicos de la “Casa Tipo”

115

6.1.2 Modelado 3D y Renders

116

6.2 Descripción del panel propuesto

116

6.2.1 Análogos sobre el panel. Fibra de coco

117

6.2.2 Mylar

118

6.2.3 Croquis y explicación del funcionamiento.

119

6.3 Pruebas realizadas

119

6.3.1 Elaboración del Panel

120

6.3.2 Condiciones de las pruebas

121

6.4 Resultados.

125

## CONCLUSIONES

125

1. Sobre las pruebas de los agregados en el ferrocemento

126

2. Sobre la propuesta de ferrocemento como cubierta verde.

127

3. Sobre el ejemplo de aplicación sobre la casa de Playa en Belice.

128

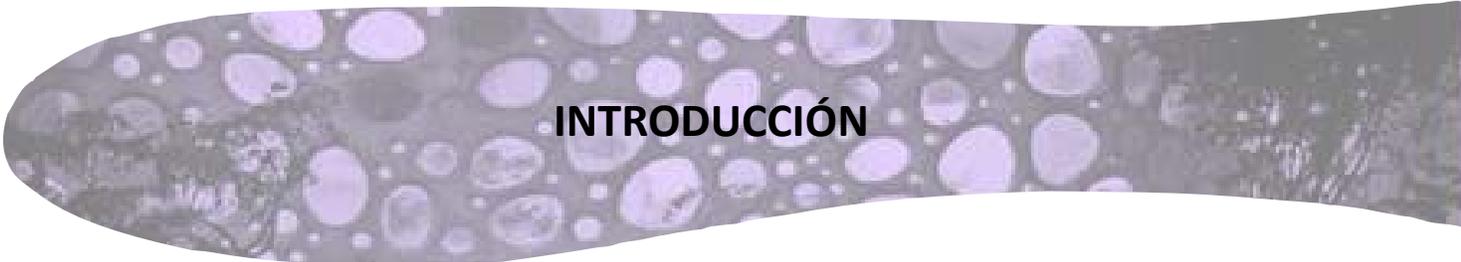
4. Perspectivas a futuro.

129

## BIBLIOGRAFÍA

133

## ANEXOS



# INTRODUCCIÓN

Este documento está realizado para exponer el tema a desarrollar como investigación de la Maestría en el Posgrado en Arquitectura en el campo de estudio de tecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México, que se denomina: “Ferrocemento en la arquitectura Orgánica. Sistemas para mejorar su aspecto térmico”, cuyo caso central de análisis es el “Estudio térmico del material para proponer sistemas que lo conviertan en una tecnología sustentable para la Ciudad de México”.

Lo que ha motivado el planteamiento y desarrollo del presente tema de investigación es la preocupación por el inconveniente que presenta el ferrocemento como sistema constructivo, puesto que, al ser tan delgado y tener tanto acero en su interior genera espacios arquitectónicos con mal aislamiento térmico que sufren de excesivo calor o bien, excesivo frío. Actualmente esta problemática se resuelve de manera poco satisfactoria con una capa de 2” de espuma de poliuretano y poliurea o con una cubierta verde adicional.

En el presente trabajo, la “Arquitectura Orgánica” se entiende como una filosofía de la arquitectura que promueve la armonía entre el hábitat humano y el mundo natural, la cual mediante el diseño busca comprender e integrarse al sitio, los edificios, los mobiliarios, y los alrededores para que se conviertan en parte de una composición unificada y correlacionada.

Mucha gente se ha preocupado por estudiar el ferrocemento desde que se conoce (1855) y con ello se han mejorado sus capacidades de carga, flexión, torsión, resistencia; y también se han estudiado formas de disminuir sus costos sin bajar la eficiencia con el uso de aligerantes como el polvo de vidrio, fibras, uso de nanotubos de carbono para modificar la conductibilidad y otros. Pero no se ha mejorado el aspecto térmico internamente en

los componentes del material, casi siempre se opta por el uso de la espuma de poliuretano como un agregado en una capa exterior.

Al ser el ferrocemento un material de poco espesor, flexible, con dos mallas o más de alambre de acero de pequeños diámetro y distribuidos uniformemente en dos direcciones. Se utiliza un mortero muy rico en cemento cuya resistencia estructural está dada por la geometría de las piezas.



Imagen 1. Ferrocemento

Las posibilidades constructivas del ferrocemento son muchas; tiene la ventaja de ser moldeable y monolítico, no requiere cimbra para su colado (lo que logra una importante reducción en el costo de la construcción, las estructuras ligeras de cascarón como los paraboloides hiperbólicos si requieren cimbra y significaba un costo muy importante en su construcción por este motivo dejaron de construirse ), sólo algunos polines que evitan deformaciones mínimas ( $\pm 5$  cm) lo que ayuda a disminuir su costo de producción y no necesita de mano de obra muy especializada. El ferrocemento se usa en estructuras en donde la resistencia y la rigidez se desarrollan mediante la forma del elemento.

Los materiales que en él se emplean son muy versátiles y se seleccionan dependiendo la aplicación que se vaya a dar. Presenta muy buen comportamiento sísmico ya que al construir espacios monolíticos y continuos con él las cargas vivas y muertas se distribuyen de manera uniforme al suelo constituyendo una solución resistente, digna, sostenible y segura. Y sin embargo sigue casi en el olvido, en la actualidad prácticamente sólo se usa para cisternas, tinacos, macetas, registros y realmente muy poco en el género habitacional.

Los espacios creados con ferrocemento deben ser apropiados térmicamente para el desarrollo adecuado de las actividades. Basándonos en que el ferrocemento no transfiera al interior el calor o frío recibido de las condiciones climáticas a lo largo del día o año. El material es muy propenso a ello por su escaso espesor de máximo 4cm, mínimo de 2cm y que tiene mucho acero en su interior

Es más amable con el medio ambiente y el usuario por medio de formas libres armónicas con él y el medio y su adaptación al contexto de la ciudad. Tiene un impacto duradero, mejora las actuales condiciones del contexto de responder a los contextos naturales y artificiales así como al paisaje. El uso de ferrocemento tiene una alta calidad arquitectónica e impacto estético, respeta los principios sustentables de valores de usos de espacio, forma, uso de luz natural, ambiente, etc.

“Ha sido muy escaso el uso de formas libres respondiendo a las necesidades actuales en la habitación humana, cuando la solución del proyecto arquitectónico debe partir del lugar. Al ser la arquitectura orgánica un resultado de aprender de las estructuras de la naturaleza se logra disminuir los impactos ambientales, reduciendo el consumo de energía y materiales, aunque éste no sea el único camino para lograrlo.”<sup>1</sup>

Son muy importantes las sensaciones físicas y psicológicas que producen en la gente el vivir en estos espacios orgánicos y continuos, están más apegados a espacios abiertos y sus formas presentan una mayor armonía entre las personas y el medio ambiente. Pero el que la información sobre consumos de energía reales en su construcción, desperdicio de materiales, tiempos de ejecución, etc., que se manejan en las publicaciones existentes sean muy ambiguas, o de plano se omiten, al igual que los costos de mantenimiento, de luz y agua, no apoyan la idea de éstas construcciones como modelos de construcción ecológica mexicana. Si atendemos los puntos vulnerables del material, como lo es su aspecto térmico, se puede hablar de él como un material altamente sustentable y viable **para utilizar en la construcción de cualquier género y nivel económico.**

El trabajo de investigación no debe verse como la única posibilidad, sino como una entre muchas posibilidades de tener más y mejores herramientas para construir vivienda de todo tipo de forma sustentable, ecológica y accesible económicamente. Aunque los materiales propuestos individualmente nunca sustituirán al 100% a la espuma de poliuretano en todas las obras, se pretende dar alternativas para disminuir su uso o en algunos casos evitarla. Se planteó en un principio que con esta investigación **la reducción de la espuma de poliuretano debe ser de un 40% como mínimo.**

Los aspectos estudiados son:

---

1

a) La intervención del mortero en el ferrocemento para analizar la factibilidad de la introducción a la mezcla de algunos materiales como: VERMICULITA (mineral formado por silicatos de hierro o magnesio) y PERLITA (vidrio amorfo). Ambos materiales al exponerse a temperaturas altas se expanden manteniendo

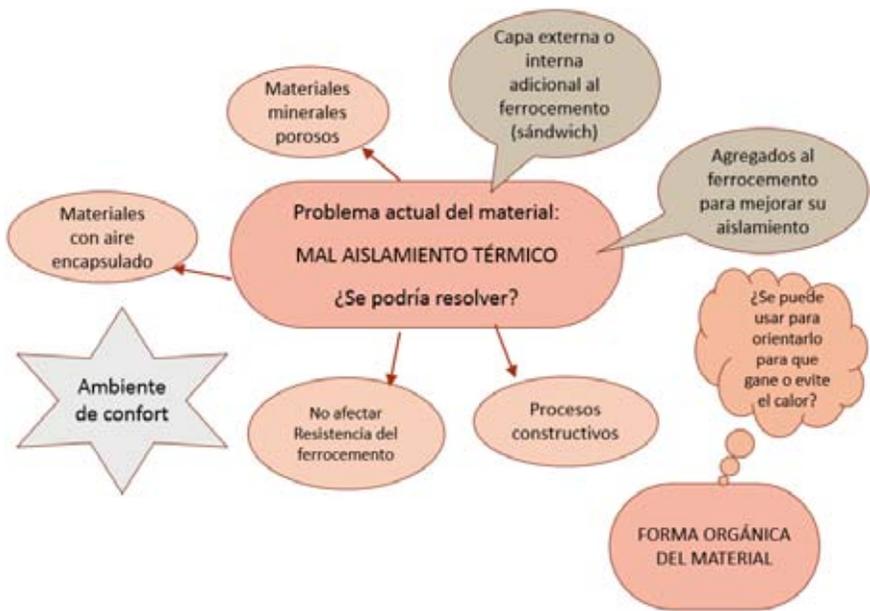


Diagrama 1. Explicación del análisis del material

alta porosidad y peso muy bajo. La evaluación incluye tanto la eficiencia térmica como las propiedades mecánicas del ferrocemento.

b) Analizar una propuesta donde el muro de ferrocemento sea portante de una cubierta verde. Por medio de la repetición de un módulo generado por dobleces de una varilla y recubierto de malla de gallinero y mortero de una cubierta vegetal que a la vez ayude térmicamente por el colchón que forma el sustrato vegetal y las plantas (cubresuelos de 5 a 30cm de altura) y proporcione una vista ajardinada así como también un acabado final.

c) Evaluación de las capacidades de aislamiento térmico del material comercial llamado MasaRoca®

d) Como conclusión se crea una propuesta de aislamiento que incorpora varios de los métodos de aislamiento empleados en la experimentación.

Con la investigación se buscó crear y difundir nuevas alternativas para el uso habitacional, proponer materiales que innovan; resolver el problema térmico del material y conservar el ambiente de confort al interior.

- El trabajo se refiere a un problema de tipo práctico, pues plantea el estudio de las propiedades térmicas del ferrocemento. Usa un material ya conocido pero dándole una nueva interpretación.
- Tiene un impacto económico y social, pretende incrementar la utilización del material al corregir las deficiencias térmicas y al mismo tiempo reducir sus costos.
- Tiene un componente de innovación, pues integra al proceso de construcción materiales no usados anteriormente y encuentra alternativas adicionales para aislarlo mediante materiales sustentables no convencionales.
- Llena una laguna de investigación al dirigirse a procedimientos alternativos de construcción que hasta ahora no son valorados lo suficiente y adaptarlos a las condiciones climáticas de la ciudad de México, pero con conclusiones y metodología que permiten extrapolar los resultados a otras regiones del planeta. En lo referente a la perlita y vermiculita se han hecho trabajos anteriormente pero no enfocados hacia la arquitectura orgánica, y el trabajo incluye estas aportaciones para evaluarlas en conjunto con los demás materiales y analizar los mejores resultados, a la vez que somete a prueba estos resultados.
- Da alternativas pragmáticas al uso contaminante de la espuma de poliuretano, el cual quizá no se logra sustituir por completo en todos sus casos, pero disminuirá su uso.

Los materiales propuestos se encuentran en cada sitio y son renovables con bajo impacto ambiental, no requieren mantenimiento adicional ni se degradan con el tiempo, tienen una larga vida útil. Debido a su baja densidad y precio relativamente bajo, han aparecido en muchas aplicaciones comerciales. Con el uso de estos materiales se logra una eficiencia en la mano de obra, puesto que su introducción al ferrocemento no alarga los tiempos de ejecución y en el caso del muro de ferrocemento verde que aparentemente es más laborioso no incrementa de manera significativa el costo que incluye el acabado final.

Estos materiales son más amigables con el medio ambiente que la espuma de poliuretano y no dañan la salud del usuario, la cual, tiene altos índices contaminantes y cancerígenos en su proceso de esparido y a lo largo de su vida útil. Es difícilmente reciclable y tiene un proceso de degradación en el medio ambiente en condiciones

ideales superior a 500 años. Son más amigables y crean la pertenencia en los usuarios, personas involucradas en la construcción, así como vecinos, y autoridades locales, al generar una propuesta más creativa de construcción y más en armonía con el medio ambiente creando a la vez una educación ambiental, vivencia armónica con el medio y equidad social porque se puede usar en cualquier nivel y medio económico.

“Para crear una arquitectura con sentido y belleza, debemos regresar a la fuente: la naturaleza. Hay que utilizar los materiales y la innovación que el mundo natural nos proporciona y hacer buen uso de ellos de acuerdo a su verdadera naturaleza, sin limitarnos a imitar la apariencia del pasado [...] Pero si [...] utilizamos la naturaleza como la base del proyecto, podemos crear una arquitectura nueva y evolutiva.”

Eugene Tsui<sup>1</sup>

## CAPITULO 1. ANTECEDENTES

### 1.1 ARQUITECTURA ORGÁNICA.

“La arquitectura orgánica se basa en la pasión por la vida, la naturaleza y las formas naturales, está repleta de la vitalidad del mundo natural por sus formas y procedimientos biológicos. Hace hincapié en la belleza y la armonía; sus curvas fluidas y sus expresivas formas se adecuan al espíritu, la mente y el cuerpo humano. Nos sentimos mejor y más libres en un edificio orgánico bien diseñado”.<sup>2</sup>

Durante el siglo XX predominó la moda rectilínea y ortogonal como un reflejo de los valores

materialistas con una orientación industrial. Pero el resurgimiento de diseño orgánico significa un

El hombre sobre todo en las ciudades siempre tiene un anhelo por la naturaleza. Como arquitectos vivimos buscando la mejor orientación y las mejores vistas buscando siempre la vegetación y rechazando la mirada a otros edificios y ventanas. Nos creamos a través de los años un hábitat más artificial irónicamente para regresar a la naturaleza.

<sup>1</sup> PEARSON David (2002). Arquitectura Orgánica Moderna, BLUME. Página 20.

<sup>2</sup> PEARSON David (2002). Arquitectura Orgánica Moderna, BLUME

reencuentro con la libertad de pensamiento en cuyos cambios se ha afectado a la mayoría de los campos del diseño, objetos, muebles, iluminación, paisajismo, aparte de la arquitectura.



Imagen 1. Hoja y camaleón formas de la naturaleza.  
Fuente: <http://100curiosidadesdelmundo.blogspot.mx/2012/03/el-camaleon-curiosidades-y-rarezas.html> Revisado 16 nov 2014

Pero la arquitectura orgánica no es sólo un estilo nostálgico que nos llena de fascinación, sino que forma un movimiento internacional que une el respeto a la naturaleza con la armonía de los sistemas, formas y flujos naturales, que exigen nuevas maneras de expresión que reflejen la variedad y la creatividad de la naturaleza.

Se puede pensar mucho sobre este concepto, así, lo primero que le viene a la mente casi a cualquier persona es la fachada de un organismo vivo, es decir, que la construcción se parezca a una hoja, una flor o un dinosaurio.

La arquitectura orgánica no es una fachada, debe guardar coherencia entre los principios que la generan y lo que parece; principalmente es *un espacio adaptado al hombre de acuerdo a sus necesidades ambientales, físicas y psicológicas*. Parte de su origen en la naturaleza, no como un

retroceso, sino como una reconciliación con ella. Sin embargo, la arquitectura orgánica no solo considera formas que responden a una función, también debe vivir en la unión con todos los aspectos de la sustentabilidad, es decir, debe responder a una región, a los materiales y mano de obra local así como a factores económicos.

Al inspirarse principalmente en la falta de linealidad y las formas de la naturaleza y organismos biológicos se convierte en visualmente poética, radical, idiosincrática, multifacética, libre, sorprendente y respetuosa con el medio ambiente; plasma la armonía del lugar a las personas y a los materiales.

“Para algunos, lo orgánico es curvo, lo orgánico es asimétrico, lo orgánico son los materiales naturales, lo orgánico es individualista, lo orgánico es holístico “

Sydney k. Robinson, “The Continuous Presente of Organic Architecture” Architectural Desing 7/8, 1993

Las innumerables posibilidades formales que proporciona el ferrocemento fueron las que indujeron a su estudio en esta tesis, pero el uso o no de este material ya depende de la elección del caso, no se busca forzar como la única solución constructiva o de disminución de impactos ambientales, consumo de energía y materiales, pero es una opción que conviene analizar.

### 1.1.1 ANTECEDENTES

Promueve la armonía entre el hábitat humano y el mundo natural, su diseño se integra al sitio. Los arquitectos Gustav Stickley, Antoni Gaudí, Frank Lloyd Wright, Alvar Aalto, Louis Sullivan, Bruce Goff, Rudolf Steiner, Bruno Zevi, Hundertwasser, Samuel Flores Flores, Imre Makovecz y Antón Alberts son sus mayores exponentes.<sup>3</sup>

Es un movimiento arquitectónico que se deriva del funcionalismo o racionalismo y que puede considerar promovido fundamentalmente en la década 1930-40 por arquitecto escandinavos y Frank Lloyd Wright. El movimiento acepta muchas de las premisas del racionalismo, como son la planta libre, el predominio de lo útil sobre lo meramente ornamental, la incorporación a la arquitectura con los adelantos de la era industrial, pero procura evitar algunos errores en que cae el racionalismo y aportar nuevos valores a la arquitectura.<sup>4</sup>

Se considera a Erik Gunnar Asplund en Suecia y a Alvar Aalto en Finlandia como los principales propugnadores, cuyas ideas fundamentales se resumen de la siguiente forma:

- 1) *Una mayor preocupación por la vida del hombre:* Se mira más al hombre, al que ha de servir la arquitectura, que a la propia arquitectura. La atención del arquitecto no debe limitarse a las estructuras y a la disposición de los ambientes, sino que debe

extenderse a los problemas psicológicos y vitales del hombre.

“Les formulo una nueva Declaración de Independencia [...] Una arquitectura orgánica significa, más o menos, una sociedad orgánica. Los ideales orgánicos del edificio integral rechazan las normas impuestas desde el esteticismo exterior o el simple gusto, del mismo modo como las personas a las que esta arquitectura está destinada rechazarían imposiciones externas sobre sus vidas, si no estuvieran de acuerdo con la naturaleza y el carácter de la persona a la que habían encargado la realización del lugar para ser feliz, por ello [...] parece que la belleza no ha tenido sentido durante demasiado tiempo. Creo que ha llegado el momento de que la belleza vuelva a tener sentido, por lo menos, en nuestra época [...] En esta era moderna, el arte, la ciencia y la religión se unirán y los tres serán uno, unidad que se logrará teniendo como centro la arquitectura orgánica”

**Frank Lloyd Wright**, discurso en el royal Institute of British Architects, 1939.

<sup>3</sup> B. ZEVI, *Historia de la Arquitectura moderna*, Buenos Aires 1954; S. GIEDION, *Espacio, tiempo y Arquitectura*, Barcelona 1961.

<sup>4</sup> SENOSIAIN Javier (2007). *Bioarquitectura*, México, Editorial Noriega

2) *Una nueva conciencia de los espacios internos*: aunque la arquitectura racionalista propugna una adaptación de los volúmenes a las necesidades de planta, esos volúmenes están dominados por un estilo cubista, de formas tetraédricas, en las que se encajan las necesidades, buscando además con ello una simplificación estructural y constructiva.

- Existir en el “presente continuo” y “comenzar repetidas veces”.
- Seguir los flujos y ser flexible y adaptable.
- Satisfacer las necesidades sociales, físicas, y del espíritu.
- “Crecer fuera del sitio” y ser único.<sup>6</sup>

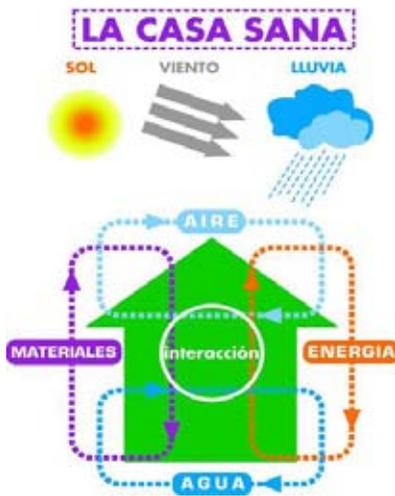


Imagen 2. Factores a considerar en una Casa Sana

La construcción ecológica, es una forma de crear un hábitat respetando siempre el medio donde se realiza, y teniendo especial cuidado con todos y cada uno de los elementos de la naturaleza.

Resulta de tener conciencia del lugar donde vivimos y además, aprovechar las cualidades que nos brinda la naturaleza para usarlas provechosamente.

7 8

David Pearson propuso una lista de reglas hacia el diseño de una arquitectura orgánica. Se conoce como la carta de Gaia para la arquitectura y el diseño orgánicos donde dice que el diseño debe:<sup>5</sup>

- Ser inspirado por la naturaleza y ser sostenible, sano, conservativo, y diverso.
- Revelar, como un organismo, el interior de la semilla.

El modo de producción de los materiales debe ser sostenible y lo menos contaminante posible ante los impactos que se presentan: uso de los recursos, toxicidad, emisión de CO<sub>2</sub>, acidificación, etc. Además se valora todo el análisis del ciclo de vida: extracción, transformación, manipulación, uso y reciclaje, o reintegración a la naturaleza. Por eso debe reunir las propiedades físicas para los usos que se le destinen: resistencia, durabilidad, peso o ligereza, conductividad o inercia térmica,

<sup>5</sup> PEARSON David (2002). *Arquitectura Orgánica Moderna*. BLUME.

<sup>6</sup>

<http://blognaturalesbymercheolmedo.blogspot.mx/2010/06/la-luz-y-el-sonido-punto-7.html>

<sup>7</sup> BUERBA Franco María del Carmen. *Criterios de ecoarquitectura en el diseño de viviendas urbanas para clima templado subhúmedo*, Tesis (Maestría en Arquitectura en el área Tecnología). UNAM México.2005.

<sup>8</sup> *Diseño y construcción sostenibles: Realidad ineludible*, México, Universidad Iberoamericana, 2011

características acústicas, textura, apariencia, belleza, color, etc.

### 1.1.2 CONSTRUIR COMO LA NATURALEZA

“La casa es orgánica cuando la disposición espacial de la habitación, la casa y la ciudad se planifica para la felicidad humana, tanto desde un punto de vista material como psicológico y espiritual. Lo orgánico por consiguiente, no se basa en planteamientos figurativos, sino sociales. Sólo podemos denominar a una arquitectura como orgánica cuando procura ser humana antes de humanista.”

**Bruno Zevi**, Towards an Organic Architecture, 1945.

La naturaleza es la fuente fundamental y más recurrente a la hora de crear arquitectura orgánica. Las formas externas al igual que la estructura interna de sus estructuras en cualquier organismo vivo ofrecen al diseño innumerables ideas y conceptos. Se considera al edificio como un organismo indivisible y a los seres humanos como parte de la naturaleza y no superiores a esta.

La configuración de un edificio debe seguir y estar creada el flujo de energía, seguirlas y no oponerse a ellas (fuerzas estructurales, viento, corrientes de agua, y calor, energías terrestres, campos magnéticos, eléctricos. Los flujos de las fuerzas naturales se traducen en fuerzas arquitectónicas curvilíneas, cíclicas y orgánicas que derivan de un modo natural de la sentencia “la forma sigue al flujo”.<sup>9</sup>

El diseño orgánico da una importancia especial al desarrollo de una relación sensible y creativa tanto con el cliente como con los usuarios finales de la construcción. Al proyectar desde dentro, en lugar de albergar ideas preconcebidas sobre la forma y la estructura, el proyecto expresará las necesidades y deseos e incluso la idiosincrasia personal. Los interiores y los accesorios curvilíneos son el resultado natural de este proceso. Algunos arquitectos consideran a un proyecto solo verdaderamente orgánico si tienen en cuenta todos los aspectos anteriores e incluye el mobiliario y la decoración interior.

Frank Lloyd Wright dijo que la relación entre un edificio y su emplazamiento se expresa mejor con la expresión “**de la colina**” que con la expresión “**en la colina**”<sup>10</sup>. Lo ideal es que el edificio orgánico transmita la impresión de que deriva del lugar en que está ubicado ya que solo allí pertenece.

Pero esto no debe verse como un impedimento o limitante creativo. Un emplazamiento difícil y las situaciones poco

<sup>9</sup> PEARSON David (2002). Arquitectura Orgánica Moderna, BLUME. Página 14.

<sup>10</sup> PEARSON David (2002). Arquitectura Orgánica Moderna, BLUME. Página 18.

habituales propician que los arquitectos orgánicos creen soluciones inesperadas e imaginativas. Incluso las localizaciones urbanas constituyen un reto especial para las ideas orgánicas al ser este regularmente un contexto ortogonal y convencional. Actualmente la primera preocupación de los arquitectos ya sea proyectando de manera ortogonal u orgánica es la reducción del impacto humano sobre el medio ambiente y el hábitat natural.

### 1.1.3 LOS MATERIALES

Las formas orgánicas surgen de las cualidades de los materiales de construcción elegidos. El correcto entendimiento de dichas propiedades debe dictar la forma óptima e ideal así como el tipo de estructura.

Dichas propiedades son cumplidas por el Ferrocemento aun cuando no es un material de origen natural como el bambú o la madera, pero se tiene disposición de él fácilmente, emplea poco material, no necesita mano de obra calificada, tiene variadas aplicaciones y una infinidad de formas a las que se puede adaptar, unido a la larga vida útil.

Al hablar sobre construcción habrá quien se incline por materiales convencionales a los que ya está habituado y por formas ortogonales. Aquí el conflicto sería la elección del usuario, ya sea del propietario de la casa o el arquitecto que construya. Y para que se tome una decisión se debe tener la información necesaria de las características con

ventajas y desventajas de todas las posibilidades. Regularmente se cree que el ferrocemento es solo opción para construcciones de bajos recursos, se cree que se necesita de muchos conocimientos para emplearlo o simplemente se desconoce su existencia.

### 1.1.4 INSPIRACIÓN

La expresión de la arquitectura orgánica depende del arquitecto que proyecte. Comúnmente es juvenil y juguetona, mostrando una atracción infantil por lo divertido, algunas veces son excéntricos, sorprendidos e inesperados; poderosos o perturbadores por el simbolismo y carácter místico, así como por la utilización de metáforas, “desde los bosques oscuros de Makovecz, con formas semejantes a árboles y alas centelleantes de ángeles, hasta las alusiones criptomasonicas y catalanas del Park Güell de Gaudí o los sensuales espacios en forma de útero de Senosiain.”<sup>11</sup>

Lo orgánico siempre es moderno y futurista, recurre a la ciencia y a las matemáticas, considera a la naturaleza como algo actual y siempre novedoso. Puede tomar inspiración de las leyes numéricas de la teoría del caos y los fractales engendran la música y los patrones de la arquitectura y el diseño orgánico.

---

<sup>11</sup> PEARSON David (2002). *Arquitectura Orgánica Moderna*, BLUME. Página 22.

### 1.1.5 RAICES Y CONCEPTOS



Imagen 3. Casa-cueva en Capadocia, Turquía. Desde la prehistoria ha estado habitado. Fuente: <http://medioambientedecalidad.wordpress.com/2013/02/16/subsuelo/> revisado 15 nov 2014

La arquitectura vernácula primitiva nació siendo orgánica, se basa en las estructuras, formas naturales y materiales locales. Ella vinculaba a la tierra con el espíritu.

Los egipcios y griegos estudiaron las formas geométricas y el cuerpo humano, y con el crearon una abstracción geométrica (círculo, cuadrado, triángulo elipse, etc.) para obtener proporciones armónicas para sus mausoleos y templos. Ejemplo de ello es la proporción aurea y la espiral logarítmica.

Durante el Imperio Bizantino la espiritualidad cristiana inspiró a la arquitectura basada en las proporciones divinas y la mística de los números. También la geometría divina se encontró inmersa en el mundo islámico, donde, las matemáticas y geometría constituían la única

expresión apropiada del orden y la perfección de Alá.

El arte Celta temprano también prefirió las formas orgánicas, como el árbol, la vegetación el agua y la tierra. No la representaba tal y como es, sino de una forma abstracta más estilizada.

La arquitectura gótica absorbió elementos de la geometría griega y los celtas. Se emplearon formas vegetales para su decoración, el círculo era un elemento básico en el proyecto de la catedral. La bóveda y el arco ojival gótico, al estar más cercanos al arco parabólico soportaban las cargas estructurales con más eficiencia que el macizo arco semicircular romano. La innovación permitió que se alcanzaran alturas nunca antes vistas en piedra y mantener una apariencia delicada y ligera logrando un auténtico florecimiento de lo orgánico en la arquitectura.

En el renacimiento se renovó el interés por la proporción de las formas humanas. Miguel Ángel sostenía que el conocimiento de la figura humana era vital para la comprensión de la arquitectura. Alberti notó que un edificio debería parecer una totalidad al igual que un organismo, y Leonardo da Vinci realizó su famoso dibujo del homo quadratus de Vitrubio.<sup>12</sup>

El rechazo hacia las limitaciones estilísticas del siglo XIX hacia un acercamiento más sencillo y abstracto a las formas continuas naturales allanaron

<sup>12</sup> PEARSON David (2002). Arquitectura Orgánica Moderna, BLUME. Página 32.

el camino para las fantasías salvajes del Art Nouveau. Al estar inspiradas en la delicadeza de las formas vivas, como los sinuosos zarcillos del vid, los tallos de las flores, los capullos y las alas de los insectos, las líneas podían adquirir una gracia ligera o ser poderosas y tensas como un latigazo. La ornamentación y la estructura se fundieron en una unidad orgánica y plástica que fluía libremente.



Imagen 4. Iglesia de la sagrada familia de Antonio Gaudí, Barcelona, España. Fuente: <http://www.world-insider.com/top-10-interesting-facts-of-the-sagrada-familia-in-barcelona/> revisado 15 nov 2014

Antonio Gaudí fue el maestro supremo de lo orgánico, Mostro un aspecto extravagante y surrealista mostrando influencias medievales, islámicas y catalanas llegando a una plasticidad extrema integrando extraordinariamente estructura materiales y forma. Fue un estudioso de las formas naturales y se aventuró innovando sistemas estructurales para llevar a cabo sus diseños. Proyecto estructuras equilibradas, que se sostienen

como un árbol, sin necesidad de tirantes interiores ni apuntalamiento exterior.

Alvar Aalto (1898-1976, arquitecto finlandés) apostó por la ligereza, sencillez y claridad del diseño orgánico, manipulo asimétricamente los volúmenes de diversas formas aunque empezó con formas angulares. Sus espacios contenían fluidez, iluminación y color que resultaban poéticos, empleo materiales naturales como la madera pero de un modo novedoso.

En estados Unidos floreció la arquitectura orgánica moderna. “De un modo general, la imagen exterior refleja las propuestas exteriores” fue la manera como Louis Sullivan enunció su famoso axioma, según el cual la forma sigue a la función, lo que constituye un concepto clave en el diseño orgánico.<sup>13</sup>

Frank Lloyd Wright (1867-1959 arquitecto estadounidense) profesaba un gran amor por la naturaleza, deseaba que sus edificios formaran parte de ella, comúnmente elegía emplazamientos cercanos a bosques o formaciones rocosas o cascadas. Como “algo que despunta de la naturaleza de la cosa” el concepto de edificio surgía con naturalidad a partir de su localización.

Rudolf Steiner (1861-1925, filósofo austriaco) desarrollo conceptos como el de “la pared viva”, “como un organismo, permite que crezcan a partir de ella depresiones y elevaciones, y como los

<sup>13</sup> PEARSON David (2002). Arquitectura Orgánica Moderna, BLUME. Página 36.

huesos, que poseen curvas dobles cóncavas y convexas, con torsiones entre ellas.<sup>14</sup>



Imagen 5. Casa de la Cascada Frank Lloyd Wright

Fuente: <http://www.wright-house.com/frank-lloyd-wright/fallingwater-pictures/large-fallingwater-photos/falling-water-fall-house-L.html> Revisado 16 nov 2014

Hugo Häring (1882-1958, arquitecto alemán, adscrito al expresionismo.) expuso su creencia de que todo lugar y función implica una forma, y que es incumbencia del arquitecto encontrarla y desarrollarla. Creía que la función deriva de la vida y naturaleza, mientras que su expresión se originaba en la mente humana. Las formas expresivas vienen determinadas por la sangre y el conocimiento que dependen del tiempo y lugar, pero, las formas funcionales son las mismas a lo largo de la historia. Describió también a las construcciones como *organhaft* (semejantes a órganos) que exhibían

formas como seres. Hans Scharoun (1893-1972, arquitecto alemán) trasladó con éxito sus conceptos y desarrolló nuevas experiencias espaciales como formas basadas en la cuidadosa investigación sobre las necesidades funcionales y el significado social profundo.

La adopción de formas orgánicas en la apariencia exterior es muy usada en la arquitectura. Las formas libres que hasta hace poco las grandes empresas no aceptaban, ahora tiene gran prestigio, pero, ¿Es la esencia del diseño orgánico lo que motiva estos proyectos? Muchas veces estos proyectos solo incluyen las formas orgánicas en su exterior a manera de escenografía, no crean un modelo orgánico desde dentro, como lo hace la naturaleza.

Últimamente la arquitectura verde crece considerablemente, pero debe caminar de la mano con los avances tecnológicos y el ahorro energético, sin absorberla. Debe combinar lo bello y maravilloso de la naturaleza con las necesidades prácticas esenciales de la economía, eficiencia y la conservación ambiental formando un diseño verdaderamente sostenible.

<sup>14</sup> PEARSON David (2002). Arquitectura Orgánica Moderna, BLUME. Página 43.

## 1.2 FERROCEMENTO



Imagen 6. Ferrocemento.

El material por excelencia para la construcción en la arquitectura orgánica es el ferrocemento (Imagen 6). Es un material alternativo para la construcción de diferentes tipos de estructuras, en especial de viviendas, que se presta para imaginar, diseñar y edificar soluciones habitacionales y estructurales resistentes, económicas, en sintonía con el medio ambiente.

El ferrocemento es un tipo de concreto armado de pared delgada, habitualmente construido con mortero de cemento y reforzado con capas de malla de alambre continuas, de pequeño calibre y ocasionalmente barras de acero de armazón. La malla puede ser hecha de metal u otro material

conveniente. La manejabilidad del mortero y su composición debe ser compatible con los tejidos de malla y las varillas de armazón, para permitir su colocación. El mortero puede contener fibras discontinuas.

El comité 544 de la ACI lo define “tipo de concreto armado en forma de lámina delgada construido con mortero de cemento hidráulico”.

El ferrocemento se caracteriza y se diferencia de los demás concretos, por la distribución y tamaño relativo de su refuerzo: mallas de alambre de diámetros pequeños y fibras uniformemente distribuidas en toda la sección transversal del elemento. Una vez endurecido, el ferrocemento presenta propiedades químicas, físicas y mecánicas consistentes con un material de acción compuesta.<sup>15</sup> Esta constitución lo hace propicio para la fabricación de elementos de pared delgada, no mayores de 50 mm. En la Imagen 7 se muestra un elemento típico de ferrocemento, fabricado mediante un adecuado diseño para obtener proporciones óptimas de los materiales, incluyendo la cantidad de refuerzo requerido, y un mezclado uniforme de la matriz cementante.

A pesar de que la matriz cerámica representa, en la mayoría de los casos, más del 90 % del volumen del compuesto, éste tiene un comportamiento dúctil, más parecido al del acero que al del concreto. El ferrocemento ha sido considerado el primer tipo de concreto armado y un

<sup>15</sup> BEDOYA Ruiz Daniel Alveiro. (2005). Estudio de resistencia y vulnerabilidad sísmica de viviendas de bajo costo estructuradas con ferrocemento.

Universidad Politécnica de Catalunya. España. Tesis Doctoral. Página 44.

miembro general de la familia de los materiales estructurales de concreto.



Imagen 7. Sección típica de ferrocemento. [Bedoya, 2003]

### 1.2.5 CUALIDADES. ¿POR QUÉ EL MATERIAL?

El término ferrocemento se aplica comúnmente a una mezcla de cemento Portland y arena aplicadas sobre capas de malla de acero tejida o expandido y estrechamente espaciados de pequeño diámetro. La cual posee una alta resistencia, compacidad y elasticidad lo que permite disminuir considerablemente las dimensiones de las secciones transversales de los elementos hasta un rango de 10 a 15mm.

Como resultado del peso propio de las estructuras y el volumen de los materiales pueden reducirse en más de 50% y el de la armadura hasta 35% en comparación con las estructuras habituales de concreto armado.



Imagen 8. Ejemplo de escultura de ferrocemento de Phoebe Palmer para el Golden Gate Park. Fuente: <http://www.surftbay.com/phoebe-palmers-sculpture-at-golden-gate-park> Revisado 10 julio 2013

Como armaduras se pueden emplear fibras de diversos tipos: vidrio, metálicas, naturales, etc. Combinando el mortero y las mallas en un ferrocemento, se obtiene capacidad de carga a tracción y protección al refuerzo. Aunque principalmente nos referiremos a las compuestas por telas de mallas de alambre de acero y las que combinan estas telas con barras de acero de pequeño diámetro que son las que dan el verdadero nombre de ferrocemento, o sea, acero con cemento<sup>16</sup>. La importancia práctica de esta dispersión de acero reside en la mejora de muchas de las propiedades ingenieriles del material como el agrietamiento, la resistencia a la tracción y la flexión, la rigidez, la resistencia al impacto y a la fatiga.

Lo fundamental de este material es que el mortero puede experimentar mayores deformaciones en las cercanías del refuerzo sin fisurarse y que la magnitud de estas depende de la

<sup>16</sup> WAINSHOK Dr. Hugo (2010). Ferrocemento. Construcción y diseño. La Faorika.4ª. Edición. Ecuador. Pag.2

subdivisión del refuerzo a través de la masa del mortero.

Se puede utilizar para formar superficies curvas relativamente delgadas, para cascos de barcos, cubiertas, tanques de agua, macetas, piedras artificiales, etc., se ha utilizado en una amplia gama

de otras aplicaciones incluyendo la escultura y componentes de construcción prefabricados. El término ha sido aplicado por extensión a otros materiales compuestos, incluyendo algunos que no contienen cemento y material no ferroso como fibra de vidrio.

Otras propiedades que tiene son:

CARACTERISTICA	DESCRIPCIÓN
Buen aislamiento térmico y resistencia a la abrasión	En relación a su escaso grosor frente a otros materiales en el mismo espesor.
Conductividad térmica es baja	Seis veces menor que el acero. Pero este dato es engañoso, ya que al tener espesor de 5cm máximo transmite más rápidamente que un muro de mayor grosor de otro material.
Buen aislante acústico	Su alta masa le posibilita absorber el sonido mejor que otros materiales utilizados en la construcción.
Buena resistencia ante agentes mecánicos.	
Gran flexibilidad	Le permite resistir el impacto sin destruirse
Buena resistencia al agrietamiento	Debido a la gran distribución que presenta el refuerzo, existe una disminución considerable del ancho de grieta, lo que contribuye a que aumente su impermeabilidad, así como la resistencia a la corrosión.
Facilidad de construcción y reparación. Escaso mantenimiento.	Tanto uno como otro no presentan mayores dificultades y no necesitan personal altamente calificado. Las partes dañadas se sustituyen con mortero que al fraguar regenera las características del elemento sometido a la reparación.
Resistencia a agentes externos	Al igual que el concreto armado, solo son necesarias la limpieza o pintura periódica o la reparación en caso de roturas localizadas.
Bajo costo	Está respaldado por el bajo costo de los materiales para su elaboración, la utilización de personal sin gran calificación, empleo de un mínimo de equipo para su ejecución y colocación en obra, se logran reducciones de más del 50% del peso de los elementos por la disminución que experimentan sus secciones.
Menos cantidad de material	La cantidad empleada de material es menor a otros sistemas constructivos

Sin uso de cimbra	Es un sistema artesanal ventajoso en la creación de estructuras de forma libre y sin el uso de cimbra. Los elementos pueden ser prefabricados empleando una cimbra o encofrado. <sup>17</sup>
Espesor pequeño	El ferrocemento presenta ventajas en la construcción de estructuras espaciales de la geometría otorga resistencia y rigidez adecuadas. Al no emplear grava, la mezcla arena-cemento con una consistencia pastosa se adhiere fácilmente al entramado de mallas embarrándola sin el uso de cimbra.

Tabla 1. Principales características del ferrocemento

## 1.2.2 DIFERENCIAS Y SIMILITUDES FISICAS Y MECÁNICAS CON EL CONCRETO ARMADO

<b>FERROCEMENTO</b>	<b>CONCRETO ARMADO</b>
Es un material de pared delgada	Posee grandes espesores.
El componente dúctil está distribuido a través de toda la sección de ferrocemento	Son barras, generalmente longitudinales y transversales de diámetro considerable.
La matriz de aglutinante está hecha a partir de agregados finos (sólo arenas);	Existen agregados finos y gruesos (arena más triturada de piedra).
Posee propiedades de un material homogéneo e isotrópico en dos direcciones.	
Tiene alta resistencia a la tracción y alto módulo de rotura. Su resistencia a tracción puede llegar a ser similar a la resistencia a compresión	La resistencia a tracción es muy baja.
Generalmente presenta una alta superficie específica de refuerzo del orden de uno a dos con respecto al concreto armado	Menor superficie específica de refuerzo.
Por el contenido y distribución del refuerzo, el ferrocemento presenta un proceso de agrietamiento a tracción, diferente al del concreto armado.	Su comportamiento pos rotura es bajo.
La deformación generada por falla a tracción, se controla con el número de capas de malla. Es decir, la ductilidad aumenta con el incremento de la superficie específica de refuerzo.	Tal comportamiento es diferente en el concreto armado a flexión, donde generalmente se ha observado que la ductilidad baja con el incremento de la relación de refuerzo

<sup>17</sup> Caballero Aquino Tertuliano(2006). Captación de agua de lluvia y almacenamiento en tanques de ferrocemento. Manual técnico. Instituto Politécnico Nacional. México.

Presenta pequeños anchos de grietas y alta deformabilidad, lo que lo hace ideal para aplicaciones marinas.	Su peso, grandes espesores y dificultad de amoldarse a formas no ortogonales lo descarta para aplicaciones marinas.
Debido a los pequeños espesores posee menor resistencia al fuego	La masa le proporciona mayor resistencia al fuego.
Debido al sistema de malla que proporciona refuerzo en las dos direcciones, el ferrocemento presenta mejor resistencia al impacto y a la cortante de punzonamiento.	Los métodos de construcción del ferrocemento son diferentes a los del reforzado
es más adaptable a bajos niveles de tecnología pero se adapta fácilmente a altos niveles de tecnología	necesita un mínimo de tecnología y equipo liviano
En la construcción se puede tener altos niveles de industrialización con menores costos en equipo	Incrementa la inversión.
Es más fácil de reparar y mantener	

Tabla 2. Diferencias y similitudes del ferrocemento con el concreto armado.

Las similitudes entre ferrocemento y el concreto armado son numerosas. Ambos materiales utilizan en común una matriz aglutinante y un volumen de refuerzo; obedecen a los mismos principios mecánicos y pueden ser modelados de acuerdo con las mismas teorías y analizados utilizando las mismas técnicas. Además pueden ser diseñados con la misma filosofía.

**1.2.3 ANTECEDENTES HISTORICOS**

Los concretos reforzados con fibra se remonta a los tiempos de los Sumerios y también a los del Imperio romano. Se conoció por primera vez en 1855 cuando el Sr. Lambot construyo un bote de este material y fue exhibido en París como primera realización de una nueva tecnología que habría de tomar gran auge en los siglos XIX y XX con el nombre de Concreto Armado.



Imagen 9. Joseph L. Lambot y Joseph Monier, pioneros del ferrocemento. Fuente: BEDOYA Ruiz Daniel Alveiro. (2005). Estudio de resistencia y vulnerabilidad sísmica de viviendas de bajo costo estructuradas con ferrocemento. Universidad Politécnica de Catalunya. Es España. Tesis Doctoral. Página 48.

El bote lo construyo en 1849 y aún estaba a flote en 1949, 100 años después de su construcción. En algunos textos se le da el crédito como inventor a Joseph Monier de Francia quien en 1850 quería crear, macetas, jarrones y cisternas sin el costo de la leña del horno.

La patente que presento en 1852 expresa lo siguiente: “*Mi intención es un nuevo producto que puede reemplazar a la madera donde esté expuesta al agua o la humedad, la base para el nuevo material es una red metálica de alambres o barras interconectadas hasta formar una estera tejida flexible. Yo conformo esta red hasta adquirir una forma similar a la del artículo que deseo crear, entonces utilizo cemento hidráulico, un alquitrán bituminoso o una mezcla para llenar los espacios.*”<sup>18</sup>



Imagen 10. Bote construido por Lambot. [Naaman, 2000]

Durante la segunda mitad del siglo XIX, la producción de alambres de pequeño diámetro no se desarrolló eficientemente, por lo que se incrementó el uso de las barras de hierro y acero de mayores diámetros hasta llegar a convertirse el concreto armado en detrimento del Ferrocemento.

En esa época el Ferrocemento cayó en el olvido y el que tuvo gran desarrollo fue el Concreto Armado. Entre esos años se creó el primer acero y puente de concreto en 1875. Y por más de 150 años

ha mostrado triunfos y fracasos, debido al mal uso de sus características.

El ingeniero Pier Luigi Nervi, retoma el material en 1943 iniciando con él la construcción de cascos para barcos de hasta 100 toneladas de desplazamiento para la Marina de su Patria, de esta manera comprueba la flexibilidad y excepcional resistencia del mismo. La Guerra interrumpe la construcción, pero en 1946 Nervi asociado con Bartoli construyen un barco al que llaman Irene, tenía un desplazamiento de 165 toneladas, su casco tenía 35 mm de espesor, su peso fue 5% menor y costo 40% menor que un casco similar construido con madera.<sup>19</sup>

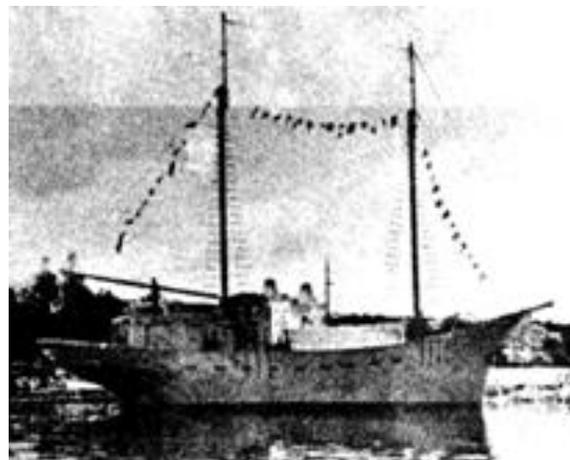


Imagen 11. Irene, barco de ferrocemento. Fuente: BEDOYA Ruiz Daniel Alveiro. (2005). Estudio de resistencia y vulnerabilidad sísmica de viviendas de bajo costo estructuradas con ferrocemento. Universidad Politécnica de Catalunya. España. Tesis Doctoral. Página 48

Se asombra de los resultados de sus estudios en donde anota que el material obtenido tiene un "comportamiento similar al de un material

<sup>18</sup> WAINSHOTK Dr. Hugo (2010). Ferrocemento. Construcción y diseño. La Faorika. 4ª. Edición. Ecuador. Pag. 6

<sup>19</sup> B.k. Paul y R.P. Pama (1992). Ferrocemento. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.

## CAPITULO 1: ANTECEDENTES

homogéneo de elevadas resistencias" [Pama, 1992]. En sus investigaciones, Nervi encuentra un material altamente flexible, elástico y resistente a la tracción. Variando diámetros y capas de refuerzo, obtuvo espesores con cualidades importantes como gran deformabilidad y baja formación y propagación de grietas. Pier L. Nervi, procede a diseñar y construir diferentes proyectos arquitectónicos en ferrocemento, considerados racionales y estéticos dentro del diseño estructural.<sup>20</sup>

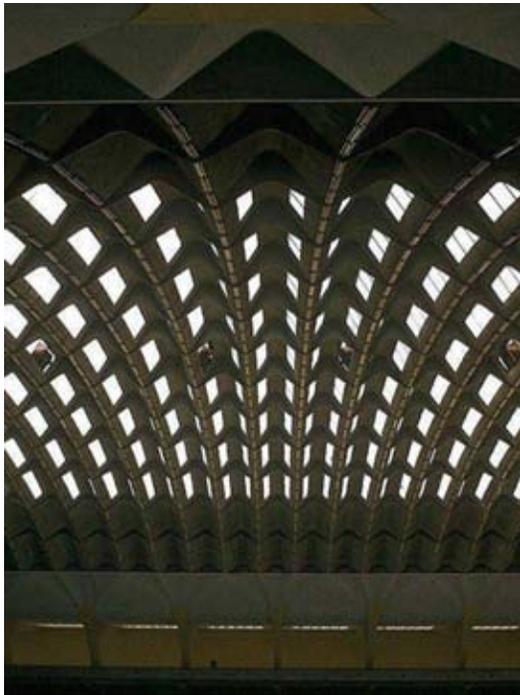


Imagen 12. Hall de la exposición mundial de Turín. Fuente: <http://www.italian-architecture.info/TU/TU-001.htm> revisado 28 ene 2013

La inquietud de Nervi lo llevo a la construcción de edificios y en 1946 hizo un cobertizo

para un almacén de dimensiones de 21 x 10.5m en planta. Sus paredes y techo eran de ferrocemento, en forma de lámina ondulada y con 3 cm de espesor; los muros tenían cuatro metros de altura. También construyó el hall de la exposición mundial de Turín de 1949 con piezas premoldeadas cuyo espesor no superaba los 40mm y cubrió un claro de 98 mts sin apoyo intermedio<sup>21</sup>.

El trabajo de Nervi, tan solo fue apreciado dos décadas después. La durabilidad y el buen estado en servicio de estas estructuras, permitieron una amplia difusión y aceptación del ferrocemento en el mundo.

Se considera a partir de 1960 que el ferrocemento se establece como una técnica de grandes posibilidades en la construcción de barcos. Junto con Nervi, arquitectos navales y maestros constructores de la FAO<sup>22</sup>, terminan de construir dos barcos de Ferrocemento para Italia los que sirvieron para realizar una película de la FAO para divulgar la técnica en cualquier país donde pudiera emplearse.

Muchos países a lo largo de estos años han trabajado para difundir su conocimiento y con fuertes inversiones para su mejoramiento. La compañía Windboats Ltd. De Wroxham, bajo la dirección de la familia Hagenbach en 1959 construyeron el primer bote con el método patentado por ellos llamado Seacrete. Esta técnica difiere un poco de la empleada por la mayoría de los constructores.

<sup>20</sup> BEDOYA Ruiz Daniel Alveiro. (2005). Estudio de resistencia y vulnerabilidad sísmica de viviendas de bajo costo estructuradas con ferrocemento. Universidad Politécnica de Catalunya. España. Tesis Doctoral. Página 49.

<sup>21</sup> OLVERA Lopez Alfonso (2002). El ferrocemento y sus aplicaciones, Alfaomega. México.

<sup>22</sup> Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://coin.fao.org/cms/world/mexico/PaginaInicial.html>

En las décadas de los 60's y 70's, Sudáfrica, Hong Kong, China comunista, Japón, Alemania, Ceylán y Cuba construyeron cascos de barco. Y en Cuba se planteó la necesidad de desarrollar una flota pesquera que satisficiera las crecientes demandas del país en la explotación de los recursos marinos. Era preciso entonces sustituir los viejos barcos de pesca de madera, pues esta era escasa en Cuba y se debía importar de otros países.

Tampoco se tenía experiencia en la construcción de barcos de acero, de ahí que no existieran los obreros calificados para este tipo de construcción, ni se contaba con una industria siderúrgica que pudiera garantizar el acero necesario. Se decidió construir un prototipo similar a uno de madera denominado FC-I que se terminó en 1969 y una vez en el mar, desplazó más de lo calculado, defecto producido por el exceso de peso del casco. Después de analizar los resultados obtenidos con el FC-I se implementó un nuevo diseño, el FCII, que comenzó a producirse en los años 1970-1972 con el que se obtuvieron mejores condiciones marinas. A partir de 1970 bajo la dirección del autor se inició un programa de investigaciones sobre las características del ferrocemento que concluyó en 1973 con el ensayo a escala natural de un barco prototipo.

Por los años 1970 se contaban 20 000 botes contruidos, muchos aun ahora operando. Se construyeron un gran número de obras y elementos constructivos en diferentes países. Tailandia y Etiopía construyeron pequeños silos con obra de mano no calificada.

En varios países europeos, se construyen elementos prefabricados de diferentes tipos con diferentes técnicas constructivas. En nuestro país se

han construido techumbres y paredes de ferrocemento para diferentes tipos de edificios, casas habitación, forros de canales de riego, tanques de almacenamiento pequeños, canales para abastecimiento de agua, etc. Se han construido con mano de obra no calificada en varios estados de la República, innumerables casas unifamiliares con paredes y techos de tableros de ferrocemento.

En 1982 en Cuba, se comenzó en el parque Baconao en la provincia de Santiago de Cuba la construcción del Valle de la Prehistoria donde a escala natural se han realizado hasta el momento más de cien esculturas de animales prehistóricos (obra del escultor Dagoberto Moreno) que tienen hasta 12m de altura y 18m de largo.

En 1986 también en Cuba el ferrocemento empieza a aplicarse en la construcción de viviendas económicas. En abril se ejecutó la primera vivienda experimental y en octubre el primer pueblo en el plan turístico Baconao de la provincia de Santiago de Cuba. Esta positiva experiencia se extendió rápidamente a otras provincias del país donde con una tecnología industrial, se ha implementado con resultados altamente satisfactorios en viviendas de una, dos o más plantas.

El ferrocemento tiene una resistencia relativamente buena al impacto. Cuando se utiliza en la construcción de viviendas en los países en vías de desarrollo, puede proporcionar una mejor resistencia al fuego, terremoto, y la corrosión que los materiales tradicionales como la madera, adobe y mampostería de piedra.

Ha sido popular en los países desarrollados para la construcción de yates porque la técnica se

## CAPITULO 1: ANTECEDENTES

puede aprender con relativa rapidez, permitiendo a la gente reducir los costos mediante el suministro de su propio trabajo.



**Imagen 13. . 1960's Primera casa experimental de Ferrocemento. 36mts<sup>2</sup>. Tiene dos recamaras, estancia, baño y cocina. Los muros se construyeron con tableros de 1 mts de ancho, nervaduras y tímpanos de 15cms, espesor de losa de 2.5cm. Techo y muro se armó con una retícula de alambrión de ¼" de diámetro y 3 capas de malla hexagonal cal. 22 de abertura de 1". Fuente: Alfonso Olvera**

En México, en 1972 partió una comisión de 10 personas a cargo del Ing. Alfonso Olvera hacia Cuba a aprender la técnica de barcos de ferrocemento financiada por el gobierno. Pero al regresar y encontrar problemas a la hora de exponer a los sindicatos la nueva forma de trabajo el proyecto quedo detenido. Sin embargo, aplicaron sus conocimientos desarrollando la técnica de paneles modulares a base de ferrocemento para realizar casas, fabricas, canales de riego, depósitos, almacenes, etc, un amplio campo se abrió en la arquitectura, posteriormente esta aplicación partió al mundo.

En Oaxaca, el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIITDIR) del IPN, proyecta y construye pantallas de

ferrocemento para presas de agua y depósitos con participación de la comunidad.

El buen resultado del profesor Olvera logro que se ejecutaran más de 1500 viviendas con esta técnica en el estado de Sonora, México. Del mismo modo resulta interesante la construcción de un almacén para productos pesqueros de 60x50m en planta y el edificio para una fábrica de 70 x 30m proyectados y construidos por el mismo autor en 1976 en el cual se utilizaron para las cubiertas cascarones cilíndricos de 30 x 5m en planta, 2m de flecha y 3cm de espesor con tímpanos cada 10m y para las paredes tableros prefabricados de 4.75m de longitud y 3cm de espesor.



**Imagen 14. Casa flotante construida en sitio. Tesis doctoral de Bedoya Ruiz Alveiro. Pagina. 59**

En Colombia, en 1982 [Cardona, Farbiarz y Londoño, 1982], se hizo la primera investigación sobre viviendas prefabricadas de bajo costo con ferrocemento, y se basó en una solución para zonas de inundación fluvial cíclica. Se construyó el prototipo que se muestra en la Imagen 14. Se prefabricaron paneles de ferrocemento que se unieron con mortero sobre el casco vaciado en el sitio al borde

de la ribera de un pequeño lago en el que aún hoy flota.<sup>23</sup>

En la India, en el año 1983, V. G., Gokhale, publicó el sistema para la construcción de casas denominado “Catone” [Gokhale, 1983]. El sistema consiste en paneles de ferrocemento anclados a la losa de cimentación y atornillados en la parte superior a la viga de cubierta. Cada panel tiene 0.91m de largo por 2.73 m de alto y 0.032 m de espesor. El sistema fue usado para la construcción de varias viviendas de uno y dos pisos en Bombay, sin embargo, no se tiene información acerca del comportamiento estructural de estas viviendas, bajo condiciones de servicio ni a largo plazo.<sup>24</sup>



Imagen 15. Viviendas de uno y dos pisos en ferrocemento. [Naaman, 2000]

En 1988, Wainshtok Rivas, describe las primeras casas de ferrocemento hechas en Cuba en el año de 1986. Fueron construidas con paneles prefabricados de ferrocemento reforzados con malla entretejida de alambre. En la Imagen 15 se muestra la

solución de viviendas de uno y dos pisos. La cubierta se hizo con secciones de ferrocemento tipo cajón.

En 1992, el Profesor Naaman [Naaman, 1992], publica el resultado de sus investigaciones realizadas en la Universidad de Michigan, Estados Unidos, sobre casas de ferrocemento. Los objetivos del estudio fueron explorar las ventajas del ferrocemento desde la industrialización, teniendo en cuenta las características ofrecidas por este material, tales como: resistencia, poco peso, resistencia al fuego, durabilidad, ductilidad para zonas sísmicas, fácil transporte, erección y altos niveles de adaptabilidad en la prefabricación. El sistema estudiado consta de dos niveles y está conformado por paneles de ferrocemento en forma de cajón de 12.5 mm de espesor unidos por una conexión atornillada.

La investigación mostró que el sistema de ferrocemento propuesto es técnicamente factible e indicado para ser industrializado con costos competitivos. Aunque, se detectó que para lograr el éxito se debe resolver el problema de las conexiones entre los paneles de ferrocemento. El éxito de la aplicación del ferrocemento en viviendas de bajo costo se atribuye a la disponibilidad de sus materiales constitutivos, a la mínima tecnología necesaria para su construcción, al bajo costo en la edificación final y al amplio rango de calidad, propiedades y costos de acuerdo con las necesidades y presupuesto de la persona.

<sup>23</sup> BEDOYA Ruiz Daniel Alveiro. (2005). Estudio de resistencia y vulnerabilidad sísmica de viviendas de bajo costo estructuradas con ferrocemento. Universidad Politécnica de Catalunya. España. Tesis Doctoral. Página 59

<sup>24</sup> BEDOYA Ruiz Daniel Alveiro. (2005). Estudio de resistencia y vulnerabilidad sísmica de viviendas de bajo costo estructuradas con ferrocemento. Universidad Politécnica de Catalunya. España. Tesis Doctoral. Página 57

### 1.2.4 DIVERSOS USOS ACTUALES

Un uso muy difundido que tiene actualmente, podría ser el principal, es la realización de tanques y techumbres. De la impermeabilidad del ferrocemento y de sus características aptas para la construcción de elementos de pared delgada se deriva de manera natural, no solamente la construcción de cascos flotantes, sino también la de estructuras para contener líquidos y gases y estructuras para almacenar granos.



Imagen 17. Ejemplo de utilización de ferrocemento para un depósito de agua. Imagen del armado. Fuente: <http://www.bosquedeniebla.com.mx/eco05.htm> Revisado 12 octubre 2012

A pesar de que el ferrocemento tiene aproximadamente la misma densidad del concreto por unidad de volumen, las estructuras de pared delgada ofrecen menor volumen total, y por ende menor peso, que los elementos de concreto armado convencional. Se presta también para la construcción de tejas de sección delgada siendo comunes las tejas onduladas o en placa plegada.

### 1.2.5 CARACTERISTICAS DEL FERROCEMENTO

El ferrocemento como tal, o como un tipo de concreto armado de pared delgada o como un

compuesto laminado a base de cemento puede ser usado en numerosas aplicaciones, incluyendo nuevas estructuras y la reparación y rehabilitación de estructuras existentes, debe tener un factor de refuerzo mínimo del 1.8% con relación al volumen de mortero. Y contar con un área superficial o superficie específica del acero mínima con respecto al volumen del mortero de 0.5 cm<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup> (algunos lo consideran desde 0.8 cm<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup>) hasta un máximo de 3 cm<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup> de mortero. A mayor número de capas de mallas de alambres delgados, tendrá una mayor área superficial que estará en contacto con el mortero logrando que el ferrocemento tenga un comportamiento más homogéneo y dúctil que el concreto.



Imagen 16. Ejemplo de utilización del ferrocemento. Banca para jardín que soporta un volado de 1.6 m. Fuente: Javier Senosiain

Las mallas de acero más utilizadas están formadas por alambres generalmente galvanizados de diámetro de entre 0.8 y 1.5 mm espaciados entre sí de 10 a 25 mm. Pueden ser hexagonales, rectangulares, cuadradas, tejidas, torcidas o soldadas, y se distribuyen en dos grupos a ambos de un núcleo compuesto por barras de acero de entre 3 y 6 mm de diámetro. En el caso de la investigación se usara de 0.95 mm (3/8") distanciadas 30 cm y solo se colocara una malla hexagonal de cada lado. Tal estructura

emplastecida con mortero de 2 a 6 mm presenta espesores totales que fluctúan de 10 a 40mm, aunque en algunos casos llega a los 50 mm. Para el mortero se emplea cemento Portland, agua y arena bien granulada que normalmente no excede los 2.38 mm (tamiz No.8) para permitir el uso de telas de mallas poco espaciadas y pequeños recubrimientos.

### 1.2.6 MATERIALES

Las características de los materiales que más comúnmente se usan son:

#### MALLAS DE ALAMBRE:



Imagen 18. Acero de refuerzo. Varillas, malla hexagonal, alambre y malla electrosoldada. Fuente: Casa de materiales.

Uno de los componentes principales del ferrocemento es la malla de alambres delgados, ya sean entretejidos, soldados o troqueladas (mallas expandidas). El comportamiento mecánico del ferrocemento depende en gran parte del tipo,

cantidad, orientación y propiedades de la resistencia de la malla y la varilla de refuerzo.

La retícula sirve de apoyo para que se vayan adhiriendo las demás mallas de mayor o menor abertura. Se pueden usar electrosoldada, de alambre soldado, entretejida, metal desplegado, malla Watson, entre otras.<sup>25</sup>

Las mallas de acero más utilizadas en ferrocemento, son las mallas cuadradas, rectangulares tejidas o soldadas, las mallas de metal expandido y las mallas de forma hexagonal, la más usada por su economía y fácil manipulación. Sin embargo, estructuralmente no son muy eficientes debido a que los alambres no están orientados en la dirección principal de los esfuerzos. Se conoce como malla de alambre de pollo o gallinero, dependiendo del tamaño de sus aberturas y se fabrica con alambre estirado en frío. Todas, excepto la malla de metal expandido, deben ser, preferiblemente galvanizadas.

También se han desarrollado mallas metálicas tridimensionales tejiendo hilos ondulados sinusoidalmente en una dirección, con hilos zigzagueantes en la dirección perpendicular.

Las mallas de acero han sido el refuerzo tradicional en la construcción con ferrocemento. Sin embargo, investigaciones sobre refuerzos con fibras poliméricas y mallas plásticas han generado nuevas posibilidades para el diseño y la construcción con ferrocemento [Guerrero, 1998; Naaman, 2000].

El desarrollo de materiales poliméricos ha resultado en una amplia oferta de alternativas al

<sup>25</sup> B.k. Paul y R.P. Pama (1992). Ferrocemento. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.

refuerzo metálico. Hoy en día se consiguen en el mercado internacional varios tipos de malla polimérica y plásticas.

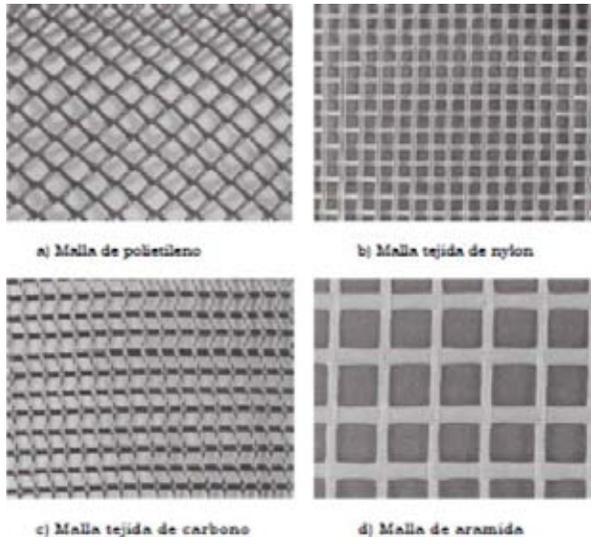


Imagen 19. Mallas poliméricas y plásticas. [Naaman, 2000]

### VARILLAS:

Generalmente las estructuras de ferrocemento están formadas por un “esqueleto” con su forma definitiva a base de un reticulado de varillas de poco diámetro, del no. 2.5 o 3 más comúnmente. En algunos casos se usan varillas de alta resistencia y alambre retorcido pretensado.

Deben ser lo suficientemente flexibles para poderlas doblar. Como en el concreto, la matriz cementante del ferrocemento es frágil. El entretejido metálico le proporciona ductilidad y su distribución es homogénea en toda la sección transversal. Una vez endurecido el mortero, la función del refuerzo es la de absorber las tensiones de tracción sobre la estructura, que el mortero por sí sólo no podría soportar.

En secciones delgadas planas o en cáscaras, este refuerzo convencional se localiza muy cerca del eje neutro por lo que su colaboración estructural para esfuerzos flectores no es significativa. Sin embargo, en secciones más complejas, las barras de refuerzo alejadas del eje neutro del elemento participan activamente en la respuesta estructural a la flexión [Pama, 1992; Naaman, 2000]. En la Tabla 3 se presentan las características generales acerca del sistema de refuerzo habitual en estructuras de ferrocemento.

Mallas de acero	Diámetro del alambre	$0,50 \leq dw \leq 1,50 \text{ mm}$
	Tipo de malla	Malla de alambre galvanizada cuadrada, hexagonal o de metal expandido
	Tamaño de abertura	$0,50 \leq D \leq 1,50 \text{ mm}$
	No. De capas de la malla	6 capas por cm de espesor
	Fración de volumen de refuerzo	Hasta 8% en ambas direcciones refuerzo equivalente a 630 kg/m <sup>3</sup> por malla de acero de refuerzo
	Superficie específica de refuerzo	Hasta 4 cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup> en ambas direcciones refuerzo
Acero esqueletal	Tipo	Alambres, varillas, barras
	Diámetro	$3,0 \leq db \leq 10,0 \text{ mm}$
	Tamaño de la rejilla	$50,0 \leq db \leq 150,0 \text{ mm}$

Tabla 3. Características del refuerzo para ferrocemento. [ACI, 1997]

### FIBRAS DISCONTINUAS Y CORTAS: METÁLICAS Y POLIMÉRICAS.

Las fibras discontinuas están relacionadas con los compuestos híbridos. Un compuesto híbrido está hecho de diferentes materiales. En el área de los morteros de pared delgada, un compuesto híbrido es la combinación de mallas continuas, tal como carbón o acero, con fibras discontinuas y cortas, bien sean plásticas, metálicas, orgánicas u otro material.

Las fibras regularmente son mezcladas con el mortero. Distribuidas aleatoriamente en el componente frágil, las fibras discontinuas mejoran la resistencia a tracción, a cortante interlaminar y disminuyen notoriamente los procesos de fisuración del ferrocemento. El diseño de una estructura de ferrocemento como un compuesto híbrido, mejora el desempeño del mismo [Naaman, 2000].<sup>26</sup>

### CEMENTO

El material adhesivo o matriz en el ferrocemento es el mortero hecho con cemento Portland (para estructuras de vivienda de  $f'c=250\text{kg/cm}^2$ , aunque varía dependiendo la aplicación) y arena común de sílice, agregados finos, agua y, ocasionalmente, aditivos aunque se puede emplear de cualquier tipo.

Esta materia aglomerante comprende más del 95% del volumen del ferrocemento. La composición química del cemento, la naturaleza de los agregados, la relación finos-cemento y la relación agua-cemento,

son los parámetros que determinan las propiedades del mortero [Bedoya, 1996; Naaman, 2000].

En el caso del ferrocemento se requiere que tenga resistencia a la compresión, impermeabilidad, dureza y resistencia al ataque químico y que su consistencia se mantenga uniforme, compacta, sin huecos. La relación del mortero es inversamente proporcional a su relación agua/cemento.



Imagen 20. Bultos de 50kg de Cemento. Fuente: Casa de materiales.

Es el material con propiedades de adherencia y cohesión necesarias para unir agregados inertes y conformar una masa sólida de resistencia y durabilidad adecuada. La respuesta de las estructuras de ferrocemento depende de las propiedades mecánicas del mortero endurecido dentro de condiciones ambientales determinadas. Propiedades como resistencia a compresión, dureza, impermeabilidad y resistencia al ataque químico, determinan en gran parte el comportamiento a corto y largo plazo del ferrocemento.

<sup>26</sup> BEDOYA Ruiz Daniel Alveiro. (2005). Estudio de resistencia y vulnerabilidad sísmica de viviendas de bajo costo estructuradas con ferrocemento. Universidad

Politécnica de Catalunya. España. Tesis Doctoral. Página 66.

El cemento debe ser fresco, libre de terrones y sustancias extrañas, debe almacenarse en ambientes secos y durante períodos cortos de tiempo. Los tipos adecuados de cemento Pórtland, habituales en la fabricación del mortero para ferrocemento son:

- Tipo I: No es recomendable en elementos bajo condiciones agresivas de sulfatos, aguas saladas y altas temperaturas. Apropiados para condiciones normales poco severas de ataque de sulfatos, y en general para diferentes tipos de obras que no le exijan propiedades específicas donde hayan demostrado un comportamiento satisfactorio.
- Tipo II: Ofrece resistencias iniciales bajas y resistencias últimas altas. Destinado a obras expuestas a la acción moderada de sulfatos y cuando se desee bajo calor de hidratación.
- Tipo III: Desarrolla altas resistencias iniciales; en condiciones de altas temperaturas puede presentar dificultades, debido a la rápida velocidad de fraguado; a bajas temperaturas puede ser satisfactorio. Su resistencia última puede ser un poco menor que las resistencias últimas de los cementos Tipo I y II. No posee efectos perjudiciales en secciones delgadas y ofrece ventajas a las mezclas con granulometrías finas.
- Tipo IV: Desarrolla bajo calor de hidratación, por lo que es útil en concretos masivos donde las condiciones adiabáticas pueden causar problemas serios al concreto endurecido.
- Tipo V: Ofrece alta resistencia al ataque de sulfatos y posee un tiempo de fraguado promedio. Útil en estructuras sometidas a ambientes marinos y susceptibles al ataque de sulfatos.
- Cemento Portland de escoria de alto horno: La calidad y propiedades de este cemento dependen directamente de las características de la escoria de

alto horno. La velocidad de fraguado es lenta y su proceso de curado debe ser minucioso. Su resistencia final es similar a la del cemento Portland Tipo I. Se recomienda en construcciones marinas o expuestas a sulfatos.

- Cemento Portland puzolánico: Para obtener su resistencia final se requiere mayor tiempo que en los demás tipos de cemento, aunque ello depende de la calidad de la puzolana y de la cantidad de cemento Portland. Provee buenas resistencias al ataque de los sulfatos y otros agentes destructivos como la reacción álcali-agregado. Dependiendo de la fuente de puzolanas puede significar ahorros en el costo de la mezcla.

El cemento que se emplee en la elaboración del mortero para ferrocemento debe cumplir con las normativas de calidad. En general, la utilización de cemento tipo I, ha resultado en comportamientos satisfactorios [Pama, 1992; Bedoya, 1996; Sánchez, 1998; Naaman, 2000].

#### **AGREGADOS PÉTREOS USADOS ACTUALMENTE:**

El agregado para morteros de ferrocemento debe ser duro, impermeable, libre de impurezas orgánicas, limpias y resistentes. El ferrocemento se caracteriza por tener agregados con tamaños máximos relativamente pequeños consistentes con el de las arenas para la fabricación de concreto convencional. Con respecto a los demás materiales usados en la mezcla, debe ser adecuado para obtener niveles aceptables de resistencia y densidad, e inerte para garantizar la durabilidad; además, debe tener

suficiente trabajabilidad con una mínima relación agua-cemento.

Es el término dado al material inerte disperso dentro de la pasta de cemento. Este material inerte ocupa del 60 al 70% del volumen del mortero. Deben ser fuertes, impermeables y capaces de producir una mezcla suficientemente trabajable con una relación agua/cemento mínima para lograr la penetración apropiada en la malla. Normalmente se usa la arena. También se pueden usar: piedra pómez, cenizas volcánicas, tobas, perlita, vermiculita y diatomita son rocas ligeras y lo suficientemente fuerte como para ser utilizado como agregado. De éstos, diatomita es el único que no es de origen volcánico.

Cuando la perlita se calienta rápidamente se expande y se rompe en pequeñas partículas expandidas. El mortero fabricado con perlita expandida tiene un peso unitario de 30-150kg/m<sup>3</sup>. Es un muy buen material aislante. La vermiculita es un producto de alteración de micas de biotita y otros. El color es amarillento a marrón. En la calcinación, la vermiculita se expande en ángulo recto a la escisión y se convierte en una masa esponjosa, cuyo volumen es de hasta 30 veces la del material antes del calentamiento. Es un material muy buen aislante usado extensivamente para ese propósito.<sup>27</sup>

#### ARENA:

La arena es un conjunto de partículas de rocas disgregadas. En geología se denomina arena al material compuesto de partículas cuyo tamaño varía

entre 0,063 y 2 milímetros (mm). Una partícula individual dentro de este rango es llamada «grano de arena». Una roca consolidada y compuesta por estas partículas se denomina arenisca (o psamita). Las partículas por debajo de los 0,063 mm y hasta 0,004 mm se denominan limo, y por arriba de la medida del grano de arena y hasta los 64 mm se denominan grava.

En el ferrocemento se puede emplear de cualquier tipo mientras no contenga sales y pase por una criba del número 4 como máximo.



Imagen 21. Tipos de arena ejemplo. Vermiculita, perlita, arena silica. Fuente: Casa de materiales.

A La arena no debe poseer cantidades de polvo fino que cree excesivos espacios vacíos, pues se reduciría la resistencia a compresión del mortero. Algunos agregados porosos permiten el flujo de humedad, lo cual aumenta la permeabilidad, reduce la durabilidad y desmejora el comportamiento estructural del mortero.

Las arenas blandas son afectadas por la abrasión y las reacciones químicas en los morteros. La granulometría de la arena debe producir una distribución uniforme de los áridos, para lograr alta

<sup>27</sup> <http://www.flyingconcrete.com/index.htm>  
Construcciones de ferrocemento en San Miguel de Allende de Steve Kornher, México. Dic 2012.

**CAPITULO 1: ANTECEDENTES**

trabajabilidad, densidad y resistencia, evitando la segregación y altos contenidos de agua.

En la Tabla 4, se presenta la granulometría especificada por las normativas de diseño, para arenas utilizadas en la fabricación de morteros para ferrocemento y concretos.

Abertura (mm)	Malla #	% que pasa.
9.5	3/8"	100
4.75	4	95 a 100
2.36	8	80 a 100
1.18	16	50 a 85
0.60	30	25 a 60
0.30	50	10 a 30
0.15	100	2 a 10

Tabla 4. Proporciones finos-cemento en peso para el mortero. [Bedoya, 1996]

El intervalo de proporciones recomendado para mezclas de ferrocemento, va desde una relación por peso, cemento-arena de 1:1.5 hasta 1:2.5 [Bedoya, 1996].

**AGUA:**

Es de gran importancia para la preparación del mortero y el curado del ferrocemento. El agua debe ser fresca, exenta de impurezas y turbiedad, libre de sustancias orgánicas, álcalis, aceites, cieno, lama, azúcar, cloruros, ácidos y otras soluciones que puedan ocasionar corrosión del refuerzo, deterioro de las propiedades del mortero y el manchado de las superficies expuestas.

El agua potable es en general apta para uso en mezclas para ferrocemento y no se permite el uso de agua salada.

A medida que se adiciona agua, la plasticidad y la fluidez de la mezcla aumentan, mejora la manejabilidad, pero disminuye su resistencia debido al mayor volumen de vacíos creados por el agua libre. La relación agua-cemento es un factor que controla la resistencia del mortero e influye notablemente en la retracción, la adherencia, y en otras propiedades del mortero. Además, una pasta porosa, resultado de una relación agua –cemento alta, es una pasta permeable, que afecta la durabilidad del mortero.

La resistencia a la compresión aumenta a medida que la relación agua–cemento disminuye.

La humedad de las arenas debe medirse en el momento del vaciado para lograr un buen control de la relación agua - cemento. La cantidad de agua de mezclado en un diseño de mortero para ferrocemento debe ser la necesaria para producir una pasta bien hidratada, con capacidad de movilidad y que permita la redistribución adecuada de los agregados cuando la mezcla presente una consistencia plástica, para formar así un sólido compacto y homogéneo, con propiedades físicas, químicas y mecánicas. La relación agua - cemento debe ser lo más baja posible para obtener mezclas de calidad, resistencia, trabajabilidad apropiada para su vaciado, con un bajo costo. La mejor relación agua - cemento, por peso, para mezclas de ferrocemento está en un intervalo entre 0.35 y 0.45.

**ADITIVOS:**

Se usan para alterar o mejorar una o más de sus propiedades. La mayor parte de ellos se usa para mejorar la trabajabilidad, para reducir la exigencia de agua y prolongar el fraguado del mortero. Pueden ser,

reductores de agua, retardantes de fraguado o acelerantes. La cantidad de aditivo no debe superar el 1% del peso del cemento en la mezcla.

Algunas de las tantas modificaciones que se logran usando aditivos en las mezclas son:

- Aumentar la trabajabilidad sin aumentar o reducir el contenido de agua.
- Acelerar las resistencias a edades tempranas y aumentar la resistencia.
- Retardar o acelerar el fraguado inicial o reducir el calor de hidratación.
- Modificar la velocidad de exudación.
- Mejorar la durabilidad o la resistencia bajo condiciones severas.
- Controlar la expansión causada por la reacción de los álcalis con ciertos constituyentes de los agregados.
- Reducir el flujo capilar de agua, la permeabilidad en los líquidos y el asentamiento.
- Producir mortero celular y de color.
- Mejorar la penetración y el bombeo.
- Aumentar la adherencia entre el mortero y el refuerzo, y entre morteros viejos y nuevos.
- Obtener morteros con propiedades fungicidas, germicidas o insecticidas.
- Inhibir la corrosión del refuerzo.
- Reducir el costo unitario del mortero.<sup>28</sup>

Es necesario hacer pruebas con anterioridad al uso de aditivos, debido a que los diferentes tipos de aditivos y sus efectos pueden variar con las

propiedades de los otros materiales constituyentes de la mezcla y con la marca del aditivo.

### 1.2.7 PREPARACIÓN DEL MORTERO.

El mortero debe mezclarse en proporciones predeterminadas y de acuerdo con las especificaciones del ingeniero estructural. El mezclado manual del mortero se considera satisfactorio cuando se realiza cuidadosa y rigurosamente. Para estructuras de tamaño considerable y para elementos prefabricados en serie se recomienda utilizar una mezcladora de mortero para permitir una buena mezcla de alta calidad. Aunque mezcladoras convencionales de tambor giratorio pueden utilizarse con unas mínimas precauciones. Las mezcladoras utilizadas para prepararlo no son apropiadas para mezclar morteros. El proceso de adición de los materiales se considera apropiado cuando se mezcla la arena y el cemento y posteriormente se agrega el agua necesaria. Es conveniente realizar la mezcla siguiendo una norma estándar. El mortero debe mezclarse hasta obtenerse una mezcla uniforme y bien distribuida.

La proporción de cemento/arena generalmente varía de 1 parte de cemento por 1.5 a 3 partes de arena. La que aquí se maneja en todas las pruebas será de 3:1 (3 arena: 1 cemento). La relación agua / cemento debe mantenerse lo más baja posible para darle al material calidad y trabajabilidad consistentes,

---

<sup>28</sup> OLVERA Montes, Alfonso, et al. (2011). Construcciones con ferrocemento. Editorial Editores. México. Página 5.

debe mantenerse la relación agua/cemento cercana a él por peso.<sup>29</sup>

Antes de realizar esta operación se debe verificar la limpieza del refuerzo. Debe estar libre de polvo, rebaba del laminado, grasa u otros contaminantes. Esta es la etapa crítica y de mayor cuidado en el proceso constructivo.

En la experiencia profesional se ha observado que para casas habitación o elementos similares se emplea la relación cemento arena mencionada que produce una resistencia cercana a los  $f'c = 250$  kg/cm<sup>2</sup>.

Se tiene que tener especial cuidado al momento de curar el ferrocemento puesto que al tener un pequeño espesor tiende a perder humedad muy rápido y puede repercutir en grietas fuertes.

Se debe mantener húmedo verificando por 15 días como mínimo para un correcto fraguado rociando frecuentemente la superficie con agua para evitar que ésta se seque. El fraguar del concreto es un proceso químico que requiere el agua. Y la temperatura de ella se debe cuidar, ya que rociarla de agua muy fría o más caliente que la superficie puede crear un golpe térmico. Si el curado se abandona

La proporción usada para generar un metro cubico de mortero es:

- 0.51 Ton de cemento
- 1 m<sup>3</sup> de arena (totales)
- 0.27m<sup>3</sup> de agua

<sup>29</sup> De acuerdo al proporcionamiento en el mortero utilizado en el despacho del Arq. Javier Senosiain, y es el que se usó en todas las pruebas para uniformizarlas

antes de que termine su proceso de fraguado el producto resulta más débil.

### 1.2.8 PROPIEDADES FISICO QUIMICAS Y MECÁNICAS DEL MORTERO.

Gran elasticidad y resistencia al agrietamiento lo que permite considerarlo un material homogéneo y casi elástico para determinados regímenes de carga. Alta resistencia a la tracción debido a su alto contenido de acero y a la dispersión de este. Se observan en la Tabla 5 tensión, deformación en 3 estados.

Elástico
Elástico -plástico (no lineal, pequeñas grietas)
Estado de falla (mas grietas) aumento de deformaciones y falla por ruptura de acero.

Tabla 5.

- Su comportamiento a la compresión es similar al concreto, pero la tensión es muy diferente.
- Resistencia alta al impacto.
- El análisis de la estructura se hace bajo las cargas de servicio, haciendo un análisis elástico lineal.

$$S \approx 0.5\text{cm}^2/\text{cm}^3$$

- Recubrimiento mínimo 3mm-6mm

- Si se utiliza refuerzo de esqueleto (armado adicional), no se debe ocupar más del 50% del espesor del material.
- Sin refuerzo de esqueleto la abertura de la malla no debe ser mayor que el espesor “t”
- Si se utiliza el método del diseño elástico, la tensión permisible del acero  $= 0.6 R_a$  ( $R_a =$  tensión al límite elástico  $f_y$ )
- Elemento de ferrocemento sometido a la tracción, una tensión en conjunto no mayor de 5 MpPa o 50 k/cm<sup>2</sup>
- El esfuerzo a compresión  $= 0.45 f_c$ . Las compresiones en el acero en la zona de compresión y adherencia al mortero no mayor de 200 Mpa por pequeño diámetro.

**a) Manejabilidad:** Se define como la facilidad con la que un grupo dado de materiales puede mezclarse, luego manejarse, transportarse y colocarse de manera que no pierda su homogeneidad. La manejabilidad depende de las proporciones de cada uno de los materiales y está relacionada con el concepto de consistencia, y con el estado de fluidez del mortero. Para determinar la manejabilidad, se acepta el ensayo de fluidez (ASTM C230 u otro equivalente); por medio del cual se califica que tan seca o fluida es la mezcla. En la Tabla 6 se aprecia una prueba sobre una mezcla con fluidez aceptable [Bedoya, 1996].



Imagen 22. Consistencia del mortero para ferrocemento. [Bedoya, 1996]

### 1.2.9 RECUBRIMIENTO.

Si las estructuras de ferrocemento no van a estar expuestas a condiciones ambientales severas no necesitan una protección especial. Pero se tiene que tener especial cuidado en que todo elemento metálico quede bien cubierto por la mezcla de mortero porque se corroería. Los recubrimientos que se le aplicarían ya serían estéticos o por alguna causa como la protección acústica o sonora.

Se puede pintar, impermeabilizar, aislar térmicamente (espuma de poliuretano, colocar azoteas verdes, etc... Al igual que cualquier estructura de concreto.

**PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO SON:**

Consistencia	Flujo (%)	Condiciones de colocación	Sistemas de colocación
Seca	80 – 100	Secciones sujetas a vibración	Proyección neumática, con vibradores de formaleta.
Plástica	100 – 120	Sin vibración	Manual con palas y palustres
Fluida	120 – 150	Sin vibración	Manual, bombeo, inyección

Tabla 6. Clasificación de la consistencia en morteros para ferrocemento.

- b) **Retención de agua:** Es la capacidad que posee el mortero de mantener su plasticidad al contacto con una superficie absorbente. Para obtener morteros de buena plasticidad se puede aumentar los contenidos de finos, usar aditivos plastificantes, agentes incorporadores de aire, cemento puzolánicos o cal. La velocidad de endurecimiento y la resistencia a compresión se afectan cuando la mezcla no tiene buena capacidad de retención de agua. El agua faltante impide el proceso de hidratación normal del cemento. Sin embargo, algunas adiciones o aditivos, como algunos materiales puzolánicos o como la cal, pueden afectar al nivel de resistencia a la compresión a edades tempranas o a la velocidad de fraguado.
- c) **Velocidad de endurecimiento:** El tiempo de fraguado inicial y final en una mezcla debe estar dentro de un intervalo adecuado para permitir el uso del mortero fresco y el comienzo oportuno del proceso de ganancia de resistencia. Estos períodos de tiempo están en función de las condiciones ambientales y de la composición de la mezcla, y pueden ser controlados con adición de aditivos.

#### PROPIEDADES EN ESTADO DURO:

- a) **Retracción:** La retracción o pérdida de volumen de mortero se presenta cuando el agua libre en la mezcla fresca se evapora. La tasa de evaporación del agua, depende de las condiciones ambientales. En zonas con condiciones climáticas severas, temperaturas altas, corrientes fuertes de vientos, la tasa de evaporación puede ser muy importante. La pérdida de agua implica una disminución en el

volumen del mortero. Si el elemento vaciado tiene restricciones para dicha disminución, pueden generarse tensiones internas suficientemente altas para desarrollar grietas.

La retracción es inversamente proporcional al espesor del mortero y la calidad del cemento. Como la retracción ocurre en la pasta de cemento, el agregado se constituye en un reductor de la retracción. En particular, las arenas bajas en finos y con buena granulometría, resultan con menores retracciones que arenas muy finas que requieren mayor cantidad de pasta. Las mezclas con relaciones agua - cemento altas o que poseen agua en exceso de la requerida para la hidratación del cemento están en peligro de agrietamiento.

- b) **Contracción y flujo bajo carga:** La contracción es una medida de estabilidad volumétrica en donde influyen muchos factores climáticos, cantidad de refuerzo, curado etc. El ferrocemento, en este aspecto, es diferente al concreto armado. El comportamiento de flujo plástico (fluencia a largo plazo), en una sección reforzada con malla de alambre galvanizado, presenta menor fluencia que la misma sección reforzada con malla de alambre sin galvanizar. El ferrocemento presenta niveles más bajos de contracción que el concreto reforzado convencional, debido a sus pequeños espesores y a la distribución uniforme del refuerzo.

- c) **Adherencia:** Es la capacidad del mortero para absorber las tensiones normales y tangenciales a la superficie de contacto entre el mortero y la armadura. La adherencia contribuye a la resistencia de la estructura ante sollicitaciones de pandeo, cargas transversales y excéntricas. Las

mezclas para ferrocemento más adaptables y de mayor utilización son las mezclas plásticas, con buena capacidad de retención de agua.

- d) **Resistencia:** Es la capacidad del mortero de resistir esfuerzos longitudinales (tracción o flexión) y transversales (cortante). En estructuras de ferrocemento se requiere buena resistencia a la compresión que se traduce en buena resistencia para esfuerzos de cortante y tracción. La resistencia a compresión la aporta principalmente el mortero; se mide por medio de cubos normalizados y es función del tamaño de los agregados, la cantidad de cemento y las proporciones entre éstos. Morteros hechos con un mismo agregado y un porcentaje mayor de cemento, por unidad de volumen, proporcionan mayor resistencia e impermeabilidad.
- e) **Fatiga:** Cuando una estructura es sometida a la aplicación de cargas repetitivas en el tiempo, se fatiga. En diversas investigaciones se ha estudiado los efectos del uso de acero del armazón, el uso de la malla de refuerzo, los métodos de curado, y los tipos de cemento. Los resultados han mostrado que la fatiga del ferrocemento no es una función directa de las propiedades del mortero, si no del deterioro del refuerzo, y no sólo de la malla sino también del acero del armazón. La malla sin galvanizar presenta mayor resistencia a la fatiga que la malla galvanizada. [Naaman, 2000].
- f) **Impacto:** Algunos estudios han mostrado [Naaman, 2000; Abdullah et al. 2003], que la resistencia a compresión del mortero y las propiedades del refuerzo, incluyendo las del acero

del armazón, influyen de una manera importante en el comportamiento y capacidad de los elementos del ferrocemento bajo cargas de corta duración.

- g) **Durabilidad:** Una estructura de ferrocemento es durable cuando puede soportar, en las condiciones para la cual fue diseñada, con un grado satisfactorio (sin deterioro mayor al de la degradación normal con el envejecimiento con mantenimiento estándar), los efectos de las cargas de servicio a las que se le sometan durante su vida útil, además de fenómenos climatológicos, desgaste, contracción, eflorescencias, corrosión, ataques químicos, etc.

La durabilidad es función de las propiedades del mortero que depende indirectamente del nivel de su resistencia a la compresión. Mientras mayor sea su resistencia, mayor será su durabilidad. En ambientes agresivos, húmedos y marinos los aditivos y agentes inclusores de aire, enriquecen las propiedades del mortero y hacen a las estructuras menos vulnerables a estos fenómenos.

- h) **Corrosión:** Es el desgaste de las propiedades químicas o físicas del ferrocemento. El fenómeno de la corrosión puede darse en el cemento, en el agregado y en el refuerzo, en la forma de ataque de sulfatos, reacción álcalis-agregados y celda galvánica, respectivamente. Los cambios ambientales, el nivel de permeabilidad del mortero, la composición química del agua de mezclado y de los aditivos, entre muchos otros, son agentes que inciden en los procesos de corrosión que pueden afectar al ferrocemento.

## CAPITULO 1: ANTECEDENTES

El refuerzo se corroe cuando existe presencia de humedad y aire ocasionando agrietamiento y pérdida de recubrimiento. Es un proceso lento que en condiciones extremas puede ser inmediato. En un diseño adecuado de una estructura de ferrocemento debe evitarse al máximo la aparición de este fenómeno por lo que la selección de los materiales debe ser muy cuidadosa y apropiada.



Imagen 23. Ejemplo del proceso de construcción en ferrocemento, la obra se edificó en Acapulco Diamante, Guerrero. Armado de varillas de 3/8" @20cm por ambos lados.

- i) **Apariencia:** El aspecto y la capacidad que tiene el ferrocemento para dejarse vaciar en elementos de pared delgada que pueden construirse con cualquier forma, lo convierte en un material versátil, ideal para construcciones poco convencionales. El color y la textura del mortero pueden mejorarse y controlarse con colorantes inorgánicos o aditivos especiales. La plasticidad

de la mezcla, la selección y las proporciones adecuadas de sus componentes son de esencial importancia en el acabado de la superficie del mortero.

### 1.2.10 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Las ventajas de una construcción de ferrocemento son el bajo peso, la facilidad para generar formas orgánicas, el ahorro generado porque no requiere cimbrado, los costos de mantenimiento y una larga vida útil en comparación con las construcciones de acero. Sin embargo, la precisión meticulosa y la construcción se consideran crucial aquí.

La desventaja es el uso de mano de obra intensiva, lo cual hace que sea caro para aplicaciones industriales en el mundo occidental. Además, las amenazas a la degradación (oxidación) de los componentes de acero es una posibilidad si se dejan vacíos de aire en la construcción original.

### 1.2.11 MASAROCA –ARMADOS MT3



Imagen 24. Bulto de MasaRoca. Fuente: <http://www.masaroca.com.mx/> Revisado 18 sep 2012

Es un material desarrollado para usarse como sustituto del mortero cemento-arena en el ferrocemento especialmente, su

aplicación en un principio era para la realización de esculturas.

Característica	Descripción	Descripción
Peso Volumétrico Seco	1,413 Kg/m <sup>3</sup>	
Peso Volumétrico Endurecido	1690 Kg/m <sup>3</sup>	
Resistencia a Compresión	160-180 Kg/Cm <sup>2</sup> a 1 día	350-450 Kg/Cm <sup>2</sup> a 28 días
Resistencia a Flexión	95-97 Kg/Cm <sup>2</sup> a 7 días	110-120 Kg/Cm <sup>2</sup> a 28 días
Resistencia a Tensión	32-40 Kg/Cm <sup>2</sup> a 7 días	40-46 Kg/Cm <sup>2</sup> a 28 días

Tabla 7. Características de la MasaRoca Fuente: <http://www.masaroca.com.mx/> Revisado 18 sep. 2012

Actualmente se usa en procesos de ferrocemento en general, domos, arcos, figuras caprichosas, esculturas, artesanías, etc. Es un polvo formulado con cementos y minerales especiales, provee una alta adherencia, resistencia y durabilidad. Es impermeable y no requiere el uso de cimbra, permite aplicarse en capas delgadas sin agrietarse.

Viene en presentación de 50kg, en color blanco o gris. Sus ventajas son:

- Alta Plasticidad y adherencia.
- Tiempo de fraguado óptimo.
- No se contrae.

- Alta Resistencia mecánica, a la intemperie y sustancias químicas.
- Se puede pigmentar y/o pintar.

- Se le pueden dar diferentes acabados.
- Impermeable.
- No requiere el uso de cimbra

Usando una llana aplicar MasaRoca Armados MT3 directamente sobre la malla de acero o metal desplegado en un

espesor que la malla y condiciones de la obra lo permitan (capas de 1 a 2 cms normalmente), para espesores mayores se pueden aplicar varias capas sucesivas hasta lograr el espesor deseado, solo debe dejarse secar cada capa por espacio de un par de horas antes de aplicar la siguiente capa. Se recomienda que la malla o metal desplegado este firmemente sujeta a la estructura, libre de óxido excesivo, grasas, polvo o cualquier recubrimiento que impida la adherencia. Se recomienda realizar un proceso de curado durante los 3 días posteriores a la aplicación del producto humedeciendo regularmente la superficie. Su desventaja es el costo el cual es 7 a 8 veces superior al cemento normal.<sup>30</sup>

<sup>30</sup> Costos dados en cotizaciones del material sobre Mortero convencional.

### 1.3 AISLAMIENTO TÉRMICO

El CONFORT HUMANO se define como el estado, ya sea físico o psicológico o sociológico, ideal para que una persona pueda desarrollar cualquier tipo de actividad sin ninguna molestia y de una manera sana y grata



Imagen 25. Confort humano entendido como "bienestar"

#### 1.3.1 CONFORT

El hombre siempre se ha esforzado por crear un ambiente térmicamente cómodo. Esto se refleja en las construcciones tradicionales alrededor del mundo desde la historia antigua hasta el presente. Hoy, crear un ambiente térmicamente cómodo todavía es uno de los parámetros más importantes a ser considerado cuando se diseñan edificios.

El confort térmico se define en la Norma ISO 7730 como " Esa condición de mente en la que se

expresa la satisfacción con el ambiente térmico". Una definición en que la mayoría de las personas puede estar de acuerdo, pero también es una definición que no se traslada fácilmente a parámetros físicos.

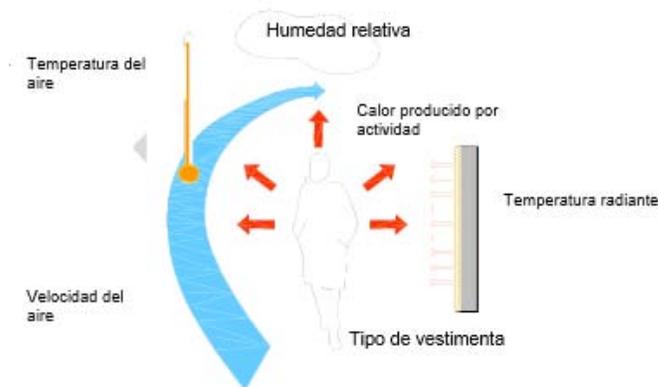
“El confort es esencial para la creación de ambientes humanos saludables y debe englobar los aspectos térmicos, de humedad, ventilación e iluminación. Necesitamos sentirnos cómodos, contar con iluminación suficiente y sin deslumbramientos y lograr el equilibrio correcto entre humedad y ventilación. Los ambientes saludables suelen trabajar con la iluminación, ventilación y los materiales naturales”

La zona de confort es “Un estado mental donde nos encontramos cómodos con nuestra vida actual, con nuestras aspiraciones cubiertas y sin presiones”. Se trata de aquello que brinda comodidades y genera “**bienestar**” al usuario en el medio ambiente circundante. El confort es un elemento indispensable en la vida de todo ser humano, debido a que es sumamente importante para el buen desarrollo de las actividades diarias de las personas.

Sin embargo aunque la definición de confort es el mismo para todos, cada quien lo vive y lo

desarrolla de una forma distinta debido a los diferentes factores que influyen y que alteran el estado de confort de cada quien.

En temperatura, confort es la temperatura en la que el cuerpo se siente cómodo, esta temperatura se suele utilizar en los comercios para crear un



**Imagen 26. Principales factores y parámetros que afectan el confort según los modelos de equilibrio térmico. Modificado de Simancas, 2003.**

espacio agradable al usuario que invite a permanecer tiempo en él. Las reacciones frente a una situación climática concreta varían bastante de un individuo a otro, influyen la constitución física, edad, dieta, grado de aclimatación y las influencias culturales.<sup>31</sup>

El confort puede alcanzarse por métodos naturales o artificiales, como la introducción de sistemas de aire acondicionado, pero siempre que sea posible debemos evitarlos usando los sistemas y tecnologías naturales con la menor cantidad de partes mecánicas.

El aislamiento sistémico, las envolventes transpirables mediante las cuales el edificio funciona como un pulmón que responde a los cambios en las condiciones externas, a la eliminación de movimientos de aire no deseados (corrientes) constituyen otras tantas medidas para lograr el confort de modo natural.

El hombre tiene un muy eficaz sistema regulador de temperatura que asegura que la temperatura del centro del cuerpo se mantenga en aproximadamente 37° C.

Cuando la temperatura del cuerpo sube demasiado, se ponen en marcha dos procesos: primero la vasodilatación, aumentando el flujo de la sangre a través de la piel y como consecuencia uno empieza a sudar. Sudar es una herramienta refrescante eficaz, porque la energía requerida por el sudor para evaporarse se toma de la piel. Sólo unas décimas de grado de aumento de la temperatura del centro del cuerpo pueden estimular una producción de sudor que cuadruplica la pérdida de calor del cuerpo.

Si el cuerpo está poniéndose demasiado frío, la primera reacción para los vasos sanguíneos es la vaso-constricción, reduciendo el flujo de la sangre a través de la piel. La segunda reacción es aumentar la producción de calor interior estimulando los músculos, lo que causa el estremecimiento (triteo). Este sistema también es muy eficaz, y puede

<sup>31</sup> EDWARDS Brian (2005). Guía básica de la sostenibilidad, 2a edición, GG. Pag. 142. Barcelona, España

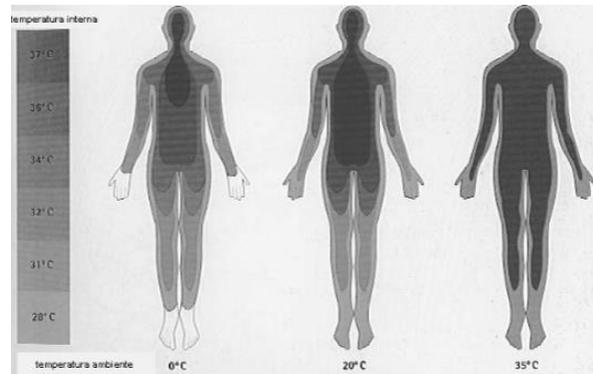
aumentar considerablemente la producción de calor del cuerpo.

Pero el sistema del control que regula la temperatura del cuerpo es complejo, y no se entiende todavía totalmente. Los dos juegos más importantes de sensores para el sistema del control son sin embargo conocidos. Ellos se localizan en la piel y en el hipotálamo. El sensor del hipotálamo es un sensor de calor que inicia la función del enfriamiento del cuerpo cuando la temperatura del centro del cuerpo excede  $37^{\circ}\text{C}$ . Los sensores de la piel son sensores de frío que inician la defensa del cuerpo contra el enfriamiento cuando la temperatura de la piel cae debajo de los  $34^{\circ}\text{C}$ .

El ser humano produce la energía que necesita para mantener su cuerpo vivo y activo, a partir de los alimentos y del oxígeno, que a lo largo de complejas reacciones químicas se va convirtiendo en calor. Así, alrededor del 50% de la energía de los alimentos, ya desde el inicio del proceso, se transforma en calor y el otro 50% en trifosfato de adenosina (ATP), del cual la mayoría también se convierte en calor al pasar a formar parte de los sistemas metabólicos celulares que sólo aprovechan una pequeña parte de la energía restante; al final prácticamente toda la energía, de una forma u otra, se transforma en calor dentro del organismo, excepto una fracción, generalmente muy pequeña, que lo hace fuera a partir del trabajo externo que realiza el hombre.<sup>32</sup>

Puede definirse **confort higrotérmico** a la ausencia de malestar térmico. En fisiología se dice que hay confort higrotérmico cuando no tienen que

intervenir los mecanismos termorreguladores del cuerpo para una actividad sedentaria y con un ligero arropamiento. Esta situación puede registrarse mediante índices que no deben ser sobrepasados para que no se pongan en funcionamiento los sistemas termorreguladores (metabolismo, sudoración y otros).



**Imagen 27. Temperatura Interna del Cuerpo para Distintas Temperaturas.** Fuente: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6104/07CAPITULO2.pdf;jsessionid=FD349898CBB239B758279738379E7D21.tdx2?sequence=7> Noviembre 2014

El cuerpo humano está preparado para reaccionar ante los cambios climáticos, pero estas reacciones le hacen consumir energía metabólica. La sensación de comodidad surge de la generación de un microclima que evita la reacción del cuerpo ahorrando gastos de energía, que se denomina termorregulación natural en oposición al abrigo que es un fenómeno de termorregulación artificial.

La temperatura normal del cuerpo es de  $37^{\circ}\text{C}$ . En las enfermedades puede elevarse hasta los  $41^{\circ}\text{C}$  o  $42^{\circ}\text{C}$  (hipertermia) donde se hace peligrosa. El

<sup>32</sup> Zona Variable de Confort Térmico. Capítulo 2. Tesis Doctoral en línea.

<http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6104/07CAPITULO2.pdf;jsessionid=FD349898CBB239B758279738379E7D21.tdx2?sequence=7> Noviembre 2014

cuerpo humano es muy sensible a los aumentos de la temperatura interior y solo 5 o 6 grados de más pueden causar daños muy importantes y hasta la muerte. Se toleran aún menos las bajas temperaturas y a los 35 °C (hipotermia) se comienza a sentir somnolencia hasta caer en un profundo letargo.

Sentados en una habitación con ropas livianas y realizando una actividad ligera, la sensación de satisfacción térmica se alcanza entre los 21 °C y 25 °C. La humedad relativa -HR-, a la que usualmente se achaca como causa de la incomodidad, es menos significativa ya que la tolerancia del cuerpo es grande, admitiendo límites entre 20% y 75%.

**RANGOS DE CONFORT  
térmico anual para varias ciudades de la República Mexicana:**

Ciudad	min.	rango Tn	max.
Toluca, México	18.9°	21.4°	23.9°
La Bufa, Zacatecas	19.3°	21.8°	24.3°
Ciudad de México (Tacubaya)	19.8°	22.3°	24.8°
Puebla, Puebla	20.2°	22.7°	25.2°
Chihuahua, Chihuahua	20.8°	23.3°	25.8°
Guadalajara, Jalisco	21.0°	23.5°	26.0°
Cuernavaca, Morelos	21.6°	24.1°	26.6°
Monterrey, Nuevo León	21.9°	24.4°	26.9°
Hermosillo, Sonora	22.6°	25.1°	27.6°
Veracruz, Veracruz	22.9°	25.4°	27.9°
Villahermosa, Tabasco	23.6°	26.1°	28.6°

Tabla 8. Rangos de confort. Fuente: EDWARDS Brian (2005). [Guía básica de la sostenibilidad](#).

La temperatura óptima (neutra) representa un punto en la escala térmica por lo que es más conveniente hablar de un rango de temperatura en el cual el individuo expresa satisfacción (térmica) con el medio ambiente. S. Szokolay y Ailiciems<sup>33</sup> elaboraron estudios a través de los cuales se elaboró

la tabla que viene abajo, donde se definen los rangos de confort térmico para varias ciudades de la República Mexicana.

Formula de Auliciems:

$$T_n = 17.6 + 0.31 T_m$$

$$Z_c = T_n \pm 2.5^\circ\text{C}$$

Donde:

T<sub>n</sub> = Temperatura Neutra

T<sub>m</sub> = Temperatura media anual o mensual

Z<sub>c</sub> = Zona de Confort

El cuerpo es muy sensible a los cambios de radiación. Si la temperatura es inferior a 18 °C pero hay buen sol, de inmediato se siente que la sensación la comodidad higrotérmica aumenta. Este principio es usado por la calefacción tipo losa radiante, piso radiante y por el sistema de radiadores. Pero así como es agradable que el sol ingrese por una ventana en invierno, se vuelve desagradable en el verano.

Para comprender qué condiciona el bienestar y su relación con la arquitectura debe asumirse que el cuerpo humano produce calor y lo intercambia con el ambiente que lo rodea. El cuerpo humano produce calor de manera constante debido a los procesos bioquímicos que acompañan la formación de tejidos, la conversión de energía y el

33

Szokolay, Steven. "Passive and low energy desing for thermal and visual confort". Pasive and low Energy

Ecotechniques Applied to Housing (PLEA '84) Pergamon Press, New Yorck, US. 1984.

trabajo muscular, entre otras funciones fisiológicas. Una gran parte de la energía requerida por estas funciones es proporcionada por el consumo y digestión de alimentos.

Las ganancias de calor internas del cuerpo deben ser equivalentes al calor que pierde hacia el exterior. Cuando se rompe este equilibrio, debido al metabolismo del cuerpo, las condiciones del ambiente llegan a un disconfort térmico. Al interactuar con el medio ambiente, el cuerpo humano puede perder o ganar calor por medio de procesos **convectivos**, **radiantes** y, en menor medida, **conductivos**. La **evaporación** también juega un papel importante pero en este caso, cuando se da, sólo puede generar pérdidas de calor. La intensidad de estos procesos, y por lo tanto los índices de pérdidas y ganancias, dependen en gran medida de las condiciones ambientales particulares:

**Convección:** La convección es una de las tres formas de transferencia de calor y se caracteriza porque se produce por medio de un fluido (líquido o gas) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas.

Se produce únicamente por medio de materiales fluidos. Lo que se llama convección en sí, es el transporte de calor por medio del movimiento del fluido, por ejemplo: al trasegar el fluido por medio de bombas o al calentar agua en una cacerola, la que está en contacto con la parte de abajo de la cacerola se mueve hacia arriba, mientras que el agua que está en la superficie, desciende, ocupando el lugar que dejó la caliente.

Cuando la temperatura del aire es inferior a la temperatura de la piel, esta tiende a transmitir calor hacia las moléculas de aire con las que está en contacto. Si el aire se encuentra en movimiento las moléculas que han absorbido calor son desplazadas fácilmente por moléculas más frías. Mientras más rápido sea el movimiento del aire y baja su temperatura, más calor perderá el cuerpo humano.

**Radiación:** Se denomina radiación térmica o radiación calorífica a la emitida por un cuerpo debido a su temperatura. Todos los cuerpos emiten radiación electromagnética, siendo su intensidad dependiente de la temperatura y de la longitud de onda considerada. En lo que respecta a la transferencia de calor la radiación relevante es la comprendida en el rango de longitudes de onda de  $0,1\mu\text{m}$  a  $100\mu\text{m}$ , abarcando por tanto parte de la región ultravioleta, la visible y la infrarroja del espectro electromagnético. Tanto el cuerpo humano como los elementos del entorno, incluyendo los componentes constructivos de un edificio, emiten energía radiante.

A temperatura ambiente, vemos los cuerpos por la luz que reflejan, dado que por sí mismos no emiten luz. Si no se hace incidir luz sobre ellos, si no se los ilumina, no podemos verlos. A temperaturas más altas, vemos los cuerpos debido a la luz que emiten, pues en este caso son luminosos por sí mismos. Así, es posible determinar la temperatura de un cuerpo de acuerdo a su color, pues un cuerpo que es capaz de emitir luz se encuentra a altas temperaturas.

La relación entre la temperatura de un cuerpo y el espectro de frecuencias de su radiación emitida se utiliza en los pirómetros.

Cuando la temperatura de la piel es superior a la temperatura radiante de los objetos circundantes entonces se dan pérdidas de calor. Si los objetos circundantes tienen una temperatura más elevada el cuerpo gana calor.

Se define la Temperatura Radiante Media se define como si todas las superficies de un entorno estuviesen uniformemente a la misma temperatura, se produciría el mismo equilibrio de calor radiante neto que el entorno considerado con diversas temperaturas superficiales.

Podría usarse la temperatura de globo, la temperatura del aire y la velocidad del aire en un punto como la entrada para el cálculo de la temperatura radiante media. La calidad del resultado es, sin embargo, dudosa en parte, porque el factor del ángulo entre el globo y las superficies en un cuarto es diferente de aquellos entre una persona y las mismas superficies, y en parte debido a la incertidumbre del coeficiente de transferencia de calor por convección del globo.

**Conducción:** Expresa la transmisión de calor al interior de un cuerpo sólido, o entre dos cuerpos sólidos cuando estos se encuentran en contacto. Como en el caso de la radiación, el cuerpo humano puede perder o ganar calor estando en contacto con un objeto o componente de la edificación, dependiendo de su diferencia de temperatura.

En el caso de líquidos y gases, esta transferencia es importante siempre y cuando se tomen las precauciones debidas para eliminar las corrientes naturales de flujo que pueden presentarse como consecuencia de las diferencias en densidad que experimentan estos.

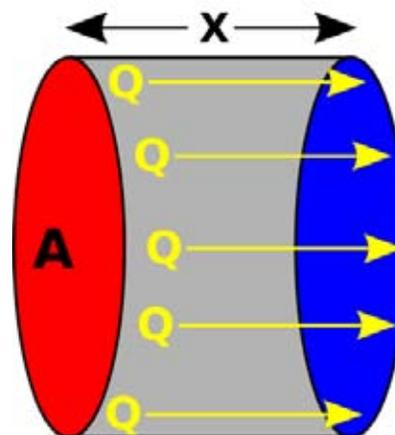


Imagen 28. El segundo principio de la termodinámica determina que el calor sólo puede fluir de un cuerpo más caliente a uno más frío, la ley de Fourier fija cuantitativamente la relación entre el flujo y las variaciones espacial y temporal de la temperatura. Fuente: Lestina, Thomas; Serth, Robert W. (2010). *Process Heat Transfer: Principles, Applications and Rules of Thumb*. Academic Press.

De ahí la transferencia en sólidos sujetos a una diferencia de temperatura. En estas circunstancias se dice que el flujo de calor es proporcional al gradiente de temperatura:

$$Q = - k A (\Delta T/\Delta X)$$

Donde:

AT = Gradiente de temperatura

Q = Flujo de calor por unidad de Área o densidad de calor en la dirección X.

k = Conductividad térmica del material

Las unidades son W/m K (Watts por metro Kelvin). El signo negativo en la ecuación A es empleado para que “la Ley de la termodinámica sea

satisfactoria, o sea, el calor fluya de mayor a menor temperatura.<sup>34</sup>

**Evaporación:** Es un fenómeno donde un líquido se convierte en estado gaseoso, tras haber adquirido suficiente energía para vencer la tensión superficial. la evaporación se puede producir a cualquier temperatura, siendo más rápido cuanto más elevada sea esta. No es necesario que toda la masa alcance el punto de ebullición.

Dicha conversión requiere una determinada cantidad de energía calorífica, que es tomada del entorno inmediato, como cuando en la piel el sudor se evapora a través de la respiración. La cantidad de calor perdida aquí varía de acuerdo a la tasa de evaporación, la cual a su vez es afectada por la humedad ambiental: mientras más seco es el aire más eficientes son los procesos evaporativos.

Cuando por estos factores rompe el equilibrio se llega al disconfort, el malestar físico y, en casos extremos, a la muerte. Afortunadamente el cuerpo humano dispone de mecanismos que le permiten recuperar el equilibrio térmico, al menos hasta cierto punto

Otras variables que afectan el confort térmico son:

- La aclimatación: es el proceso por el cual un organismo se adapta fisiológicamente a los cambios en su medio ambiente, que en general tienen relación directa con el clima. Se suele usar este término para referirse a procesos que ocurren durante un período corto, dentro del periodo vital

de un organismo individual o grupo. Puede ser una situación puntual o representar parte de un ciclo periódico, como es el caso del crecimiento de pelo que experimentan algunos mamíferos durante el invierno. Los seres vivos pueden ajustar sus rasgos morfológicos, etológicos, físicos y/o bioquímicos en respuesta a cambios en su entorno. La capacidad de aclimatación a nuevos ambientes se ha comprobado en miles de especies. Sin embargo, no se conocen en profundidad los mecanismos que conducen a ella. Expuesto a nuevas condiciones ambientales, una persona es capaz de aclimatarse en un periodo relativamente corto. Durante ese periodo sus preferencias térmicas cambiarán de manera significativa.

- **La edad y el género:** Influyen de manera relativamente importante en las preferencias térmicas. Por ejemplo, las personas mayores suelen preferir temperaturas más elevadas debido a que su metabolismo se vuelve más lento. Es la misma razón por la cual los niños, con un metabolismo alto, pueden tolerar temperaturas ligeramente más bajas que los adultos. Los hombres presentan generalmente un metabolismo un poco mayor al de las mujeres por lo que prefieren temperaturas 1°C más bajas que ellas.
- **La forma corporal y la grasa subcutánea:** La proporción entre **superficie de piel y volumen corporal** también influye en la sensación de

<sup>34</sup> MORILLÓN Galvez, David (1990). Diseño de dispositivo y método para medición de conductividad

térmica de materiales de construcción. Tesis de Maestría. Universidad de Colima, México.

confort de las personas: una persona esbelta tiene más superficie de piel que otra con el mismo peso pero de menor estatura y mayor corpulencia. Debido a ello tiene la capacidad de disipar una mayor cantidad de calor y por lo tanto suele tolerar temperaturas más elevadas. Al mismo tiempo, se ha demostrado que la **grasa subcutánea** funciona como un excelente aislante térmico, por lo que una persona robusta requiere temperaturas del aire más bajas para disipar la misma cantidad de calor que una persona delgada.

- **El estado de salud:** En este momento los mecanismos de defensa internos pueden aumentar el metabolismo. En primera instancia esto podría significar que tiene una mayor tolerancia a temperaturas relativamente bajas. Sin embargo lo que suele suceder es que al mismo tiempo sus mecanismos reguladores se

vean afectados, por lo que el margen de temperaturas tolerables se vuelve más estrecho.

- **El color de la piel:** Diversas investigaciones han demostrado que la piel clara refleja en promedio tres veces más radiación que la piel oscura, pero al mismo tiempo es mucho más vulnerable a las quemaduras, úlceras y cánceres provocados por el sol. Por otro lado, la piel oscura se ve más afectada por la **absorción de calor**, pero esta situación se equilibra por el hecho de que su capacidad para emitir calor aumenta casi en la misma proporción. Además contiene más pigmento de melanina, lo cual disminuye de manera significativa la penetración de los dañinos rayos ultravioletas. Considerando esto, podemos afirmar que el color de la piel tiene un mayor impacto en la resistencia a los rayos solares que en las preferencias térmicas.

## 1.4 ESPUMA DE POLIURETANO

Actualmente para el aislamiento del ferrocemento se utiliza la Espuma de poliuretano que es un material plástico poroso formado por un encapsulado de aire que se forma por la reacción química de dos compuestos, un polioliol y un isocianato liberando dióxido de carbono, gas que va formando las burbujas. Tiene múltiples aplicaciones como aislante térmico tanto en construcción como en sectores industriales. Sobre esta capa de poliuretano, regularmente de 2" de espesor, se



Imagen 29. Muestra de la Espuma de poliuretano expreado a 2" de espesor.

## CAPITULO 1: ANTECEDENTES

esprea una capa de Poliurea, material similar cuya característica principal es lograr impermeabilidad absoluta y proteger al poliuretano del degradamiento provocado por los rayos ultravioleta.

Aparte de estos polímeros para su aislamiento térmico y acústico se usa en ocasiones una cubierta verde consistente en una capa de diferentes grosores de grava volcánica (tezontle) y tierra vegetal, 20cm regularmente, aunque las dimensiones varían de acuerdo a la forma y la vegetación que se coloque.

Es un material altamente contaminante, de difícil reciclaje y caro, además de ser muy dañino para la salud.

Es un polímero que se obtiene mediante de la condensación de bases hidroxílicas combinadas con disocianatos. Se clasifican por su estructura química, diferenciados por su comportamiento frente a la temperatura y pueden ser de dos tipos:

- Poliuretanos termoestables: muy utilizadas como aislantes térmicos y como espumas.
- Poliuretanos termoplásticos: destacan los empleados en elastómeros, adhesivos selladores de alto rendimiento, suelas de calzado, pinturas, fibras textiles, embalajes, juntas, preservativos, componentes de automóvil, en la industria de la construcción, del muebles.

Los isocianatos fueron estudiados por primera vez por C. A. Wurtz<sup>2</sup> y por A.W. Hoffman en la década de 1840. Un siglo después Otto Bayer

desarrolló la primera síntesis de un poliuretano en 1937 trabajando en los laboratorios de IG Farben (Alemania); empleando diisocianato de 1,6-hexametileno y 1,4-butanodiol, con el objeto de conseguir un material competitivo con la poliamida (Nailon). Otto Bayer y sus colaboradores publicaron la primera patente de poliuretanos en 1937 y la producción industrial empezó en 1940 con productos como Igamid y Perlon. Sin embargo, debido a la falta de recursos por la Segunda Guerra Mundial, la producción creció muy lentamente. En 1959 DuPont desarrollaría un tejido muy elástico empleando fibras de poliuretano al que llamó Spandex, y comercializó bajo el nombre de Lycra<sup>35</sup>



Imagen 30. Aplicación de la espuma. Fuente. <http://www.empresasalcantar.com/servicios.htm>

La química del poliuretano incluye al grupo isocianato (-NCO) que contiene un átomo de carbono altamente electrofílico que puede ser atacado por diferentes grupos nucleófilos provistos de hidrógenos lábiles, como es el caso del grupo hidroxilo, amina o tiol para dar uretanos, ureas o tiocarbamatos respectivamente. Cuando se mezclan

<sup>35</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Poliuretano> Revisado 15 de febrero 2013

sus dos componentes principales, un polioli y un isocianato (su formulación necesita y admite múltiples variantes y aditivos) libera dióxido de carbono, gas que va formando las burbujas, y se puede elevar la temperatura hasta más de 100 °C, que hace que el propelente en disolución en el polioli se convierta en un gas CO<sub>2</sub>.

La reacción de isocianato con agua genera dióxido de carbono, parte del agua se convierte en vapor, hace que expanda la mezcla, formándose pequeñas celdas después del gelado. Algunos poliols llevan componentes antiplama que hace que sean retardantes de llama. En algunos países es obligatorio el uso de este componente para determinadas aplicaciones, y son clasificados bajo normas de seguridad.

Existen los poliuretanos rígidos de densidad 30-50 kg/m<sup>3</sup>, utilizados como aislantes térmicos. La capacidad de aislamiento térmico del poliuretano se debe al gas aprisionado en las celdillas cerradas del entramado del polímero. Una variedad de los poliuretanos rígidos son los poliuretanos spray, que son formulaciones de alta velocidad de reacción, usados en revestimientos sujetos a la fuerza de gravedad, tales como aislamientos de edificios, estanques de almacenamiento, e incluso tubos o cañerías.

La espuma rígida de POLIURETANO aplicada por aspersión puede ser empleada para aislamiento térmico en construcción dentro del rango de temperatura entre -50 °C y + 100 °C. Sus principales campos de aplicación son:

- Aislamiento térmico de superficies en la construcción e impermeabilización de cubiertas.
- Suelos, paredes, techos, perfiles de acero, interior o exterior.
- Aislamiento térmico de instalaciones de climatización y cámaras frigoríficas de conservación y congelación.

<b>Coefficiente de conductividad térmica:</b>	<b>0,023 W/m °K).</b>
---	-----------------------

**Tabla 9. Coeficiente de conductividad térmica de la espuma de poliuretano**

MATERIAL	DENSIDAD APARENTE KG/M3	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA W/m °k
Poliestireno expandido (EPS)	15	0.037
	20	0.035
	25	0.033
	30	0.032
	32	0.029
Poliestireno extruido (XPS)	32	0.022-0.024
Poliuretano, espuma rígida (PUR)	30-60	0.022-0.024
Poliuretano proyectado (spray)	30-40	0.022
Polietileno, membrana de burbujas	30-60	0.031-0.038
Aislante de celulosa proyectada	50-90	0.040-0.049
Lana de vidrio	8-10	0.045
	11-14	0.0403
	15-18	0.040
	19-30	0.037
	31-45	0.034
	46-100	0.033
Lana de roca	30-50	0.042
	51-70	0.040
	71-150	0.038

Tabla 10. Comparativo de densidad y conductividad térmica de varios materiales aislantes [http://www.paredestudio.com.ar/novedades/aislantes\\_muros\\_techos.html](http://www.paredestudio.com.ar/novedades/aislantes_muros_techos.html) Revisado el 5 septiembre 2014.

#### 1.4.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE SU USO EN LA CONSTRUCCIÓN

##### VENTAJAS

- Los factores por lo que es viable actualmente son:
- Supresión de puentes térmicos. El aislamiento no presenta juntas ni fisuras por ser continuo.
- Posibilidad de acceder a lugares difíciles.
- Buena adherencia al sustrato. No se necesitan adhesivos para su instalación, es autoadherible.
- Posibilidad de aislar e impermeabilizar (con la densidad adecuada) en un único proceso. Rapidez de ejecución y movilidad.
- Posibilidad de desplazarse rápidamente a cualquier obra sin necesidad de transportar o almacenar productos voluminosos como los materiales aislantes.
- Bloquea el flujo de aire mediante la ampliación y cierre de fugas.
- Puede servir como una barrera de vapor con una mejor calificación por permeabilidad o barreras de vapor con láminas de plástico y en consecuencia, reducir la acumulación de humedad, que puede causar el crecimiento de mohos.
- Puede rellenar cavidades en la pared acabada, en paredes sin fisuras (según sea necesario con placas).
- Funciona bien en espacios reducidos.
- Proporciona un mejor aislamiento acústico.
- Al curarse se expande brindando una excelente resistencia a la infiltración de aire (a diferencia de placas y mantas) Es comparable al Spray húmedo de celulosa.
- Aumenta la estabilidad estructural (a diferencia de las partículas sueltas o granulado, similares al spray húmedo de celulosa).
- Puede ser utilizado en lugares en donde no se puede llegar con material granulado, como entre las vigas. Cuando se utiliza entre los tirantes, los spray de espuma pueden cubrir hasta los clavos sobresalientes de la parte inferior del revestimiento.
- Puede ser aplicado en pequeñas cantidades.<sup>36</sup>
- La espuma rígida de POLIURETANO es una sustancia imputrescible, estable frente al moho, al detritus, inodora y químicamente neutro. Resistente a los materiales habitualmente usados en construcción e inerte bioquímicamente. Resistente a los disolventes usados en pinturas, adhesivos, pastas bituminosas, selladores y tiene larga durabilidad. Reduce costos de energía en la operación de los equipos de refrigeración, de aire acondicionado o de cámaras frigoríficas.

<sup>36</sup> Fuente:  
[http://www.paredestudio.com.ar/novedades/aislantes\\_muros\\_techos.html](http://www.paredestudio.com.ar/novedades/aislantes_muros_techos.html) Revisado Noviembre 2014

**DESVENTAJAS**

Material	<i>K</i>	<i>R para 1" de espesor</i>	<i>Valores equivalentes</i>
Poliuretano	0.11	7.20	1.0"
Fibra de Vidrio	0.22	4.54	2.0"
Poliestireno (frigolite)	0.24	4.16	2.18"
Corcho	0.27	3.70	2.5"
Espuma de Vidrio	0.38	2.63	3.5"
Vermiculita	0.48	2.08	4.3"

Tabla 11. Comparativo del Aislamiento de Poliuretano comparado con otros materiales aislantes. Fuente: <http://www.aislamientosespecializados.com.mx/nuevo/node/6> - Nov 2012

- Donde se coloque y se encuentre expuesta directamente a la intemperie, se debe proteger superficialmente frente a la acción de los rayos UV con un recubrimiento adecuado.
- Muchas de estas formas de aislamiento (excepto espuma) libera productos químicos nocivos en el aire, reduciendo la calidad del aire interior. Los gases usados en la expansión son extremadamente tóxicos para la salud humana.
- El costo puede ser alto en comparación con el aislamiento tradicional (lana de vidrio o poliestireno expandido).
- La mayoría o la totalidad de estas espumas liberan vapores tóxicos cuando se queman.

- Dependiendo de la utilización y los códigos de construcción, la mayoría de las espumas requieren protección, con una barrera como tabiques de roca de yeso en el interior de una casa. Por ejemplo, una de 15 minutos de clasificación de incendios.
- A pesar de que los CFCs ya no se utilizan, muchos utilizan HCFCs o HFCs como agentes espumantes. Ambos son potentes gases de efecto invernadero, y los HCFC tienen algún potencial de agotamiento del ozono.
- La mayoría, como el poliuretano y el isocianato, contienen sustancias químicas peligrosas como el benceno y el tolueno. Se trata de un peligro potencial y preocupación por el medio ambiente durante la producción de materia prima, transporte, la fabricación y la instalación.
- Aislamientos de espuma se realizan a partir de productos petroquímicos y puede ser una preocupación para aquellos que buscan reducir el uso de combustibles fósiles y el petróleo.
- El Resistencia térmica, disminuirá ligeramente con el tiempo, aunque la degradación del R se detiene una vez que se alcanza un equilibrio con el medio ambiente. Incluso después de este proceso, se estabilizó es muy alto el valor de R.
- La mayoría de las espumas requieren protección de la luz solar y disolventes.

- Es difícil reciclar algunas espumas en un edificio existente, por la estructura de las sustancias químicas y procesos implicados.<sup>37</sup>

### 1.4.2 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Hoy en día, el público está muy sensibilizado con los riesgos ligados a la contaminación, que se ve favorecida por la circulación de los automóviles y por el uso agrícola de productos fitosanitarios. La contaminación doméstica dentro de las habitaciones es objeto de preocupación y estudio, la intolerancia al aire acondicionado y el «síndrome del edificio enfermo» se observan sobre todo en el ámbito profesional; las radioemanaciones de los sótanos y de las escaleras mal ventilados, que favorecen el cáncer de pulmón, se producen por el radio existente en los basamentos geológicos de determinadas zonas; el material utilizado en las viviendas para aislamiento, poliuretano y tratamientos xiloprotectores de los armazones han provocado muchos trastornos, menores pero persistentes; monóxido de carbono e hidrocarburos aromáticos policíclicos cancerígenos, etc.

Cuando el poliuretano se quema produce un gas tóxico altamente mortal y contaminante. Estas pueden o no ser vistas como humo o vapores.

La importancia de estar consciente de este tipo de degradación se debe, en parte, a la falta de señales de alerta visibles de los productos químicos que pueden ser liberados durante estos procesos. En la mayoría de los casos ocurre una descomposición sin flama durante los procesos de trabajo industriales, que puede conducir a cuestiones de exposición de trabajadores.

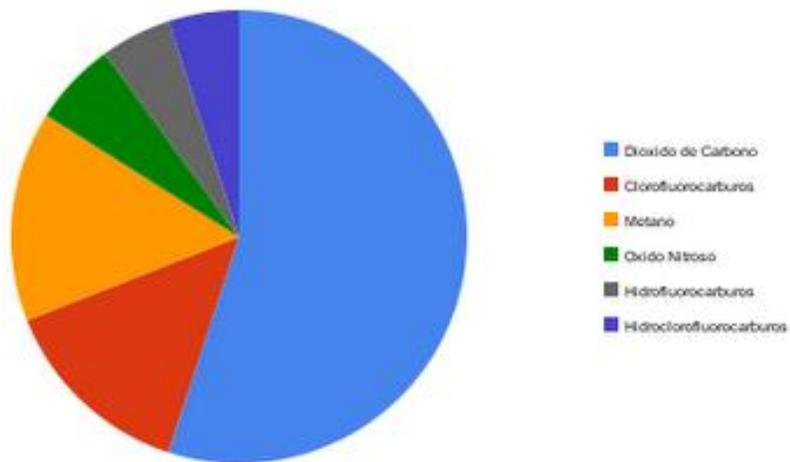


Imagen 31. Gases que afectan el efecto invernadero. Fuente: <http://hceccomurillo.blogspot.mx>

### CONTAMINACIÓN EN LA CAPA DE OZONO

El Poliuretano, hasta el año 96, utilizaba CFC como agente espumante siendo un gran riesgo para la Capa de Ozono. A partir de ese año, 1996, el Poliuretano se espuma con HCFC, que es un gas que tiene menor potencial de destrucción de la Capa de Ozono que el CFC y menor efecto invernadero, y a partir del año 2004 se espuma con HFC, gas

<sup>37</sup> Fuente: [http://www.paredestudio.com.ar/novedades/aislantes\\_muros\\_techos.html](http://www.paredestudio.com.ar/novedades/aislantes_muros_techos.html) Revisado Noviembre 2014

considerado completamente inerte por los vendedores de la espuma pero esto no es verdad.



Imagen 32. Aplicación de espuma de poliuretano. Fuente: <http://ecatepecdemorelos.olx.com.mx/impermeabilizaciones-termicas-en-un-dia-para-muchos-ano-aislapol-57706475-iiid-419655454>

Los hidrofluorocarburos (HFC) se emplean principalmente como refrigerantes, disolventes de limpieza y agentes para la fabricación de espumas; los perfluorocarburos (PFC) se utilizan en la fabricación de semiconductores, disolventes de limpieza y agentes para la fabricación de espumas, y el hexafluoruro de azufre, en los equipos de conmutación de alta tensión y la producción de magnesio. Para 2010, las emisiones de estos tres gases supondrán unos 98 millones de toneladas equivalentes de dióxido de carbono, lo cual representa entre un 2 y un 4 % de las emisiones totales de gases de efecto invernadero.

### 1.4.3 AGENTES CANCERIGENOS Y TÓXICOS

Prácticamente todos los carcinógenos ambientales actúan al irse acumulando lentamente en el organismo, mediante exposiciones de baja intensidad, pero muy prolongadas. El momento más propenso para hacerse de estas partículas es en el momento del esparido, puesto que minúsculas partículas vuelan hacia todas direcciones y se esparcen en el ambiente rápidamente. Y también cuando el material está deteriorado y muy próximo a nosotros.<sup>38</sup>

Las anilinas son un ejemplo característico. Estas sustancias químicas se eliminan por la orina y están implicadas en la génesis de algunos tipos de cáncer de vejiga, que es donde el producto se concentra y permanece en contacto con los tejidos durante más tiempo. Este fenómeno sucedía en los trabajadores de industrias que empleaban anilinas con profusión, como las fábricas de pinturas, antes de que se adoptaran medidas de salud laboral. Los tumores en la vejiga solo aparecen tras décadas de contacto diario con ellas y sólo en una pequeña parte de los trabajadores.

*Estos gases son extremadamente persistentes en la atmósfera, lo que significa que sus efectos perduran largo tiempo después de su emisión*

<sup>38</sup> Reglamento (CE) nº 842/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de mayo de 2006, sobre determinados gases fluorados de efecto invernadero.

Los efectos tóxicos de los isocianatos dependen de su volatilidad y concentración, por lo que son perjudiciales para la salud sobre todo en las vías respiratorias. En la mayoría de estos casos, causan alergias aunque sean pequeñas las cantidades de contaminantes inhaladas<sup>39</sup> van desde Asma bronquial, bronquitis crónica, rinitis, enfermedades pulmonares obstructiva crónica, conjuntivitis, urticaria eccema, fiebre.

Durante la combustión de productos de poliuretano puede ser emitido un rango de sustancias químicas aerotransportadas resultantes de la degradación térmica. Estas sustancias pueden incluir dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, ácido cianhídrico, isocianatos y aminas. La composición de estas sustancias químicas, puede variar cuando son emitidas en la forma de humo o vapores. La exposición a este tipo de sustancias puede causar irritación de los ojos y de las vías respiratorias con síntomas de escurrimiento en la nariz, ojos llorosos, tos, dolores de cabeza, mareos, náusea y falta de aliento. Los isocianatos y las aminas también pueden causar reacciones alérgicas (sensibilización) de la piel y los pulmones. Los trabajadores expuestos a la degradación térmica de poliuretanos pueden experimentar efectos en el momento de la exposición, o días después de ocurrida la exposición.<sup>40</sup>

#### 1.4.4 RECICLAJE. VIDA ÚTIL DE LA ESPUMA DE POLIURETANO Y DEGRADACIÓN

La espuma de poliuretano al estar sin protección en la intemperie se degrada aproximadamente 1-2mm cada año por la radiación ultravioleta. Tiene una vida útil de 50 años que depende de dos factores, el espesor aplicado y el coeficiente de conductividad térmica.

En la actualidad debido a la gran cantidad de residuos existentes el reciclado resulta necesario y de gran importancia. El 7 % de los residuos totales son plásticos pero debido a su volumen ocupan un 20 % del total de los mismos. Dentro de los residuos plásticos un 5 % de los mismos pertenece al poliuretano.

Dependiendo del tipo de espuma de poliuretano (propiedades y aplicación) y de factores de tipo económico, logístico, ecológico, se habla de tres tipos de técnicas de reciclado a emplear:

- **Reciclado mecánico:** Esta técnica no solo se aplica a los poliuretanos sino también a otros residuos como papel, goma. El porcentaje de contenido de residuo en el producto final es muy elevado (en muchos casos llega hasta un 90 %). El material resultante de esta técnica se emplea en: restauración de edificios antiguos (en el caso del PUR que proviene en origen de automóvil), muebles para

<sup>39</sup> ASEPEYO (Mutua de accidentes de trabajo). «Riesgo de exposición a isocianatos» Dirección de seguridad e Higiene, abril 2005.

<sup>40</sup> Technical Bulletin center for thw polyurethanes industry febrero 2008, <http://polyurethane.americanchemistry.com/Resources-and-Documents-Library/7077.pdf>

embarcaciones (ya que no les afecta el agua), alfombrado de gimnasios (debido a su elasticidad), muebles de cocina, este último en fase de investigación, etc.

contaminante que estos procesos traen al medio ambiente.

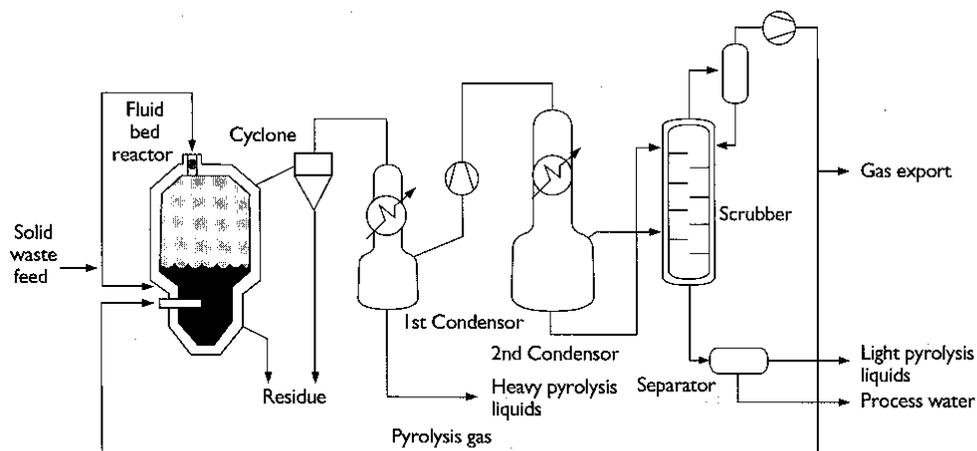


Imagen 33. Proceso Pyrolysis: consiste en aplicar calor bajo atmósfera inerte para dar lugar a hidrocarburos líquidos y gaseosos

- **Reciclado químico:** Este tipo de reciclado no se utiliza en grandes proporciones hoy en día. Las diferentes técnicas que están incluidas dentro del reciclado químico se basan en la aplicación de diversos procesos químicos y térmicos que rompen los materiales poliméricos en fracciones de bajo peso molecular. Las técnicas más empleadas son: hidrólisis, aminólisis, glicólisis, hidrogenación y gasificación.
- **Recuperación de energía mediante incineración:** La viabilidad de cada técnica depende del tipo de poliuretano, del uso posterior y de su coste. Si los materiales a reutilizar están contaminados se deben incinerar necesariamente con la carga

La incineración es la forma más efectiva de reducir los materiales orgánicos que de otra forma irían a parar a un vertedero. Sin embargo, tiene el problema de que en la misma se genera CO<sub>2</sub> perjudicial para el medio ambiente ya que es el responsable del

efecto invernadero. De todas formas, si la energía generada se emplea se evita el consumo de combustibles fósiles ayudando así a la conservación de los recursos naturales sin aumento adicional de las emisiones de CO<sub>2</sub> al medio. Esto es de gran importancia para la consecución del “desarrollo sostenible”.<sup>41</sup>

La espuma de poliuretano en efecto presenta muchas ventajas para la construcción y el aislamiento térmico, puede ahorrar gastos en climatización que son benéficos para el ahorro energético y el medio ambiente. Pero también en si tiene propiedades muy contaminantes, a la vez que contamina la capa de ozono en su aplicación. Causa también enfermedades sobre todo en las personas

<sup>41</sup> Reciclaje: Espuma de poliuretano. C. Magdalena. Verticalia®  
Recuperado de

[http://www.autoindustria.com/informacion/estudios/reciclaje\\_asientos.pdf](http://www.autoindustria.com/informacion/estudios/reciclaje_asientos.pdf)

que lo aplican y cuando es desechado al medio ambiente es un foco contaminante y difícilmente reciclable. Debemos buscar otros medios que resuelvan los problemas térmicos en lo más posible para reducir su aplicación explorando el uso de materiales más amigables con el medio ambiente.

“Necesito crear. Necesito hacer una obra nueva, original, fabricada con mis propias manos al aire libre. Y por eso la realizo. Hago arquitectura de la misma manera que un escultor hace esculturas, o un pintor pinturas. No necesito que una función concreta justifique lo que hago. La función para mi es la obra.”

Jacques Gillet<sup>1</sup>

## CAPITULO 2. ESTADO DEL ARTE

### 2.1 EJEMPLOS ACTUALES DE ARQUITECTURA ORGÁNICA EN FERROCEMENTO.

Se ha desarrollado un breve análisis de algunos ejemplos modernos de arquitectos que trabajan el ferrocemento para la arquitectura orgánica con una escala aproximada al proyecto de investigación, uno en cada región del planeta y que pueden ser muestra breve del estado actual del tema. Más que una lista de sus trabajos y evolución, se habla de su enfoque personal de diseño y sus aportaciones

#### 2.1.1 EUGENE TSUI (USA) <sup>2</sup>

Se centra en no sólo el diseño, sino también la puesta en práctica de la arquitectura basado en la naturaleza. “Tsui Diseño e Investigación” ofrece conceptos específicos para edificios, entornos ajardinados, espacios públicos de arte, centros urbanos con características necesarias para el ciudadano del siglo XXI. Su misión es resolver los desafíos de la sociedad moderna, utilizando las

lecciones que abundan en la naturaleza. Consideramos que estos desafíos como abundantes oportunidades creativas.

Beneficios ambientales: formas estructurales que se modelan después de que ocurren naturalmente fenómeno intrínsecamente. Sus construcciones resisten mejor terremotos, tsunamis, tifones y otros desastres naturales.

<sup>1</sup> PEARSON David (2002). Arquitectura Orgánica Moderna, BLUME. Página 94.

<sup>2</sup> <http://www.eugenetsui.com/> Página oficial de Eugene Tsui, Nov 2012

Una asociación benéfica, mientras tanto, se forma entre la humanidad y la naturaleza mediante la adopción de las estrategias exitosas. Las soluciones resultantes no sólo son superiores en función pero también son más armoniosas con la naturaleza.



Ecological Future House, BaoAn, Eugene Tsui, P.R.China



Watsu Center, Eugene Tsui, Middletown, CA

Imagen 1. Arquitectura de Eugene Tsui. Fuente: <http://www.tdrinc.com/eugene.html> febrero 2013

Lo que ahora es de vital importancia es la aplicación sensata e imaginativa de los principios de actuación de la naturaleza como modo de vida. La arquitectura es un instrumento.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> PEARSON David (2002). *Arquitectura Orgánica Moderna*, BLUME. Página 184.

“La arquitectura es la encarnación perdurable y eterna del legado de la dignidad humana. Es la expresión física significativa de lo más hondo y lo más elevado de las aspiraciones de la vida humana [...] La destrucción del planeta ilustra una enfermedad, cuya única cura estriba en la comprensión de una verdad sencilla y universal; solo es posible vivir de forma sana y completa en la presencia de la generosidad e inteligencia de la naturaleza.” *Eugene Tsui. Arquitectura Orgánica Moderna (2002)*

### 2.1.2 JAVIER SENOSIAIN (México)<sup>4</sup>

Visualiza a la arquitectura orgánica como el resultado de la búsqueda de crear espacios adaptados al hombre, semejantes al seno materno o a las mismas guaridas de los animales, proporcionando una armonía entre hombre, naturaleza y necesidades físicas y psicológicas-.

“El ser humano no debe desprenderse de sus impulsos primigenios, de su ser biológico. Debe recordar que el mismo proviene de un principio natural y que la búsqueda de su morada no puede

<sup>4</sup> <http://www.arquitecturaorganica.com/inicio.html> Página oficial de Javier Senosiain, Nov 2012

desligarse de sus raíces; es decir, debe evitar que su hábitat sea antinatural”.<sup>5</sup>

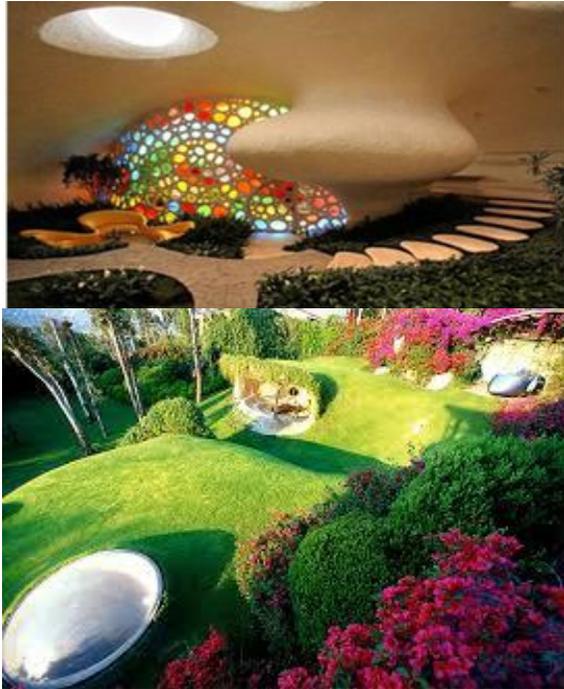


Imagen 2. Javier Senosiain. Casa Nautilus, México 2006 y casa orgánica 1984

Un edificio debe ser un espacio que se adapte a las personas y que este en armonía con el entorno. “Una casa debe contener espacios integrados continuos y amplios, que liberen las formas; la luz, estratégicamente colocada, debe seguir el ritmo natural de los movimientos de las personas; y el mobiliario, empotrado de forma íntegra, ha de facilitar la circulación y hacer el mejor uso posible del espacio. Un jardín puede cubrir la casa, pues sus dunas verdes e inclinadas invitan al descanso y a la meditación, además permiten que los niños se deslicen por ellas en una unión lúdica con el espacio.

<sup>5</sup> SENOSIAIN Javier,(2007). Bioarquitectura, México, Editorial Noriega.

Las casas se vuelven casi invisibles, escondidas bajo los jardines, siendo el césped, los arbustos, los árboles y las flores los que llaman la atención”.<sup>6</sup>

### 2.1.3 MARIO MOSCOSO (Bolivia)<sup>7</sup>

La arquitectura orgánica y Bioarquitectura es la boda de armonía entre fenómenos naturales con nuestras sensaciones y necesidades como seres humanos. *Javier Senosiain*

En la arquitectura para crear estos espacios, tenemos que tomar en cuenta que somos organismos vivos y considerar todo lo que nos rodea, se mueve y cambia, como las energías y sensaciones, clima, luz, forma.



Imagen 3. Casa Viva. Mario Moscoso. Bolivia Fuente: <http://espacio-blanco.com/2010/04/la-arquitectura-organica-de-mario-moscoso/> Febrero 2013

“Ha logrado captar todo lo que el ferrocemento puede incorporar a la arquitectura, realizando

<sup>6</sup> PEARSON David (2002). Arquitectura Orgánica Moderna, BLUME. Página 191.

<sup>7</sup> <http://www.moscosoarquitectura.com.bo/> Página oficial de Mario Moscoso, Nov 2012

diseños que están dentro de la corriente de la arquitectura orgánica sin dejar de considerar aspectos estructurales al utilizar láminas de doble curvatura que optimizan la resistencia y reducen los volúmenes de materiales a utilizar y por consiguiente su costo.”<sup>8</sup>

“Al andar por nuestras ciudades deberíamos ver todas las edificaciones con muros verdes de vegetación, pieles que respiran y que tienen alma propia”, anhela Mario Moscoso.

Es una representación de espacios, formas y volúmenes que correspondan a las actividades del ser humano, usas elementos complementarios del bioclimatismo, iluminación e integración al contexto, disipar el calor, etc., y todo esto con sistemas estructurales simples que correspondan a formas semejantes de organismos vivos.

#### 2.1.4 EISAKU USHIDA (Japón) Y KATHRYN FINDLAY (Inglaterra).<sup>9</sup>

Su enfoque consiste en centrarse en las aspiraciones del cliente y la elaboración de una solución de diseño para realizarlos. Crean que la singularidad del proyecto crea la magia de la arquitectura. Son una asociación de dos culturas: japonesa y británica, estando así familiarizados con su entorno, esta dualidad forma la base de su trabajo, les proporciono una perspectiva objetiva y crítica hacia las convenciones sociales. A través de este entendimiento, su trabajo evoluciono con las nuevas tecnologías de diseño digital y el arte

indígena, el clima y la cultura como generadores para el diseño y métodos, prácticas de construcción.

“Las condiciones que rodean a la arquitectura urbana ejercen un efecto especialmente subversivo sobre el concepto mismo de la arquitectura. Los proyectistas y los clientes siguen produciendo y obteniendo entornos residenciales cada vez más opresivos y faltos de inspiración, que son poco más que un conjunto de productos industriales y proyectos en existencia.



Imagen 4. Ushida. Truss Wall House, Tokio, Japón.



Imagen 5. Kasahara Culture and Amenity Hall, Gifu Prefecture, Japan Fuente:<http://www.ushida-findlay.com/> Noviembre 2014

<sup>8</sup> WAINSHOTOK Dr. Hugo (2010). Ferrocemento. Construcción y diseño. La Faorika.4ª. Edición. Ecuador. Pag.274.

<sup>9</sup> <http://www.ushida-findlay.com/> Página oficial de Mario Moscoso, Dic 2012

La tendencia global hacia una sociedad, una cultura y una tecnología sin fronteras ha conllevado una necesidad apremiante de volver a examinar cómo habitamos en nuestro medio ambiente compartido, libres de prácticas nacionales disciplinarias y restrictivas. Es necesario volver a evaluar las nociones recibidas sobre lo que es arquitectura, y desarrollar un sistema abierto en el que incorporar las distintas disciplinas en lugar de dividir las, de tal modo que la arquitectura, el paisaje y la escultura puedan intercambiar información en busca de una visión más amplia del espacio.”<sup>10</sup>

Su arquitectura se basa en la topografía natural y en la social. El desarrollo urbano a gran escala nos ha sustraído la conciencia de cómo se entendía antes la relación con la tierra. No siguieron simplemente un regreso a las tradiciones, sino que proponen que se corrijan los errores derivados de esta falta de prevención en el pasado a través de una especie de perspectiva diacrónica: volviendo a evaluar la relación del hombre con su entorno.

## 2.2 FERROCEMENTO HOY

La arquitectura orgánica es un manifiesto a favor de una manera de construir que al tiempo que resulta agradable desde el punto de vista estético entabla un diálogo adecuado con el entorno.

Las formas orgánicas surgen de las cualidades de los materiales de construcción elegidos. Estas dictan la forma óptima e ideal, así como el tipo de estructura. Los materiales tradicionales son celebres en las construcciones orgánicas y en la actualidad nuevos materiales ofrecen oportunidades inéditas para la innovación estructural.

Hoy en día también es importante que los materiales sean saludables, sanos desde el punto de vista ecológico y deben constituir un recurso eficaz.

La arquitectura orgánica permite que los materiales se expresen y su espíritu surge de las cualidades internas de éstos.

En este capítulo se resumen algunos desarrollos actuales para el uso del ferrocemento. La mayoría de estos están pensados para usarse en paneles planos de ferrocemento, pero estos ejemplos están enfocados en el aislamiento térmico, de allí su importancia para la presente tesis.

### 2.2.1 USO DE FIBRA DE COCO PARA CONDUCTIVIDAD TERMICA EN PANELES DE FERROCEMENTO, OAXACA, MÉX.<sup>11</sup>

Este estudio evalúa el uso potencial de la fibra de coco como relleno aislante térmico para paredes de paneles de ferrocemento en la

---

<sup>10</sup> PEARSON David (2002). *Arquitectura Orgánica Moderna*, BLUME. Página 149.

<sup>11</sup> *Construction and Building Materials*, Volume 37, December 2012, Pages 425-431 ( R. Alavez-Ramirez, F. Chiñas-Castillo, V.J. Morales-Dominguez, M. Ortiz-Guzman)

configuración de emparedado de las escuelas y los techos de las casas "en Puerto Escondido, Oaxaca, México.

Mediciones de conductividad térmica se realizaron para comparar el comportamiento térmico de paredes de paneles de ferrocemento rellenas con fibra de coco con otros materiales de construcción típicos de la región, ladrillo de arcilla roja, bloque hueco de hormigón y muros de hormigón ligeros paneles de ladrillo son 0,93, 0,683 y 0,536 W / m<sup>2</sup> K, respectivamente. La conductividad térmica de la configuración propuesta es 0,221 W / m K y que es menor que los materiales típicos utilizados para las casas de esta región.

Hoy en día los paneles de ferrocemento sándwich están atrayendo la atención en la producción de componentes de construcción para proporcionar un método económico de resolver los requisitos estructurales y de aislamiento térmico. Las caras del panel sándwich proporcionan protección al material de núcleo y resisten las cargas impuestas que actúan como elementos de compresión y tensión concreta en el modo de fallo dúctil reducen el peso y aumentan la resistencia a la flexión ya la compresión. Tienen desarrollado a base de bambú elementos de ferrocemento losa, techos/ suelos en viviendas de bajo costo con buenas propiedades mecánicas y de peso ligero.

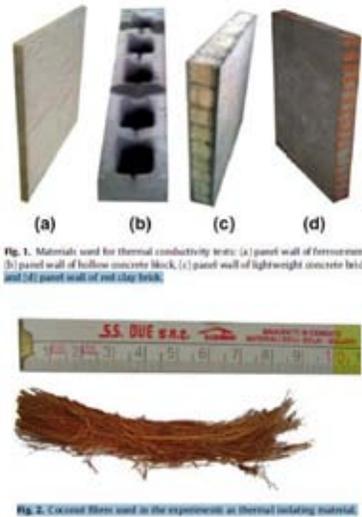


Imagen 7. Comparación del panel de fibra de coco y varios materiales así como dimensiones de la fibra.



Fig. 4. (a) Coconut fiber period in the wood form and (b) mortar reinforced coconut fiber ferrocement panel in sandwich configuration.

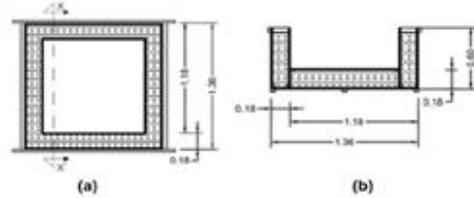


Fig. 5. The plate apparatus for thermal conductivity tests. (a) top view and (b) front view.

Imagen 6. Paneles de ferrocemento rellenos de fibra de coco.

Para la configuración de ferrocemento tipo sándwich de un marco de caja de madera de 1x1 m y espesor de 0,15 m fue construido y montado en la parte superior de un panel de ferrocemento (0,025 m de espesor). A continuación, la fibra de coco previamente trabajada se introdujeren el espacio de la caja de madera y después de que un segundo panel de ferrocemento (0,025 m de espesor) se coloca en la parte superior para obtener el panel. Finalmente, ferrocemento con dos capas de malla, fueron probados después de 28 días.

Se advierte que la pérdida de fibra de coco 73,4% de la agua durante los primeros 5 días expuesto al sol (promedio de 28°C temperatura ambiente) y después de 5 h en el horno a 45° C más 13° para un total de 86,4%. Así, la fibra de coco usado para el panel paredes permanece con un 13,6%.

El secado adicional de fibra de coco hasta que el cambio en la

masa entre los sucesivos peso era inferior a 0,1%, a un valor de humedad del 3,04%. Se debe enfatizar que las paredes del panel de ferrocemento en tipo sándwich rellenos de fibra de coco proporciona la protección suficiente para minimizar las preocupaciones de humedad ya que la fibra de coco estará entre las paredes de ferrocemento. De la misma manera, mientras que los autores de este documento son conscientes del cambio en los valores de conductividad térmica con la temperatura, se debe mencionar que este estudio de conductividad térmica se centra en las condiciones típicas de tejado en la zona de estudio.

### 2.2.2 FERROCEMENTO CON FIBRAS DE COCO

Se pueden fabricar pequeños artefactos de ferrocemento sustituyendo la malla de alambre por fibra de coco. En algunas regiones este material es abundante y resulta más económico. La fibra de coco sólo debe ser lavada previamente para eliminar las impurezas que pudiera contener. Se lo ha empleado en la industria automotriz con buenos resultados. Se hace un armado de un panel 120 por 45cm y de 2 cm de espesor de 120 cm de largo por 45 cm de ancho. El llenado del molde se puede realizar directamente sobre el piso (liso y a nivel) o empleando una mesa de trabajo, para que el material no se adhiera, El molde se puede montar sobre papel de diario o una película de polietileno.

- PREPARACIÓN DEL CEMENTO: Mezcle 5 kg de cemento, 15 litros de arena (se calcula usando un balde de 5 o 10 litros) y

aproximadamente 3,5 litros de agua. El resultado es una argamasa (mezcla) casi seca.

- ARMADO: Con la ayuda de una cuchara de albañil coloque, una capa fina de material dentro del molde y a continuación coloque una capa uniforme de fibra de coco (100 gramos) cubriendo toda la superficie. Pase un rodillo “duro” sobre la capa de fibras para que estas penetren en la mezcla o argamasa. Un rodillo pintor en desuso puede servir si se lo envuelve con una cinta adhesiva.

- Tolerancia de los espesores: +10% /-0%.
- Conductividad térmica: 0,043 a 0,045W/mk.
- Reducción de los ruidos de percusión (de acuerdo con los espesores): 25 a 35 db (en forjado).
- Reducción de ruidos aéreos: 47 db (en media).
- Comportamiento al fuego: clase B2

Separe un poco de mezcla y échelo un poco de agua para hacerla más líquida. Vuelque esta argamasa sobre las fibras, lo suficiente para garantizar una buena adherencia de las fibras con el resto del material. Complete el llenado con el resto de la argamasa de consistencia más seca, (superando un poco los bordes del molde).

Finalmente, con un listón de madera apoyado en los bordes del molde, alise la superficie retirando a la vez el material sobrante. Espolvoree cemento seco sobre la superficie y alíselo con la cuchara.

Esto brinda una mejor terminación. Deje secar y desmolde. Si fuera necesario, retoque los bordes con la cuchara para mejorar su terminación.

**Ventajas:** No electrostática, Inodora. Resistente a la humedad - amplia difusión. No atacable por roedores o termitas. Imputrescible, no produce hongos. Difusión del vapor de agua (DIN).

### 2.2.3 FERROCEMENTO CON BARRO Y VARAS DE BAMBÚ.<sup>12</sup>



Imagen 8. Ferrocemento con barro y varas de bambú, estructura.

Aunque no usa los materiales mencionados en el apartado del ferrocemento (metales en varillas y mallas), el barro cumple la función estructural del mortero, y el bambú de la varilla y malla. Y es un digno ejemplo del uso de la imaginación, materiales locales y reciclados para crear un espacio que cumpla todas las condiciones de sustentabilidad, termicidad y habitabilidad.



Imagen 9. Ferrocemento con barro y varas de bambú, estructura.

### 2.2.4 DURABILIDAD DE POLIMEROS Y CENIZAS VOLANTES MODIFICANDO EL FERROCEMENTO (Durability of Polymer and Fly Ash Modified Ferro Cement)<sup>13</sup>

El objetivo de este trabajo es determinar y comparar la durabilidad de ferrocemento modificado con polímeros con ceniza volante elementos de cemento modificados Ferro. Para el estudio de la permeabilidad de mortero de cemento, 12 cilindros de 100 mm de altura y 50 mm de diámetro fueron emitidos. Además de estudiar el comportamiento de la corrosión de la armadura de malla, 36 prismas de tamaño de 300 mm de largo, 50 mm de ancho y 25 mm de espesor fueron emitidos variando el número de capas de malla. Para acelerar la corrosión se aplicó un proceso de

<sup>12</sup> <http://quierobarro.blogspot.com.ar/> dic 2012

<sup>13</sup> DURABILITY OF POLYMER AND FLY ASH MODIFIED FERRO CEMENT ELEMENTS, V Bhikshma, Ravandekishore and R.Srinivas, Department of Civil Engineering, University College of Engineering Osmania University Hyderabad, India. "The Twelfth East Asia-

Pacific Conference on Structural Engineering and Construction. SCIENCE DIRECT

corriente impresa y se monitoreo el proceso de corrosión de manera continua. El comportamiento de la corrosión en cemento convencional se compara con la del polímero de Ferrocemento y cenizas volantes de cemento modificado Ferro. A partir de los resultados, la propiedad de inhibir la corrosión de las cenizas volantes y el polímero Ferrocemento se mejora notablemente con un incremento del 0% al 30% de cenizas volantes, 0% a 12,5% de polímero y disminuir con superficie específica de refuerzo.

### **2.2.5 MATRICES DE CEMENTO DE ALTA RESISTENCIA PARA APLICACIONES DE FERROCEMENTO (Flowable high strength cementitious matrices for ferrocement applications<sup>14</sup>).**

Se llevó a cabo el desarrollo de matrices de cemento de alta resistencia para la emisión del ferrocemento laminados ideal para la reparación estructural y modificación en el. Los desarrollados matrices de alta resistencia de mortero contienen diversas combinaciones de humo de sílice y cenizas volantes, y proporcionan un buen equilibrio entre la fluidez y la resistencia. Las matrices desarrolladas tenían una gama 28-días resistencia a la compresión desde 48 hasta 64 MPa, con un rango de flujo correspondiente a partir de 129% a 138%.

El mortero de alta resistencia desarrollado se utilizó en la producción de chaquetas de

ferrocemento para talones cilíndricos para examinar su rendimiento y eficiencia cuando los talones están sometidos a cargas axiales. El ferrocemento desarrollado una alta resistencia, parece proporcionar un aumento apreciable en la capacidad de carga, de confinamiento lateral y ductilidad. En términos de eficiencia ferrocemento, los talones de envuelta con los laminados que contienen 2 y 4 capas de mallas de alambre soldadas, WWM, mostró aproximadamente 16% y 29% de aumento en la tensión axial, respectivamente, con un aumento correspondiente en deformación axial de aproximadamente 32% y 70% respectivamente.

El ferrocemento de alta resistencia laminados que contiene un número determinado de mallas de alambre soldado puede ser considerado prometedor.

### **2.2.6 COMPOSICIÓN DE MORTEROS ESTRUCTURALES LIGEROS (Light structural mortar compositions<sup>15</sup>)**

Una composición de mortero ligero estructural para su uso en ferro-cemento sistemas constructivos que comprenden:

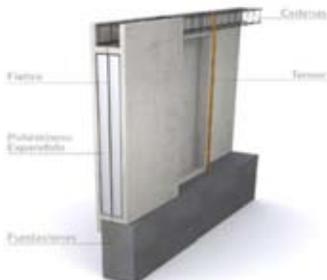
- Anhídrita sintética tipo II de 80% a 95% en peso;
- Hidróxido de calcio a partir de 2% a 6% en peso; cargas ligeras que pesan menos de 1700

<sup>14</sup> Flowable high strength cementitious matrices for ferrocement applications. M.J. Shannag †, S.M. Mourad. Department of Civil Engineering, King Saud University, P.O. Box 800, Riyadh 11421, Saudi Arabia. CONSTRUCCIÓN AND BUILDING MATERIALS

<sup>15</sup> MORALES Rodrigo Lobo, O´Farrill González Patricio Miguel, (PAT) LIGHT STRUCTURAL MORTAR COMPOSITIONS, Monterrey,Mx, .US 8092 591b2 – Jan 10, 2012.

kg por metro cúbico seco desde 4% a 20% en peso, y;

- Aditivos solubles de 0,05% a 10% en peso.



Cementos BioBlo Innovación regional en sistemas constructivos. Ferrocemento.

**Imagen 10. Sistema estructural BioBlo para ferrocemento**

Tales composiciones pueden ser útiles para aplicación en ferrocemento sistemas constructivos a fin de proporcionar características térmicas, acústicas y anti-sísmica deseables para el revestimiento de paredes interiores y exteriores y los techos / tejados, como una sustitución de base de cemento de mortero.

Esta invención se refiere a una fórmula y procedimiento para producir un mortero ligero estructural que contiene cargas ligeras, anhídrita sintética tipo II y aditivos. Esto sería usado en sistemas de construcción de ferrocemento, térmicas,

acústicas y anti-sísmica, así como un revestimiento sobre las paredes interiores y exteriores y techos / tejados en sustitución de morteros a base de cemento, lo que ayuda a prevenir el calentamiento global.

Este mortero estructural es un sustituto excepcional de base de cemento Pórtland y cargas mortero de cal y sílice, debido a su alta estabilidad dimensional, ya que no tiene la expansión o contracción apreciable con los cambios de temperatura, eliminando así la aparición de grietas debido a la temperatura y pérdida en el volumen. Esta invención también proporciona métodos para la fabricación, la fórmula utilizada y métodos mencionados para el uso y / o la utilización de los componentes.

**2.2.7 Indicadores económicos y ecológicos para las inversiones de construcción de aislamiento térmico. (Economic and ecological indicators for thermal insulating building investments <sup>16</sup>)**

Una gran cantidad de energía final en Europa se utiliza en edificios (aproximadamente 50%). Inversiones Termo aislantes en el sector de la construcción puede tener un gran impacto en la mejora de la eficiencia energética de los edificios y la reducción del uso de energía final en este sector.

Para la evaluación ecológica de los siguientes indicadores fueron introducidos los siguientes terminos: ecológico valor presente neto,

<sup>16</sup> DYLEWSKIA, Janusz Adamczyk, Robert (2012) Economic and ecological indicators for thermal insulating building investments, Faculty of Mathematics, Computer Science and Econometrics, University of Zielona Góra, ul. Licealna

9, 65-417 Zielona Góra, Poland Y Faculty of Economics and Management, University of Zielona Góra, ul. Licealna 9, 65-417 Zielona Góra, Poland, ENERGY AND BUILDINGS

indicando la rentabilidad y el periodo de recuperación ecológica. LCA técnica fue utilizada en los indicadores ecológicos. Para las diferentes variantes de las paredes externas, fuentes de calor y materiales aislantes térmicos, la evaluación de las inversiones debido a los indicadores económicos y ecológicos se llevó a cabo. Ecológicos plazos de recuperación se obtuvieron dentro de 0-6 años.

Para la inversión basada en el aislamiento térmico de las paredes externas del edificio, es posible definir los valores económicos como el valor actual neto (VAN), el indicador de rentabilidad (PI) y el periodo de recuperación (T). Todos esos indicadores sustancialmente dependen de los parámetros de material termo aislante (costo de la compra, el costo de ensamblaje, el grosor y el coeficiente de conducción de calor), pero también del tipo de una fuente de calor (coste de obtención de calor para calefacción, aumento real anual de costes de calefacción), así como los parámetros de pared (coeficiente de transferencia de calor sin aislamiento térmico).

En la mayoría de las variantes analizadas la inversión descrita es rentable. En caso de un mayor coste de obtención de calor para calefacción y resistencia al calor pequeño de la pared sin aislamiento térmico, en los casos analizados de rentabilidad puede ser incluso más de 20 y periodo de recuperación hasta 2 años. Es importante observar que para cada caso el valor actual de la inversión es mayor para el espesor óptimo del aislamiento térmico, para el cual el coeficiente de transferencia de calor de la pared con aislamiento térmico es mucho más pequeña (en: 0.08-0.19 W /

m<sup>2</sup> K) que el requerido con la regulación 0,30 W/m<sup>2</sup> K.



"[...] Observe(n) que en toda la propaganda de los ecologistas -entre todas sus apelaciones a la naturaleza y llamados a la armonía con la naturaleza- no hay discusión de las necesidades del hombre y de los requerimientos para su supervivencia. El hombre es tratado como si él fuese un fenómeno no natural. El hombre no puede sobrevivir en la clase de estado de la naturaleza que los ecologistas imaginan, es decir, al nivel de los erizos de mar u osos polares..." **Ayn Rand**<sup>1</sup>

## CAPITULO 3. REGLAMENTOS

Ya que en México no se cuenta con un reglamento exclusivo para el uso de ferrocemento se analizaron los reglamentos vigentes en otros países que si cuentan con ellos como es el caso de Cuba y Perú. A continuación se detallan puntos importantes

de la Norma Cubana, la cual es la más completa. Y al final del capítulo se habla de las normas aplicables en México sobre prestaciones térmicas de los productos y capacidades mecánicas.

### 3.1 MORTEROS, CONSIDERACIONES.

Dentro de las prestaciones que ofrece un mortero debemos distinguir dos etapas diferenciadas por su estado físico, que se denominan **estado fresco** (mortero una vez mezclado y amasado) y **estado endurecido**. Su duración varía de acuerdo con el tiempo de fraguado requerido por la proporción que integra la mezcla, así como por la temperatura, humedad, etc. En esta etapa el mortero es plástico y trabajable, lo que permite su puesta en obra. Superada esta fase el mortero endurece hasta

Las propiedades en estado endurecido son estipuladas por las prescripciones de proyecto y por el cumplimiento de las exigencias normativas y reglamentarias. Por consiguiente, estas propiedades competen fundamentalmente a la figura del arquitecto o prescriptor.

<sup>1</sup> Rand Ayn (1995). *The New Left: The Anti-Industrial Revolution*. Ed. Meridian

consolidarse. Por ello, es preciso diferenciar diversas propiedades y exigencias en función del estado en que se encuentre el mortero.

Las propiedades relativas al estado fresco se relacionan con la puesta en obra e influirán principalmente en el rendimiento y la calidad de la ejecución. Los requisitos derivados responden a las exigencias del constructor y operarios.

Las propiedades del estado fresco son determinantes, pues influirán en gran medida en las prestaciones finales que ofrecerá el mortero. Es necesario subrayar que las características de los morteros, tanto en estado fresco como endurecido, dependen lógicamente de su aplicación de destino, de acuerdo con la clasificación reflejada anteriormente.

### 3.1.1 CONSISTENCIA

La consistencia se determina por la mesa de sacudidas, de acuerdo al procedimiento de la Norma Europea UNE-EN 1015-3.

Define la manejabilidad o trabajabilidad del mismo. La consistencia adecuada se consigue en obra mediante la adición de cierta cantidad de agua que varía en función de la granulometría del mortero, cantidad de finos, empleo de aditivos, absorción de agua de la base sobre la que se aplica, así como de las condiciones ambientales, gusto de los operarios que lo utilizan, etc. La trabajabilidad mejora con la adición de cal, plastificantes o aireantes.

La **trabajabilidad** se logra con morteros de consistencia plástica, que permiten a la pasta conglomerante bañar la superficie del árido. En los otros casos se forman morteros excesivamente secos no trabajables; o bien, muy fluidos con tendencia a la segregación.

Puesto que la consistencia se adquiere mediante adición de agua a la masa de arena y conglomerante, esta propiedad se relaciona directamente con la proporción agua/cemento, crucial para el completo desarrollo de las propiedades resistentes del mortero.

El exceso de agua produce frecuentemente la exudación, fenómeno por el que el agua de la parte inferior se mueve hacia arriba especialmente cuando la granulometría tiene gran porcentaje de árido grueso que se deposita en la parte inferior. El resultado es una mezcla no homogénea con una posible merma en las propiedades finales del mortero endurecido.

### 3.1.2 TIEMPO DE UTILIZACIÓN O TRABAJABILIDAD (tiempo de uso)

Es el tiempo durante el cual un mortero posee la suficiente trabajabilidad para ser utilizado sin adición posterior de agua con el fin de contrarrestar los efectos de endurecimiento por el principio del fraguado. Se determina conforme al procedimiento operativo de la Norma Europea UNE-EN 1015-9. Responde al tiempo en minutos a partir del cual un mortero alcanza un límite definido de resistencia a ser penetrado con una sonda, referenciada en la citada norma. Todas las características del mortero en estado fresco han de mantenerse durante este tiempo.

### 3.1.3 TIEMPO ABIERTO

Es un concepto principalmente referido a los morteros cola. En estos materiales se define como el intervalo máximo de tiempo en que puede efectuarse el acabado transcurrido desde su aplicación. Es decir, consiste en el tiempo de espera admisible desde que se aplica el producto hasta colocar las piezas a adherir al soporte sin que se produzca una merma en su poder adhesivo. Se mide conforme al procedimiento de la norma UNE-EN-1346.

### 3.1.4 DENSIDAD

La densidad del mortero está directamente relacionada con la de sus materiales componentes, así como con su contenido en aire. La densidad del mortero fresco se determina conforme a la Norma Europea UNE-EN 1015-6.



Imagen 1. Medición de la densidad en estado fresco

Los morteros ligeros son más trabajables a largo plazo. Para fabricar un mortero ligero pueden usarse áridos artificiales ligeros (arcilla expandida) o, más comúnmente añadir aditivos aireantes. Se

clasifican como morteros ligeros aquellos cuya densidad es igual o menor que 1.300 kg/m<sup>3</sup>.

### 3.1.5 ADHERENCIA (en estado fresco)

La adherencia (adhesión si atendemos a su fundamento físico) se considera tanto en el mortero fresco como en el endurecido, aunque por distintas causas. Consiste en la capacidad del mortero para absorber tensiones normales o tangenciales a la superficie de la interface mortero-base. Se refiere, por tanto, a la resistencia a la separación del mortero sobre su soporte.

La adherencia del mortero fresco es debida a las propiedades reológicas de la pasta del conglomerante, donde la tensión superficial de la masa del mortero fresco es el factor clave para desarrollar este tipo de característica.

La adherencia, antes de que el mortero endurezca, se incrementa cuanto mayor es la proporción del conglomerante o la cantidad de finos arcillosos. Sin embargo, el exceso de estos componentes puede perjudicar otras propiedades

### 3.1.6 CONTENIDO DE IONES DE CLORURO

La presencia de iones cloruro, solubles en el agua de amasado del mortero, puede influir en el

proceso de corrosión en el caso de existir armaduras, así como en la aparición de eflorescencias. Por consiguiente, es necesario determinar su contenido para los morteros armados, conforme a la Norma Europea UNE-EN 1015-17 o experimentalmente. En esos casos la Norma UNE-EN 998-2 establece que el contenido de estos cloruros no superará el 0,1% de la masa de la muestra en seco tomada según el procedimiento operatorio de la norma UNE-EN 1015-2.

Al aplicar un mortero sobre un soporte es fundamental que éste se encuentre humedecido para que no capture el agua de amasado retenida por el mortero. De este modo se reduce la succión que el soporte realiza sobre el mortero en estado fresco.

Otro factor que favorece este «robo» de agua al mortero proviene de los agentes externos (temperaturas elevadas, viento, etc.). Ante estos casos es recomendable reponer el agua sustraída, mediante el curado del mortero en su proceso de fraguado.

### **3.1.7 CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA**

De esta propiedad depende la trabajabilidad del mortero fresco. La retención de agua se haya íntimamente relacionada con la superficie específica de las partículas de árido fino, así como con conglomerante y, en general, con la viscosidad de la

pasta. Un mortero tiende a conservar el agua precisa para hidratar la superficie de las partículas del conglomerante y árido, así como las burbujas de aire ocluido. El agua que tenga en exceso la cederá fácilmente por succión del soporte sobre el que se aplica.

La retención de agua influye en el grado de hidratación del conglomerante, lo que determinará el ritmo de endurecimiento del mortero.

Esta propiedad se mide conforme a la capacidad humectante en los morteros cola según se define en la norma UNE-EN 1347.

Un mortero bien dosificado y amasado puede llegar a desprenderse y no adquirir resistencia ni adherencia por falta de hidratación del cemento, si no se consideran estos factores.

Las propiedades del mortero fresco influirán enormemente en su comportamiento una vez esté endurecido.

### **3.1.8 CARACTERÍSTICAS DEL MORTERO ENDURECIDO**

La prescripción de los morteros a emplear en obra debe considerar las acciones mecánicas previstas en el proyecto, que no alcanzarán su estado límite de agotamiento. Además, deben estimarse las

acciones ambientales de tipo físico o químico que puedan deteriorar el material o reduzcan su tiempo útil.

Desde su colocación existen una serie de factores que tienden a destruir el mortero. La durabilidad es la resistencia del mortero al ataque de un conjunto de agentes, tanto propios de la ejecución, como de su vida, que alteran sus condiciones físicas con el tiempo. De estas exigencias nace el estudio de las propiedades del mortero en estado endurecido



Imagen 2. Izquierda: Prensa para ensayos mecánicos. Centro: Ensayo de flexión. Derecha: Ensayo de compresión

### 3.1.9 RESISTENCIA MECÁNICA.

El mortero en la mayor parte de sus aplicaciones debe actuar como elemento de unión resistente compartiendo las sollicitaciones del sistema constructivo del que forma parte. El mortero utilizado en juntas debe soportar inicialmente las sucesivas hiladas de ladrillos o bloques. Luego, la resistencia del mortero influirá, por ejemplo, en la capacidad de una fábrica para soportar y transmitir las cargas a las que se ve sometida. Así mismo, el mortero para solados resistirá el peso de personas y enseres que se asienten sobre él.

normalizadas UNE-EN 1015-11. Los morteros se designan según su resistencia a compresión a esta edad, medida en N/mm<sup>2</sup> anteponiéndoles la letra M.

La Norma UNE-EN 998-2 establece designaciones características en función de unas resistencias tipificadas que sustituyen a las denominaciones tradicionales (en kp/cm<sup>2</sup>). En el cuadro siguiente se reflejan ambas nomenclaturas según la resistencia a compresión.

Resistencia a compresión kp/cm <sup>2</sup>	10	20		40		60	80	100		160	200	
Antigua designación	M-10	M-20		M-40		M-60	M-80	M-100		M-160	M-200	
Resistencia a compresión N/mm <sup>2</sup>	1		2,5		5			10	15		20	d**
Nueva designación UNE-EN 998-2	M-1	*	M-2,5	*	M-5	*	*	M-10	*	*	M-20	M <sub>d</sub>

\* Sin correspondencia.

\*\* d es una resistencia a compresión mayor de 25 N/mm<sup>2</sup>.

Tabla 1. Comparativo de designaciones de morteros en función de su resistencia.

Las resistencias a compresión y flexión del mortero se obtienen conforme a los resultados del ensayo de probetas prismáticas de 40x40x160 mm de 28 días de edad, conservadas en laboratorio según condiciones

### 3.1.10 ADHERENCIA (estado endurecido)

La adherencia se basa en la resistencia a tracción de la unión entre un mortero y un soporte

definido. Resulta especialmente importante en morteros para revocos y morteros cola.

Esta propiedad se determina por un ensayo de arrancamiento directo perpendicular a la superficie del mortero. El procedimiento operatorio de medida para los morteros de albañilería está definido por la Norma Europea UNE-EN 1015-12. En el caso de los morteros cola queda reflejado en la Norma UNE-EN 1348.

Depende de tres aspectos fundamentales:

- el mortero.
- el soporte y su preparación.
- la forma de aplicación.

Constituye una propiedad fundamental pues determina la unión solidaria entre las piezas o partes unidas influyendo en la resistencia del conjunto de, por ejemplo, una fábrica. Así mismo, una baja adherencia puede causar desprendimientos de las piezas de revestimientos interiores o exteriores fijadas por el mortero. En el caso de revocos los desprendimientos del mortero ocasionan la desprotección de la fachada.

### 3.1.11 RETRACCIÓN

La retracción es una contracción que experimenta el mortero por disminución de volumen durante el proceso de fraguado y principio de endurecimiento. Dicha retracción es provocada por la pérdida de agua sobrante tras la hidratación del mortero.

Se ha demostrado que las retracciones son más elevadas cuanto más rico en cemento y elementos finos son los morteros. También se ha

observado que la retracción aumenta cuanto mayor es la cantidad de agua de amasado.



**Imagen 3. Fisuración por retracción plástica**

Distinguiremos tres tipos de retracción: plástica, hidráulica o de secado y térmica.

La retracción se identifica por la característica fisuración errática aparecida en la superficie del mortero. Si es muy acusada puede afectar a la impermeabilidad al dejar abiertas vías de penetración del agua

### 3.1.12 ABSORCIÓN DE AGUA.

Afecta a los morteros que quedan expuestos directamente a la lluvia. Su importancia radica en que la absorción determina la permeabilidad de un enfoscado o del mortero que forma las juntas de una fábrica. Si el mortero es permeable al agua, transmitirá ésta hacia el interior originando la consiguiente aparición de humedades por filtración. Además, con la succión del agua exterior se favorece el tránsito de partículas o componentes no

deseables para la durabilidad del conjunto constructivo, como en el caso de las eflorescencias.

Según la NBE-CPI-96 los morteros son clasificados en la clase menos peligrosa M0 que indica que un material no es combustible ante la acción térmica.

### 3.1.13 COMPORTAMIENTO TÉRMICO

Tipo	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (Kcal/hm°C)	$\lambda$ (w/m°C)
Mortero de cemento	2000	1,20	1,40
Mortero mixto	1600	0,75	0,87

Tabla 2. Comportamiento térmico

Esta característica viene dada por la conductividad térmica del material que indica la cantidad de calor que pasa en la unidad de tiempo por una superficie unidad del material. La conductividad depende de la densidad, porosidad, contenido de humedad, etc. En el caso de los morteros estos parámetros dependen de los componentes y proporciones que contengan siendo fundamental la densidad final de la mezcla. La Norma básica NBE-CT-79 fija los siguientes valores en función de la densidad.

### 3.1.14 COMPORTAMIENTO ANTE EL FUEGO

Existen dos parámetros fundamentales que caracterizan el comportamiento ante un incendio: la Reacción (M) y la Resistencia ante el Fuego (RF).

La Reacción ante el Fuego clasifica los materiales en cinco tipos, M0, M1, M2, M3 y M4, que indican la magnitud de menor a mayor en que pueden favorecer el desarrollo de un incendio.

## 3.2 REGLAMENTOS DE FERROCEMENTO EN EL MUNDO

### 3.1.1 NORMA CUBANA (2007). Código de buenas prácticas para el ferrocemento con telas de mallas de alambre y armaduras de esqueleto.<sup>2</sup>

Define el ferrocemento como “un término utilizado para definir un tipo particular de hormigón armado compuesto por un mortero estructural de arena y cemento hidráulico el cual se proyecta a presión o se aplica manualmente sobre una armadura esquelética de acero y telas de mallas de alambre.

La armadura está altamente subdividida y distribuida en toda la masa de mortero dando lugar a una alta resistencia, compacidad y elasticidad que

<sup>2</sup> Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 Vedado, Ciudad de La Habana. Cuba. Teléfono: 830-0835 Fax: (537) 836-8048; Correo

electrónico: nc@ncnorma.cu; Sitio Web: www.nc.cubaindustria.cu

posibilita la disminución de forma muy notable de las dimensiones de las secciones transversales de los elementos en rangos de hasta 10 a 15mm.

El peso neto de las estructuras de ferrocemento pueden ser hasta un 70 % menor que las estructuras de hormigón, lo que representa un ahorro en materiales y disminución del peso de las construcciones.”.

Algunos artículos destacables para la elaboración de las pruebas son:

### 1.5 Especificaciones del Ferrocemento.

Las principales especificaciones del ferrocemento son:

- El mortero tiene que ser dosificado, preparado y colocado cumpliéndose todas las especificaciones previstas en la norma de morteros estructurales e indicaciones de cada proyecto.
- Los espesores de los elementos oscilarán como promedio desde 2 hasta 3,5 cm.
- El consumo de cemento promedio será de 500 a 800 kg/m<sup>3</sup>.
- Es recomendable eliminar todo tipo de juntas frías. Las fundiciones se realizarán de forma continua.
- El refuerzo utilizado deberá cumplir los valores establecidos para la superficie específica y el factor de volumen.

### MORTEROS.

El mortero utilizado en ferrocemento es una mezcla de cemento hidráulico (especialmente P350)

y arena, al cual se le puede añadir en caso que se requiera, aditivos para mejorar sus propiedades ya sean alargar el tiempo de fraguado, buscar plasticidad; así como acelerar el fraguado y el tiempo de alcance de resistencia máxima.

El mortero debe ser denso, compacto y bien curado, permitiendo esto tener baja permeabilidad. Para ello deben cumplir entre otras las siguientes características:

- Consistencia de la mezcla uniforme, compacta, y con un mínimo de huecos.
  - Laborabilidad en función de la tecnología empleada.
  - Densidad del mortero 1800 a 2000 kg/m<sup>3</sup> (Y para el ferrocemento 2300 a 2400 kg/m<sup>3</sup>).
  - Relación cemento/arena entre 1:1,5 y 2 (para aplicación manual)
  - Relación cemento/arena entre 1:2,5 y 3 (para aplicación mecánica)
  - Relación agua/cemento de 0,45 a 0,50
- Contenido de cemento promedio: de 500 a 800 kg/m<sup>3</sup>

### RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

El Ferrocemento tiene mayor resistencia a la tracción que el hormigón y esto se debe a su relativo alto contenido de acero y a la gran dispersión de este. En los elementos de ferrocemento sometidos a esfuerzos de tracción, se ponen de manifiesto tres estados:

- Estado elástico. La curva tensión deformación es prácticamente lineal, no se observan fisuras, el material es prácticamente impermeable. El límite de deformación para este estado está dado por  $E = 200 \times 10^{-6}$  y ancho de fisuras hasta 20 micrones.
- Estado elasto - plástico. A partir de la primera fisura, un número significativo de éstas aparecen, crecen muy lentamente al inicio sus aberturas hasta que el número de grietas se estabiliza. El estado se limita desde la ocurrencia de la primera grieta de 20 hasta una abertura de  $100 \mu$  y una deformación de  $E = 645 \times 10^{-6}$
- Estado de falla. Aparece el número máximo de grietas y el aumento de las deformaciones se debe al incremento de la abertura de las mismas, hasta la falla del elemento por la ruptura del acero. En los elementos de ferrocemento, pueden presentarse dos tipos de fallas: el primero es la ruptura del elemento y se alcanza la resistencia última; el segundo tiene en cuenta la carga por la cual surge la primera grieta que permite la permeabilidad del agua o la corrosión del acero. Es imprescindible tener en cuenta la superficie específica  $S$ , ya que cuando ella aumenta, aumenta la resistencia del ferrocemento al agrietamiento.

La superficie específica  $S$  es la relación entre el área superficial del refuerzo por unidad de volumen del ferrocemento. Los esfuerzos de tracción (o la resistencia a la tracción del refuerzo) no debe exceder de  $f_t = 0,6 R_a$  ó 400MPa.

### RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

La resistencia a compresión la aporta el mortero en proporción directa al área de su sección transversal. De acuerdo a los resultados alcanzados en laboratorios en Cuba y criterio de expertos de varios países se fija como valor de resistencia última a compresión del ferrocemento el de  $0,45 f_c$  donde  $f_c$  es la resistencia de compresión del mortero. Los valores máximos permisibles de tensiones a compresión serán de 20 Mpa.

### RESISTENCIA ALA FLEXIÓN

La resistencia del ferrocemento a flexión depende de la superficie específica y del tipo de malla, su orientación y geometría intrínseca; así como la presencia o no de armadura DE ESQUELETO. En la práctica la resistencia a flexión aumenta cuando las telas de malla se concentran en los bordes inferiores ó superiores.

### RESISTENCIA AL AGRIETAMIENTO

La resistencia al agrietamiento es el indicador que determina la solidez y la seguridad de las estructuras de ferrocemento garantizándose con un diseño efectivo de las armaduras de esqueleto, capas de telas de malla y su disposición, distancia a los bordes, dosificación del mortero y espesor de los elementos.

El máximo ancho de grietas permisible no debe exceder de 0,05 mm para ambiente corrosivo ó depósitos de agua y 0,1 mm para otras estructuras.

Para recubrimientos pequeños y ambiente agresivo se recomienda aplicar protección adicional.

### 3.3 NORMAS APLICABLES A MÉXICO.

La siguiente es una lista de las normas y reglamentos aplicables para México, las cuales se están empleando para todas las pruebas a realizar, cuando se describe la prueba se hace mención a ella.

Se usaran las normas aplicables para morteros para las pruebas térmicas y de resistencia a la compresión de los morteros analizados.

aplicaciones como: aplanados y junteo de bloques, tabiques y tabicones.

#### Clasificación

Para los efectos de esta norma mexicana, el cemento para albañilería (mortero) se clasifica en un solo tipo, con un solo grado de calidad.

#### Especificaciones físicas

<b>NOMBRE GENÉRICO DEL PRODUCTO:</b>	CEMENTO PARA ALBAÑILERÍA (MORTERO)
<b>NORMAS APLICABLES (o las que las sustituyan)</b>	NMX-C-021-ONNCCE-2004 INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN – CEMENTO PARA ALBAÑILERÍA (MORTERO) – ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA.

Las especificaciones para caracterizar la calidad del cemento para albañilería (mortero) están establecidas en la Tabla 2.

Tabla 3. NMX-C-021-ONNCCE-2004

#### 3.2.1 ISO-13786 PRESTACIONES TÉRMICAS DE LOS PRODUCTOS Y COMPONENTES PARA EDIFICACIÓN.

##### NMX-C-021-ONNCCE-2004

Esta norma mexicana establece las especificaciones y métodos de prueba que debe cumplir el cemento para albañilería (mortero), de

#### Especificaciones físicas

Determinación	Unidad	Condición	Especificación
Sanidad (expansión en autoclave)	%	máximo	1,0
Tiempo de fraguado Inicial	min	mínimo	90
Tiempo de fraguado final	min	máximo	1 080
Resistencia a la compresión a 7 días	N/mm <sup>2</sup>	mínimo	4,4
Resistencia a la compresión a 28 días	N/mm <sup>2</sup>	mínimo	7,8
Contenido de aire	%	máximo	22
Retención de agua	%	mínimo	60

Tabla 4. NMX-C-021-ONNCCE-2004

fabricación nacional o extranjera que se comercialice en territorio nacional y es para

#### 3.3.2 UNE-EN 1015-1

##### RESISTENCIA MECANICA

El mortero en la mayor parte de sus aplicaciones debe actuar como elemento de unión resistente compartiendo las sollicitaciones del sistema constructivo del que forma parte. El mortero utilizado en juntas debe soportar inicialmente las

sucesivas hiladas de ladrillos o bloques. Luego, la resistencia del mortero influirá, por ejemplo, en la capacidad de una fábrica para soportar y transmitir

las cargas a las que se ve sometida. Así mismo, el

mortero para solados resistirá el peso de personas y enseres que se asienten sobre él.

Las resistencias a compresión y flexión del mortero se obtienen conforme a los resultados del ensayo de probetas prismáticas de 40x40x160 mm de 28 días de edad, conservadas en laboratorio según condiciones normalizadas UNE-EN 1015-11. Los morteros se designan según su resistencia a compresión a esta edad, medida en N/mm<sup>2</sup> anteponiéndoles la letra M.



"El interés del creador es conquistar la naturaleza. El interés del parásito es conquistar a los hombres."

Ayn Rand<sup>1</sup>

## CAPITULO 4. ETAPA EXPERIMENTAL

### 4.1 DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

Con el fin de encontrar que material es más apto para lograr el aislamiento térmico en el ferrocemento que se busca, se realizaron unas series de experimentos donde se evalúa en el mismo sitio y bajo las mismas condiciones climáticas al ferrocemento. En un caso sin la espuma de poliuretano y en otro caso el mismo ferrocemento pero con la espuma de poliuretano a 2" de espesor.

Para lo cual se realizaron 5 paneles de 60 x 60cm x3-4 de espesor que de aquí en adelante se van a denominar PANELES y su numeración corresponde a la Tabla 1 de este capítulo.

En los paneles se usó el mortero en las proporciones de: 0.51 Ton de cemento por 1m<sup>3</sup> de arena (total entre agregados usados en las pruebas y arena convencional) y 0.27m<sup>3</sup> de agua, varilla de

3/8", malla hexagonal de 0.95mm (3/8") distanciadas 30 cm y solo se colocara una malla hexagonal de cada lado.

Panel	Nombre
0	Ferrocemento con espuma de poliuretano
1	Perlita
2	Vermiculita
3	Ferrocemento verde
4	MasaRoca

Tabla 1. Numeración de los paneles

El curado se realizó por 15 días con agua a temperatura en un rango de 15 a 22°C para evitar choques térmicos. (Tabla 2)

<sup>1</sup> Rand, Ayn. (1943). "El manantial" (The fountainhead). 1ª. Edición. Bobbs-Merrill Company

TEMPERATURAS PARA EL COLADO DE LAS PRUEBAS					
		fecha 7-8/10/2013			
Panel	Nombre	COLADO			
		FECHA	HORA FINAL	TEMP °C	HUM %
0	Ferrocemento con espuma de poliuretano	07/10/2013	11:45	18	50
1	Perlita	08/10/2013	11:30	19	40
2	Vermiculita	08/10/2013	10:30	18	40
3	Ferrocemento verde	08/10/2013	13:15	19	30
4	MasaRoca	08/10/2013	12:30	20	30

Tabla 2. Fecha, hora, temperatura y humedad ambiental presentes en el momento del colado de los Paneles.

Los aspectos a estudiar en la experimentación son:

a) La intervención del mortero en el ferrocemento para analizar la factibilidad de la introducción a la mezcla de algunos materiales como perlita (panel 1) y vermiculita (panel2), dos minerales de origen volcánico que al estar expuestos a altas temperaturas se expanden formando en su interior poros, como una palomita de maíz. Se evaluo las mejoras en cuanto a su aislamiento térmico y que estos no afecten las propiedades

mecánicas del material, así como un análisis de los costos y pesos por m2.

b) Analizar una propuesta donde el muro de ferrocemento sea portante de una cubierta vegetal, llamado en este trabajo como “Panel 3 Ferrocemento Verde”. En si es una estructura de ferrocemento construida con las mismas proporciones que el “Panel 0 Ferrocemento” pero tiene una estructura integrada que portara Suelo vegetal, aquí se usara a manera de cubierta vegetal con vegetación baja (cubresuelos de 5 a 30cm de altura) propuestos por su bajo mantenimiento y gasto de agua y nutrientes, a diferencia de un muro verde o azotea verde el ferrocemento servirá de soporte para contenerlo y a través del entramado a base de una varilla repetida 4 veces sostendrá sus raíces y proporcionara una vista ajardinada así como también un acabado final.

c) También se evaluarán las propiedades térmicas del mortero comercial llamado MASAROCA®, el cual es un mortero especial para ferrocemento pero cuyo costo es 8 veces superior al cemento (Panel 4).

## 4.2 LABORATORIOS UTILIZADOS PARA LAS PRUEBAS

Originalmente todas las pruebas se realizarían dentro del laboratorio ubicado en la Azotea del Edificio de Posgrado en Ciudad Universitaria, pero por razones de que aún no estaba listo para usarlo al

momento de realizar las pruebas estas se realizaron en un laboratorio alterno ubicado sobre una casa habitación en la Delegación Coyoacán, el cual aunque no está muy lejos del edificio de posgrado

cambian los datos climatológicos. Por medio de las normales climatológicas y otras páginas web estadísticas de valores climáticos que se referencian en su momento se juntaron los siguientes datos.



Tabla 3. Incluye temperatura normal, media y mínima normal, así como sus gráficas.

#### 4.2.2 LABORATORIO EN DRAGÓN

##### 4.2.1 CLIMA SOBRE EL QUE SE EVALUAR.

Se toma el clima del sitio para analizar la ganancia térmica de los materiales. Donde La zona urbana presenta un clima templado lluvioso, 16°C de media, con temperaturas que pueden llegar a 26°C en algunos días del final de la primavera, y bajar de 0 °C en invierno. <sup>2</sup>

La calle donde se encuentra se llama Dragón, en la colonia Prado Churubusco, delegación Coyoacán, Ciudad de México. Sus coordenadas son:

19°21'18.85"N, 99°07'50.94"O

Con una elevación de 2243 msnm

<sup>2</sup><http://smn.cna.gob.mx/climatologia/Normales5110/NORMAL09071.TXT>

Se usaron datos de las Normales Climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional de la estación 9071 Colonia Educación por ser la más próxima al laboratorio y de elevación similar (7m arriba del laboratorio), así como de la página Weatherbase de la estación llamada Campestre Churubusco. En la Imagen 1 se ubica el laboratorio en amarillo, así como las estaciones meteorológicas más cercanas.



Imagen 1. Foto satelital con la ubicación del Laboratorio en Dragón

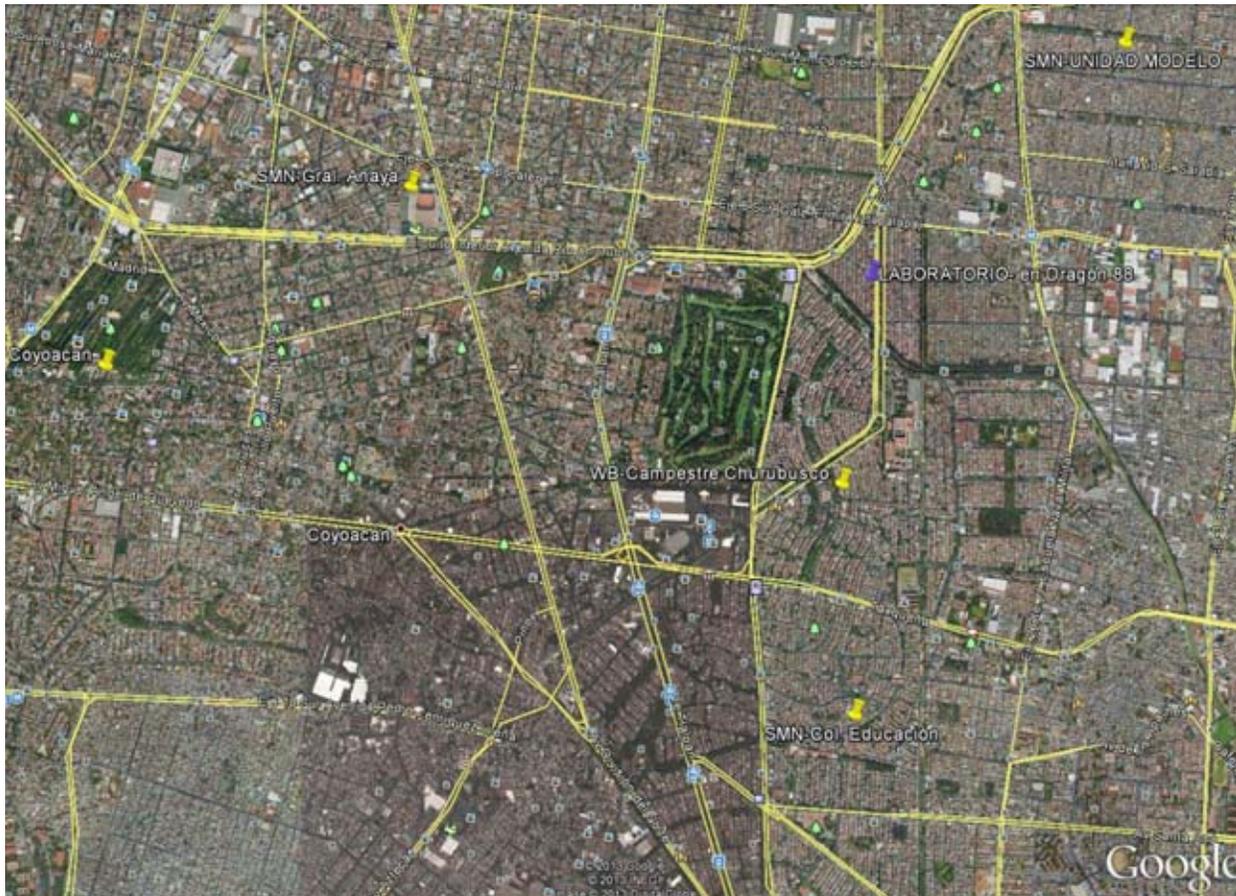
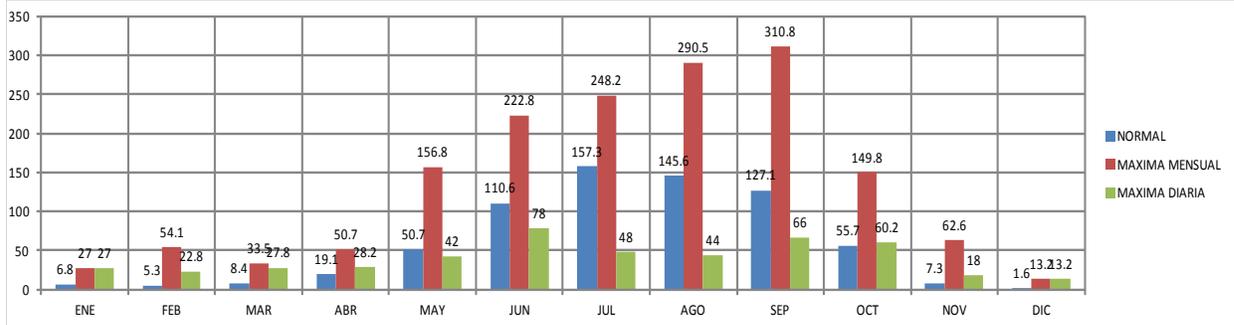


Imagen 2. Ubicación geográfica del laboratorio y estaciones meteorológicas cercanas Fuente Google earth 2013

PRECIPITACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
NORMAL	6.8	5.3	8.4	19.1	50.7	110.6	157.3	145.6	127.1	55.7	7.3	1.6	695.5
MAXIMA MENSUAL	27	54.1	33.5	50.7	156.8	222.8	248.2	290.5	310.8	149.8	62.6	13.2	
AÑO DE MAXIMA	1994	2010	2004	2008	2000	1991	1997	2000	1998	1998	1992	1984	
MAXIMA DIARIA	27	22.8	27.8	28.2	42	78	48	44	66	60.2	18	13.2	
FECHA MAXIMA DIARIA	22/1994	mar-10	abr-88	28/2008	20/2001	29/1985	jul-90	ene-88	abr-88	feb-98	jul-92	feb-84	
AÑOS CON DATOS	26	26	25	24	26	26	26	25	24	24	23	22	



EVAPORACION TOTAL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
NORMAL	96.9	98.3	130.5	129.3	131.9	123.4	114.4	107.7	94.9	94.6	87.6	81.1	1,290.60
AÑOS CON DATOS	30	31	30	29	26	33	33	35	34	32	31	20	

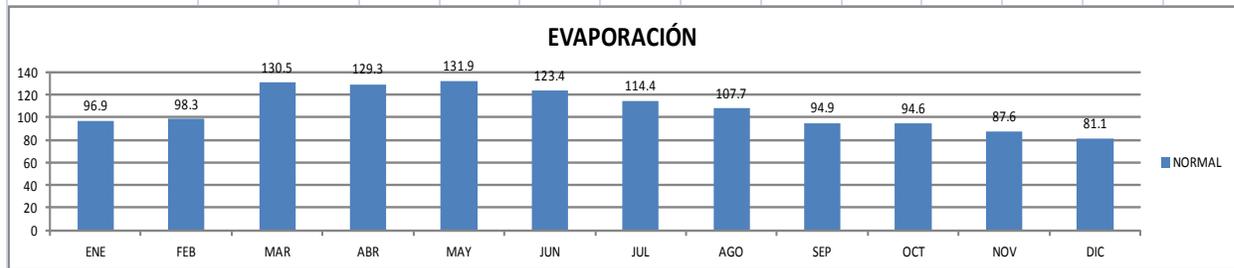


Tabla 4. Precipitación y evaporación, así como sus gráficas.<sup>3</sup>

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
TEMPERATURA MEDIA	14.1	16	18	19.7	20	19.6	18.6	18.7	18.4	17.3	15.9	14.6
TEMPERATURA MEDIA ALTA	23.2	25.4	27.6	28.8	28.4	27.1	25.8	25.9	25.3	24.8	24.7	23.7
TEMPERATURA MEDIA BAJA	5	6.6	8.4	10.6	11.6	12.1	11.5	11.5	11.6	9.9	7.2	5.5

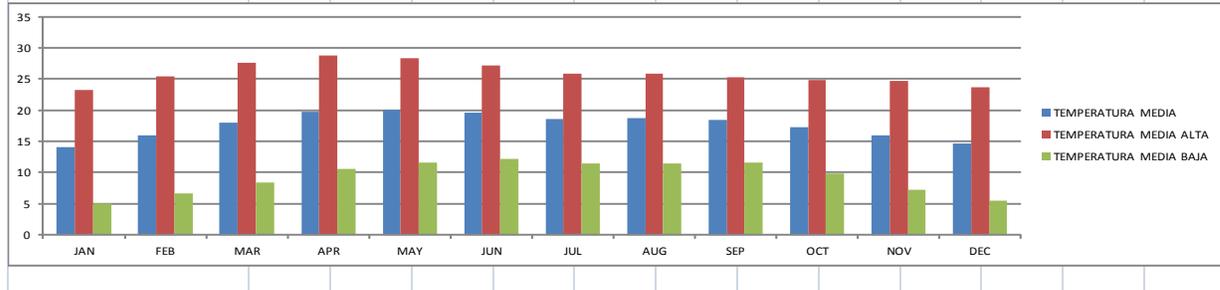


Tabla 5. Temperatura Normal, máxima y mínima normal, humedad relativa en Coyoacán. También sus graficas respectivas.<sup>4</sup>

<sup>3</sup> <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/Normales5110/NORMAL09071.TXT>

<sup>4</sup> <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/Normales5110/NORMAL09071.TXT>

NUMERO DE DIAS CON:	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
LLUVIA	1.5	1.5	3	5.8	9.8	15.6	20.8	20.2	16.5	8.6	2.1	0.6	106
AÑOS CON DATOS	26	26	25	24	26	26	26	25	24	24	23	22	
NIEBLA	0.2	0	0	0.2	0.3	0.3	0	0.1	0	0	0.1	0.1	1.3
AÑOS CON DATOS	22	22	21	20	22	22	23	22	21	21	19	18	
GRANIZO	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0.1
AÑOS CON DATOS	22	22	21	20	22	22	23	22	21	21	19	18	
TORMENTA E.	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0.2	0.1	0.4
AÑOS CON DATOS	55	53	55	55	53	54	55	56	56	55	55	52	

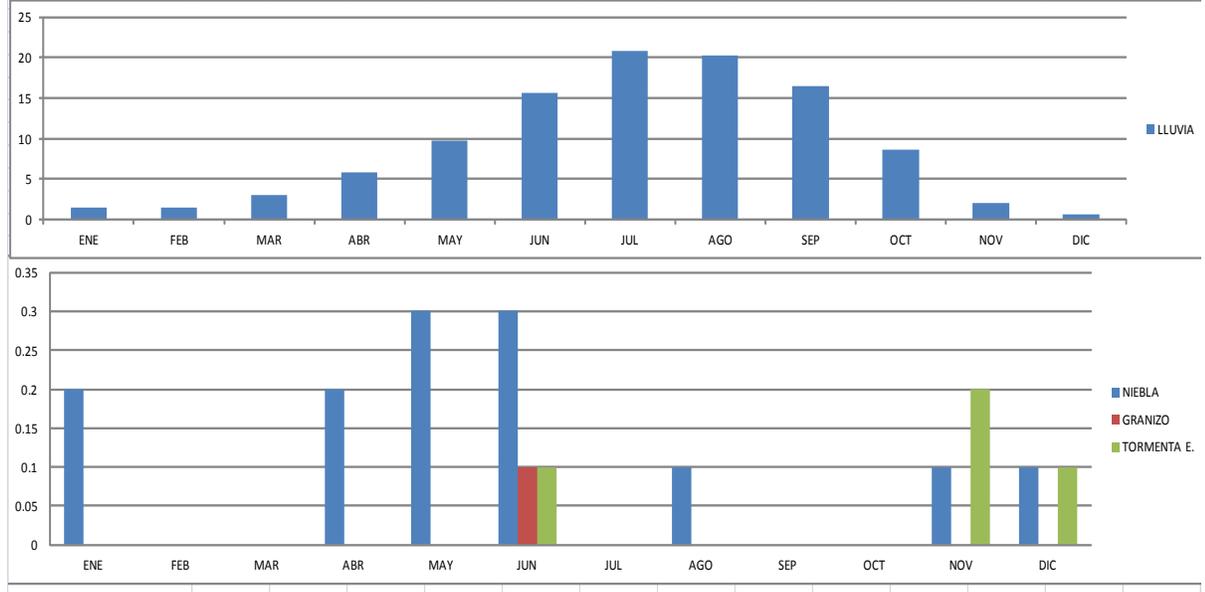


Tabla 6. Número de días con Lluvia, granizo, niebla y tormentas eléctricas, así como sus gráficas. <sup>5</sup>

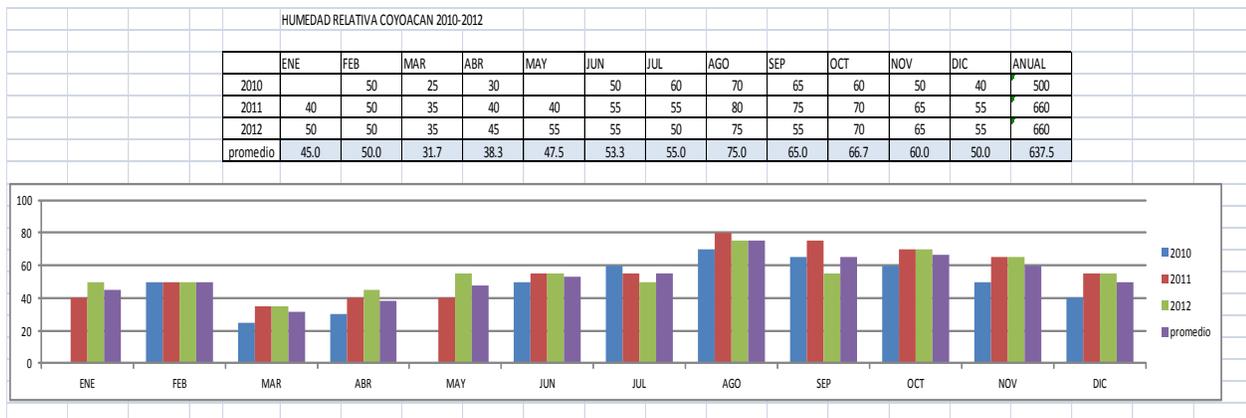


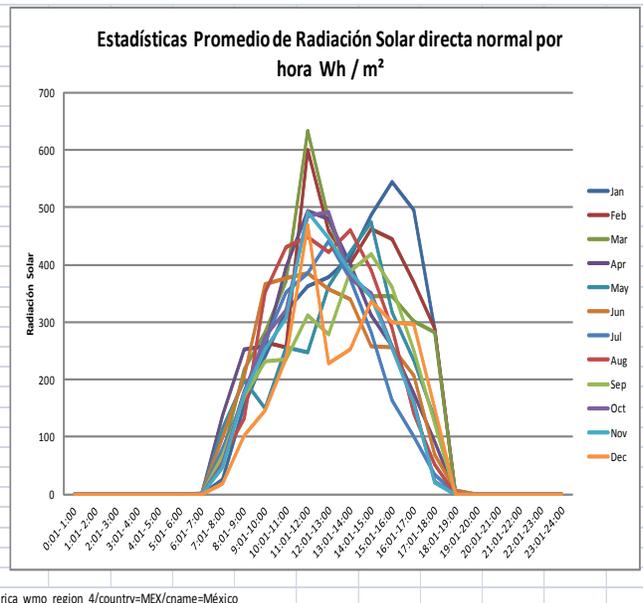
Tabla 4. Humedad relativa en la delegación Coyoacán. <sup>6</sup>

<sup>5</sup> <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/Normales5110/NORMAL09071.TXT>

<sup>6</sup> <http://ww-w.weatherbase.com/weather/weather.php3?s=989071&cityname=Mexico-City--Campestre-Churubusco-Distrito-Federal>

Estadísticas Promedio de Radiación Solar directa normal por hora Wh / m<sup>2</sup>

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0:01-1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:01-2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:01-3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:01-4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:01-5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:01-6:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:01-7:00	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0
7:01-8:00	26	57	70	138	114	99	79	63	67	53	47	19
8:01-9:00	155	180	217	253	199	206	167	133	171	177	175	103
9:01-10:00	241	265	282	258	149	367	266	352	232	275	253	147
10:01-11:00	319	257	372	396	257	377	353	430	236	321	307	237
11:01-12:00	362	600	634	494	247	386	385	449	312	485	492	469
12:01-13:00	378	459	479	479	362	358	442	423	279	492	447	229
13:01-14:00	414	403	377	402	422	340	375	461	389	377	388	252
14:01-15:00	487	462	346	312	474	258	283	391	418	350	343	336
15:01-16:00	544	445	346	258	318	257	163	289	361	258	255	300
16:01-17:00	496	370	302	175	233	207	100	141	251	162	158	296
17:01-18:00	287	290	282	92	132	70	34	52	123	22	20	150
18:01-19:00	0	0	0	1	7	6	1	0	0	0	0	0
19:01-20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:01-21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:01-22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:01-23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:01-24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Max Hour*	16*	12	12	12	15	12	13	14	15	13	12	12
Min Hour	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1



fuelle: [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data3.cfm/region=4\\_north\\_and\\_central\\_america\\_wmo\\_region\\_4/country=MEX/cname=México](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data3.cfm/region=4_north_and_central_america_wmo_region_4/country=MEX/cname=México)

Tabla 5. Radiación solar promedio en Coyoacán.

TEMPÉRATURAS MENSUALES PROMEDIO POR HORA EN EL LABORATORIO DE PRUEBAS.

TEMPERATURAS MENSUALES POR HORA DEL LABORATORIO UBICADO EN DRAGÓN 88	25-30°	20-25°C	15-20°C	10-15°C	5-10°C	0-5°C						
<b>ESTIMACION DE TEMPERATURAS HORARIAS MEDIAS MENSUALES, A PARTIR DE MEDIAS EXTREMAS.</b>												
Localidad	RATORIO DR.	Lat. (xx.x)	19.21	Long.(xxx.x)	99.07	Altitud (m)	2243					
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Temp max	23.2	25.4	27.6	28.8	28.4	27.1	25.8	25.9	25.3	24.8	24.7	23.7
Temp min	5	6.6	8.4	10.6	11.6	12.1	11.5	11.5	11.6	9.9	7.2	5.5
Temp med	14.1	16	18	19.7	20	19.6	18.6	18.7	18.4	17.3	15.9	14.6
Hora min	6.520	6.316	6.067	5.780	5.547	5.424	5.473	5.672	5.947	6.224	6.462	6.576
Hora max	13.930	13.816	12.897	13.450	13.137	13.334	12.723	13.172	13.537	13.394	13.962	13.826
Hora (TSV)												
00:00	9.8	11.3	13.0	14.7	15.2	15.2	14.5	14.7	14.8	13.6	11.7	10.3
01:00	8.9	10.4	12.1	13.9	14.5	14.6	13.9	14.1	14.2	12.9	10.9	9.4
02:00	8.1	9.7	11.4	13.3	13.9	14.1	13.5	13.6	13.7	12.3	10.2	8.7
03:00	7.5	9.1	10.8	12.7	13.5	13.7	13.1	13.2	13.3	11.8	9.6	8.1
04:00	7.0	8.6	10.3	12.3	13.1	13.4	12.8	12.8	12.9	11.4	9.1	7.5
05:00	6.6	8.2	9.9	12.0	12.8	13.1	12.5	12.5	12.7	11.1	8.7	7.1
06:00	6.3	7.9	9.6	10.6	11.8	12.4	11.7	11.6	11.6	10.9	8.4	6.8
07:00	5.3	7.2	9.5	12.5	14.0	14.6	13.8	13.3	12.6	10.5	7.5	5.7
08:00	7.7	10.2	13.1	16.3	17.8	18.0	17.0	16.4	15.3	13.0	10.0	8.0
09:00	11.8	14.5	17.6	20.6	21.7	21.5	20.3	19.7	18.6	16.5	14.0	12.1
10:00	16.0	18.8	21.8	24.3	24.9	24.2	23.0	22.6	21.5	19.8	18.0	16.3
11:00	19.5	22.1	24.9	26.9	27.0	26.1	24.7	24.6	23.6	22.4	21.3	19.8
12:00	21.8	24.3	26.8	28.3	28.1	26.9	25.6	25.6	24.8	24.0	23.4	22.2
13:00	22.9	25.2	27.5	28.7	28.3	27.0	25.7	25.8	25.3	24.7	24.5	23.4
14:00	23.1	25.2	27.3	28.3	27.8	26.4	25.2	25.4	25.0	24.6	24.6	23.6
15:00	22.5	24.4	26.3	27.3	26.7	25.4	24.3	24.6	24.3	24.0	24.0	23.0
16:00	21.3	23.2	24.9	25.8	25.3	24.2	23.1	23.4	23.3	22.9	22.8	21.9
17:00	19.8	21.6	23.3	24.2	23.8	22.8	21.8	22.1	22.0	21.6	21.4	20.4
18:00	18.2	19.8	21.5	22.5	22.2	21.4	20.5	20.8	20.8	20.3	19.8	18.8
19:00	16.5	18.1	19.7	20.9	20.7	20.1	19.2	19.5	19.5	18.9	18.1	17.1
20:00	14.9	16.5	18.1	19.3	19.3	18.9	18.0	18.3	18.4	17.6	16.6	15.4
21:00	13.4	14.9	16.5	17.9	18.1	17.8	17.0	17.2	17.3	16.4	15.2	13.9
22:00	12.0	13.6	15.2	16.7	17.0	16.8	16.0	16.2	16.3	15.3	13.9	12.6
23:00	10.8	12.4	14.0	15.6	16.0	16.0	15.2	15.4	15.5	14.4	12.7	11.4

Tabla 6. Temperaturas mensuales promedio por hora calculadas en el Laboratorio

En base a los datos climatológicos obtenidos se obtuvo la Tabla 9. Se usaron los datos de Temperatura máxima, mínima y promedio, así como

los datos de Latitud, longitud y altitud del Laboratorio. Se coloreo por rangos de variación por cada 5°C para obtener un mapa de temperaturas.

**HUMEDAD MENSUAL PROMEDIO POR HORA EN EL LABORATORIO.**

En base a los datos climatológicos obtenidos se obtuvo la Tabla 10. Se usaron los datos de Temperatura máxima, mínima y promedio, así como los datos de Latitud, longitud y altitud del

Laboratorio. Se coloreo por rangos de variación a cada 10% de humedad los datos obtenidos para crear un mapa de humedad.

HUMEDAD MENSUAL POR HORA DEL LABORATORIO UBICADO EN DRAGÓN 88												
ESTIMACION DE HUMEDADES RELATIVAS HORARIAS MEDIAS MENSUALES, A PARTIR DE MEDIAS EXTREMAS.												
Localidad	Laboratorio Dragón		Lat. (xx.x)	19.21	Long.(xxx.x)	99.07	Altitud (m)		2243			
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Temp max	23.2	25.4	27.6	28.8	28.4	27.1	25.8	25.9	25.3	24.8	24.7	23.7
Temp med	14.1	16	18	19.7	20	19.6	18.6	18.7	18.4	17.3	15.9	14.6
Temp min	5	6.6	8.4	10.6	11.6	12.1	11.5	11.5	11.6	9.9	7.2	5.5
HR med observ	45	50	31	38	47	53	55	75	65	66	60	50
HR max observ												
HR min observ												
HR med calc	55	53	51	54	57	60	61	61	63	59	55	54
HR max calc	79	76	74	76	79	83	83	83	84	82	78	78
HR min calc	31	29	29	31	34	38	39	39	41	37	32	31
Hora max	6.520	6.316	6.067	5.780	5.547	5.424	5.473	5.672	5.947	6.224	6.462	6.576
Hora min	13.930	13.816	12.897	13.450	13.137	13.334	12.723	13.172	13.537	13.394	13.962	13.826
Hora (TSV)												
00:00	66	64	63	66	70	73	74	73	74	71	66	66
01:00	69	66	65	68	71	75	76	75	76	73	68	68
02:00	71	68	67	70	73	76	77	77	78	74	70	70
03:00	72	70	69	71	74	78	79	78	79	76	72	71
04:00	74	71	70	72	75	79	80	79	80	77	73	73
05:00	75	72	71	73	76	79	80	80	81	78	74	74
06:00	76	73	71	76	79	82	83	83	84	79	75	75
07:00	78	74	72	72	73	75	76	78	81	80	77	78
08:00	72	67	63	62	63	65	67	68	73	72	70	72
09:00	61	56	52	51	52	55	56	58	62	62	60	61
10:00	50	46	42	42	44	47	48	49	53	52	49	50
11:00	41	37	35	36	38	41	43	43	46	44	41	41
12:00	35	32	30	32	35	39	40	40	42	40	35	35
13:00	31	30	29	31	34	38	40	39	41	38	32	31
14:00	31	30	29	32	36	40	41	41	42	38	32	31
15:00	33	32	32	35	39	43	44	43	44	40	34	32
16:00	36	35	35	38	42	47	48	47	47	43	37	35
17:00	40	39	39	42	46	51	52	51	51	47	40	39
18:00	44	43	43	47	51	55	56	55	55	51	45	43
19:00	49	47	47	51	55	59	60	59	59	55	49	48
20:00	53	51	51	55	58	63	63	62	63	59	53	52
21:00	57	55	55	58	62	66	67	66	66	62	57	56
22:00	60	59	58	61	65	69	70	69	69	65	60	60
23:00	64	62	61	64	67	71	72	71	72	68	63	63

Tabla 7. Temperaturas mensuales promedio por hora calculadas en el Laboratorio

**ANÁLISIS DE TEMPERATURA, ECUACIÓN DE AULICIEMS.**

Para analizarse los rangos de confort en el lugar de estudio se utilizo la fórmula propuesta por S. Szokalay y Auliciems para determinar la temperatura optima de confort en temperaturas entre 18°C y 28°C:

$T_n = 17.6 + 0.31 T_m$  O bien:

$T_n = 18.9 + 0.255 TE^*$

Donde:

$T_n$  = Temperatura Neutra

$T_m$  = Temperatura Media (mensual o anual)

$T_m$  = Nueva temperatura efectiva

La Temperatura Efectiva involucra más variables ambientales sobre la sensación de confort térmico como son: Temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo, temperatura radiante y la velocidad del viento. La zona de confort ( $Z_c$ ) convencional sobre un rango de 5 grados, por lo que:

$ZC = T_n \pm 2.0^\circ C$  (para temperatura promedio mensual entre 19°C y 24°)

Donde tendríamos que:

$Z_{cs}$  = Límite superior de confort

$Z_{ci}$  = Límite inferior de zona de confort

Análisis de Confort Térmico												
	enero	feb	mar	abril	mayo	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<b>Tm</b>	14.1	16	18	19.7	20	19.6	18.6	18.7	18.4	17.3	15.9	14.6
<b>Tn</b>	21.97	22.56	23.18	23.71	23.80	23.68	23.37	23.40	23.30	22.96	22.53	22.13
<b>Zcs</b>	23.97	24.56	25.18	25.71	25.80	25.68	25.37	25.40	25.30	24.96	24.53	24.13
<b>Zn</b>	21.97	22.56	23.18	23.71	23.80	23.68	23.37	23.40	23.30	22.96	22.53	22.13
<b>Zci</b>	19.97	20.56	21.18	21.71	21.80	21.68	21.37	21.40	21.30	20.96	20.53	20.13
Para ESTACION: 00009020 DESV. ALTA AL PEDREGAL												
				CALOR								
				CONFORT								
				FRIO								
Hora (TSV)	enero	feb	mar	abril	mayo	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
00:00	9.8	11.3	13.0	14.7	15.2	15.2	14.5	14.7	14.8	13.6	11.7	10.3
01:00	8.9	10.4	12.1	13.9	14.5	14.6	13.9	14.1	14.2	12.9	10.9	9.4
02:00	8.1	9.7	11.4	13.3	13.9	14.1	13.5	13.6	13.7	12.3	10.2	8.7
03:00	7.5	9.1	10.8	12.7	13.5	13.7	13.1	13.2	13.3	11.8	9.6	8.1
04:00	7.0	8.6	10.3	12.3	13.1	13.4	12.8	12.8	12.9	11.4	9.1	7.5
05:00	6.6	8.2	9.9	12.0	12.8	13.1	12.5	12.5	12.7	11.1	8.7	7.1
06:00	6.3	7.9	9.6	10.6	11.8	12.4	11.7	11.6	11.6	10.9	8.4	6.8
07:00	5.3	7.2	9.5	12.5	14.0	14.6	13.8	13.3	12.6	10.5	7.5	5.7
08:00	7.7	10.2	13.1	16.3	17.8	18.0	17.0	16.4	15.3	13.0	10.0	8.0
09:00	11.8	14.5	17.6	20.6	21.7	21.5	20.3	19.7	18.6	16.5	14.0	12.1
10:00	16.0	18.8	21.8	24.3	24.9	24.2	23.0	22.6	21.5	19.8	18.0	16.3
11:00	19.5	22.1	24.9	26.9	27.0	26.1	24.7	24.6	23.6	22.4	21.3	19.8
12:00	21.8	24.3	26.8	28.3	28.1	26.9	25.6	25.6	24.8	24.0	23.4	22.2
13:00	22.9	25.2	27.5	28.7	28.3	27.0	25.7	25.8	25.3	24.7	24.5	23.4
14:00	23.1	25.2	27.3	28.3	27.8	26.4	25.2	25.4	25.0	24.6	24.6	23.6
15:00	22.5	24.4	26.3	27.3	26.7	25.4	24.3	24.6	24.3	24.0	24.0	23.0
16:00	21.3	23.2	24.9	25.8	25.3	24.2	23.1	23.4	23.3	22.9	22.8	21.9
17:00	19.8	21.6	23.3	24.2	23.8	22.8	21.8	22.1	22.0	21.6	21.4	20.4
18:00	18.2	19.8	21.5	22.5	22.2	21.4	20.5	20.8	20.8	20.3	19.8	18.8
19:00	16.5	18.1	19.7	20.9	20.7	20.1	19.2	19.5	19.5	18.9	18.1	17.1
20:00	14.9	16.5	18.1	19.3	19.3	18.9	18.0	18.3	18.4	17.6	16.6	15.4
21:00	13.4	14.9	16.5	17.9	18.1	17.8	17.0	17.2	17.3	16.4	15.2	13.9
22:00	12.0	13.6	15.2	16.7	17.0	16.8	16.0	16.2	16.3	15.3	13.9	12.6
23:00	10.8	12.4	14.0	15.6	16.0	16.0	15.2	15.4	15.5	14.4	12.7	11.4

Tabla 8. Diagrama de Horas en confort a lo largo del año.

**GRAFICAS DE OLGYAY Y GIVONI PARA EL MES DE NOVIEMBRE**

Con los datos de las Tablas 12 y 13 correspondientes al mes de Noviembre, mes donde se están realizando las pruebas térmicas en las cámaras de los materiales se obtuvieron estos datos.

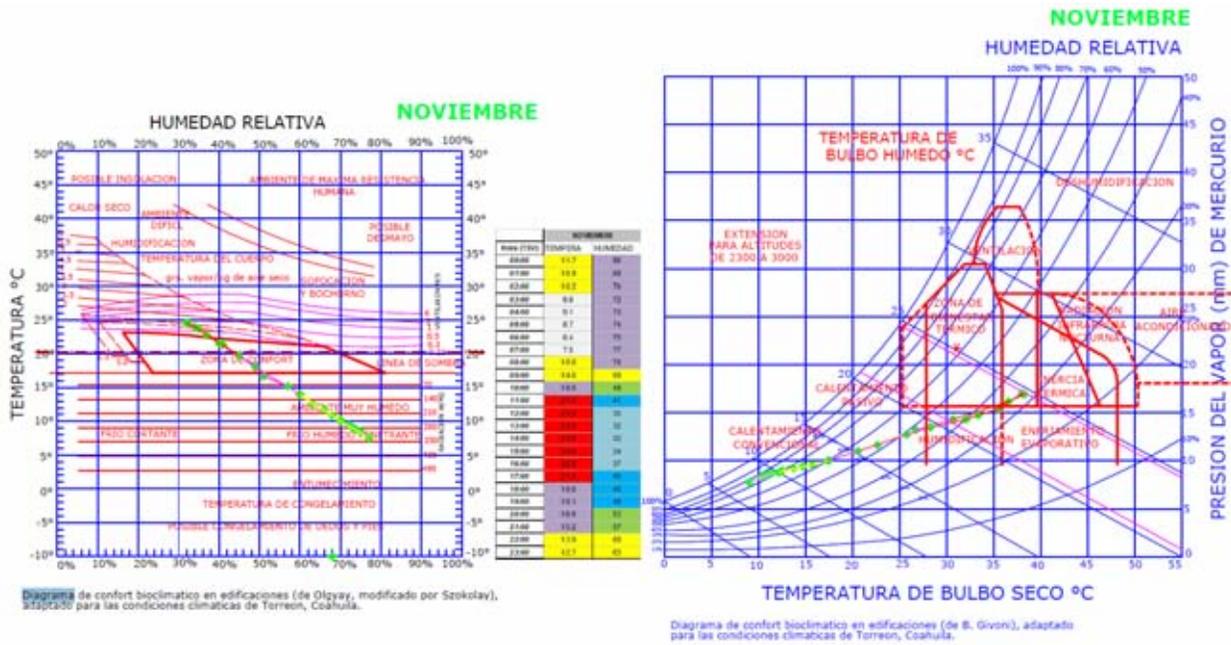


Tabla 9 Izquierda. Grafica Olgay, centro datos de noviembre de temperatura y humedad. Derecha. Diagrama de confort climático de B. Givoni.

**4.2.3 LABORATORIO SOBRE EL EDIFICIO DE POSGRADO.**

Para las pruebas que aparecen en el siguiente capítulo que trata de aplicaciones se usó este laboratorio, donde se montaron los mismos módulos y aparatos de medición.

Se localiza en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México, dentro del edificio de la Unidad de Posgrado exactamente en el círculo amarillo de la Imagen 3.

Sus coordenadas son:  
 19°18'33.65"N  
 99°11'06.38"O  
 Elevación 2331msnm

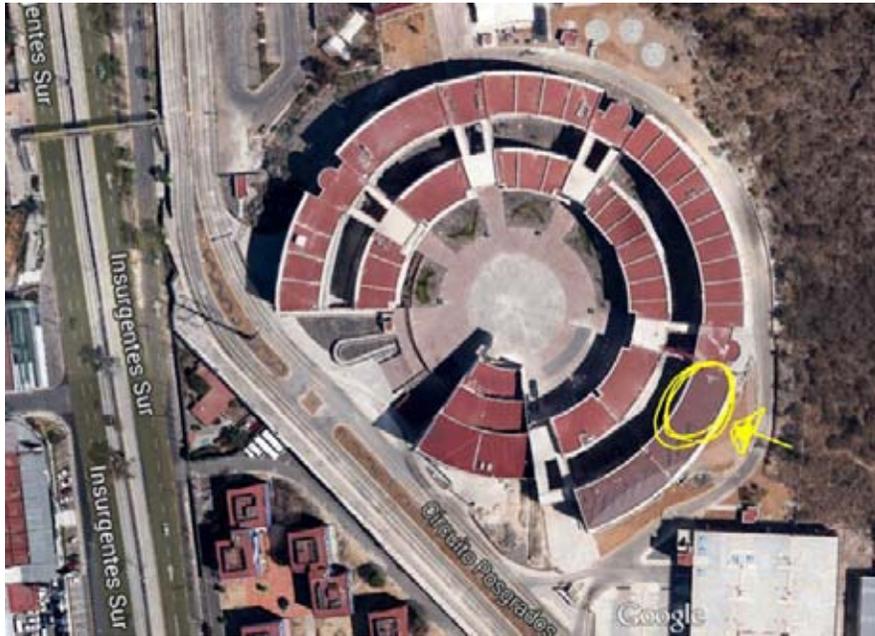


Imagen 3. Laboratorio de la Unidad de Posgrado, UNAM

### 4.3 MATERIALES PROPUESTOS.

Para los módulos de prueba se propusieron una serie de materiales los cuales al final presentaron mejores propiedades térmicas.

**PERLITA:** Es un vidrio volcánico amorfo que tiene un contenido de agua relativamente alto. Tiene la propiedad poco común de expandirse muchísimo cuando se la calienta lo suficiente.



Debido a su baja densidad y precio

Imagen 4. Perlita. Fuente: <http://plantasyjardin.com/2014/04/la-perlita-aireacion-y-permeabilidad-en-el-suelo/>

relativamente bajo, han aparecido muchas aplicaciones comerciales de la perlita. En el área de la construcción se usa en yesos y morteros livianos, aislamiento térmico, cielorrasos y filtros. En horticultura como un buen sustrato para la hidroponía. También se utiliza en fundiciones, aislación criogénica y como aditivo liviano en morteros ignífugos y en alfarería como aditivo de la arcilla.

Densidad no expandida	1100 kg/m <sup>3</sup> (1,1 g/cm <sup>3</sup> ).
Densidad expandida	30–150 kg/m <sup>3</sup> .
Coefficiente de conductividad térmica:	0.080 W/(m·K).

Tabla 10. Perlita

**VERMICULITA:** Es un mineral formado por silicatos de hierro o magnesio, del grupo de las micas. Se utiliza como sustrato en cultivos hidropónicos, como árido para elaborar hormigones de baja densidad, como aislante



Imagen 5. Fuente: <http://flores.culturamix.com/jardim/os-minerais-vermiculita-e-perlita> Septiembre 2013

térmico y acústico, en extintores, como elemento filtrante, protección de materiales o equipamientos frágiles, aumentar la viscosidad de aceites lubricantes, absorbente de humedad y otras contaminaciones líquidas y como excipiente en productos diversos, incluyendo medicamentos. Igual que con la perlita al elevar rápidamente la temperatura se genera una expansión conocida como exfoliación (aumente de ocho a veinte veces su volumen original) resultando un producto utilizado como agregado liviano para construcción con propiedades aislantes térmicas y acústicas, además de ser químicamente inerte.

**SUELO VEGETAL:** El "suelo vegetal" es aquel suelo que posee una cierta cantidad de materia orgánica producida por los organismos autótrofos. El suelo vegetal se puede desgastar por la disminución de los minerales utilizados por las mismas plantas que crecen en él. Según su

composición, el suelo vegetal es arenoso, arcilloso, rocosos y orgánico.



Imagen 6. Suelo vegetal. Incluirá un balance de nutrientes dependiendo la planta seleccionada.

El suelo vegetal provee de los elementos químicos necesarios para el desarrollo de las plantas, los animales y el ser humano. El suelo vegetal es la base de la actividad agrícola. Constituye la base de la alimentación de muchos animales del suelo y con sus restos se forman el humus.

**CUBRESUELOS:** Son plantas de escasa altura como su nombre lo indica, la mayoría de ellas no son plantas para tránsito y menos tránsito intenso. Dentro de ellas se encuentran tanto los céspedes que conocemos como demás plantas entre 3cm a 15 de altura.

La decisión de cubrir el suelo depende de muchos factores, el gusto personal, el tiempo que tenga para conservarlo, las condiciones del lugar, etc.

El uso de plantas para cubrir el suelo con un denso y tupido tapiz es una técnica que nació a principios del siglo XX y se ha difundido durante los últimos años. Las especies que sirven para este tipo de



Imagen 7. Ejemplos de cubresuelos para diferentes aplicaciones

cumplen también con éxito su cometido desarrollándose rápidamente en primavera.

coberturas se conocen con el nombre de tapizantes, cobertoras o cubresuelos.

Por lo general se usan plantas de hábitos rastreros y crecimiento estolonífero, que se levantan solo unos centímetros sobre la tierra.

Las especies que mantienen sus hojas durante todo el año son las más adecuadas, pero algunas caducas,

Los beneficios que ellas proporcionan:

- Evitan la evaporación del suelo, sombreándolo y manteniéndolo fresco.
- Eliminan las malezas entre las plantas ornamentales, porque les quitan de luz, además de entrar en competencia por el agua y los nutrientes

#### 4.4 ASPECTOS A MEDIR

**TEMPERATURA MEDIA.** Se trata de los promedios estadísticos obtenidos entre las temperaturas máximas y mínimas. Con las temperaturas medias mensuales (promedio de las temperaturas medias diarias a lo largo del mes) se obtiene un gráfico de las temperaturas medias de un lugar para un año determinado. Y con estos mismos datos referidos a una sucesión de muchos años (30 o más) se obtiene un promedio estadístico de la temperatura en dicho lugar. Estos últimos datos, unidos al promedio de los montos pluviométricos (lluvias) mensuales de ese mismo lugar ofrecen los datos necesarios para la elaboración de un gráfico climático (a veces identificado como climograma) de dicho lugar.

En el ejercicio de evaluación se deben tener los mismos valores de temperatura para exponer a los

materiales a las mismas características. De las fechas más vulnerables para hacer las pruebas se tomaran las temperaturas. Y con estas se obtendrán:

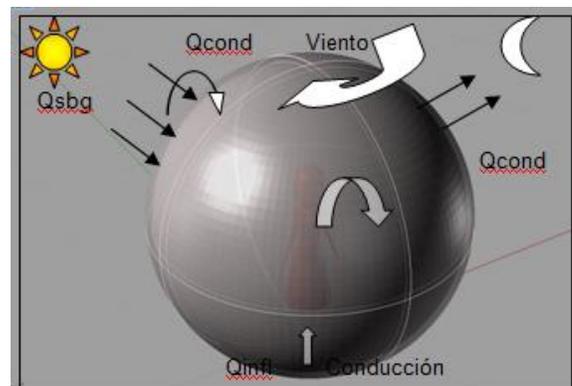


Imagen 8. Cuadro que muestra los factores a los que se expone el ferrocemento para su cálculo térmico.

- **RADIACIÓN SOLAR:** es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol.

La radiación solar que llega a la superficie se puede clasificar como radiación directa o difusa.

- **CONDUCTIVIDAD TÉRMICA:** La conductividad térmica es una propiedad intrínseca de los materiales que valora la capacidad de conducir el calor a través de ellos. El valor de la

conductividad varía en función de la temperatura a la que se encuentra la sustancia, por lo que suelen hacerse las mediciones a 300 K con el objeto de poder comparar unos elementos con otros.

## 4.5 MÓDULOS Y PANELES PARA LAS PRUEBAS DE LABORATORIO

### 4.5.1 ELABORACIÓN DE LOS MÓDULOS

En la zona de Naucalpan, Edo de México, donde hay personas ya con preparación en la técnica de ferrocemento mediante placas de 0.55m x 0.55 m con varillas de 3/8" y 2 capas de malla de gallinero. Las pruebas se comenzaron en el mes de octubre aunque en diciembre y enero se realizan adicionales sobre su módulo de prueba.



Imagen 10. Módulo de pruebas diseño preliminar.

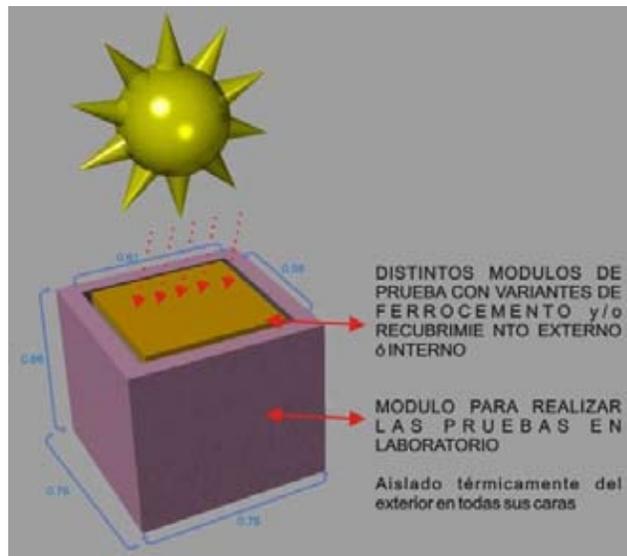


Imagen 9. Módulo de pruebas diseño preliminar.

Posteriormente en laboratorio se evaluarán en las condiciones climáticas promedio de la ciudad de México, y se evaluará la ganancia térmica para compararlas contra la cubierta actual de espuma de poliuretano.

Las mediciones se harán sobre una cámara con las paredes aisladas para evitar variaciones indeseables de los datos y quede sellado herméticamente, solo se introducirán en el los aparatos de medición como el medidor de globo que se aprecia en el croquis de la izquierda.



Imagen 11. Vista superior módulo de prueba

#### 4.5.2 PANEL DE FERROCEMENTO

En el “Panel 0 Ferrocemento” se usó el mortero en las proporciones de: 0.51 Ton de cemento por 1m<sup>3</sup> de arena (total entre agregados usados en las pruebas y arena convencional) y 0.27m<sup>3</sup> de agua, varilla de 3/8”, malla hexagonal de 0.95mm (3/8”) distanciadas 30 cm y solo se colocara una malla hexagonal de cada lado. El curado se realizó por 15 días con agua a temperatura en un rango de 15 a 22°C para evitar choques térmicos.



Imagen 12. Ilustra el armado y enmallado de los Paneles 0, 1, 2 y 4



Imagen 13. Izquierda Muestra de cómo se pesó el material para las pruebas. Derecha. Panel 0 recién colado. Se coló sobre un triplay para que durante el fraguado no presentara movimientos que le causaran fisuras. Todos los paneles tienen un grosor que va de 3-4cm

Después de realizar las primeras pruebas se le espreo la espuma de poliuretano a 2” de espesor.

#### 4.5.2 PANELES CON AGREGADOS MINERALES

Dentro de esta clasificación se encuentran los paneles 1 de Perlita y el Panel 2 de Vermiculita.

PROPORCIONAMIENTO DE LAS MEZCLAS- ACTUALIZADO AL				
fecha 8-10-2013				
Panel	Nombre	Proporcionamiento		
		Material	Unidad	Cantidad
0	Ferrocemento con espuma de poliuretano	Cemento	kg	7.20
		Arena	kg	10.75
		Agua	litros	3.90
1	Perlita	Cemento	kg	7.20
		Arena	kg	8.50
		Perlita	kg	1.60
		Agua	litros	4.30
2	Vermiculita	Cemento	kg	7.20
		Arena	kg	7.17
		Vermiculita	kg	2.45
		Agua	lt	4.90
3	Ferrocemento verde	Cemento	kg	9.36
		Arena	kg	10.75
		Agua	litros	5.00
4	MasaRoca	Masaroca	kg	19.00
		Agua	litros	2.90

**Tabla 11. Proporcionamiento de las mezclas en todos los Paneles**

La dimensión total del panel fue de 59.5cm x 59.5cm y de 3 a 4 cm de espesor. El armado se realizó de forma que quedara cubierto por lo menos 1cm de cada lado.



**Imagen 14. Colado del Panel 1 y 2, se les coloco un marco provisional de madera el cual se retiró a las 2hr de finalizado el colado con la finalidad de mantener las dimensiones de 59.5x59.5cm.**

Posteriormente se colocó la malla hexagonal (de gallinero) y se amarro a las varillas rigidizando la estructura. Su proporcionamiento se muestra en la tabla 14.

#### **4.5.4 PANEL ELABORADO CON MASAROCA.**

Este material existe en el mercado desde hace unos años y entre otras de sus aplicaciones es el uso en ferrocemento. El bulto ya viene listo para solo agregar agua, 150 ml por cada kilogramo de MasaRoca.

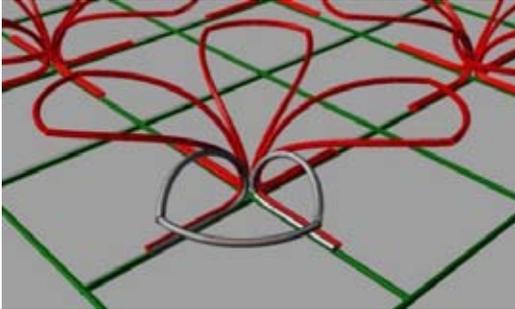


**Imagen 15. Colado de panel 3 MasaRoca**

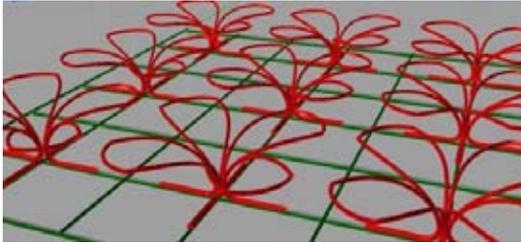
#### **4.5.5 PANEL DE FERROCEMENTO VERDE**

Se elaboró un módulo dimensionado igual que los otros paneles. Pero sobre una superficie curva en una construcción se repetiría el trazo a lo largo y ancho de la estructura donde se requiera cubierta verde como se ve esquemáticamente en las

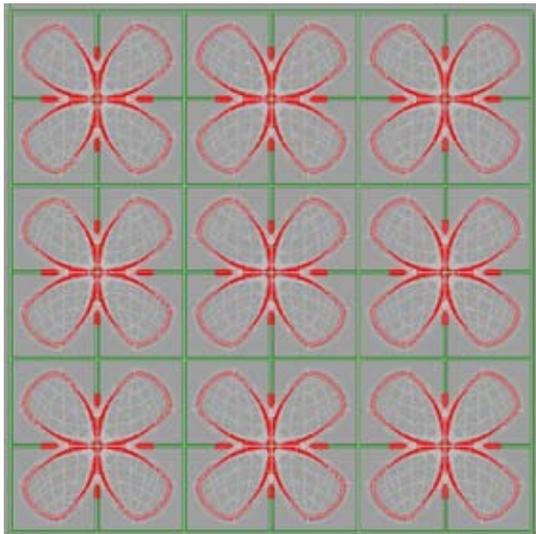
Imágenes 16 a la 19, las cuales fueron modeladas en Rhinoceros.



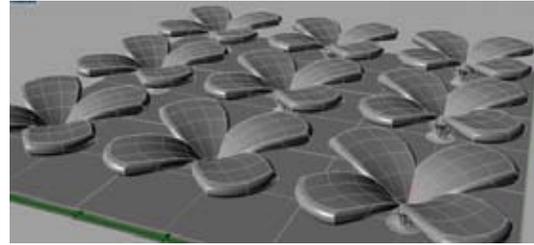
**Imagen 16. Armado del Panel 4**



**Imagen 17. Módulo repetido longitudinal y transversalmente**



**Imagen 18. Animación 3d. Elaborado en Rhino 5.0**



**Imagen 19. Modelo ya colado, como se vería en perspectiva, entre los huecos de la estructura en flor se colocan las plantas seleccionadas**

La estructura tiene la finalidad de soportar las plantas en su sitio con inclinaciones entre el 1° y 60° y a la vez evitar que se apelmace la tierra, se deslave y con ello perdiendo nutrientes. También evita que se pise la planta pudiendo atravesar los espacios ajardinados caminando y con eso facilita el mantenimiento como deshierbe o fertilizado y aumenta la cantidad de especies que se pueden usar, ya que la mayoría de cubresuelos no aguanta estas condiciones.

Este panel se armó en la base como los demás, pero antes de amarrar la malla hexagonal se le sujeto una estructura formada por 4 varillas de 3/8" en forma de flor en su conjunto. Posteriormente a todo se le amarro la malla hexagonal y se coló con mortero en las mismas proporciones empleadas que el Panel 0 Ferrocemento.



Imagen 20. Armado para el Panel 4 Ferrocemento Verde



Imagen 21. Detallado del colado realizado 2hr después de colar la base



Imagen 22. Colado finalizado

Después de su fraguado se impermeabilizo y se usó así para las primeras pruebas térmicas. Para las pruebas con el ferrocemento con espuma de poliuretano se le coloco una capa de sustrato vegetal de 8cm y una planta cuyo nombre común en el D.F.

es Dedo Moro, nombre científico " Lampranthus", por ser una planta que requiere pocos cuidados y escaso riego, a la vez de ser muy resistente. Planta suculenta perenne, florea ya sea en color rosa o amarillo, alcanza hasta 10cm de altura.



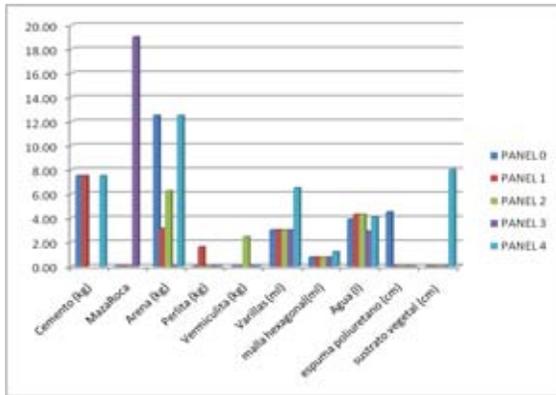
Imagen 23. Lampranthus. Dedo Moro

#### 4.5.6 PROPORCIONAMIENTO COMPARATIVO ENTRE LOS PANELES

Con el fin de comparar entre si los materiales usados en cada panel se elaboró la tabla 12 con su respectivo gráfico.

VOLUMÉN DE LOS MATERIALES POR CADA PANEL					
	25/10/2013				
MATERIAL	PANEL 0	PANEL 1	PANEL 2	PANEL 3	PANEL 4
Cemento (kg)	7.50	7.50	7.50	7.50	0.00
MasaRoca (kg)	0.00	0.00	0.00	0.00	19.00
Arena (kg)	12.50	3.13	6.25	12.50	0.00
Perlita (kg)	0.00	1.60	0.00	0.00	0.00
Vermiculita (kg)	3.00	3.00	2.45	0.00	0.00
(ml)	0.75	0.75	3.00	1.20	0.75
Agua (l)	3.90	4.30	0.75	4.10	2.90
Espuma de poliuretano (cm)	4.50	0.00	4.30	0.00	0.00
(cm)	0.00	0.00	0.00	8.00	0.00

Tabla 12. Volumen de los materiales



Gráfica 1. Volumen de los materiales

#### 4.5.7 PESOS COMPARATIVO ENTRE LOS PANELES

También se realizó un balance del peso entre los paneles. Los materiales minerales entre sus propiedades se usan también como agregados aligerantes lo que trajo como resultados que los paneles más livianos fueran los 1 y 2 de Perlita y vermiculita.

Para el Panel 3 se considera un porcentaje adicional para aproximar al peso que tendría con el sustrato saturado de agua

PESOS M2			
Panel	Nombre	PESO panel	PESO kg
0	Ferrocemento con espuma de poliuretano	26.00	72.28
1	Perlita	18.10	50.32
2	Vermiculita	20.20	56.16

3	Ferrocemento verde	61.50	170.97
4	MasaRoca	25.70	71.45

Tabla 13. Peso entre los paneles

#### 4.5.8 COSTOS DE LOS PANELES DE PRUEBA

El costo de los materiales por volumen se puede ver en la Tabla 14. Todos ellos se adquirieron entre septiembre y octubre del 2013. De la mayoría sobraron pero se tuvieron que comprar por volumen o bulto.

MATERIALES Y MANO DE OBRA						
FECHA COMPRA	LUGAR	NOMBRE	unidad	costo unitario	Costo total	
#####	MasaRoca	MasaRoca	bulto 50kg	1	#####	1,395.00
#####	Xochimilco, mercado de flores	Perlita	bulto	1	220.00	220.00
#####	Xochimilco, mercado de flores	Vermiculita	bulto	1	290.00	290.00
31/9/2013	Casa M	Arena	m3	1	154.53	154.53
31/9/2013	Casa M	Cemento Cruz Azul	bulto 50kg	1	180.00	180.00
31/9/2013	Casa M	Varillas 3/8 12m	pz	10	30.00	300.00
31/9/2013	Casa Materiales	Malla hexagonal 40mx90 50mm abertira	rollo	1	\$968,24	968.24
31/09/2013	Salcedo y Martin	alambre recocido cal.22	kg	2	18.60	37.20
7-8/10/2013	Conjunto Quetzalcoat I	oficial fierro	jornada	2	336.00	672.00
7-8/10/2013	Conjunto Quetzalcoat I	ayudante fierro	jornada	2	254.00	508.00
total					\$4,724.97	

Tabla 14. Costos de los materiales para los paneles

El costo desglosado de cada material con mano de obra se incluye en la Tabla 15. Dichos paneles se elaboraron entre el 7 y 8 de Octubre 2013.

COSTOS DE LOS PANELES- ACTUALIZADO						
Panel	Nombre	Material	Unidad	costo unit	unidad	Cantidad
0	Ferroce- mento con espuma de poliuret- ano	Cemento	kg	3.60	7.5	27.00
		Arena	m3	154.43	0.018	2.70
		Agua	m3	3.00	0.004	0.01
		varilla	pieza	30.00	0.25	7.50
		malla	ml	10.75	0.75	8.06
		alambre	kg	18.60	0.2	3.72
		oficial fierro	jornada	336.00	0.39	131.04
		ayudante	jornada	254.00	0.39	99.06
		Espuma poliuretano 2"	m2	220.00		165.00
					0.75	
					<b>444.10</b>	
1	Perlita	Cemento	kg	3.60	7.5	27.00
		Arena	kg	154.43	0.005	0.83
		Perlita	kg	11.00	1.6	17.60
		Agua	m3	3.00	0.004	0.01
		varilla	pieza	30.00	0.25	7.50
		malla	ml	10.75	0.75	8.06
		alambre	kg	18.60	1	18.60
		oficial fierro	jornada	336.00	0.39	131.04
		ayudante	jornada	254.00	0.39	99.06
2	Vermicu- lita	Cemento	kg	3.60	7.5	27.00
		Arena	kg	154.43	0.001	0.15
		Vermiculita	kg	9.00	2.45	22.05
		Agua	m3	3.00	0.004	0.01
		varilla	pieza	30.00	0.25	7.50
		malla	ml	10.75	0.75	8.06
		alambre	kg	18.60	1	18.60
		oficial fierro	jornada	336.00	0.39	131.04
		ayudante	jornada	254.00	0.39	99.06
3	Ferroce- mento verde	Cemento	kg	3.60	7.5	27.00
		Arena	m3	154.43	0.018	2.70
		Agua	m3	3.00	0.004	0.01
		varilla	pieza	30.00	0.25	7.50
		malla	ml	10.75	0.75	8.06
		alambre	kg	18.60	0.2	3.72
		sustrato vegetal	m3	100.00	0.06	6.00
		dedo moro	pz	1.50	18	27.00
		oficial fierro	jornada	336.00	0.46	154.56
		ayudante	jornada	254.00	0.46	116.84
					<b>353.40</b>	

4	MasaRo- ca	Masaroca	kg	27.90	19	530.10
		Agua	m3	3.00	0.003	0.01
		varilla	pieza	30.00	0.25	7.50
		malla	ml	10.75	0.75	8.06
		alambre	kg	18.60	0.2	3.72
		oficial fierro	jornada	336.00	0.37	124.32
		ayudante	jornada	254.00	0.37	93.98

Tabla 15. Costos de cada panel, material y mano de obra.

COSTOS POR M2			
Panel	Nombre	costo	costo m2
0	Ferroce-mento con espuma de poliuretano	<b>444.10</b>	<b>1,234.60</b>
1	Perlita	<b>309.71</b>	<b>860.99</b>
2	Vermiculita	<b>313.48</b>	<b>871.47</b>
3	Ferroce-mento verde	<b>353.40</b>	<b>982.44</b>
4	MasaRoca	<b>767.69</b>	<b>2,134.18</b>

Tabla 16. Costos por panel y su equivalente por m2 de cubierta

Se observó que los Paneles 1, 2 y 3 obtuvieron un costo inferior al del ferrocemento convencional hasta del 30%, mientras que la MasaRoca (4) se fue al 173%.

En cuanto a los costos se logró bajar los precios por metro cuadrado, lo cual repercute en un ahorro considerable en el costo de la obra.

Los puntos anteriores se pueden traducir como ventajas en cuanto a costo y peso para los paneles 1 y 2. Mientras el Panel 3 también se está colocando como una buena opción a pesar del peso mayor junto a los otros, si lo comparamos contra una losa plana (tabla 17). Representando el 34.88% del peso.

PESOS M2			
Pane	Nombre	kg	PESO kg
3	Ferrocemento verde		<b>157.35</b>
Losa	losa plana 10 cm, ,	240	451
Plan	sustrato vegetal 10cm,	166	
a	plantas 10cm y agua	45	

Tabla 17. Compara el Panel 3 con una losa plana de azotea. No considere esta losa relleno de tezontle

La Masaroca® la cual representa la competencia comercial para esta tesis es 1.73 veces más caro que el sistema tradicional de Ferrocemento en su análisis de precio y peso similar a él, hasta el momento no es competencia para las 3 opciones desarrolladas en la tesis.

## 4.6 APARATOS PROPUESTOS PARA LA MEDICIÓN

### 4.6.1 SD CARD DATA LOGGER

#### THERMOMETER 4CH



El aparato que se empleara para realizar mediciones es un SD Card Data Logger Thermometer 4 channels, Type K.

Imagen 24. SD Card Data Logger Thermometer 4ch

#### Specifications

Product Type	Multi-Parameter Thermometers
Resolution	0.1°
Accuracy	±0.4% of reading
Manufacturer number	DT4947SD
Min temperature (° F)	-148
Min temperature (° C)	-100
Max temperature (° F)	2372
Max temperature (° C)	1300
Display	LCD
Output	SD card
Power	6 AA batteries / adapter
Brand	General Tools
Model	DT4947SD

Tabla 18. Especificaciones del aparato

### 4.6.2 CAMARA TÉRMICA FLUKE Ti55

La tecnología IR-Fusion® de Fluke vincula una imagen visual del mundo real con su imagen térmica. Efectúa el tratamiento digital de ambas imágenes para fusionar las dos imágenes en una o crear combinaciones de una imagen en la otra (imagen en imagen). En la imagen de luz visible se pueden superponer límites de alarma para identificar

de forma exacta los componentes que superan un límite de temperatura especificado.



Tabla 19. Camara Fluke Ti55

En los informes se pueden utilizar tanto las imágenes visuales como las imágenes térmicas. Así se agiliza la documentación, ya que no es necesario buscar las imágenes

individuales obtenidas con una cámara digital independiente.

Medida de la temperatura	
Rango calibrado de temperatura	TI55: de -20 °C a 600 °C (de -4 °F a 1112 °F) en 3 rangos TI50: de -20 °C a 350 °C (de -4 °F a 662 °F) en 2 rangos
Rango 1	TI55: de -20 °C a 100 °C (de -4 °F a 212 °F) TI50: de -20 °C a 100 °C (de -4 °F a 212 °F)
Rango 2	TI55: de -20 °C a 350 °C (de -4 °F a 662 °F) TI50: de -20 °C a 350 °C (de -4 °F a 662 °F)
Rango 3	TI55: de -250 °C a 600 °C (de 482 °F a 1112 °F)
Precisión	± 2 °C o 2% (la mayor de ambas)
Modos de medida	TI55: Punto central, zona central (mínimo, máximo y promedio de área), puntos/zonas desplazables, anotaciones de campo/texto definidas por el usuario, isoterma, detección automática de puntos fríos y calientes, alarma visible a temperaturas por encima y por debajo del valor establecido TI50: Punto central, zona central (mínimo, máximo y promedio de área)
Corrección de emisividad	0,1 a 1,0 (en incrementos de 0,01)

Tabla 20. Especificaciones del aparato

### 4.6.3 GENERAL HT 10 RH TEMP DATA LOGGER

Este aparato se adquirio para medir la humedad y temperatura. Tiene un Interfaz de unidad

USB; que se puede usar sin necesidad de cables, las cunas y muelles

Su Software de interfaz permite la fijación y muestreo a intervalos de tiempo de 10 segundos a 12 horas. También calcula el punto de rocío

Puntos de ajuste de alarma alto / bajo para la humedad y la temperatura ambiente, toma medidas en ° F o ° C

Con un clic en la exportación de registros de datos a Excel o Word



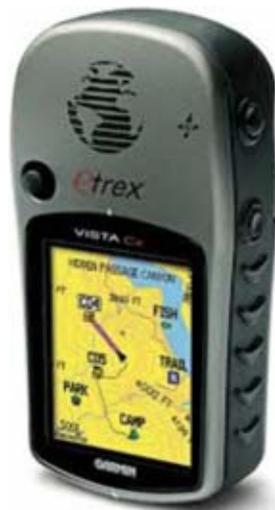
Imagen 25. GENERAL HT 10 RH TEMP DATA LOGGER

Temperature Measurement Range/Accuracy	-31° to 212°F (-35° to 100°C) ±0.7°F (0.4°C)
Temperature Measurement Resolution and Repeatability	±0.2°F (0.1°C)
Relative Humidity (RH) Measurement Range/Accuracy	10 to 90% ±3%
RH Measurement Resolution and Repeatability	±0.1%
Internal Storage Capacity	16,384 readings

Dimensions	4.96 x 1.10 x 2.01 in.
Weight	<7 oz.
Power Source	3.6V Non-rechargeable
Lithium-Ion Battery	Type SB-AA02
Battery Life (typical)	1 year

#### 4.6.4 GPS ETREX GARMIN

Con este aparato, prestado del Laboratorio de Sustentabilidad a cargo del Mtro. Leonardo Zeevaert Alcántara se ubicó geográficamente las coordenadas exactas de los laboratorios así como también se ubicó el norte geográfico.



- Mapa base mundial
- Pantalla de 2,2" de 65.000 colores, que puede leerse con la luz del sol
- Satélites GPS y GLONASS para adquirir la posición de forma más rápida
- Geocaching sin papeles
- Autonomía de la batería de 25 horas con 2 pilas AA.



“Lo orgánico es curvo, lo orgánico es asimétrico, lo orgánico son los materiales naturales, lo orgánico es individualista, lo orgánico es holístico.”

Sidney K. Robinson<sup>1</sup>

## CAPITULO 5. RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACIÓN

Para esta etapa de experimentación se optó por realizarla en dos partes. En la primera se evaluaron todos los paneles (1, 2, 3 y 4) contra el panel de ferrocemento sin la espuma de poliuretano y probando únicamente la estructura. En la segunda parte se vuelven a probar todos los paneles pero esta vez ya contra el panel 0 Ferrocemento con la espuma de poliuretano a 2” de espesor y cuando se probó el panel 3 de Ferrocemento verde, se hizo ya con el sustrato vegetal y la planta colocada, se empezaron a tomar medidas 15 días después de su montaje para que la planta una vez sembrada se aclimatara.

Cuando se montó el experimento en el Laboratorio de Dragón se tuvo que ubicar muy bien los módulos, localizándose el norte con ayuda del GPS ETREX GARMIN (Imagen 1). Y posteriormente con otro aparato se hizo un estudio



de sombras (Imagen 2). Esto para saber a qué horas no recibe asoleamiento completo el modulo y descartar esas horas en los registros de las medidas.

Imagen 1. GPS ETREX GARMIN ubicando la elevación del laboratorio



Imagen 2. Estudio de sombras a lo largo del año en el laboratorio

<sup>1</sup> PEARSON David (2002). Arquitectura Orgánica Moderna, BLUME.



**Imagen 3. Vistas 360° del laboratorio en Dragón**

El siguiente paso fue la ubicación de los paneles. En el Modulo 1 se colocó el panel que se iba a estar rotando, o sea, Panel 1, 2, 3, 4, cada uno aislado perimetralmente para evitar pérdidas de temperatura en las orillas.

En el módulo 2 se colocó el Panel 0- Ferrocemento primero sin espuma y en la siguiente parte ya con la espuma de poliuretano a 2", de igual forma aislado en sus orillas.



**Imagen 4. Protección contra lluvia del aparato de medición**

Antes de sellar las orillas se colocó un termopar en cada módulo conectado al SD CARD

DATA LOGGER THERMOMETER 4CH colocando los otros 2 termopares para tomar la temperatura al sol y otro a la sombra. Este aparato es muy sensible al agua, y el periodo de lluvias del año pasado se alargó hasta diciembre.



**Imagen 5. Módulos para pruebas ya completos, con aparatos instalados sobre el laboratorio de Dragón.**

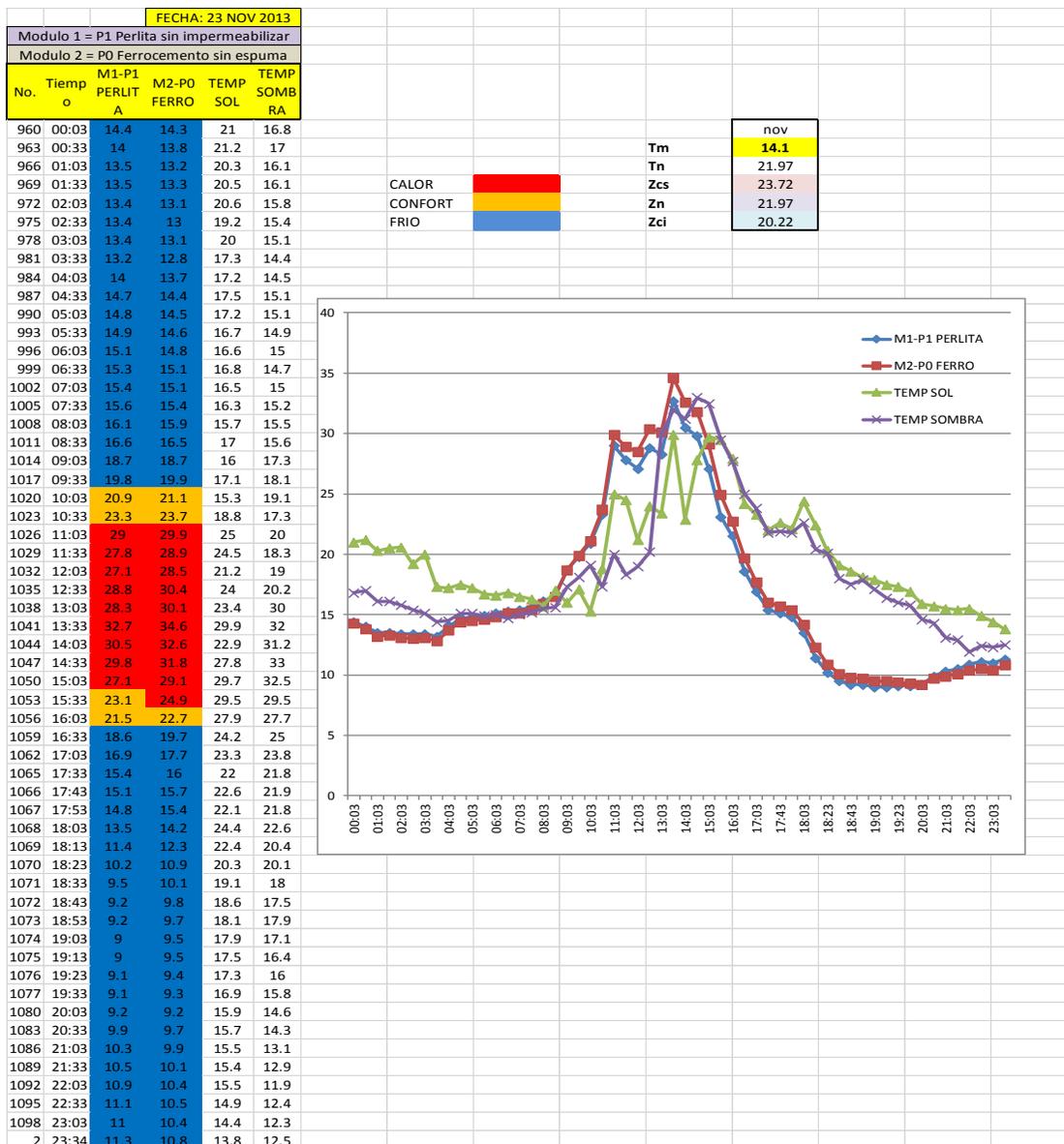
Muchos datos no los registro bien y se descartaron esas fechas por lluvia, por ello se alargó el periodo de pruebas pero el aparato no sufrió daños porque se protegió colocándolo dentro de un recipiente (Imagen 4).

Junto a ellos se ubicó el GENERAL HT 10 RH TEMP DATA LOGGER de forma que no se afectara con la lluvia de esos días.

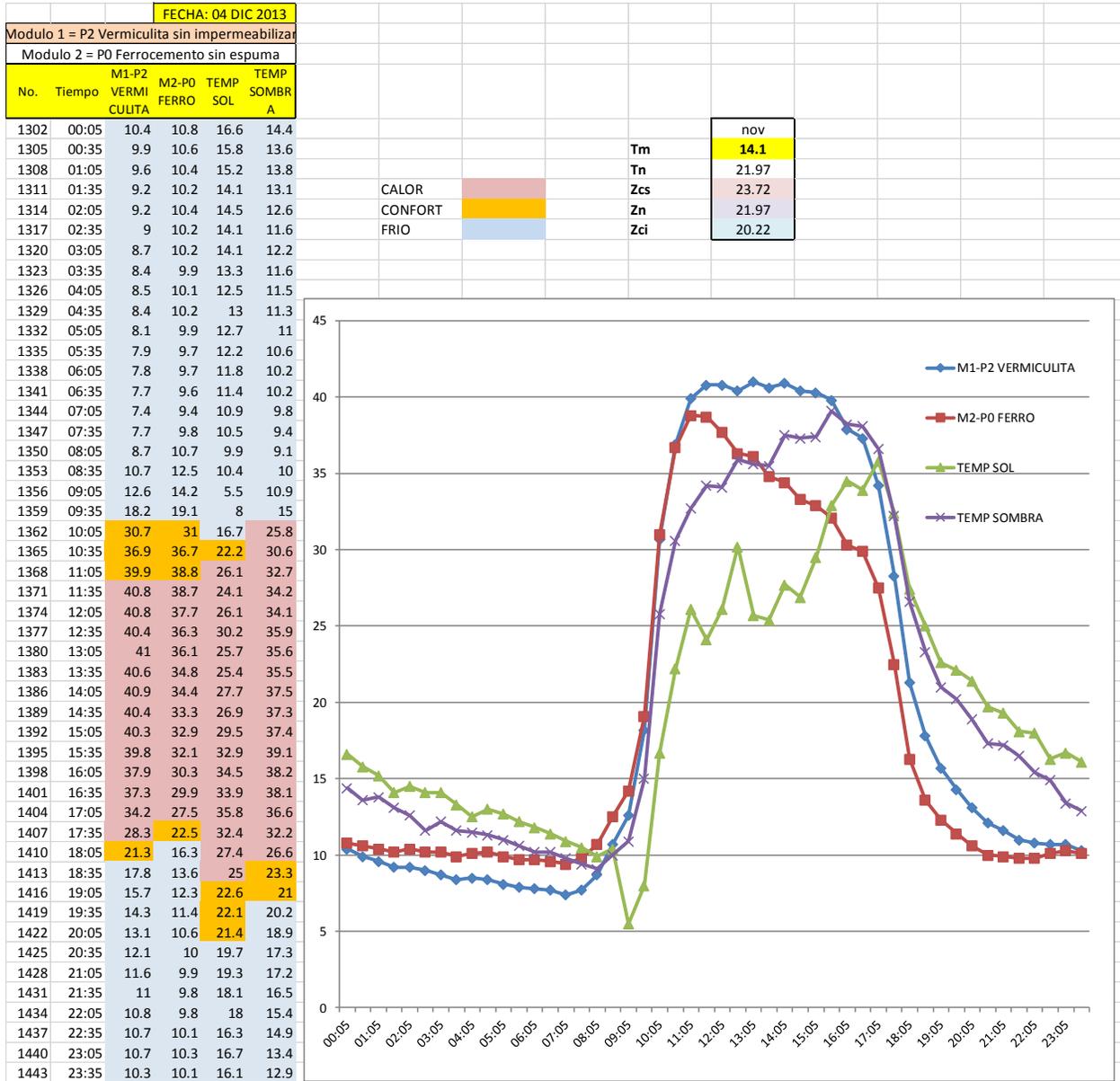
Posteriormente se iniciaron los aparatos para empezar a registrar datos con una frecuencia de 30min.

### 5.1 RESULTADOS SOBRE PRUEBA TÉRMICA DE LOS EXPERIMENTOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO DE DRAGÓN EVALUANDO EL FERROCEMENTO SIN ESPUMA DE POLIURETANO.

#### MODULO DE PERLITA



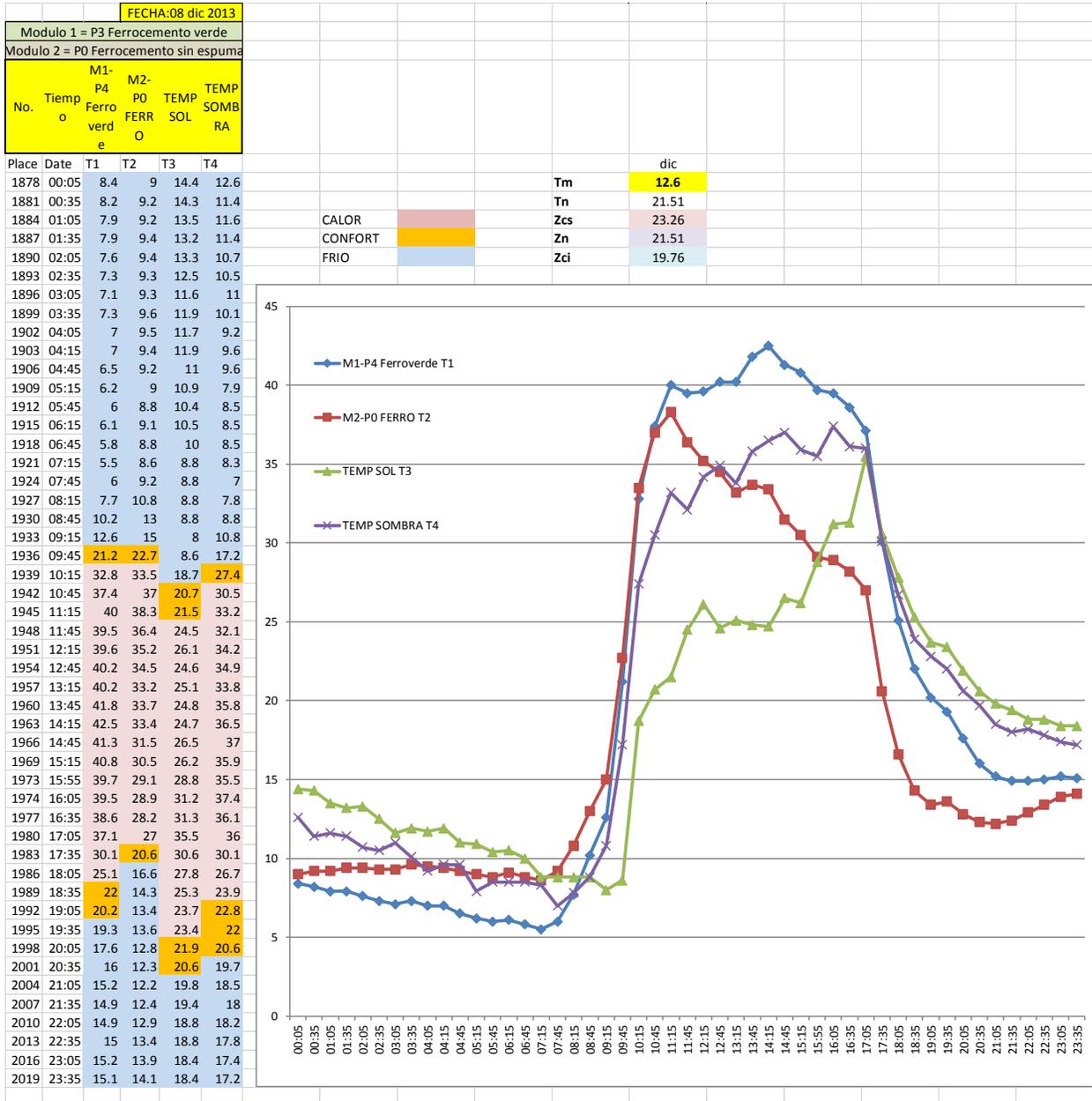
**MODULO DE VERMICULITA**



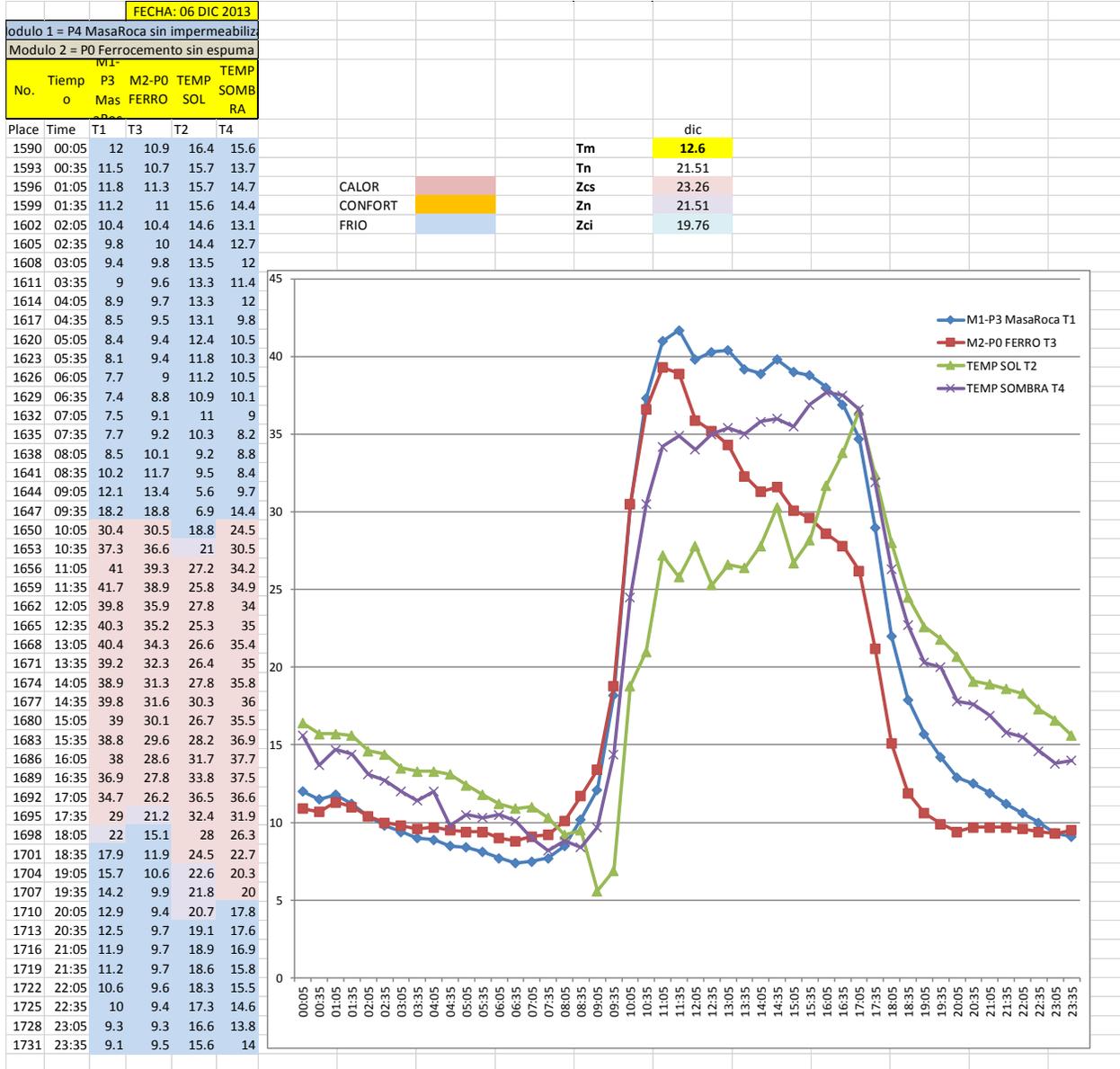
A manera ilustrativa se incluyen los datos de temperatura de un día de pruebas en cada material.

Nota: Estos datos están incompletos aun porque se estas solicitando los datos de radiación del Laboratorio del Instituto de Geofísica y aun no se proporcionan.

FERROCEMENTO VERDE

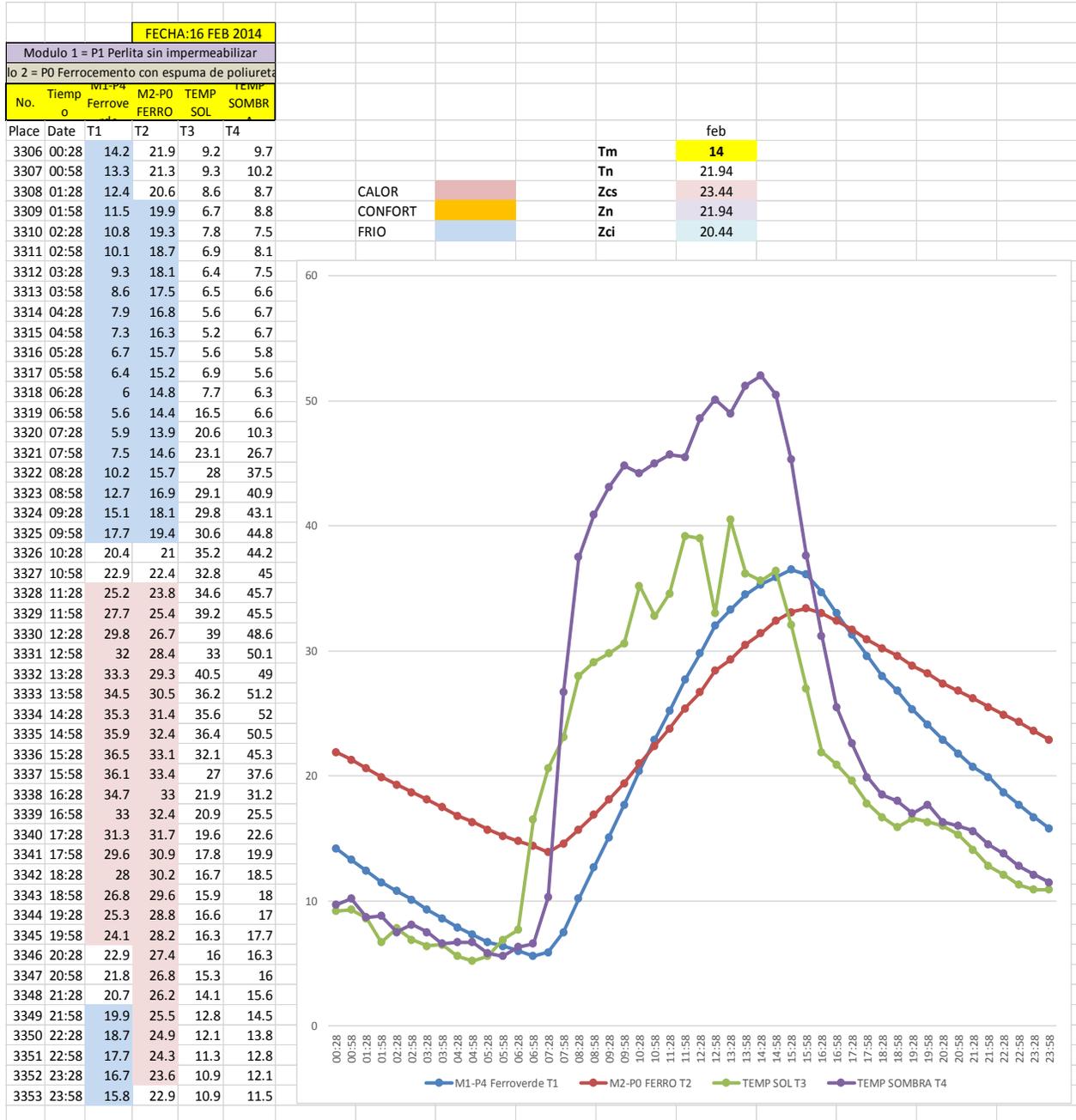


**MASAROCA**



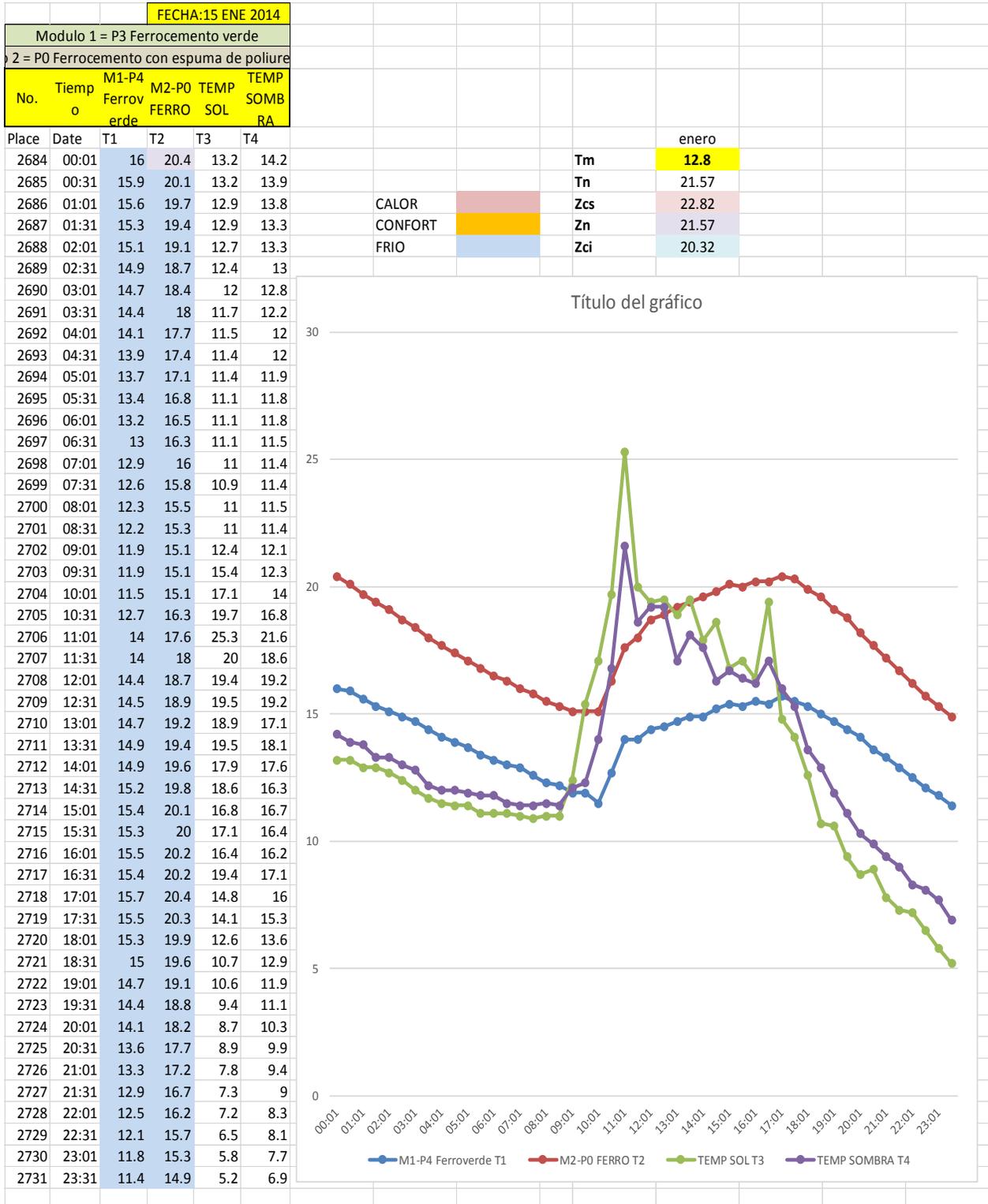
## 5.2 RESULTADOS SOBRE PRUEBA TÉRMICA DE LOS EXPERIMENTOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO DE DRAGÓN EVALUANDO EL FERROCEMENTO CON ESPUMA DE POLIURETANO

### PERLITA

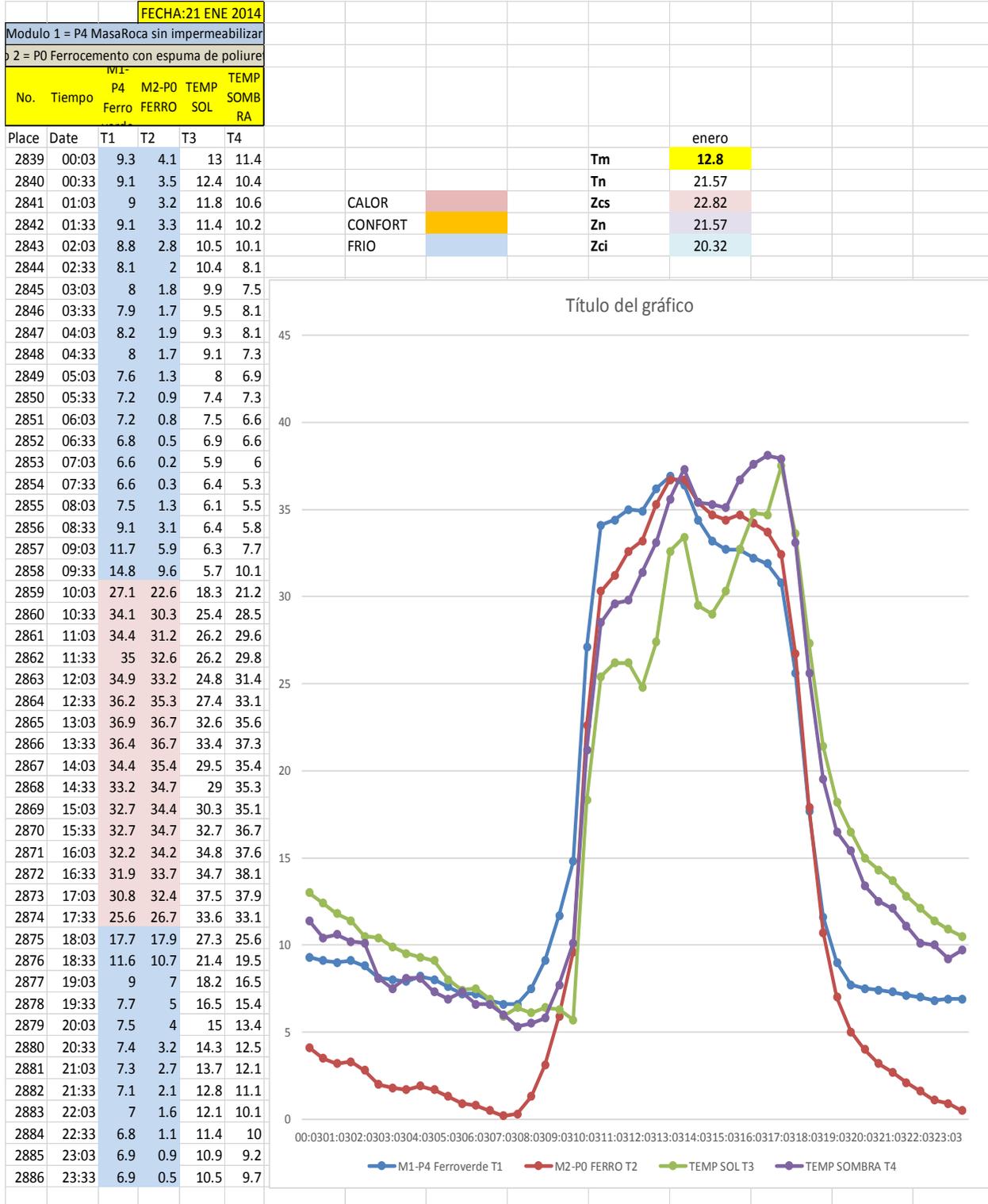




FERROCEMENTO VERDE



**MASAROCA**



### 5.3 RESULTADOS SOBRE FOTOS TÉRMICAS OBTENIDAS EN EL LABORATORIO DE DRAGÓN

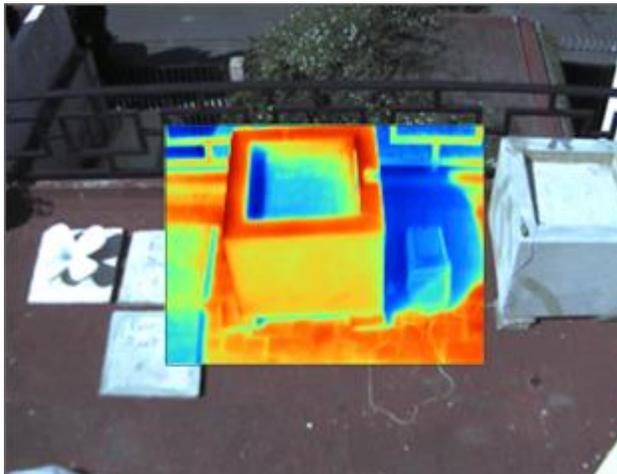
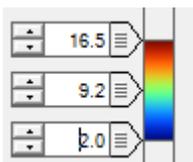
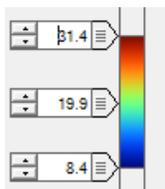


Imagen 6. Ejemplo de imagen térmica y vista de la colocación del laboratorio de Dragón

Los días 23 al 25 de Noviembre se tomaron las fotos térmicas durante las 24 hr, fueron tomadas con



Rango de temperaturas está dado por los colores de la gráfica de la izquierda.



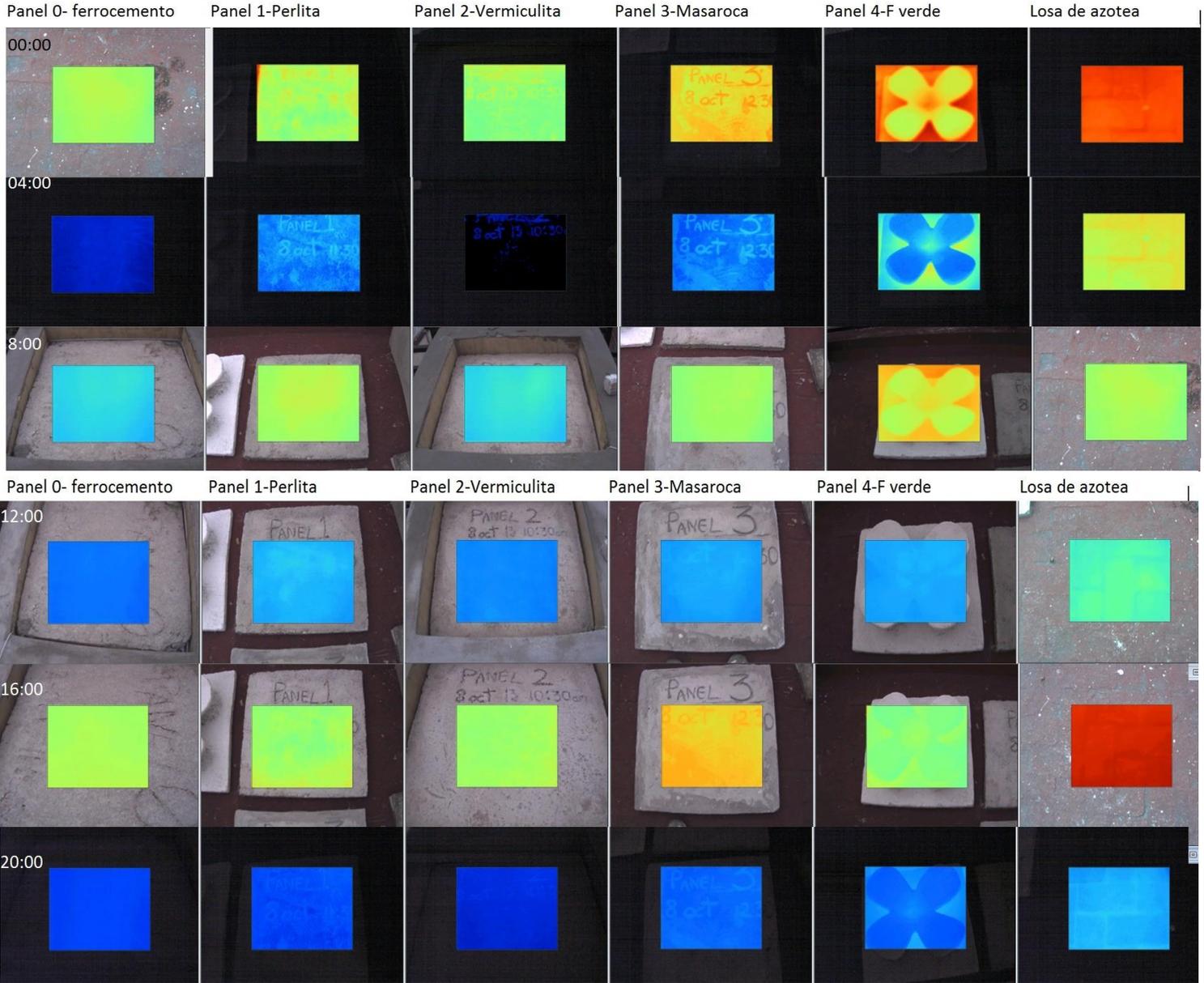
Rango de temperaturas está dado por los colores de la gráfica de la izquierda.

intervalos de una hora para analizar la ganancia térmica de la superficie.

Se fotografiaron todos los paneles y también los muros laterales y la losa de azotea, la cual es una losa maciza de concreto de 10cm con un relleno de tezontle y entortado con ladrillo rojo recosido e impermeabilizante tipo Comex color rojo. Los muros laterales solo están pintados con pintura para exteriores vinílica tipo Comex.

### RESULTADOS

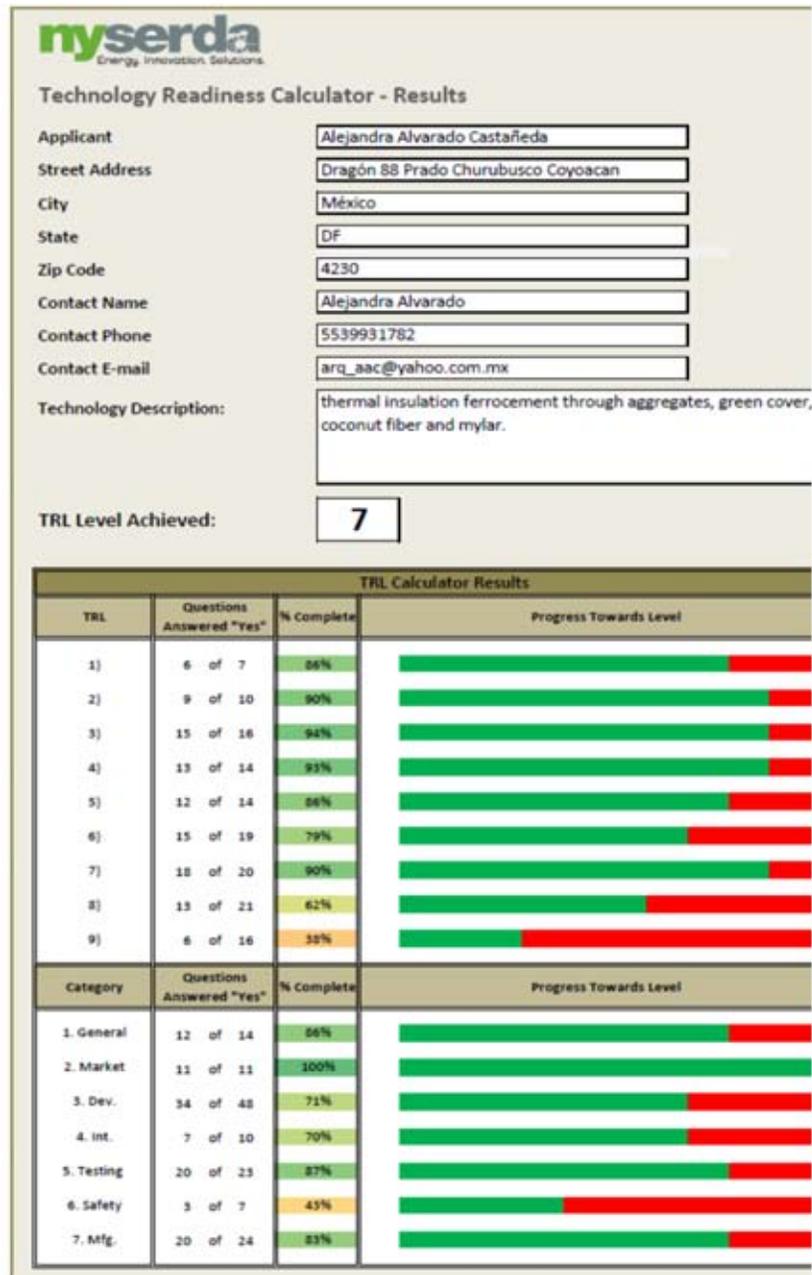
Comparando los resultados entre sí de los paneles fotografiados cada 4hr en el día 21 de noviembre 2013 tenemos que:



## 5.4 ESTADO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA DEL FERROCEMENTO PARA EL AISLAMIENTO TÉRMICO.

### 5.4.1 TRL

Se respondió una serie de preguntas de la página de NYSERDA. Energy. Innovación. Solitions para conocer el nivel en que actualmente se encuentra el proyecto. Se obtuvo que:



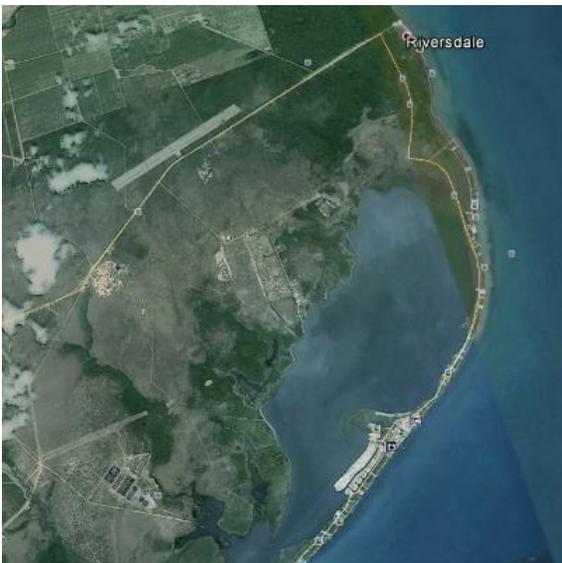
Detailed Results															
By Category								By TRL							
1. General				4. Integration				TRL 1				TRL 6			
1-1)	Yes	1-8)	Yes	4-1)	Yes	4-6)	Yes	1-1)	Yes	3-3)	Yes	1-6)	Yes	4-8)	Yes
1-2)	Yes	1-9)	Yes	4-2)	Yes	4-7)	No	2-1)	Yes	5-1)	Yes	2-7)	Yes	5-11)	Yes
1-3)	Yes	1-10)	No	4-3)	Yes	4-8)	Yes	3-1)	No	5-2)	Yes	2-8)	Yes	5-12)	Yes
1-4)	Yes	1-11)	No	4-4)	Yes	4-9)	No	3-2)	Yes			3-25)	Yes	5-13)	Yes
1-5)	Yes	1-12)	Yes	4-5)	Yes	4-10)	No	TRL 2				3-26)	No	6-4)	Yes
1-6)	Yes	1-13)	Yes	5. Testing & Validation				1-2)	Yes	3-7)	Yes	3-27)	Yes	6-5)	No
1-7)	Yes	1-14)	Yes	5-1)	Yes	5-14)	Yes	2-2)	Yes	3-8)	No	3-28)	Yes	7-8)	Yes
2. Market Need				5-2)	Yes	5-15)	Yes	3-4)	Yes	4-1)	Yes	3-29)	Yes	7-9)	Yes
2-1)	Yes	2-7)	Yes	5-3)	Yes	5-16)	Yes	3-5)	Yes	5-3)	Yes	3-30)	No	7-10)	Yes
2-2)	Yes	2-8)	Yes	5-4)	Yes	5-17)	Yes	3-6)	Yes	5-4)	Yes	4-7)	No		
2-3)	Yes	2-9)	Yes	5-5)	Yes	5-18)	Yes	TRL 3				TRL 7			
2-4)	Yes	2-10)	Yes	5-6)	Yes	5-19)	Yes	1-3)	Yes	3-14)	Yes	1-7)	Yes	5-14)	Yes
2-5)	Yes	2-11)	Yes	5-7)	Yes	5-20)	Yes	2-3)	Yes	4-2)	Yes	2-9)	Yes	5-15)	Yes
2-6)	Yes			5-8)	Yes	5-21)	No	2-4)	Yes	5-5)	Yes	3-31)	No	5-16)	Yes
3. Development				5-9)	Yes	5-22)	No	3-9)	Yes	5-6)	Yes	3-32)	Yes	5-17)	Yes
3-1)	No	3-25)	Yes	5-10)	Yes	5-23)	No	3-10)	No	6-1)	Yes	3-33)	Yes	5-18)	Yes
3-2)	Yes	3-26)	No	5-11)	Yes			3-11)	Yes	7-1)	Yes	3-34)	Yes	7-11)	No
3-3)	Yes	3-27)	Yes	5-12)	Yes			3-12)	Yes	7-2)	Yes	3-35)	Yes	7-12)	Yes
3-4)	Yes	3-28)	Yes	5-13)	Yes			3-13)	Yes			3-36)	Yes	7-13)	Yes
3-5)	Yes	3-29)	Yes	6. Safety				TRL 4				3-37)	Yes	7-14)	Yes
3-6)	Yes	3-30)	No	6-1)	Yes	6-5)	No	1-4)	Yes	4-3)	Yes	3-38)	Yes	7-15)	Yes
3-7)	Yes	3-31)	No	6-2)	Yes	6-6)	No	2-5)	Yes	4-4)	Yes	TRL 8			
3-8)	No	3-32)	Yes	6-3)	No	6-7)	No	3-16)	No	5-7)	Yes	1-8)	Yes	5-22)	Yes
3-9)	Yes	3-33)	Yes	6-4)	Yes			3-17)	Yes	5-8)	Yes	1-9)	Yes	5-23)	No
3-10)	No	3-34)	Yes	7. Manufacturing				3-18)	Yes	6-2)	Yes	1-10)	No	6-6)	No
3-11)	Yes	3-35)	Yes	7-1)	Yes	7-13)	Yes	3-19)	Yes	7-3)	Yes	2-10)	Yes	6-7)	No
3-12)	Yes	3-36)	Yes	7-2)	Yes	7-14)	Yes	3-20)	Yes	7-4)	Yes	3-39)	No	7-16)	Yes
3-13)	Yes	3-37)	Yes	7-3)	Yes	7-15)	Yes	TRL 5				3-40)	No	7-17)	Yes
3-14)	Yes	3-38)	Yes	7-4)	Yes	7-16)	Yes	1-5)	Yes	5-9)	Yes	3-41)	Yes	7-18)	Yes
3-15)	Yes	3-39)	No	7-5)	Yes	7-17)	Yes	2-6)	Yes	5-15)	Yes	3-42)	Yes	7-19)	Yes
3-16)	No	3-40)	No	7-6)	Yes	7-18)	Yes	3-21)	No	5-16)	Yes	3-43)	No	7-20)	Yes
3-17)	Yes	3-41)	Yes	7-7)	Yes	7-19)	Yes	3-22)	Yes	6-3)	No	4-9)	No		
3-18)	Yes	3-42)	Yes	7-8)	Yes	7-20)	Yes	3-23)	Yes	7-5)	Yes	5-21)	Yes		
3-19)	Yes	3-43)	No	7-9)	Yes	7-21)	No	3-24)	Yes	7-6)	Yes	TRL 9			
3-20)	Yes	3-44)	Yes	7-10)	Yes	7-22)	No	4-5)	Yes	7-7)	Yes	1-11)	No	3-48)	No
3-21)	No	3-45)	No	7-11)	No	7-23)	No	4-6)	Yes			1-12)	Yes	4-10)	No
3-22)	Yes	3-46)	Yes	7-12)	Yes	7-24)	Yes					1-13)	Yes	5-24)	No
3-23)	Yes	3-47)	No									1-14)	Yes	5-25)	No
3-24)	Yes	3-48)	No									2-11)	Yes	7-21)	No
												3-44)	Yes	7-22)	No
												3-45)	No	7-23)	No
												3-46)	Yes	7-24)	Yes
												3-47)	No		

"Todo el que disfruta cree que lo que importa del árbol es el fruto, cuando en realidad es la semilla. He aquí la diferencia entre los que creen y los que disfrutan."

**Friedrich Nietzsche**

## CAPITULO 6. APLICACIONES

### 6.1 CASAS PARA TURISTAS EN PLAYA DE BELICE



**Imagen 1. Ubicación del terreno en la costa de Belice. Google Earth**

Una de las aplicaciones que puede tener el estudio de la presente tesis lo encontramos en un proyecto que se construirá a partir de mayo en Belice a 80km de Belmopán sobre la costa, próxima a Riversdale. Donde se construirá un conjunto de 5 casas de formas orgánicas con ferrocemento.

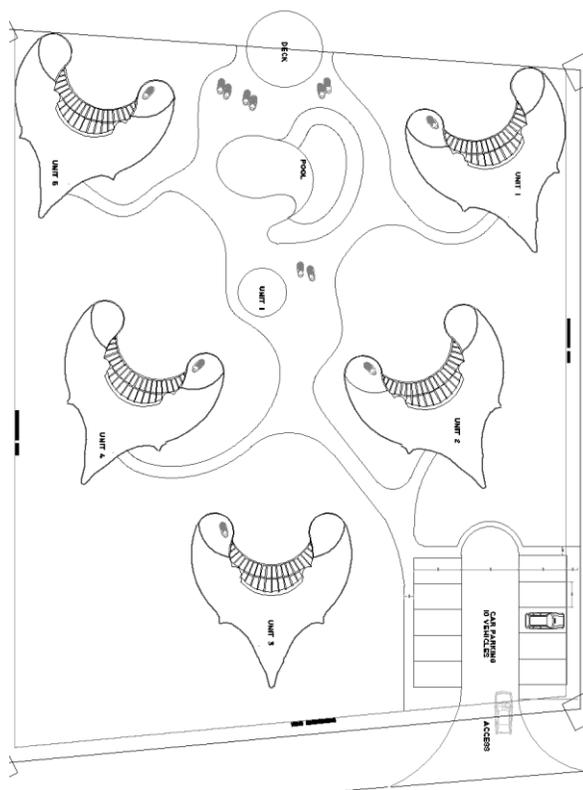
Aunque la investigación se realizó para usar las aplicaciones térmicas del ferrocemento en un clima templado como el de la Cd. de México y el proyecto solicitado se encuentra en uno muy caluroso nos enfrentamos a requerimientos mayores de aislamiento.

Este proyecto se encargó al despacho del Arquitecto Javier Senosiain y por las características climáticas que presenta el lugar es de gran importancia el aislamiento térmico. Las características estéticas del terminado que se solicitan es que la cubierta sea lo más lisa posible, sin azotea verde ni demás elementos sobre ella. Se busca evitar el uso completamente de la espuma de poliuretano, por lo que se trabajó una nueva propuesta para encontrar una solución, donde se usara un ferrocemento con perlita como agregado a dos capas, similar a un sándwich, y en medio se propone incluir fibra de coco y una hoja de Mylar.

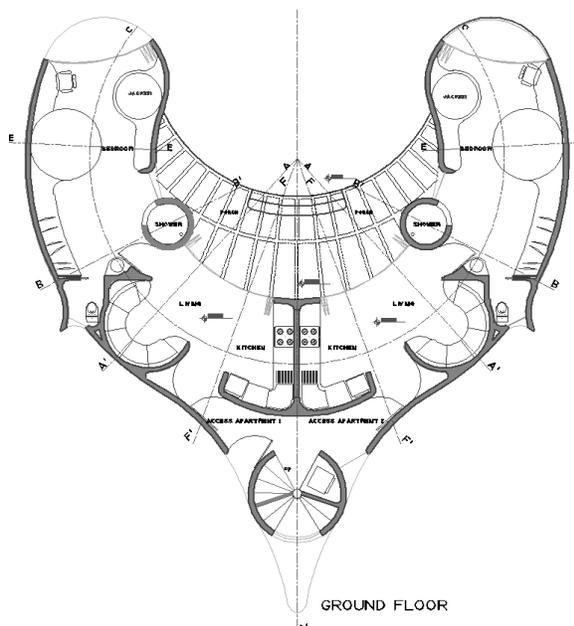
### 6.1.1 PLANOS ARQUITECTÓNICOS DE LA “CASA TIPO”

El conjunto se encuentra junto al mar, pero el fondo del terreno da a una bahía (poniente) que se forma y del lado del acceso principal se encuentra el mar, pero son las casas frente a este terreno las que dan directamente a él.

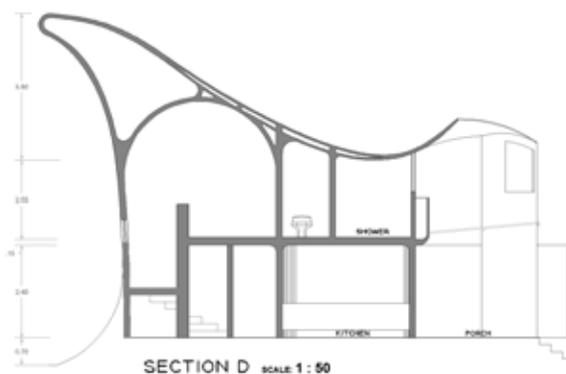
El módulo de la “Casa tipo” se coloca 5 veces sobre el terreno sin importar mucho la orientación que tome, predomina el que las ventanas den hacia el poniente, lo cual da como resultado que la cubierta estará recibiendo el asoleamiento todo el día y en los atardeceres será muy fuerte la entrada de sol y tendrá una fuerte entrada de calor.



Plano 1. Planta de azotea. El norte en él se encuentra del lado derecho

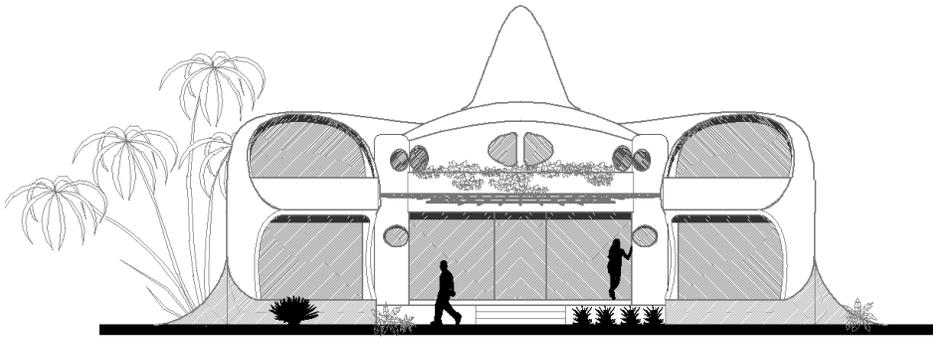


Plano 2 Planta alta de la "casa tipo"

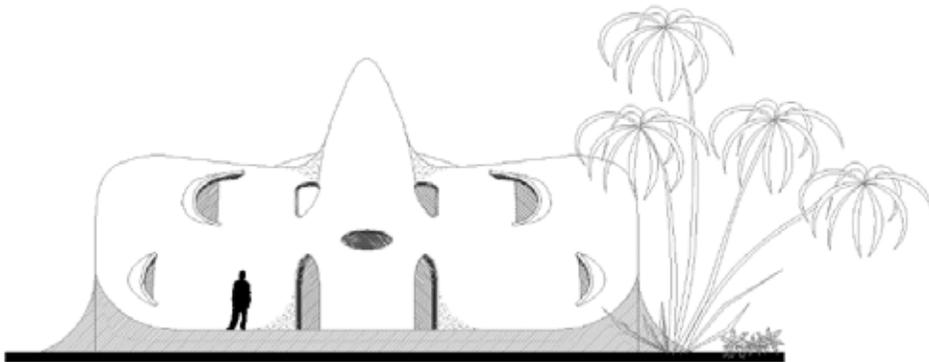


Plano 3. Corte por Eje 6. Se aprecia en el sobre la cubierta el doble muro donde se ubicara la propuesta de ferrocemento con propiedades de aislamiento térmico

Los muros de esta “casa tipo” son en el primer nivel a plomo (no tienen curvatura en el plano Z). Pero en el 2do piso empieza su doble curvatura. Parte de la planta baja tendrá taludes con sustrato vegetal y plantas bajas para protegerlo térmicamente, pero es a partir de la planta alta que se deberá proteger de la ganancia térmica.



Plano 5. Fachada Poniente de la "casa tipo"



Plano 4. Fachada Oriente de la "casa tipo"

Cada "casa tipo" tiene 4 departamentos en su interior, distribuidos en 2 por nivel, y sobre de ellos en la parte central tiene un depósito de agua, el cual es el remate con forma de cuerno que se aprecia en el plano 3. Corte por Eje 6. La cubierta tiene multiples orientaciones.

Posteriormente se elaboraron unos Renders para ilustrar al cliente sobre la imagen del proyecto.

El proyecto carece de sistemas pasivos de climatización.



Imagen 2. Render de la vista Oriente de la "casa tipo"

### 6.1.2 MODELADO 3D y RENDERS

Con el fin de hacer el cálculo estructural de esta casa y conocer a detalle la volumetría de esta casa se elaboró un modelo completo de cada elemento estructural en el programa Rhino 5.0



Imagen 3. Render de la vista Poniente de la "casa tipo"

## 6.2 DESCRIPCIÓN DEL PANEL PROPUESTO

El panel propuesto conjunta las propiedades térmicas y acústicas del ferrocemento con agregados de Perlita (Panel 1 Perlita) con la fibra de coco, no analizada en las pruebas térmicas pero si mencionadas sus propiedades y usos en Paneles planos de ferrocemento, y también incluye una capa de Mylar, material laminado con PET y aluminio.

### 6.2.1 ANÁLOGOS SOBRE EL PANEL. FIBRA DE COCO

En cuanto al uso de la fibra de coco en paneles de ferrocemento ya se tienen algunos estudios pero en paneles prefabricados, y estos ejemplos ya se vieron en el capítulo 2, pero retomando y resumiéndolos:

#### USO DE FIBRA DE COCO PARA CONDUCTIVIDAD TERMICA EN PANELES DE FERROCEMENTO, OAXACA, MÉX.<sup>1</sup>

Este estudio evalúa el uso potencial de la fibra de coco como relleno aislante térmico para paredes de paneles de ferrocemento en la configuración de emparedado de las escuelas y los techos de las casas "en Puerto Escondido, Oaxaca, México.

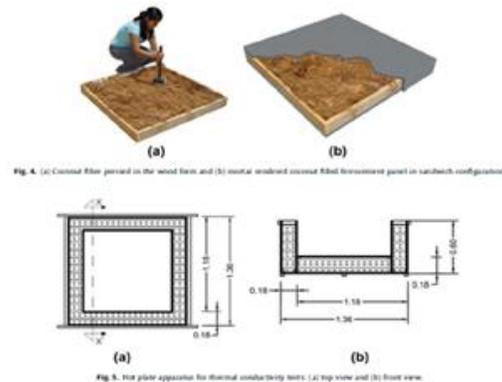


Imagen 4. Panel plano de ferrocemento relleno de fibra de coco

Mediciones de conductividad térmica se realizaron para comparar el comportamiento térmico de paredes de paneles de ferrocemento rellenas con fibra de coco con otros materiales de construcción típicos de la región, ladrillo de arcilla roja, bloque hueco de hormigón y muros de hormigón ligeros paneles de ladrillo son 0.93, 0.683 y 0.536 W / m<sup>2</sup> K, respectivamente. La conductividad térmica de la configuración propuesta es 0.221 W/mK y que es menor que los materiales típicos utilizados para las casas de esta región.

Se debe enfatizar que las paredes del panel de ferrocemento en tipo sándwich rellenos de fibra de coco proporciona la protección suficiente para minimizar las preocupaciones de humedad ya que la fibra de coco esta entre las paredes de ferrocemento.

<sup>1</sup> Construction and Building Materials, Volume 37, December 2012, Pages 425-431 ( R. Alavez-Ramirez, F. Chifias-Castillo, V.J. Morales-Dominguez, M. Ortiz-Guzman)

## FERROCEMENTO CON FIBRAS DE COCO

Se pueden fabricar pequeños artefactos de ferrocemento sustituyendo la malla de alambre por fibra de coco. En regiones costeras este material es muy abundante. Se ha empleado con éxito para tapicería y aislamiento térmico en otros tipos de construcciones como casas de concreto o madera.

- Tolerancia de los espesores: +10% / -0%.
- Conductividad térmica: 0,043 a 0,045W/mk.
- Reducción de los ruidos de percusión (de acuerdo con los espesores): 25 a 35 db (en forjado).
- Reducción de ruidos aéreos: 47 db (en media).
- Comportamiento al fuego: clase B2

Ventajas: No electrostática, Inodora. Resistente a la humedad - amplia difusión. No atacable por roedores o termitas. Imputrescible, no produce hongos. Difusión del vapor de agua (DIN).

### 6.2.2 MYLAR

Es una película de poliéster inventada en la década de 1950, se ha utilizado en una variedad de aplicaciones que agregan valor a los productos en prácticamente todos los segmentos del mundo. Su excelente equilibrio de propiedades y gama de capacidades de rendimiento le dan aplicaciones en la eléctrica, electrónica, medios magnéticos, especialidad industrial, las imágenes y los gráficos,



Imagen 5. Tela de Mylar para evitar la pérdida de temperatura corporal

y los mercados de envasado, se ha empleado hasta en el espacio tanto en transbordadores como en trajes de astronautas.<sup>2</sup>

Es en si la unión de dos materiales: PET (tereftalato de polietileno, politereftalato de etileno, polietilentereftalato o polietileno tereftalato) y una capa de aluminio, ambas muy delgadas.

**Propiedades químicas:** Es resistente a la mayoría de los reactivos químicos, solventes y barnices. La película es relativamente insensible a la absorción de humedad, absorbiendo menos del 0,8%. Es resistente a las manchas producidas por sustancias externas.

**Propiedades eléctricas:** Su fuerza dieléctrica se relaciona directamente con el espesor, hay muchos calibres para proporcionar la fuerza eléctrica buscada. La temperatura del Mylar cambia su efectividad, pero no por mucho. Hay sólo una ligera disminución de la fuerza dieléctrica desde una temperatura ambiente hasta una de 150°C.

<sup>2</sup> DuPont Página Oficial.  
<http://www.dupontteijinfilms.com/> revisado: 20 abril 2014

**Propiedades físicas y térmicas:** Según DuPont, muestra una resistencia al corte más fuerte que otros materiales poliméricos. Las películas Mylar de 5 y 10mm tienen una resistencia al corte de 15.0 y 13.6 kg/mm<sup>2</sup>. Mylar es útil entre los -70 y 150°C. Si los requerimientos físicos de fuerza son menos exigentes, puede servir en temperaturas tan bajas como -250°C y hasta los 200°C

**Propiedades ópticas:** Presenta una característica de dispersión de la luz que los hace transmitir menos radiación.

Transmite una luz similar a lo que hacen las ventanas a través del espectro de absorción típico a bajas longitudes de onda. El índice de reflectancia está entre 1.64 y

1.67. La absorción de los rayos UV y la dispersión la hacen segura para proteger todo lo que cubre. Esto puede evitar el daño de los rayos UV.

### 6.2.3 CROQUIS Y EXPLICACION DEL FUNCIONAMIENTO

El planteamiento de esta propuesta se originó en el hecho de que la Perlita si baja la

ganancia térmica al Ferrocemento, pero por si sola no llega a los niveles de aislamiento que la espuma de poliuretano a 2” de espesor.

Entonces se pensó en usar otro material en conjunto, uno que fuera fácil de conseguir en Belice y que fuera barato y de preferencia natural, se optó por la fibra de coco, la cual ya se había visto en el estado actual del material otros trabajos donde la emplean, pero en esos casos era para rellenar paneles planos que no será elementos constructivos

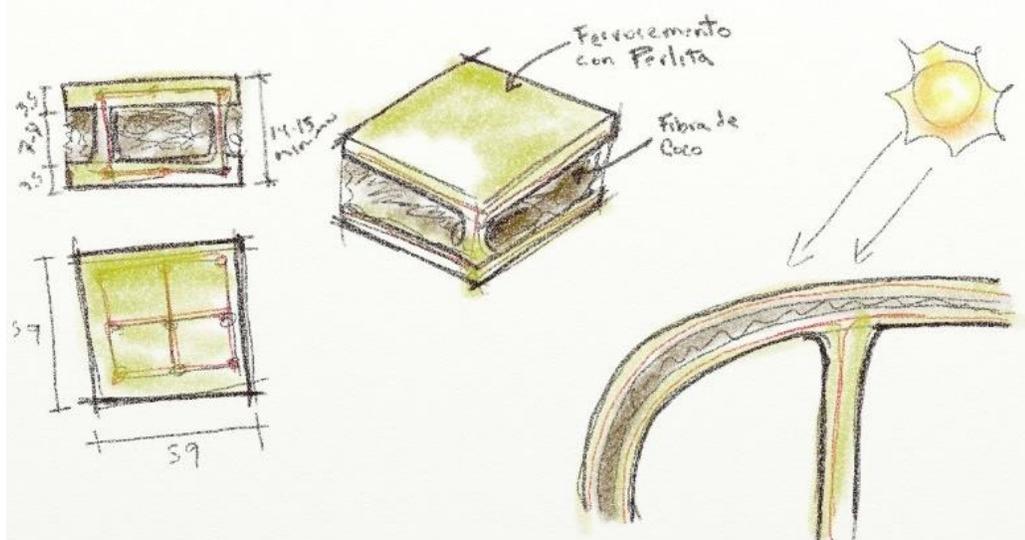


Imagen 6. Croquis conceptual sobre la elaboración del panel-sándwich de fibra de coco.

de carga y cuya elaboración es diferente a la aquí planteada.

El tercer elemento empleado aquí es la tela de Mylar, el cual no es un elemento natural, pero si se encuentra fácilmente a disposición ya sea en estado virgen o reutilizado. El Mylar evita la perdida térmica hasta en un 90%.

Necesita emplear estos 3 materiales para formar un sándwich para lograr el aislamiento térmico que se requiere.

## 6.3 PRUEBAS REALIZADAS

### 6.3.1 ELABORACIÓN DEL PANEL

En los paneles planos elaborados en los otros trabajos primero se cuela la parte inferior del panel se rellena y se coloca una tapa previamente colada y fraguada. En este trabajo se elaborara el armado con todo y ganchos de anclaje y separación entre las dos tapas. Y antes de enmallar se colocaran 4 capas de tela de fibra de coco que venden para muros de contención verdes, los cuales mantienen su forma y la fibra por una delgada malla plástica que la abraza.

A la mitad de estas 4 capas de tela de fibra de coco se encapsulara la hoja de la tela de Mylar. En esta ubicación para evitar que se rasgue en el enmallado y colado, pero en si la razón principal es para mantener la humedad interior aislada de la humedad exterior que pueda estar exudando la estructura y la fibra de coco.

Posteriormente se realizara el enmallado dejando unos huecos a través de la estructura de doble curvatura para detallar el colado. Como paso final se colara monolíticamente toda la estructura y cuando comience a sentirse rigida, unas 2 o 3 hr de terminar el colado se detallara y cerrara.

En la elaboración del panel como se puede apreciar en la Imagen 7, el panel se colo completamente antes de colocar la fibra de coco y el Mylar. Esto se realizó porque al principio se iba a

realizar hueco. Su elaboración fue en la misma ubicación que los otros paneles y posteriormente se llevó al laboratorio.



Imagen 7. Panel con Perlita, recién colado.



Imagen 8. Panel ya con la fibra de coco en 4 capas y el mylar en medio.



**Imagen 9. Panel ya en el laboratorio de la Unidad de Posgrado.**

**6.3.2 CONDICIONES DE LAS PRUEBAS**

Estas pruebas ya se realizaron sobre el Laboratorio ubicado en la azotea del Edificio de la Unidad de Posgrado en Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México, cuyas condiciones climáticas se detallan en el capítulo 4 (pag-76-78).

Se ubicaron los dos Módulos de prueba orientados hacia el norte con ayuda del GPS ETREX GARMIN. Y en el Modulo 1 se colocó el panel de ferrocemento-perlita-coco-mylar aislado perimetralmente para evitar pérdidas de temperatura en las orillas. En el módulo 2 se colocó el Panel 0-Ferrocemento con espuma de poliuretano a 2”, de igual forma aislado en sus orillas.



**Imagen 10 Panel colocado y sellado sobre el módulo**

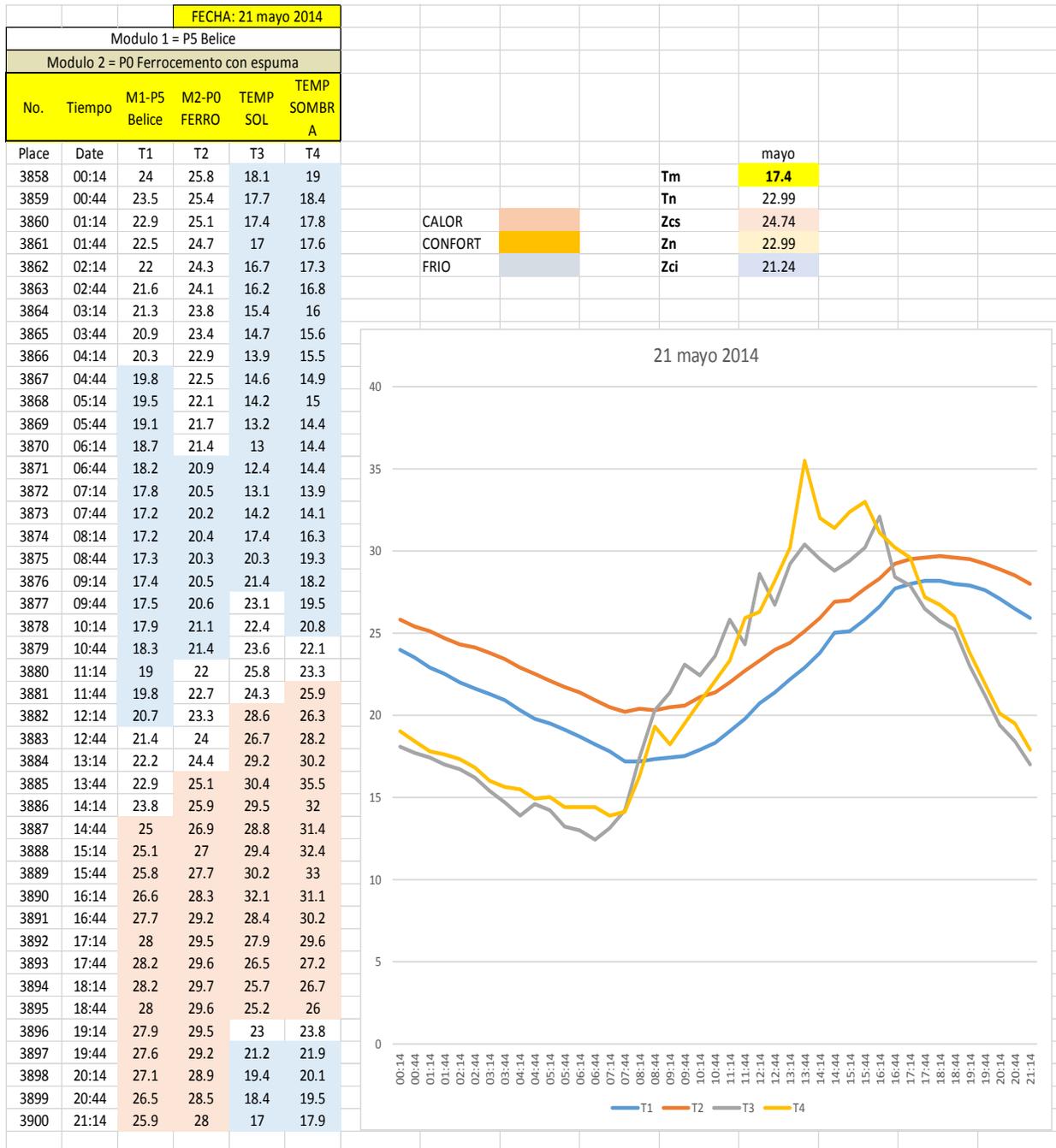
Antes de sellar las orillas se colocó un termopar en cada módulo conectado al SD CARD DATA LOGGER THERMOMETER 4CH colocando los otros 2 termopares para tomar la temperatura al sol y otro a la sombra. Junto a ellos se ubicó el GENERAL HT 10 RH TEMP DATA LOGGER de forma que no se afectara la lluvia de esos días.

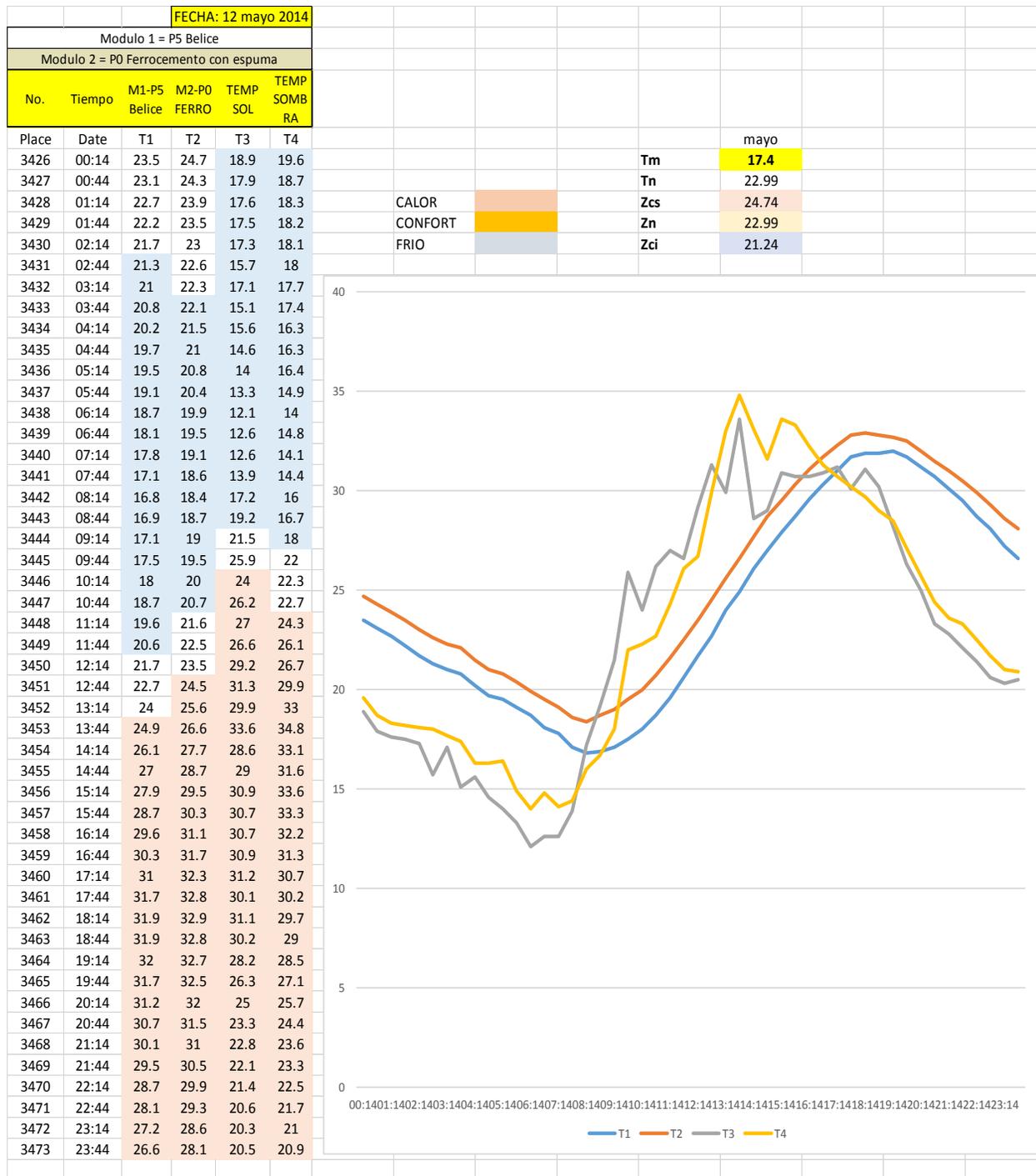
Posteriormente se iniciaron los aparatos para empezar a registrar datos con una frecuencia de 30min.

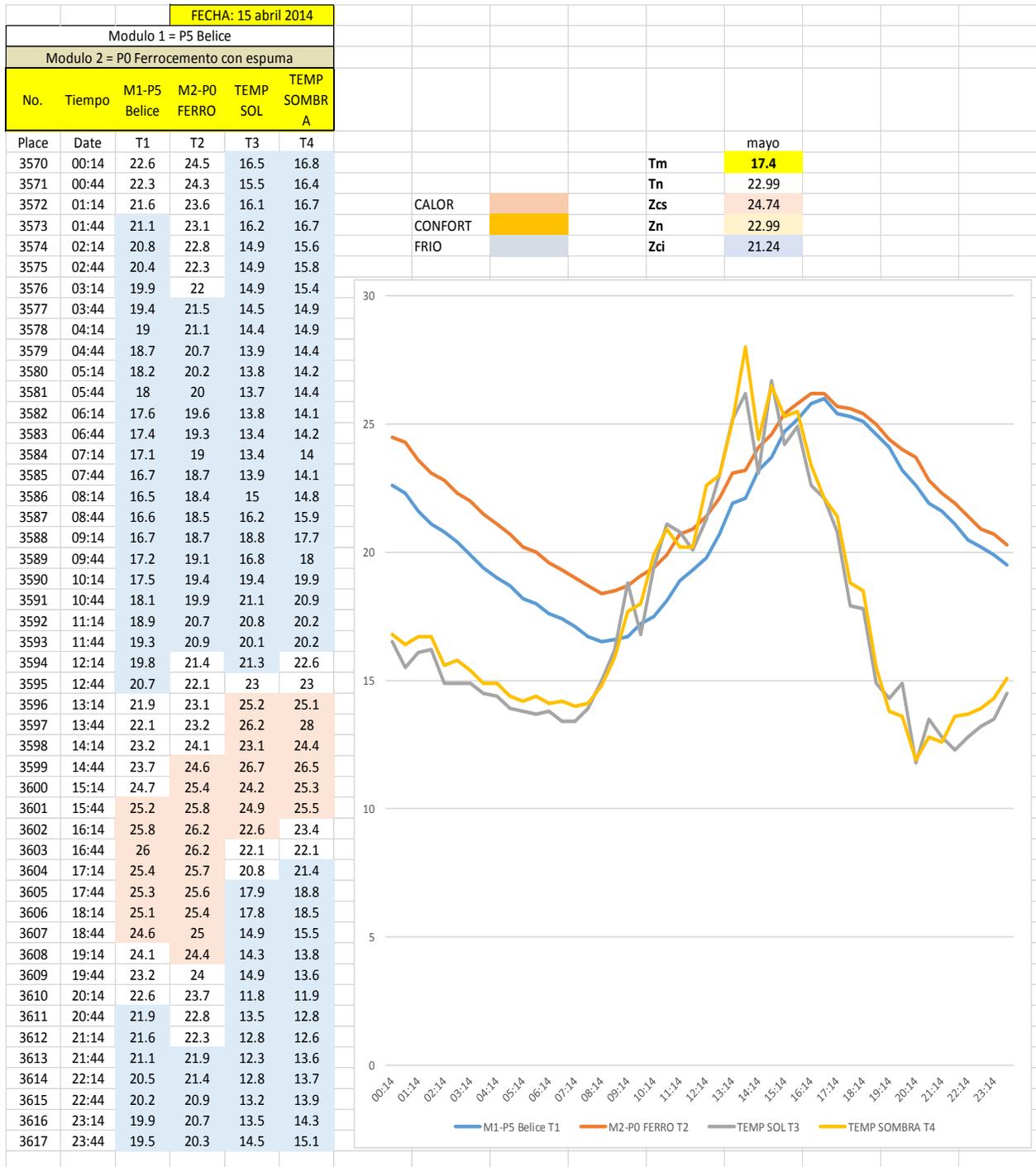


**Imagen 11. Módulos para pruebas ya completos, con aparatos instalados sobre el laboratorio de la Unidad de Posgrado.**

6.4 RESULTADOS









"La pobreza, la ignorancia, las enfermedades y otros problemas de tal índole no son emergencias metafísicas. Por la naturaleza metafísica del hombre y de la existencia misma, el hombre tiene el deber de mantener su vida mediante su propio esfuerzo; sus principios necesarios —tales como la riqueza o el conocimiento— no se le son dados automáticamente como un obsequio de la naturaleza, sino que es su labor descubrirlos y adquirirlos mediante su propio pensamiento y trabajo."

**Ayn Rand<sup>1</sup>**

## CONCLUSIONES

Las conclusiones vertidas en este capítulo aun no pueden ser finales. Se obtuvieron muchos días de prueba y en el capítulo de la experimentación se colocó un día de ejemplo de cada uno sobre las mediciones de temperaturas. Pero los datos de humedad y radiación no se pudieron verter puesto que hacen falta los datos que me proporcionará el Laboratorio de Geofísica de la UNAM. Dejé pasar el tiempo para solicitarlo porque nada más quería solicitar de una vez todos los días que se necesitaban. Pero después de semana santa no se ha encontrado al encargado de ellos porque se encuentra de viaje. Estos datos se incluirán en el volumen final de la tesis sin falta.

Las conclusiones que aquí se dan se basan solo en los datos vertidos en el documento

### **1. SOBRE LAS PRUEBAS DE LOS AGREGADOS EN EL FERROCEMENTO**

**PRUEBAS SIN ESPUMA DE POLIURETANO:** En ellas se observó el mejor resultado en el Panel 1-Perlita. Puesto que se logra aislar hasta 2°C más que en el Panel 0-Ferrocemento. Muy de cerca lo sigue el Panel 2-Vermiculita. Y dándonos un resultado similar al Panel 0-Ferrocemento se encuentra el Panel 3-Ferrocemento verde sin sustrato ni plantas, en el la estructura en forma de flor le ayudo un poco porque

---

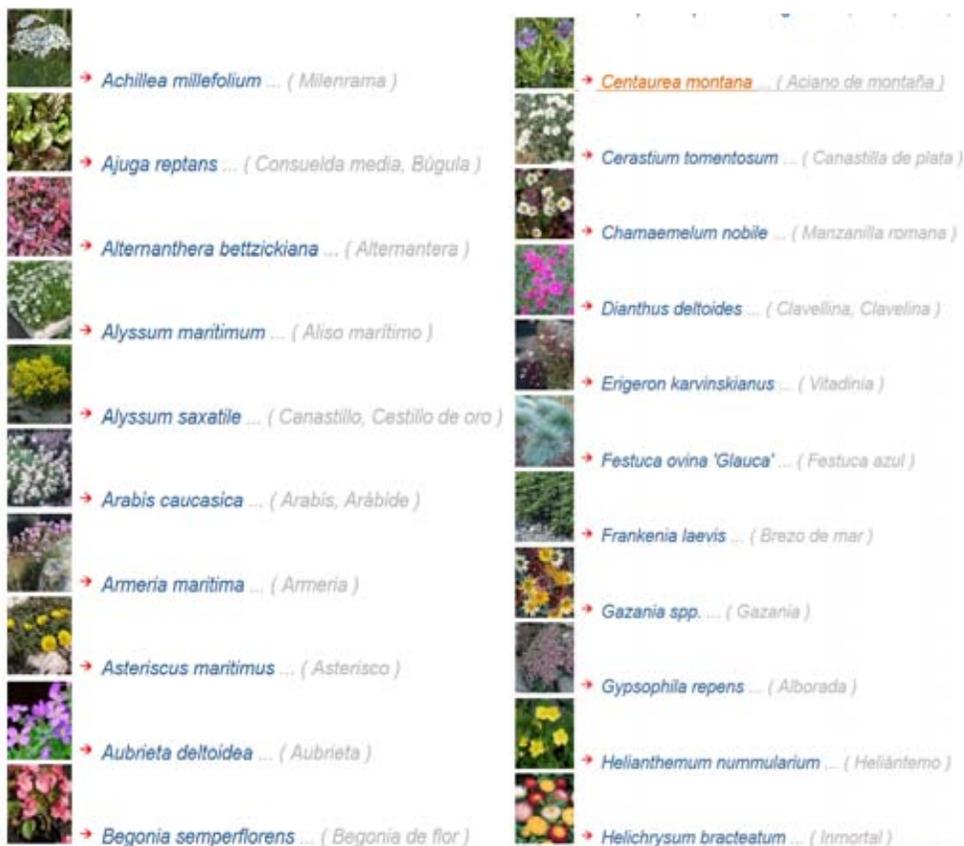
<sup>1</sup> Rand Ayn (1964). The Virtue of Selfishness. Centennial Edition

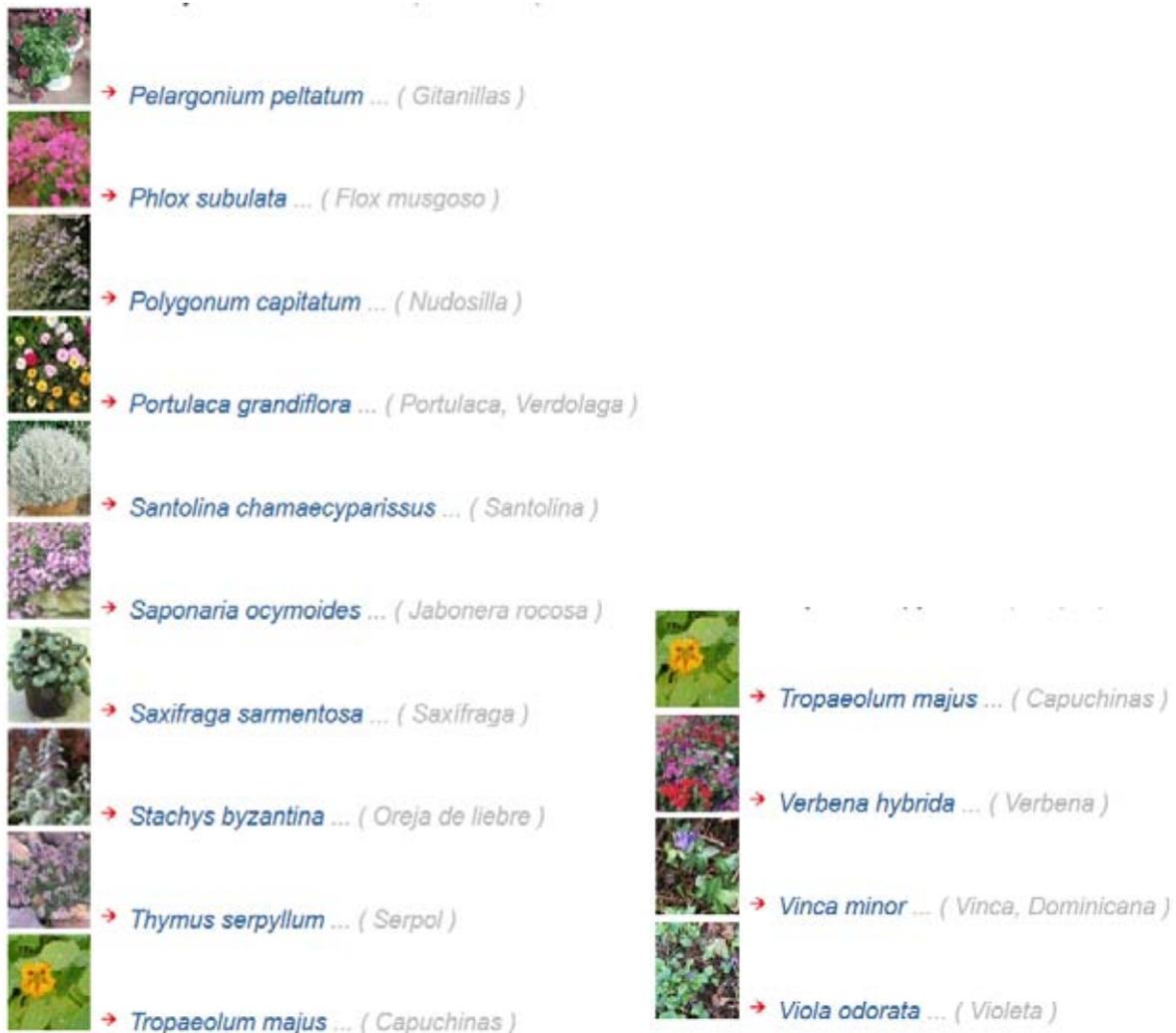
sombrea la cubierta y se protegía un poco de la orientación norte. El único que se comportó más s que el Panel 0-Ferrocemento fue el de Masa Roco, aparte de ser una opción 7 veces más cara se comprobó que no es una opción para el aislamiento térmico.

**PRUEBAS CON ESPUMA DE POLIURETANO A 2” DE ESPESOR:** El comportamiento estuvo en un orden similar. 1er. Lugar. Panel 3-Ferrocemento verde 2do. Panel 1-Perlita. 3do. Panel 2-Vermiculita 3ro. Y 4to. MasaRoca, comprobándonos que no es una opción viable para el aislamiento térmico.

## 2. SOBRE LA PROPUESTA DE FERROCEMENTO CON CUBIERTA VERDE

El único que se comportó con mejor aislamiento térmico fue el Panel 3-Ferrocemento verde. Logrando un aislamiento superior a los 2°C tanto de día como de noche (frente a la ganancia y pérdida térmica). Ya se sabía que logran los espacios enterrados y semienterrados un gran confort térmico, pero aquí el reto estuvo en la capa mínima de sustrato. En el ejercicio se propo con la planta Dedo Moro, *Lampranthus*. Pero existe una amplia gama de plantas tipo cubresuelos o rasantes que se pueden emplean ya dependerá de las necesidades del espacio y los gustos y recursos de los usuarios como por ejemplo:





### 3. SOBRE EL EJEMPLO DE APLICACIÓN EN LA CASA DE PLAYA EN BELICE

Aquí se obtuvieron resultados excelentes. No solo llegó a la capacidad aislante de la espuma de poliuretano, sino que la superó hasta en 4°C. Aunque falta sacar los valores numéricos en base a la radiación de esos días para sacar el valor real de aislamiento del sándwich. Tiene amplias posibilidades de seguir con buenos resultados una vez finalizada esa etapa.

Sus materiales son de bajo costo, solo se aumenta un poco el valor de mano de obra lo que repercute en un 7% superior al sistema del ferrocemento protegido con espuma de poliuretano. Y este costo pronto se amortizará por el costo que se ahorrará por la menor energía que se consumirá en una ventilación artificial.

#### **4. PERSPECTIVAS A FUTURO**

Ya cuando se obtengan esos valores de Radiación que hacen falta para poder concluir esta tesis, se quedara a futuro el análisis con agregados de perlita y vermiculita en el mortero para comprobar que no se altere el valor de la resistencia del material. Los morteros tienen que resistir por reglamento mínimo 150kg/m<sup>2</sup>, en el ferrocemento se emplea de 250, y ya viene muy sobrado puesto que analizando lo que necesita da valores inferiores a 100 para cubrir claros de 10m.

## BIBLIOGRAFÍA

### LIBROS:

- ABERCROMBIE, Stanley (1977). FERROCEMENT Building with Cement Sand and Wire. Published by Schocken Books. USA.
- ALDERSEY-WILLIAMS Hugh (2003). Zoomorphic New Animal architecture, UK , Harper Design international.
- ANDERSON Bruce and Wells Malcolm (1981). Passive Solar Energy. The Homeowners Guide to Natural Heating and Cooling, USA, Brick House Publishing Co.
- B. ZEVI (1961). Historia de la Arquitectura moderna, Buenos Aires; S. GIEDION, Espacio, tiempo y Arquitectura, Barcelona
- B.K. Paul y R.P. Pama (1992). Ferrocemento. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.
- BEESLEY Philip (2008). On Growth and Form: Organic Architecture & Beyond. Faculty of Architecture and Planning. Canada.
- BROTO Carlos (2011) Arquitectura Sostenible. Innovación y diseño. 1ª Edición. Barcelona.
- BROWNE M Neil. Keeley Stuart M (2007). Asking the right questions. A guide to critical thinking. Eighth Edition. Pearson Educación. USA.
- BUENO Mariano (1988). Vivir En Casa Sana Ediciones Martínez Roca
- CABALLERO Aquino Tertuliano(2006). Captación de agua de lluvia y almacenamiento en tanques de ferrocemento. Manual técnico. Instituto Politécnico Nacional. México
- CIAMPI, Vincenzo (1982). Analytical model for concrete anchorage of reinforcing bars under generalized excitations.
- CONNELLY Garrett (1995). Ferrocement house Construction. Monolithic Sculptural Technique. USA
- CONNELLY Garrett (1993). Sculptor's Ferrocement Manual. USA.
- CONNELLY Garrett (1993). Healing the Planet with human right. USA.
- D.K. CHING Francis, Mark M.Jarzombek, (2010). Una historia Universal de la Arquitectura Vol.1 y 2, España, GG.
- DIAMANT Rudolph (1965). Insulation of buildings, thermal and acoustic.
- EDWARDS Brian (2005). Guía básica de la sostenibilidad, 2a edición, GG.
- GARCÍA Martínez Javier (2003). Materiales zeolíticos: síntesis, propiedades y aplicaciones. Universidad de Alicante.
- GIGLIOTTI Vitorrio, Mousawi Sami (1993). Natura&Architettura, Fabbri Editori
- ISSENMANN Pilarski (1960). Calculo de cascarones de concreto armado.
- JODIDIO Philip (2001). New forms. La arquitectura de los noventas, España, Tachen.
- LARA García Baudelio.(1997). El protocolo de investigación. Guía para su elaboración. Universidad de Guadalajara. México.
- MAJUMDAR A.J. (1991). Glass fibre reinforced cement.
- MARTÍNEZ DEL SOBRAL Margarita (2000). Geometría Mesoamericana, México, Fondo de cultura Económica.
- MEHTA Hitesh (2010). Authentic Ecolodges, USA, Collins Design Harper Collins Publishers.
- NAGDI Khairi (1993). Rubber as an engineering material: guideline for users. Munich, Hanser
- NAMMAN EAntoine E. (2000). Ferrocement & laminated cementitious composites. Techno Press 3000. NY.
- NIELD Donald (2006). Convection in porous media. New York. Springer Verlag.

- OLGAYAY Víctor (2010). Arquitectura y clima. 1ª Edición, Barcelona. GG.
- OLVERA Lopez Alfonso (2002). El ferrocemento y sus aplicaciones, Alfaomega. México.
- OLVERA Montes, Alfonso, et a. (2011). Construcciones con ferrocemento. Editorial Editores. México.
- PEARSON David (2002). Arquitectura Orgánica Moderna, BLUME.
- ROUGERON Claude (1977). Aislamiento acústico y térmico en la construcción. España
- SENOSIAIN Javier,(2007). Bioarquitectura, México, Editorial Noriega.
- 
- TSUI Eugene (1999). Evolutionary Architecture: Nature as a Basis for Design. John Wiley & Sons. USA.
- WAINSHOTOK Dr. Hugo (2010). Ferrocemento. Construcción y diseño. La Faorika.4ª. Edición. Ecuador.
- Organic Architecture inspired by nature, España, Editorial FKG, 2010
- (2010). Un Vitruvio ecológico. Principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible. 1ª Edición Barcelona. GG.
- Diseño y construcción sostenibles: Realidad ineludible, México, Universidad Iberoamericana, 2011

### MANUALES, REGLAMENTOS Y FICHAS

- American Psychological Association. (2009). Publication manual of the American
- Aplanados de mortero de cemento Portland: manual (1992). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- Ficha internacional de seguridad del poliuretano, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España.
- Proporciónamiento de mezclas: Concreto normal, pesado y masivo (1993). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto
- Reglamento (CE) n° 842/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de mayo de 2006, sobre determinados gases fluorados de efecto invernadero.
- Reglamento de construcciones para el Distrito Federal. Barbera Editores, México 2005.

### TESIS

- BARBERO Barrera Maria del Mar (2011). Mejoras del comportamiento térmico de los morteros de cal aditivados y su empleo en la rehabilitación de inmuebles. Tesis Doctoral. Universidad Politecnica de Madrid. Escuela técnica superior de arquitectura.
- BEDOYA Ruiz Daniel Alveiro. (2005). Estudio de resistencia y vulnerabilidad sísmica de viviendas de bajo costo estructuradas con ferrocemento. Universidad Politécnica de Catalunya. España. Tesis Doctoral.
- BUERBA Franco María del Carmen (2005). Criterios de eco arquitectura en el diseño de viviendas urbanas para clima templado subhúmedo, Tesis (Maestría en Arquitectura en el área Tecnología). UNAM México.
- RUIZ Conde Daniel Gregorio (2006). Soluciones bioclimáticas para casas populares. Amecameca Edo. Méx. Tesis (Maestría en Arquitectura en el área Tecnología) UNAM Programa de maestría y doctorado en arquitectura.
- ROJO Carrascal Juan Carlos (2005). Variables climatológicas y su comportamiento en la vivienda de interés social en la ciudad de Culiacán, Sinaloa. Tesis (Maestría en Arquitectura en el área Tecnología). UNAM Programa de maestría y doctorado en arquitectura.
- Asesoría en Centro Albayzín. Escuela Andaluza de restauración, Granada, España. Prof. Maica Gonzalez.

### REVISTAS Y MEMORIAS DE CONGRESOS

- A novel material for lightweight concrete production. Abdulkadir Kan, Ramazan Demirbog. Vocational College of Erzurum, Construction Program, Ataturk University, 25240 Erzurum, Turkey Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ataturk University, 25240 Erzurum, Turkey CEMENT & CONCRETE PRODUCCIÓN.
- ASEPEYO (Mutua de accidentes de trabajo). «Riesgo de exposición a isocianatos» Dirección de seguridad e Higiene, abril 2005.
- Application of polyurethane foam as a sorbent for trace metal pre-concentration — A review Review Article Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy, Volume 62, Issue 1, January 2007, Pages 4-12. V.A. Lemos, M.S. Santos, E.S. Santos, M.J.S. Santos, W.N.L. dos Santos, A.S. Souza, D.S. de Jesus, C.F. das Virgens, M.S. Carvalho, N. Oleszczuk, M.G.R. Vale, B. Welz, S.L.C. Ferreira
- DURABILITY OF POLYMER AND FLY ASH MODIFIED FERRO CEMENT ELEMENTS, V Bhikshma, Ravandekishore and R.Srinivas, Department of Civil Engineering, University College of Engineering Osmania University Hyderabad, India. “The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction. SCIENCE DIRECT
- Economic and ecological indicators for thermal insulating building investments, Robert Dylewska, Janusz Adamczyk, Faculty of Mathematics, Computer Science and Econometrics, University of Zielona Góra, ul. Licealna 9, 65-417 Zielona Góra, Poland Y Faculty of Economics and Management, University of Zielona Góra, ul. Licealna 9, 65-417 Zielona Góra, Poland, ENERGY AND BUILDINGS 4 JULY 2012
- EMC - Tratado de Medicina, Volume 4, Issue 4, 2000, Pages 1-7
- Fernández-d'Arlas, B.; Rueda, L.; Stefani, P.; de la caba, K.; Mondragon, I.; Eceiza, A. (2007). «Kinetic and thermodynamic studies of the formation of a polyurethane based on 1,6-hexamethylene.
- FERRO 10 X Simposio Internacional del ferrocemento y compuestos delgados de cemento reforzado. Palacio de Convenciones La Habana, Cuba. 15-17 de octubre de 2012. Editores. Wainshtok Rivas Hugo, Prada Seoane Lázaro, Granda Castro Iria. –compilación de ponencias. diisocyanate and poly(carbonate-co-ester)diol». Thermochim. Acta 459: pp. 94-103.
- Flowable high strength cementitious matrices for ferrocement applications. M.J. Shannag †, S.M. Mourad. Department of Civil Engineering, King Saud University, P.O. Box 800, Riyadh 11421, Saudi Arabia. CONSTRUCCIÓN AND BUILDING MATERIALS.
- Principales intoxicaciones domésticas observadas en medicina general Original Research Article
- Reducing emissions of ozone-depleting substances in Brazil Original Research Article Global Environmental Change, Volume 3, Issue 4, December 1993, Pages 350-356 Suely M. Machado Carvalho.
- Thermal conductivity of coconut fibre filled ferrocement sandwich panels. R. Alavez-Ramirez, F. Chiñas-Castillo, V.J. Morales-Dominguez, M. Ortiz-Guzman. Research Center for Interdisciplinary Regional Development (CIIDIR-IPN) Unidad Oaxaca, Oaxaca, Oax., C.P. 71230, Mexico. Department of Mechanical Engineering, Instituto Tecnológico de Oaxaca, Calz. Tecnológico No. 125, Oaxaca, Oax., C.P. 68030, Mexico CONSTRUCCIÓN AND BUILDING MATERIALS. Volume 37, December 2012, Pages 425-431

#### PATENTES:

- ANGENENDT Rainer (2007) Inorganic fire-resistant and thermally insulating paste, use thereof, and shaped parts made therefrom. Solicitud de patente Estadounidense No. 20070154696
- MIRNOV Aleksandr et al.US 5747561SA- May 5, 1998, SOLID SURFACE MODIFIER. (1998).
- MORALES Rodrigo Lobo, O'Farrill González Patricio Miguel, (PAT) LIGHT STRUCTURAL MORTAR COMPOSITIONS, Monterrey,Mx, .US 8092 591b2 – Jan 10, 2012.
- NASSER, Saebi. (PAT) Method of constructing curved structures part of a habitable building,USA, US., 6912 488 B1(703/1; 52/745.07) 28 jun 2005, Appl. No.:09/563,241, 1 may 2001, 31.p

#### WEB:

- [http://www.instaladoresonline.com/pavimentos\\_caucho\\_reciclado\\_descripcion.html](http://www.instaladoresonline.com/pavimentos_caucho_reciclado_descripcion.html) noviembre 2012
- <http://www.ecoconstruccion.net/es/articulos/aislamiento/> diciembre 2012
- <http://www.aislamientosespecializados.com.mx/> diciembre 2012
- <http://ferrocement.com/> diciembre 2012 Sociedad de Ingeniería Civil Cuba dic 2012
- <http://www.autosuficiencia.com.ar/shop/detallenot.asp?notid=314> Ferrocemento con fibra de coco, diciembre 2012.
- <http://www.jadferrocements.net/Ferrocement%20surpasses%20fire.pdf> Prueba de resistencia del ferrocemento y fuego, diciembre 2012.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://coin.fao.org/cms/world/mexico/PaginaInicial.html>
- <http://ferrocement.net/index.php?inc=1> Página sobre ferrocemento con fines educativos. Dic 2012
- <http://www.flyingconcrete.com/index.htm> Construcciones de ferrocemento en San Miguel de Allende de Steve Kornher, México. Dic 2012.
- <http://www.weatherbase.com/weather/weather.php3?s=650867&refer=&set=metric> Valores climatológicos de la Ciudad de México. Universidad Nacional, DF. Elevation: 2296 meters Latitude: 19 17N Longitude: 099 10W Nov 2012
- Reciclaje: Espuma de poliuretano. C. Magdalena. Verticalia® [http://www.autoindustria.com/informacion/estudios/reciclaje\\_asientos.pdf](http://www.autoindustria.com/informacion/estudios/reciclaje_asientos.pdf) Nov 2012
- <http://www.aislamientosespecializados.com.mx/> Nov 2012
- <http://www.elmundo.es/elmundosalud/2008/10/28/oncodudasypreguntas/1225219047.html> Nov 2012
- <http://www.intropol.es/fabricacion-de-espuma-de-poliuretano/2-16-4-16.htm> Nov 2012
- <http://www.eugenetsui.com/> Página oficial de Eugene Tsui Nov 2012
- <http://www.arquitecturaorganica.com/inicio.html> Página oficial de Javier Senosiain Nov 2012
- <http://bibliotecahnodavidmediavilla.org/pdfs/Presentacion%20Estilo%20APA%206ta%20Edicio%20Presentacion%20final%20%20%28Arquidiosis%20Escuelas%20Catolicas%29.ppd> Manual de Estilo de Publicaciones. APA. 2010. Consultado agosto 2013

Nota: Las imágenes, diagramas y cuadros se han referenciado en su respectiva página. Las que carecen de información pertenecen a Arq. Alejandra Alvarado Castañeda.

## ANEXOS

### TERMINOLOGÍA

**BIOARQUITECTURA:** “Es el resultado de la búsqueda de crear espacios adaptados al hombre, semejantes al seno materno o a las mismas guaridas de los animales, proporcionando así una armonía entre hombre, naturaleza y necesidades -físicas y psicológicas. "El ser humano no debe desprenderse de sus impulsos primigenios, de su ser biológico. Debe recordar que el

mismo proviene de un principio natural y que la búsqueda de su morada no puede desligarse de sus raíces; es decir, debe evitar que su hábitat sea antinatural". Javier Senosiain

**BIOCLIMATICA (arquitectura):** Aquella que toma en consideración el clima local y condiciones del entorno, aprovechando los recursos naturales

disponibles (sol, vegetación, lluvia, viento), para conseguir el confort térmico reduciendo los consumos de energía a partir de un conjunto de técnicas, de preferencia pasivas, cuyo objetivo principal es mantener el balance entre el medio ambiente y lo manipulado por el hombre y para beneficio de él.

**BIOCONSTRUCCIÓN:** Del griego, bíos = vida. “Ciencia de origen alemán que persigue el uso adecuado de los recursos, de acuerdo con el sitio y con las circunstancias sociales y económicas de los usuarios”. Iñaki Alonso. Es el acto de construir preservando la vida, la vida de los que habitan en lo que construimos, las personas, y la vida del entorno que soporta lo que construimos, los ecosistemas, la tierra. Busca minimizar el impacto producido por la construcción ayudando a dar un desarrollo sostenible que no agote al planeta, sino que sea generador y regulador de los recursos empleados. Una forma de construir respetuosamente con todos los seres vivos, garantizando el equilibrio y la sustentabilidad para las generaciones futuras. Las construcciones realizadas deben tener la menor repercusión en el entorno, manteniendo el equilibrio en el ecosistema y generando un ambiente adecuado para las personas. Son sistemas de edificación realizados con materiales de bajo impacto ambiental: reciclados o extraíbles con procesos sencillos de bajo costo, como los materiales de origen vegetal. También se busca que la edificación transpire, que no acumule gases tóxicos, ni radiaciones naturales y artificiales, ni emisiones tóxicas.

**CLIMA:** Es el comportamiento estadístico de las variaciones y combinaciones del estado del tiempo (fenómenos meteorológicos) durante un largo periodo (varias décadas).

**CLIMATIZACIÓN:** Implica el conjunto de operaciones que crean y mantienen determinadas condiciones de temperatura, humedad, ventilación y calidad del aire. La climatización es sinónimo de acondicionamiento climático del ambiente.

**CONFORT:** Proviene del francés confort, y ésta, a su vez, del inglés confort. Es aquello que produce bienestar y comodidades. Cualquier sensación agradable o desagradable que sienta el ser humano le impide concentrarse en lo que tiene que hacer. La mejor sensación global durante la actividad es la de no sentir nada, indiferencia frente al ambiente, esa situación es el confort, también cuando podemos hacer lo que

queramos sin estorbo y sin esfuerzo debido a las condiciones de temperatura y humedad.

En temperatura confort es la temperatura en la que el cuerpo se siente cómodo, esta temperatura se suele utilizar en los comercios para crear un espacio agradable al usuario y que invite a permanecer tiempo en él. Las reacciones frente a una situación climática concreta varían bastante de un individuo a otro, influyen la constitución física, edad, dieta, grado de aclimatación y las influencias culturales.

**CONDUCCIÓN:** Es la transferencia de calor a través de un medio estático. Es un mecanismo de transferencia de energía térmica entre dos sistemas basado en el contacto directo de sus partículas sin flujo neto de materia y que tiende a igualar la temperatura dentro de un cuerpo o entre diferentes cuerpos en contacto por medio de transferencia de energía cinética de las partículas.

El principal parámetro dependiente del material que regula la conducción de calor en los materiales es la conductividad térmica, una propiedad física que mide la capacidad de conducción de calor o capacidad de una sustancia de transferir el movimiento cinético de sus moléculas a sus propias moléculas adyacentes o a otras sustancias con las que está en contacto. La inversa de la conductividad térmica es la resistividad térmica, que es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor.

**CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE:** La creación y gestión de edificios saludables basados en principios ecológicos y en el uso eficiente de los recursos.

**DESARROLLO SOSTENIBLE:** “Es aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas propias”. (Brundtland, 1987)

**DISEÑO SOSTENIBLE:** El diseño sostenible es la filosofía de diseño de objetos físicos de acuerdo con principios de sostenibilidad económica, social y ecológica. Abarca tanto el diseño de pequeños objetos de uso cotidiano, como el diseño de edificios, ciudades. Es una reordenación de los principios básicos del proyecto y de la tecnología, reconfigura todos los elementos esenciales de la arquitectura.

**FERROCEMENTO:** Es una capa de mortero de cemento de espesor delgado, reforzado con un emparillado de varilla de ½” o menor, y capas de malla de alambre

ligados íntimamente para crear una estructura rígida, se conoce desde hace más de 100 años. Muestra un comportamiento muy diferente del concreto reforzado en cuanto a su funcionamiento efectivo, resistencia y aplicaciones potenciales. Se usa en estructuras de espesor delgado en donde la resistencia y la rigidez se desarrollan mediante la forma del elemento. Tiene la gran ventaja de ser moldeable y de poder ser monolítico.

**GANANCIA DE CALOR:** La capacidad del calor de penetrar a un espacio, puede ser radiación incidente o de fuentes internas como ocupantes, luces y equipo.

**POLIURETANO:** El poliuretano es un polímero que se obtiene mediante de la condensación de bases hidroxílicas combinadas con disocianatos. Se clasifican en dos grupos, definidos por su estructura química, diferenciados por su comportamiento frente a la temperatura y pueden ser de dos tipos:

Poliuretanos termoestables: muy utilizadas como aislantes térmicos y como espumas.

Poliuretanos termoplásticos: destacan los empleados en elastómeros, adhesivos selladores de alto rendimiento, suelas de calzado, pinturas, fibras textiles, sellantes, embalajes, juntas, preservativos, componentes de automóvil, en la industria de la construcción, del muebles.

**PROTECTO SOSTENIBLE:** “Es la creación de edificios que sean eficientes en cuanto al consumo de energía, saludables, cómodos, flexibles en el uso y pensados para tener una larga vida útil” (Foster + Partners, 1999)

**RADIACIÓN SOLAR:** Es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. El Sol es una estrella que se encuentra a una temperatura media de 6000 K en cuyo interior tienen lugar una serie de reacciones de fusión nuclear, que producen una pérdida de masa que se transforma en energía. Esta energía liberada del Sol se transmite al exterior mediante la radiación solar. El Sol se comporta prácticamente como un cuerpo negro el cual emite energía siguiendo la ley de Planck a la temperatura ya citada. La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. No toda la radiación alcanza la superficie de la Tierra, porque las ondas ultravioletas más cortas, son absorbidas por los gases de la atmósfera fundamentalmente por el ozono. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la Tierra es la irradiancia, que mide la energía que, por unidad de tiempo y área, alcanza a la Tierra. Su unidad es el  $W/m^2$ .

**SUSTENTABILIDAD:** Describe cómo los sistemas biológicos se mantienen diversos y productivos con el transcurso del tiempo. Se refiere al equilibrio de una especie con los recursos de su entorno. Por extensión se aplica a la explotación de un recurso por debajo del límite de renovación del mismo.