



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA

EVALUACIÓN DE LA ZEOLITA COMO DESECANTE APLICADO A LA ARQUITECTURA DEL CLIMA TROPICAL CÁLIDO HÚMEDO

Tesis que para optar por el grado de maestra en Arquitectura (Tecnología)

P R E S E N T A

ARQ. CLAUDIA JULIANA GÓMEZ MEJÍA

T U T O R

DR. EN ARQ. JOSÉ DIEGO MORALES RAMÍREZ. Facultad de Arquitectura UNAM

S I N O D A L E S

M. EN ARQ. FRANCISCO REYNA GÓMEZ. Facultad de Arquitectura UNAM

M. EN ARQ. JORGE L. RANGEL DÁVALOS. Facultad de Arquitectura UNAM

M. EN ARQ. ERNESTO OCAMPO RUIZ. Facultad de Arquitectura UNAM

MTRA. EN ARQ. ALMA ROSA ORTEGA MENDOZA. Facultad de Arquitectura UNAM

México D.F. Diciembre 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.



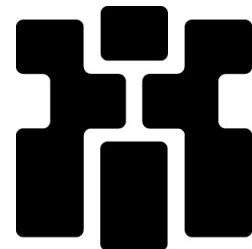
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



PROGRAMA MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA

EVALUACIÓN DE LA ZEOLITA COMO DESECANTE APLICADO A LA ARQUITECTURA DEL CLIMA TROPICAL CÁLIDO HÚMEDO

ARQ. CLAUDIA JULIANA GÓMEZ MEJÍA





DIRECTOR DE TESIS

DR. JOSÉ DIEGO MORALES RAMÍREZ

SINODALES

MTRO. FRANCISCO REYNA GÓMEZ

MTRO. JORGE L. RANGEL D.

MTRO. ERNESTO OCAMPO RUIZ

MTRA. ALMA ROSA ORTEGA



DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

México me ha dado cosas inimaginables que han armado un rompecabezas de conocimiento, cultura, y contrastes del Norte, al Sur, Centro, Este y Oeste de la República que me han maravillado y seducido hasta tal punto que me siento como en casa, tal vez las mariposas amarillas de Mauricio Babilonia tenían un escondite cerca del Iztaccíhuatl....

A todas las personas que hicieron posible este proyecto muchas gracias por su apoyo y enseñanzas:

Dr. Diego Morales Ramírez, Comité Sinodal, CONACYT, Profesores de la Maestría, Secretarías del Posgrado, UNAM, Compañeros De Generación.

A mi ESPOSO.... gracias por tu apoyo incondicional, paciencia, ternura, comprensión, tiempo y enseñanzas.

MAMI y ANDREA, gracias por siempre estar a mi lado sin importar las fronteras, párrafos nos bastarían para tantos sentimientos de amor y agradecimiento.

Papá, gracias!

Mi CABALLERO DE LAS BOTAS SALSERAS, nunca pensé que partieras tan pronto, gracias por acompañarme desde las estrellas, por enseñarme que la lucha, la responsabilidad, el compromiso y la tenacidad son fundamentales para triunfar. Te extraño.

ABUELITA, TIAS, TÍOS Y FAMILIA....gracias por ese amor completamente incondicional, apoyo, enseñanzas y ejemplo que me han brindado....por estar siempre con nosotras. Éste es un logro más de toda la familia.

JORGE, ALEX, ADER y todo el equipo de PVG Arquitectos Medellín....Gracias por ser mi familia, mis guías profesionales, mis amigos y mi apoyo..





EVALUACIÓN DE LA ZEOLITA COMO DESECANTE APLICADO A LA ARQUITECTURA DEL CLIMA TROPICAL CÁLIDO HÚMEDO



ÍNDICE GENERAL

CAPITULO I ANTECEDENTES..... 5

Descripción del clima cálido húmedo, conceptos básicos de deshumidificación y enfriamiento, estrategias de deshumidificación, propiedades físicas y químicas de la zeolita.

CAPITULO II ESTADO DEL ARTE..... 39

Estudios experimentales realizados en la república Mexicana y a nivel de Latinoamérica en el tema de deshumidificación, estrategias pasivas de enfriamiento y estudios teóricos de deshumidificación con zeolita. Efectos de la humedad en los sistemas constructivos y fenómenos que intervienen en un proceso experimental en la arquitectura del trópico.

CAPÍTULO III CASO DE ESTUDIO..... 67

Análisis del sistema experimental propuesto por dos módulos de block de concreto, ubicados en la ciudad de Culiacán, Sinaloa en uno de los cuales se evalúa el funcionamiento de la zeolita en distintas épocas del año y en diferentes situaciones.

II

CAPITULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS..... 127

Se realiza un comparativo de los datos arrojados por los once experimentos de temperatura y humedad. Se hacen estudios comparativos a partir del cálculo de humedades absolutas, y sensación térmica.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 201

Evaluaciones finales del funcionamiento de la zeolita a través de cuadros resumen de los once experimentos realizados. Recomendaciones y propuesta para estudios futuros con este tipo de desecantes

BIBLIOGRAFÍA..... 209

ANEXOS..... 215





Tabla de Contenido

I.	Introducción.....	VI
II	Justificación.....	1
III.	Formulación Del Problema.....	3
IV.	Objetivos.....	4
V.	Hipótesis.....	4

CAPITULO I ANTECEDENTES

	Antecedentes.....	5
1.1	Soluciones Arquitectónicas Adaptadas Al Clima Cálido Húmedo.....	7
1.2	Control De Humedad.....	12
1.2.1	Materiales De Construcción.....	13
1.2.2	Propiedades Térmicas De Los Materiales.....	13
1.3	Estudios De Deshumidificación Inducida.....	16
1.4	Deshumidificación Con Desecantes.....	19
1.5	Procesos De Deshumidificación Con Desecantes Líquidos.....	21
1.6	Procesos De Deshumidificación Con Desecantes Sólidos.....	26
1.6.1	Propiedades Físicas De La Zeolita.....	28
1.6.2	Propiedades Químicas De La Zeolita.....	29
1.6.3	Propiedades De Adsorción De La Zeolita.....	29
1.7.	Conclusiones Antecedentes.....	37

CAPITULO II ESTADO DEL ARTE

II	Estado Del Arte.....	39
2.1	Estudio De Deshumidificación Experimental En México.....	41
2.2	Caso De Estudio Experimental De Enfriamiento Pasivo En Clima Cálido Húmedo	50
2.3	Efectos De La Humedad En Los Materiales En Climas Cálidos Húmedos	55
2.4	Impacto De La Humedad Del Aire En Los Sistemas Constructivos	56
2.5	Fenómenos Que Intervienen En El Sistema Experimental.....	59
2.6	Conclusiones Estado Del Arte.....	66



CAPÍTULO III.CASO DE ESTUDIO

III.	Caso De Estudio.....	67
3.1	Ubicación Caso De Estudio.....	70
3.2	Metodología De Trabajo.....	74
3.2.1	Proceso Experimental.....	74
3.2.2	Dispositivos De Estudio.....	77
3.2.3	Célula De Control.....	79
3.2.4	Célula Experimental.....	80
3.2.5	Aparatos De Medición.....	84
3.3	Procedimiento Experimental.....	85
3.4	Montaje Experimental.....	98
3.5	Descripción De Experimentos.....	100
3.5.1	Calibración De Equipos.....	100
3.5.2	Experimento I / 2kg De Zeolita.....	105
3.5.3	Experimento II / 4kg De Zeolita.....	108
3.5.4	Experimento III/ 6kg De Zeolita.....	110
3.5.5	Experimento IV / 6kg De Zeolita.....	112
3.5.6	Experimento V / 6kg De Zeolita.....	114
3.5.7	Experimento VI / 3kg De Zeolita.....	117
3.5.8	Experimento VII / 6kg De Zeolita.....	120
3.5.9	Experimento VIII/ 6kg De Zeolita.....	121
3.5.10	Experimento IX/ 6kg De Zeolita.....	121
3.5.11	Experimento X/ 6kg De Zeolita.....	124
3.5.12.	Experimento XI/ 10kg De Zeolita.....	125
3.6	Conclusiones Del Método.....	125

CAPITULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS

IV.	Análisis De Resultados.....	127
4.1	Experimento I.....	130
4.2	Experimento II.....	134
4.3	Experimento III.....	138
4.4	Experimento IV.....	142
4.5	Experimento V.....	146
4.6	Experimento VI.....	150
4.7	Experimento VII.....	154
4.8	Experimento VIII.....	158



4.9	Experimento IX.....	162
74.10	Experimento X.....	167
4.11	Experimento XI	171
4.12	Análisis De Humedades Absolutas En Los Experimentos.....	175
4.12.1	Experimento I.....	177
4.12.2	Experimento II.....	178
4.12.3	Experimento III.....	179
4.12.4	Experimento IV.....	180
4.12.5	Experimento V.....	181
4.12.6	Experimento VI.....	182
4.12.7	Experimento VII.....	183
4.12.8	Experimento VIII.....	184
4.12.9	Experimento IX.....	185
4.12.10	Experimento X.....	186
4.12.11	Experimento XI.....	187
4.13	Análisis De Sensación Térmica.....	188
4.13.1	Experimento I.....	189
4.13.2	Experimento II.....	190
4.13.3	Experimento III.....	191
4.13.4	Experimento IV.....	192
4.13.5	Experimento V.....	193
4.13.6	Experimento VI.....	194
4.13.7	Experimento VII.....	195
4.13.8	Experimento VIII.....	196
4.13.9	Experimento IX.....	197
4.13.10	Experimento X.....	198
4.13.11	Experimento XI.....	199
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		201
BIBLIOGRAFÍA.....		209
ANEXOS.....		215



INTRODUCCIÓN

Altas temperaturas, excesiva humedad, intensa radiación solar y reducida velocidad del viento plantean grandes retos para lograr edificaciones que brinden bienestar a sus ocupantes en el clima tropical cálido húmedo. Allí el alto contenido de humedad en la atmósfera limita la posibilidad de evaporación del sudor generando esa sensación molesta de bochorno, y que se alivia con el movimiento del aire sobre la piel. Estas condiciones propician el uso intensivo de mecanismos artificiales de climatización, razón por la cual Salazar (2002) afirma que las ciudades localizadas en el trópico presentan mayores índices de consumo energético por refrigeración mecánica.

López (2010) menciona los problemas que presenta el clima cálido húmedo para la república mexicana y uno de los principales es la falta de recursos económicos para esta población: las construcciones en estas regiones del país generalmente se utiliza el block hueco, cemento y arena por ser de precio accesible; estos materiales al ser afectados por la lluvia y la humedad se deterioran haciéndolos nocivos para sus habitantes aunado a esto la rehabilitación y el mantenimiento de las construcciones es nula lo que ocasiona que la humedad salga ya sea afectando la pintura o la aparición de hongos en poco tiempo.

Sánchez (2002), describe distintos procesos para remover la humedad del aire: "por enfriamiento, hasta alcanzar una temperatura por debajo del punto de rocío, por el incremento de la presión total, lo cual causa la condensación, y por último poner un desecante con el aire, con lo cual la humedad del aire migra hacia el desecante, impulsado por las diferencia en las presiones de vapor entre el aire y el desecante".

Un desecante definido por Martín et al (2012) es un agente deshidratante el cual atrae la humedad de la atmósfera. Absorbe y mantiene partículas de agua consigo. Los tres tipos de desecante más comunes son arcilla, gel de silicio y tamiz molecular. Generalmente estas sustancias se utilizan en los envases de cartón y bolsas de plástico de varios artículos de consumo, desde zapatos hasta aparatos electrónicos, ya que controlan la humedad del envase y los protegen de la corrosión y del moho.



El material desecante que se utilizará en este experimento será la Zeolita. Martín et al (2012) mencionan que las zeolitas son minerales adsorbentes, los grandes canales centrales de entrada y las cavidades se llenan de moléculas de agua que forman las esferas de hidratación alrededor de los cationes intercambiables.

Una de las características de las zeolitas es la capacidad de deshidratación, esto es la clave para el desarrollo de productos especiales destinados a la eliminación de humedad. Este material absorben la humedad sin experimentar cambios químicos o físicos. Sánchez (2002) menciona la zeolita atrae la humedad debido al campo eléctrico en la superficie del desecante.

Este estudio pretende hacer un trabajo experimental y comparativo en dos módulos de prueba que se ubicarán en el patio de una vivienda en la Ciudad de Culiacán Sinaloa, con el objetivo de observar el comportamiento de la humedad relativa interior mediante la utilización de un material desecante seleccionado en uno de los módulos de prueba.

Fué obligatorio para llevar a cabo esta investigación construir dos módulos que se denominaron: CÉLULA DE CONTROL (CC) y CELULA EXPERIMENTAL (CE). El principio que se plantea, consiste en aprovechar la propiedad de absorción de agua que tiene la zeolita que al ser calentada puede bajar la humedad al interior de la célula de experimentación. Es importante destacar que en este experimento el objetivo se centra en probar las propiedades desecantes de la zeolita por ello se plantean dos células de experimentación con el fin de comparar las temperaturas y humedades entre dos celulas y el ambiente exterior.

En el capítulo I, se trata de analizar los antecedentes que se han tenido en el estudio de la arquitectura en el clima tropical cálido húmedo, desde conceptos básicos a estudios comparativos entre viviendas de diferentes materiales como son el concreto, palma, adobe y madera. Se hace una descripción de los distintos tipos de estrategias de deshumidificación así como los desecantes que son utilizados actualmente. Se hace una descripción muy amplia del tipo de desecante que se utilizará en éste estudio.



En el Capítulo 2 se revisan varios estudios experimentales que tienen que ver con sistemas de deshumidificación para clima cálido húmedo y trabajos que tienen que ver con enfriamiento pasivo para este tipo de clima. El objetivo de este segundo capítulo fue conocer las dimensiones de los módulos con las que se realizan estos estudios orientados a la arquitectura, qué parámetros se requieren para entender los fenómenos, los equipos de medición utilizados, el sistema de presentar resultados y conclusiones todo esto con el fin de aplicarlo al sistema experimental que se iba a proponer en ese momento.

En el Método o Capítulo 3 se hace una descripción de las células que se construyeron para realizar el experimento, se hace un análisis de las variables que intervienen en el experimento como son el análisis solar cualitativo y cuantitativo para determinar las zonas de mayor y menor ganancia solar en el experimento. Se hizo una descripción de los equipos de medición y se hace un listado de los once experimentos y sus características.

En el capítulo 4, se muestran el análisis de los resultados a través de un estudio comparativo entre los datos interiores de los dos módulos con los exteriores y entre ellos. Se sacaron los promedios para observar las diferencias entre los porcentajes de humedad y temperatura con el fin de analizar la conveniencia del desecante. Se realizó el análisis de las humedades absolutas con el fin de afinar un poco más el estudio y ser más exactos en el estudio comparativo. El final de éste capítulo habla sobre la sensación térmica que se tuvo en los módulos a partir del análisis de las humedades exteriores, este estudio sirve para ahondar sobre temas de confort para éste estudio experimental.

Finalmente se proceden con las conclusiones, allí a través de tablas resumen se hace un comparativo de los resultados de todos los experimentos comparados entre sí. También se hacen una serie de recomendaciones con el fin de seguir líneas de investigación para la arquitectura del clima tropical cálido húmedo.



II. JUSTIFICACIÓN

El clima entendido como un fenómeno meramente natural define zonas climáticas por ende limita formas de vestir, culturas, patrones del comportamiento en el ser humano y por supuesto forman arquitectura. Se comprende entonces que las tipologías arquitectónicas están restringidas más por las zonas climáticas que por las fronteras territoriales, es así como el nacimiento de la vivienda se relaciona directamente con el entorno.

La Zona de Convergencia Intertropical integrada por países como México, Colombia, Costa Rica, Mozambique, Malasia, Islas del Caribe, Venezuela, Nigeria, Madagascar, Indonesia, Guatemala, Guianas, África Ecuatorial, India, Indo China, Honduras, Brasil, Congo, Pakistán, Filipinas, Nicaragua, África Occidental, Kenya, Ceylán, Australia, Costa Rica, Sierra Leona, Taganyika, Burma, Panamá, Liberia, Uganda y Tailandia; presentan altas temperaturas, reducida velocidad de viento y alta humedad en el aire; el clima que se presenta en estas zonas se define como Cálido Húmedo: ***“En las regiones cálidas y húmedas la arquitectura no precisa de inercia térmica, aunque debe protegerse de la radiación solar y procurar la máxima ventilación con objetivo de eliminar en lo posible la humedad.”***¹

Coinciden en el trópico varias condiciones que hacen prioritario ocuparse del tema:

- Climas rigurosos que propician el uso exagerado de la climatización artificial.
- Estas condiciones de calor y humedad no han sido objeto de suficiente estudio por parte del gremio de la construcción.
- La desventaja del saber hacer “popular” opinada como la no formulación científica de los principios que permiten explotar su potencialidad.
- Algunos procedimientos constructivos desarrollados en el primer mundo no son aplicables, ni adaptables a las particularidades del trópico.
- Sabemos poco de los materiales con los que construimos, hacen falta datos estadísticos y mejores laboratorios de análisis.

¹ Serra, Rafael. (1999) *Arquitectura y Climas*. Barcelona, 1ª Edición Editorial Gustavo Gili.



- Las nuevas propuestas arquitectónicas ignoran el correcto funcionamiento de la vivienda, en el afán de abaratar costos en la construcción son utilizados materiales de baja calidad, y no se percatan de las propiedades conductivas de estos, comprometiendo el bienestar de sus habitantes en las épocas de verano e invierno haciendo necesario el uso de medios mecánicos de climatización.

Por otra parte tenemos que la tecnología también ha trabajado en el mejoramiento de los equipos de aire acondicionado y electrodomésticos de producción industrial, con el fin de lograr una reducción de los consumos energéticos; sin embargo es posible ahorrar energía a través del "*mejoramiento de la calidad térmica en edificaciones*"² teniendo como panorama que las formas de producción de nuestros países todavía no llegan a un margen de industrialización, sino que por el contrario todavía se consideran una actividad mayormente artesanal. Es de gran importancia desarrollar instrumentos que mejoren las tecnologías de los materiales para que se adapten al entorno de la región donde se utilizarán.

"*Comprender el uso de la energía en los edificios frente a su eficiencia es un desafío disciplinar*"³, es obligación del arquitecto en su calidad de diseñador coordinar y concebir los materiales de cerramientos de las edificaciones para optimizar un mínimo consumo de energía y garantizar la menor transferencia por dichas pieles, así como hacer uso eficiente de la iluminación y ventilación natural donde sea posible.

Estudiar, analizar y evaluar la física y componentes de materiales convencionales utilizados para la construcción y el seguimiento durante su vida útil, permite desde la academia hacer propuestas sobre el mejoramiento de éstos mismos, donde se deben tener en cuenta dos aspectos: eficiencia energética, eficiencia ambiental, contexto, confort higrotérmico.

² Jaramillo, Simón (2000). *Normativas de Eficiencia Energética Alrededor del mundo*. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

³ Grupo EMAT, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín (2001) *Manual Para Climas Tropicales*. Colciencias. Medellín.



III. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La norma ISO 7730 define el CONFORT como la neutralidad térmica, como la manifestación subjetiva de conformidad o satisfacción con el ambiente térmico existente. La sensación de bienestar al interior de los proyectos arquitectónicos dependerá principalmente de la temperatura del aire, de la ventilación, de la emisividad de las superficies que rodean a la persona; es decir del comportamiento térmico de los muros, suelo y cubierta.

Los efectos que tiene la humedad en materiales pétreos y vegetales radica en la capacidad de absorción de la estructura porosa de éstos y, en algunos casos de la solubilidad de sus componentes sólidos. Los elementos metálicos son atacados por la corrosión, la humedad en paramentos y techos provoca deterioros de yesos, ataca mobiliario, tapicerías, maderas, libros, cuadros. En las piedras y morteros fomenta el desarrollo de gérmenes, diferentes tipos de moho y hongos. Las piezas constructivas de madera, muebles, pavimentos y revestimientos pueden torcerse y alabearse.

Si consideramos la localización de las zonas de convergencia intertropical se observan territorios poco desarrollados, donde la ciencia y la técnica se encuentran frecuentemente relegados entonces ¿Es posible mejorar las tecnologías actuales constructivas apoyadas por estrategias de climatización pasiva que ayuden a aumentar el confort de un gran número de habitantes?, La humedad se acumula donde hay poco viento ¿Cuáles son las formas pasivas de enfriar el aire? ¿Cuáles son los materiales que mejor comportamiento tienen ante la absorción de la humedad del aire?



IV. OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio comparativo y experimental de humedad relativa y temperaturas entre el medio ambiente exterior y dos módulos de 1m³ construidos en block común; en uno de los cuales se colocará un mineral desecante, donde se evaluará su comportamiento y se observará el mejoramiento higrotérmico interior entre ambas células de estudio y la disminución de humedad relativa del ambiente en una zona de clima cálido húmedo en la célula que contiene el material desecante.

IV.I. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Demostrar la necesidad de mejoramiento de materiales para climas cálidos húmedos.
- Identificar estrategias de climatización pasiva para climas cálidos húmedos.
- Validar o probar alternativas para desecar el aire en la arquitectura del clima cálido húmedo mediante la absorción de un material desecante para mejorar el bienestar higrotérmico interior.
- Construir dos módulos experimentales a escala con la estrategia elegida para hacer los comparativos de las temperaturas y humedades relativas interiores y exteriores.

V. HIPÓTESIS

“ Un material desecante como la zeolita al ser calentada a altas temperaturas mejora la absorción de agua del aire en materiales de construcción con alta porosidad, reduce la sensación molesta de humedad que se presenta en los climas tropicales cálidos húmedos.”





Contenido

Antecedentes

Antecedentes.....	5
1.1 Soluciones Arquitectónicas Adaptadas Al Clima Cálido Húmedo.....	7
1.2 Control De Humedad.....	12
1.2.1 Materiales De Construcción.....	13
1.2.2 Propiedades Térmicas De Los Materiales.....	13
1.3 Estudios De Deshumidificación Inducida.....	16
1.4 Deshumidificación Con Desecantes.....	19
1.5 Procesos De Deshumidificación Con Desecantes Líquidos.....	21
1.6 Procesos De Deshumidificación Con Desecantes Sólidos.....	26
1.6.1 Propiedades Físicas De La Zeolita.....	28
1.6.2 Propiedades Químicas De La Zeolita.....	29
1.6.3 Propiedades De Adsorción De La Zeolita.....	29
1.7. Conclusiones Antecedentes.....	37



1.1. SOLUCIONES ARQUITECTÓNICAS ADAPTADAS AL CLIMA CÁLIDO HÚMEDO

“En las regiones cálidas y húmedas la arquitectura no precisa de inercia térmica, aunque debe protegerse de la radiación solar y procurar la máxima ventilación con objetivo de eliminar en lo posible la humedad.”¹

Para Guimarães (2008) las zonas donde las temperaturas son altas con poca variabilidad de clima entre el día y la noche, no hay ventajas de inercia térmica. Intenso brillo solar, abundante nubosidad, lluvias frecuentes, humedad y escasa ventilación hacen que estas zonas tengan el máximo de protección posible en sus construcciones

La autora describe como al arquitectura del trópico posee grandes aberturas, formas alargadas y estrechas en los eje este –oeste, implantaciones independientes alejadas unas de otras para que el paso del aire sea fluido sin crear barreras. Hay casos donde las paredes desaparecen para captar toda la ventilación posible, al mismo tiempo que son utilizados como elementos de protección solar persianas y celosías.

Diversos estudios se han realizado alrededor del mundo para mejorar el confort, en climas donde la excesiva humedad, el calor y la escasa ventilación no proporcionan un ambiente óptimo a los residentes, aumentando de esta forma el uso de aparatos eléctricos de ventilación.

Para Salazar et al (2002)² el refugio en climas rigurosos constituye un lugar común. Cuando las circunstancias climáticas y ambientales son adversas son hechos imposibles de ignorar, ya que condicionan a tal punto las dinámicas sociales de sus habitantes, un ejemplo de esto es que a determinadas horas del día casi todas las personas se encuentran al resguardo en alguna construcción.

¹ Serra, Rafael. (1999) *Arquitectura y Climas*. Barcelona, 1ª Edición Editorial Gustavo Gili.

² Salazar, Jorge Hernán. Atehortua, Rafael Hernán (2002) *Construcción de Normas Urbanísticas Para El Ahorro Energético en Climas Tropicales*. Grupo EMAT, Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín.

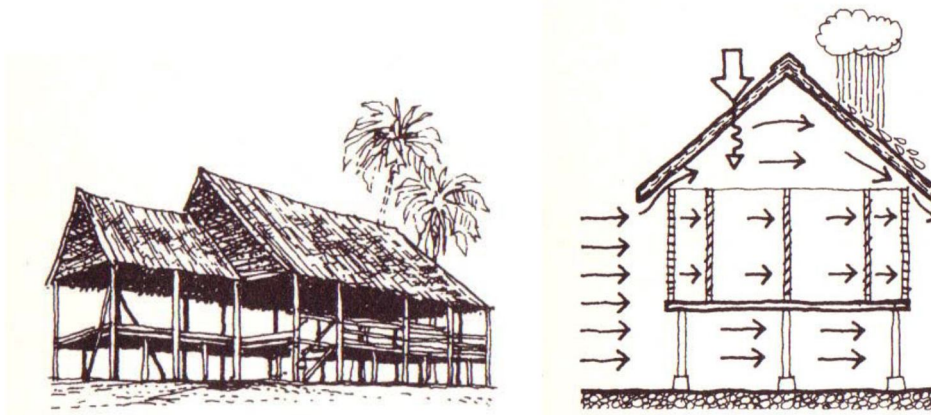


Figura 1. Esquema de Vivienda Tropical. Fuente Guimarães (2008)

Guimarães (2008) afirma como la cubierta de una construcción tiene gran importancia por su exposición a cambios de temperatura, radiación solar y lluvia. La construcción popular construye cubiertas livianas por lo menos con dos capas y una cámara de aire ventilada entre ellas. Los grandes voladizos se convierten en elementos de protección solar, para evitar deslumbramiento y brillos molestos por exceso del recurso lumínico las ventanas se protegen con celosías. Los colores blancos predominan en los acabados de éstos lugares reduciendo la absorción de calor de los materiales hacia el interior de la edificación.

Olgay (1998) señala que no sólo los materiales intercambian calor con el entorno, el cuerpo humano también lo hace y los medios a través de los cuales el cuerpo humano intercambia calor con su entorno pueden clasificarse en: radiación, conducción, convección y evaporación. Se estima que el cuerpo humano pierde $2/5$ partes de su calor a través de la radiación, $2/5$ partes por convección y $1/5$ parte por evaporación; estas proporciones cambian si hay una variación en las condiciones térmicas. En climas con alta humedad la evaporación a través de la piel tórnase perjudicada debido al alto índice de vapor de agua presente en el ambiente.

Olgay(1998) describe como el impacto calorífico externo de los materiales de construcción deben traspasar la piel externa del edificio antes de afectar las condiciones de la temperatura interior. La forma en la que el calor penetra en la piel de la fachada puede compararse con la forma como un material poroso absorbe la humedad; las sucesivas capas de la fachada se "saturan" de calor hasta que finalmente, el efecto es perceptible en la superficie interior. Los materiales absorben humedad según sus cualidades higroscópicas, con un contenido alto de humedad, los materiales presentan



una mayor transmisión de calor debido a la relativamente alta conductividad térmica del agua. Salazar et al (2002) realizaron una investigación en la ciudad de Magangué- Colombia donde midieron el comportamiento de materiales en el clima cálido húmedo tropical según los siguientes sistemas constructivos:

Vivienda Tradicional:

Pared: Ladrillo macizo, revoque, calados y grandes vanos.

Cubierta: Placa maciza en concreto.

Cielo raso: Madera o Cartón

Pisos: Baldosa

Vivienda En Concreto:

Pared: Bloque de concreto sin revoque

Ventana: Calado

Cubierta: teja de zinc, asbesto y cielo raso

Pisos: Baldosa, arena o mortero de cemento.

Vivienda En Madera:

Pared: Tablas traslapadas o con molduras

Vanos: Con postigos.

Cubierta: teja de zinc o asbesto cemento.

Pisos: Madera, arena o mortero de cemento.

Vivienda Vegetal:

Pared: Palma tejida o bahareque (La técnica del bahareque, que en algunos países se denomina quincha, en inglés wattle and daub, consiste en elementos verticales y horizontales formando una malla doble que crea un espacio interior posteriormente relleno con barro).

Vanos: Con postigos.

Cubierta: Palma tejida.

Pisos: Madera, arena o mortero de cemento.

En relación a el comportamiento de materiales utilizados en viviendas en la región del trópico colombiano, Salazar et al (2002), comprobó en la ciudad de Magangué,-Colombia, que la ***vivienda tradicional*** en sus fachadas presenta gran inercia térmica, en la noche las viviendas permanecen más calientes que el exterior, consecuencia de la gran estabilidad térmica que las hace cómodas durante las horas diurnas. Este tipo de vivienda presentan condiciones que los habitantes de la región consideran como confortables durante la mayor parte del día, a pesar de ser temperaturas muy superiores a los niveles internacionales.

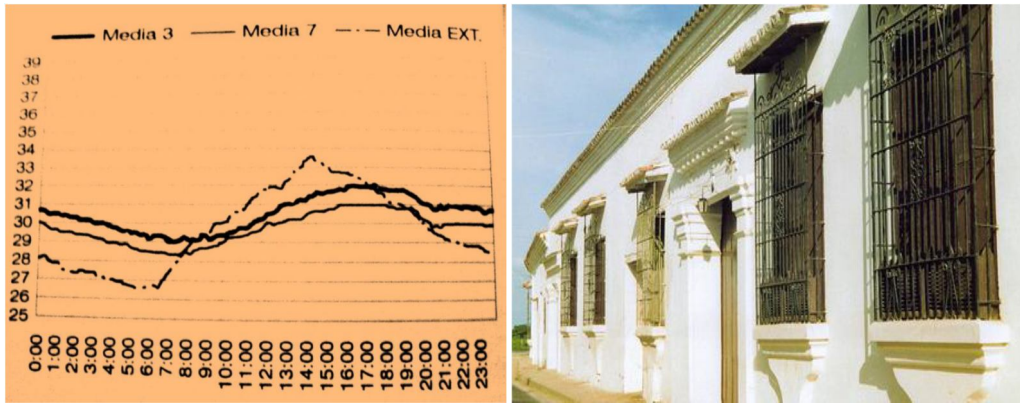


Figura 2. Vivienda Tradicional Evolución de Temperatura . Fuente Salazar et al (2002).

Las **casas de madera** tienen menor espesor en sus paredes; siendo el valor determinante del comportamiento térmico: la presencia de una cubierta ventilada o un cielo raso., presentándose una variación entre las casas que tienen cielo raso y casas con cubiertas sencillas. Salazar et al (2002) comprobó que las cámaras de aire en la cubierta atenúan significativamente el flujo calórico y reducen la máxima temperatura alcanzada en el interior, pero se concluyó que su efecto sobre la duración de los periodos de calentamiento no es notorio y que el tiempo que una vivienda permanece en estado de calentamiento está más condicionado por la pendiente y orientación de los planos que componen la cubierta que por la presencia o no de cielos rasos.

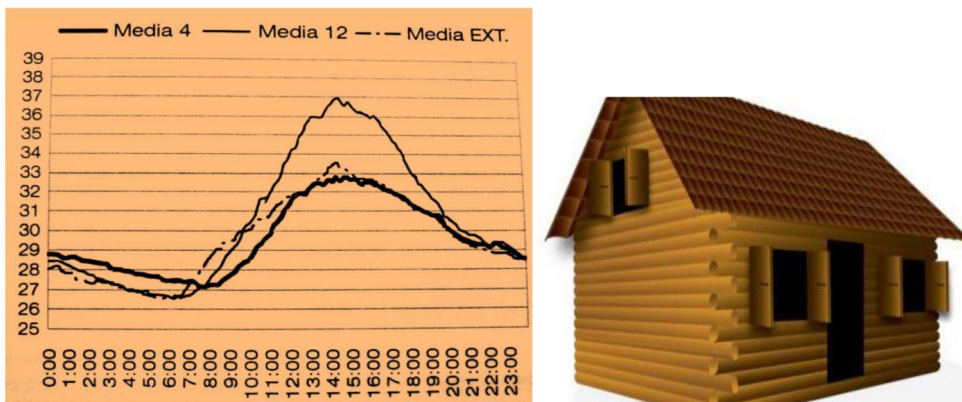


Figura 3. Vivienda en Madera Evolución de Temperaturas . Fuente Salazar et al (2002).



En la misma investigación las **casas contemporáneas** presentan sobrecalentamientos de tres y más grados centígrados por encima de la temperatura exterior, en este caso la distribución espacial impide la adecuada circulación de aire. El mejor comportamiento térmico lo presentan las **casas vegetales**, se trata de viviendas con cerramientos muy permeables al viento y que poseen una cubierta de paja que impide notoriamente el ingreso del calor al interior. Salazar et al (2002), verifica que efectivamente las viviendas nuevas son térmicamente mucho menos confortables que la arquitectura tradicional de la región.

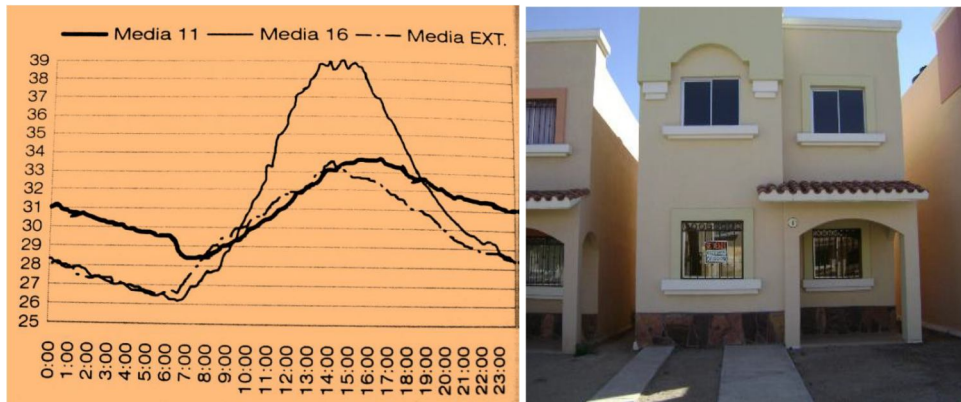


Figura 4. Viviendas Contemporáneas Evolución de Temperaturas . Fuente Salazar et al (2002).

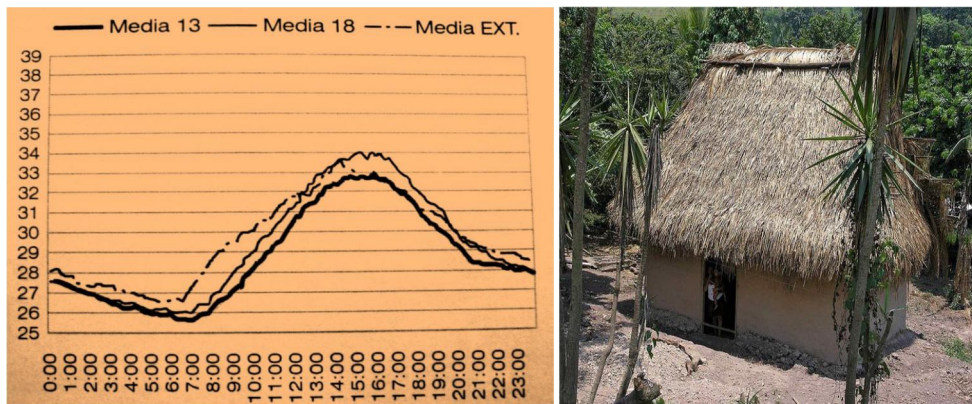


Figura 5. Viviendas Vegetal Evolución de Temperaturas . Fuente Salazar et al (2002).

Salazar et al (2002), concluyen que mediante la monitorización simultanea en el clima cálido-húmedo basta un mejoramiento de la cubierta, un adecuado sombreado y ventilación natural para disminuir la temperatura al interior varios grados centígrados, siendo la cubierta la fachada más vulnerable.



1.2 CONTROL DE LA HUMEDAD

12

Para Morillón (2002)³, la humedad es una dificultad cuando se quiere enfriar el aire, es por ello que en regiones de clima cálido húmedo el 40% del consumo de la energía eléctrica es destinado en equipos de aires acondicionados y deshumidificación del aire. Los sistemas pasivos en construcciones no alcanzan a ser efectivos porque la temperatura de bulbo húmedo está por fuera de la zona de confort.

*"Todavía más, la necesidad de limitar la humedad añadida al interior del edificio hace que se requieran sistemas indirectos más complicados. La humedad en la atmósfera inhibe el enfriamiento por radiación nocturna. El enfriamiento convectivo nocturno también se ve limitado debido a que la oscilación de temperatura, que en las regiones áridas puede ser de hasta 27° C, en regiones húmedas puede ver reducida hasta 7° C."*⁴

Morillón (2002) concluye que para deshumidificar el aire con el objetivo de mejorar el confort se requiere de dos componentes: ***El Movimiento del Aire y La Disminución de La Temperatura Radiante De Las Superficies De Los Alrededores.***

El mismo autor indica que no hay avances importantes en las técnicas de deshumidificación pasivas que puedan aplicarse por parte de los diseñadores y constructores involucrados en estos procesos.

Morillón (2002) hace un listado de las siguientes estrategias que se utilizan para deshumidificar el aire:

- Dilución de la humedad interior por ventilación con aire ambiente exterior con punto de rocío menor.
- Condensación sobre superficies que han sido enfriadas mediante técnicas pasivas o híbridas.
- Condensación sobre superficies enfriadas mediante técnicas activas
- Absorción de la humedad mediante desecantes regenerados por calor de manera periódica.

³ Morillon, Galvez David (2002). *Introducción A Los Sistema Pasivos de Enfriamiento*. Ponencia Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco- México.

⁴ Morillón (2002). *Ibidem*.



Morillón (2002) ejemplifica un caso de deshumidificación utilizando desecantes, se observa en la figura 3, el sol calienta la pared este regenerando el desecante que ha absorbido la humedad en la tarde anterior, mientras el aire es deshumidificado en la pared oeste invirtiéndose el proceso en horas de la tarde.

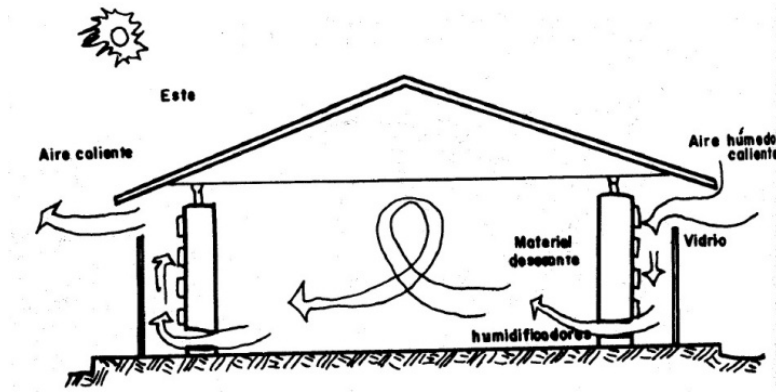


Figura 6 – Sistema de Deshumidificación Simplificado. Fuente Morillón (2002)

1.2.1 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

En regiones cálidas húmedas el uso y selección de materiales para las superficies interiores o exteriores de una tipo de edificación es determinante para controlar la ganancia de calor al interior de la edificación. La mayoría de las veces los materiales de construcción ocasionan problemas ambientales no por deficiencias en su calidad sino por la incorrecta instalación por parte del constructor. Es necesario conocer la capacidad que tiene cada material para conducir el calor así como los tratamientos con base en colores, espesores, cámaras de aire o sistemas de barrera radiante, que ayuden a disminuirlo.

1.2.3 PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS MATERIALES

Emisividad definida por Salazar et al (2002), es la capacidad que tiene un material para intercambiar calor con otros cuerpos que se encuentren a su alrededor y a diferente temperatura.



La Reflectividad se define por el mismo autor como un fenómeno en el cual la energía llega hasta el material, rebota al chocar con su superficie, cambiando la dirección pero no sus propiedades energéticas, es decir, si llega en forma de luz rebotará en forma de luz.

| 14

Salazar et al (2002) definen la absorptividad como la energía que llega al material y no es absorbida pero se transforma en calor. Los mejores absorbentes de calor son los cuerpos negros, el asbesto cemento y el concreto.

Siguiendo con el autor, la Capacidad Térmica del Material tiene que ver con el espesor de las superficies que envuelven al edificio y se define como la facultad que tiene un muro o una cubierta para almacenar calor. El color exterior de la vivienda influye en la absorción y reflexión de la radiación solar, por eso en estas zonas de clima cálido húmedo no se recomienda el uso de colores oscuros ya que pueden alcanzar temperaturas superiores a las del aire exterior, ya que absorbe una gran cantidad de energía radiante.

Propiedades Térmicas De Los Materiales				
Item	Materiales	Medidas	Espesor	Conductividad
1	Muro Block Común	40 x 15 x 20	0.15	0.12
2	Yeso Pulido		0.001	0.49
3	Pintura Vinilica			
4	Ventana Vidrio Claro		0.005	1
	Losa en Concreto Aligerada		0.1	1.63
5	Impermeabilizante		0.001	0.06
6	Repellado de Yeso + Ready Mix planchado		0.001	0.16
7	Yeso Pulido		0.001	0.44
8	Pintura Esmalte			

Tabla 1 , Propiedades Térmicas de los Materiales. Fuente Norma ENER 020 2010



Propiedades Ópticas De Los Materiales				
Item	Materiales	Absortancia	Ermitancia	Transmisión
1	Muro Block Común	0.8	0.99	
2	Ventana Vidrio Claro	0.15	0.94	0.8

Tabla 11, Propiedades Ópticas de los Materiales. Fuente Norma ENER 020 2010



1.3 . ESTUDIOS DE DESHUMIDIFICACIÓN Y VENTILACIÓN INDUCIDA

Czajkowski (2006) realiza un estudio denominado *“Condiciones Higrotérmicas Mínimas de Muros y Techos Para La Provincia de Buenos Aires”*⁵ donde se basa en el análisis de reducción de riesgo de condensación intersticial que determina valores de aislación térmica para soluciones típicas de muros y techos, debido a la afectación de la vida útil de los materiales y en su capacidad aislante; propone las condiciones higrotérmicas mínimas que se deben cumplir según la región bioclimática.

El procedimiento, definió los días tipo de diseño para las distintas zonas bioclimáticas seguido por la adopción de tipologías constructivas de muros y techos, adopción de condiciones higrotérmicas interiores en función de sistemas de calefacción, seguido por el análisis higrotérmico de casos y para concluir se construyen las fichas de resumen con las recomendaciones de diseño.

Este estudio, permitió diseñar un software de análisis higrotérmico para medir el riesgo de la condensación. Para los casos de estudio se siguió con el siguiente esquema:

1. Incorporación de aislante térmico de calidad comercial, tipo lana de vidrio o poliestireno expandido de 13 Kg/m³, en la superficie exterior de muros.
2. Incorporación de barrera de vapor cuando fuere necesario.
3. Recubrimiento exterior con revoque reforzado de 2.5 cm de espesor, armado con malla plástica para la distribución de tensiones.
4. En techos se ubicó el aislante en el cielorraso o en el entretecho.

Este estudio concluye que *“los muros contruidos con ladrillos huecos presentan los mayores riesgos de condensación intersticial debido a que poseen una baja resistencia al vapor respecto de una alta resistencia térmica. Esto demanda una fuerte aislación higrotérmica adicional para superar el problema.”*⁶

Estos estudios se verificaron basados en el método propuesto por la norma IRAM 11.625 (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales). Esta norma contempla *“el adecuado diseño tecnológico - constructivo de los cerramientos perimetrales de los edificios es fundamental para el*

⁵ Czajkowski Jorge D. et E. Rosenfel. (1993) *Condiciones Higrotérmicas Mínimas de Muros y Techos Para La Provincia de Buenos Aires*. 16 Reunión de Trabajo de ASADES. La Plata.

⁶ Czajkowski 1993. Ibidem.



acondicionamiento higrotérmico de los espacios arquitectónicos, determinando los niveles de confort que se verificarán con el uso. Para ello es necesario tener en claro los conceptos teóricos referidos a los procesos físicos de intercambio de humedad y temperatura.”⁷

La Norma Oficial Mexicana NOM-018-ENER-1997, **Aislantes térmicos para edificaciones. Características, límites y métodos de prueba**, muestra un panorama muy general acerca de humedad y condensación en materiales, es importante mencionar que la norma Mexicana no concuerda con ninguna norma internacional. Esta Norma tiene por objeto establecer los métodos de prueba para evaluar la conductividad o resistencia térmica, densidad aparente, permeabilidad al vapor de agua y la adsorción de humedad, que se indiquen en los materiales que se comercialicen en el país con propiedades de aislantes térmicos.

Responde a la necesidad de incrementar el ahorro de energía y la preservación de los recursos energéticos a través de la utilización de mejores materiales, así como a la de proteger al consumidor, orientándole en la selección de los materiales que le ofrezcan la mejor alternativa para su necesidad de aislar térmicamente su edificación, también establece las características y métodos de prueba que deben cumplir los materiales, productos, componentes y elementos termoaislantes, para techos, plafones y muros de las edificaciones.

La Norma Mexicana coincide con la Norma ISO 10456 *“Building materials and products -- Procedures for determining declared and design thermal values”*. Esta norma *“especifica los métodos para la determinación de los valores declarados y de diseño térmico de los materiales de construcción térmicamente homogénea y productos, así como los procedimientos para convertir los valores obtenidos en una serie de condiciones a los aplicados a otro conjunto de condiciones”*.⁸

La ISO es una organización no gubernamental: Organización Internacional de Normalización (ISO), se encarga de impartir un conjunto de normas sobre la calidad y gestión continua de calidad. Las normas recogen tanto el contenido mínimo como las guías y herramientas específicas de implantación, como los métodos de auditoría.

⁷ Norma Técnica del Instituto de Normalización y Certificación IRAM, representante de la Argentina en la International Organization for Standardization (ISO) en La Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT) y en la Organización Mercosur.

⁸ <http://www.iso.org/iso/home.html> (Consultado el 11/11/11)



Otra Norma ISO que se refiere a temas de humedad, condensación, estudios higrotermicos en edificios es la Norma ISO-15927-3:2009: "*Comportamiento higrotérmico de edificios - Cálculo y presentación de datos climáticos - Parte 3: Cálculo de un índice de lluvia para superficies verticales de viento por hora y los datos de la lluvia*"⁹. Aquí se especifican procedimientos para proporcionar un estimado de la cantidad de agua que pueda afectar un muro dependiendo de su orientación, topografía, tipo de edificio y pared. El primer método define el método de cálculo del índice promedio anual de lluvia, lo que influye en el contenido de humedad de una superficie absorbente, teniendo en cuenta la penetración de posible humedad a través de las juntas de mampostería u otros sistemas de muros.

El segundo método que describe está basado en las mediciones promedio de viento y una apreciación cualitativa de la intensidad de lluvia medida en unidad de tiempo, define un método para calcular la longitud en que se humedece con un material absorbente.

⁹ <http://www.iso.org/iso/home.html> (Consultado el 11/11/11)



1.4 DESHUMIDIFICACIÓN CON DESECANTES

Nathan, H.A.G (citado por Olgyay, 1998, p.115) realizó experimentos que muestran el efecto de la humedad higroscópica en la conductividad térmica de materiales inorgánicos en relación a su volumen, y de materiales orgánicos en proporción directa a su peso. T.S Rogers (citado por Olgyay, 1998, p.115), menciona que un problema relacionado con la humedad, y que se considera independiente de su comportamiento térmico, consiste en la creación de condiciones críticas producidas por el efecto de la condensación; de igual forma describe diversos métodos para eliminar condiciones de condensaciones en la edificación:

- (1) reduciendo el contenido de humedad en el interior,
- (2) colocando una "barrera de vapor",
- (3) conectando el lado frío con el lado exterior;
- (4) utilizando en el lado frío materiales que sean cinco veces más porosos al vapor que los empleados en el lado cálido.

Sánchez (2002) hace una descripción del Sistema de Deshumidificación Solar Pasiva para muros, donde el sistema funciona por el efecto "chimenea" ó termosifón. Consiste en la convección natural del aire que por efecto de invernadero se calienta en el espacio entre la cubierta negra y el vidrio. En las horas de la mañana el aire húmedo y caliente penetra y es deshumidificado al entrar al contacto con Silica Gel, la consecuencia es que se calienta. Al pasar por el humidificador inferior, se enfría penetrando el espacio interior como aire fresco. El autor señala que este sistema funciona cuando la radiación solar es directa y la humedad no es demasiado alta, ya que el material desecante que en este caso es la Silica Gel puede saturarse rápidamente.

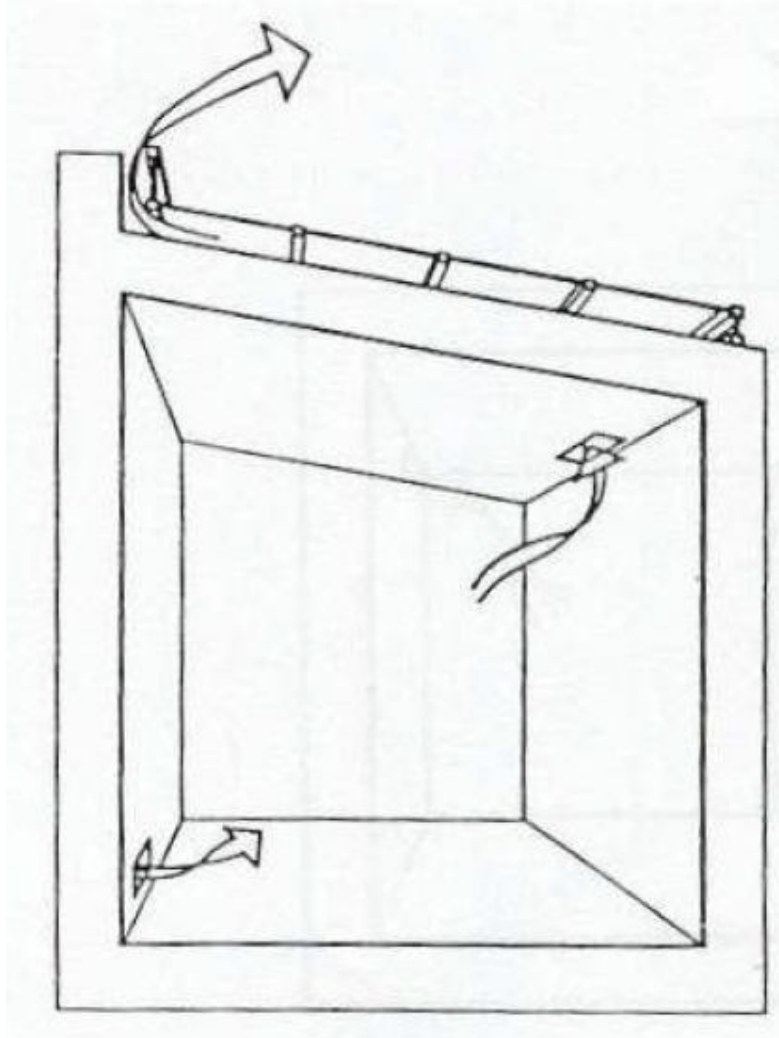


Fig. 7. Ejemplo de Chimenea Solar. Fuente: Morillón (2002)

Morillón (2002) menciona otro sistema de deshumidificación: Sistema de Lecho Dual Por Deshumidificación de Moore, este sistema utiliza material desecante (que no se especifica) y calor solar para la regeneración y circulación de aire por convección, consiste en dos hileras idénticas y adyacentes de desecantes utilizándose alternativamente para deshumidificación o regeneración / convección.



1.5. PROCESOS DE DESHUMIDIFICACIÓN CON DESECANTES LÍQUIDOS

Sánchez (2002) afirma que el primer sistema con desecantes líquidos fue creado en 1955 por Lof, el sistema consistía en utilizar un regenerador que empleaba aire calentado con energía solar. El sistema utilizaba *Trietilen Glicol*¹⁰ diluido con agua. El glicol era rociado en absorbedor donde recogía la humedad del aire del edificio, donde era bombeado a un intercambiador de calor sensible a una columna "stripping" donde se distribuye en un flujo de aire calentado por energía solar.

El aire a alta temperatura remueve el agua del glicol el cual regresa por el intercambiador y luego el absorbedor, el intercambiador recobra el calor sensible e incrementa la temperatura en el regenerador y minimiza la temperatura del absorbedor, los eliminadores remueven el glicol pulverizado de la corriente de aire.

Sánchez (2002) menciona a dos investigadores rusos Kakabaev y Khandurdyev donde a final de los años 60 plantean el uso de una unidad de refrigeración por absorción con un colector / regenerador solar que emplea soluciones acuosas de cloruro de litio o bromuro de litio. Collier diez años después sigue con las investigaciones de sistemas de refrigeración por absorción utilizando un colector/regenerador solar.

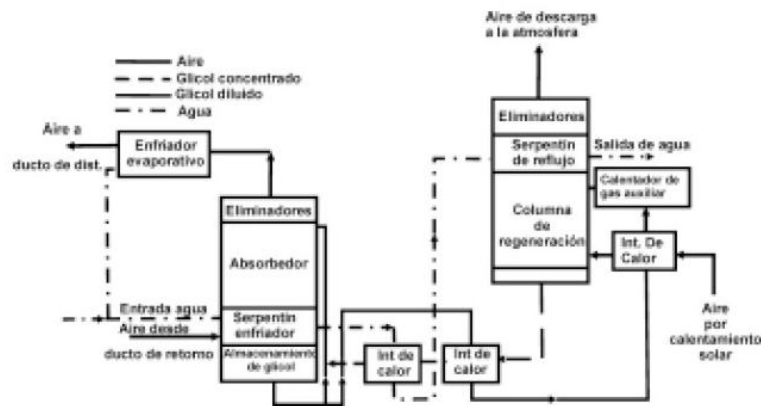


Fig. 8. Sistema creado por Lof en 1955. Fuente Sánchez 2002

¹⁰ *Trietilen Glicol: Disolvente para la nitrocelulosa, varias gomas y resinas, lacas, síntesis orgánica, en aparatos de acondicionamiento de aire, bactericida (en forma de vapor), humectante en tintas de imprenta, acondicionador textil, fungicida.* Fuente: <http://www.quimicatecnica.com.co>

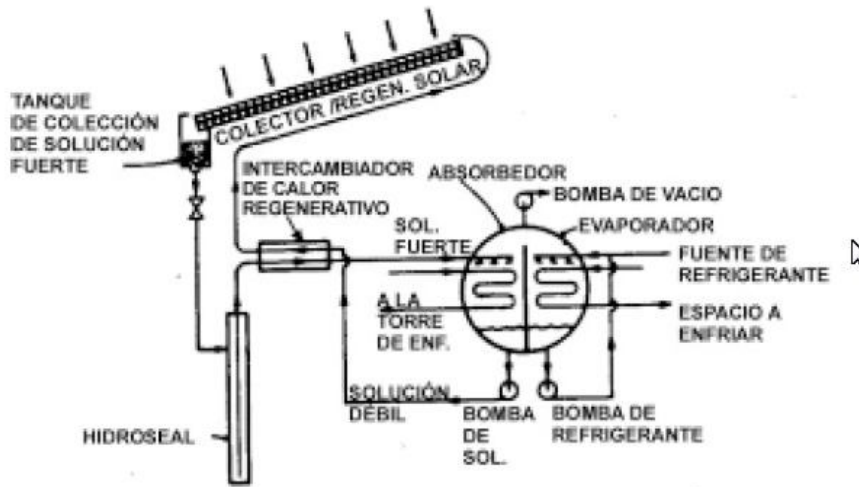


Fig. 9. Sistema de absorción de ciclo abierto propuesto por Kakavaev en 1967. Fuente Sánchez 2002

En los años 80 los modelos matemáticos desarrollados por Peng y Howell, Johannsen y Grossman donde se evalúan colectores / regeneradores solares, el primero sin cubierta y los segundos utilizando una cubierta de vidrio para disminuir la contaminación de la solución.

Para Sánchez (2002)¹¹ la deshumidificación del aire con desecantes ocurre cuando la presión de vapor de la superficie del desecante es inferior a la del aire ambiente. En la figura 4 el autor muestra lo que ocurre cuando la presión del vapor de agua en la superficie del desecante es más baja que en el aire entonces el desecante absorbe vapor de agua del aire.

Cuando el vapor de agua es absorbido la presión de vapor en el desecante se incrementa hasta experimentar el equilibrio. Este se logra cuando la presión de vapor en el desecante como en el aire son iguales. Para poder reusar el desecante es necesario regenerarlo, es decir, quitarle la humedad. Se logra la regeneración del desecante calentándolo para que incremente su presión de vapor, seguida por el contacto con una corriente de aire que tiene una presión de vapor de agua más baja.

¹¹ Sánchez, Parrao Roger (2002) *Deshumidificación y enfriamiento*. Universidad de Campeche, México



Sánchez (2002) diseña un sistema de ciclo de recirculación donde el fluido no hace intercambio de calor. El calor de absorción es removido por el enfriamiento de la solución desecante con un intercambiador de calor que usa un medio de enfriamiento a la temperatura de este medio, en este caso la temperatura de bulbo húmedo del aire que entra a la torre de enfriamiento.

“Para la regeneración de la solución débil se pasa por un intercambiador de calor que recupera el calor que trae la solución regenerada, de ahí se envía a un colector/regenerador solar. Este dispositivo consiste en una superficie plana abierta en la que fluye un película delgada de la solución desecante débil siendo calentada directamente entre 45 a 60 °C por la radiación solar, esto ocasiona la evaporación del agua incrementándose la concentración de la solución.”¹²

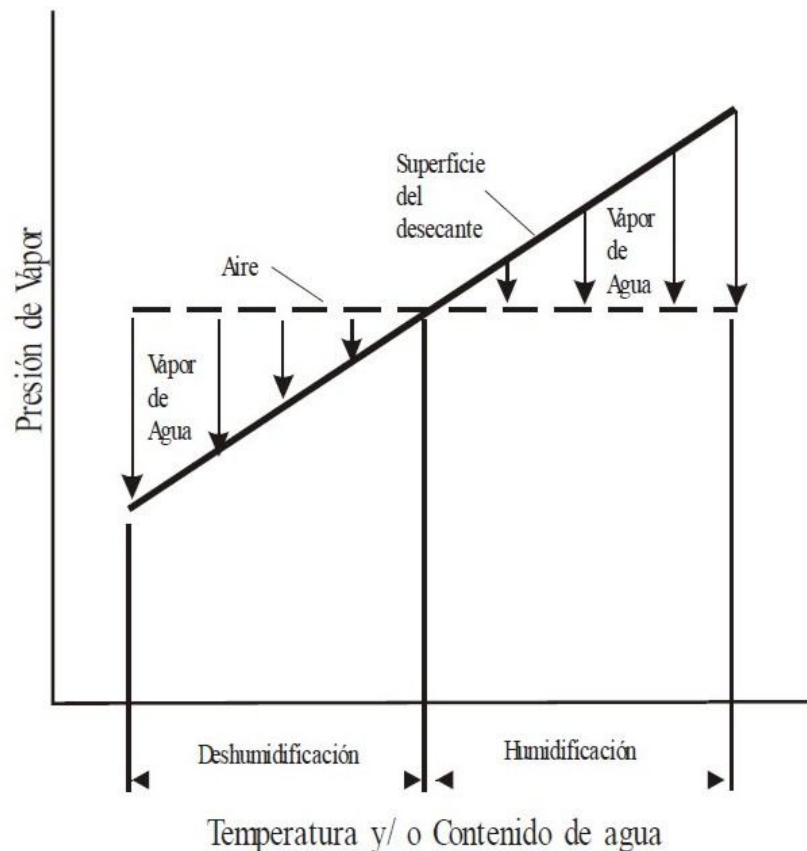


Fig. 10. Presión de vapor vs temperatura y contenido de agua para los desecantes y el aire. Fuente Sánchez 2002

¹² Sánchez (2002). Ibidem.

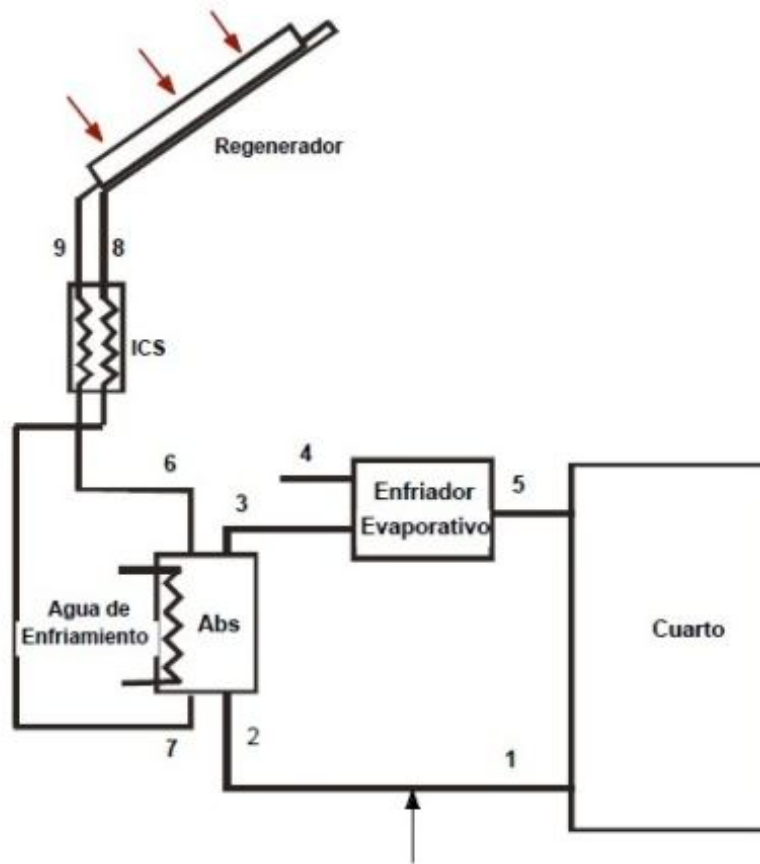


Fig. 11. Sistema de Deshumidificación propuesto por Sánchez. Fuente: Sánchez 2002

El autor concluye que se observa muy poca investigación realizada a los sistemas que se describen anteriormente, el sistema tiene un desempeño en climas cálidos húmedos, sin embargo su desarrollo está en proceso, por lo que el autor recomienda realizar investigaciones experimentales que corroboren los pocos estudios numéricos presentados en la literatura.

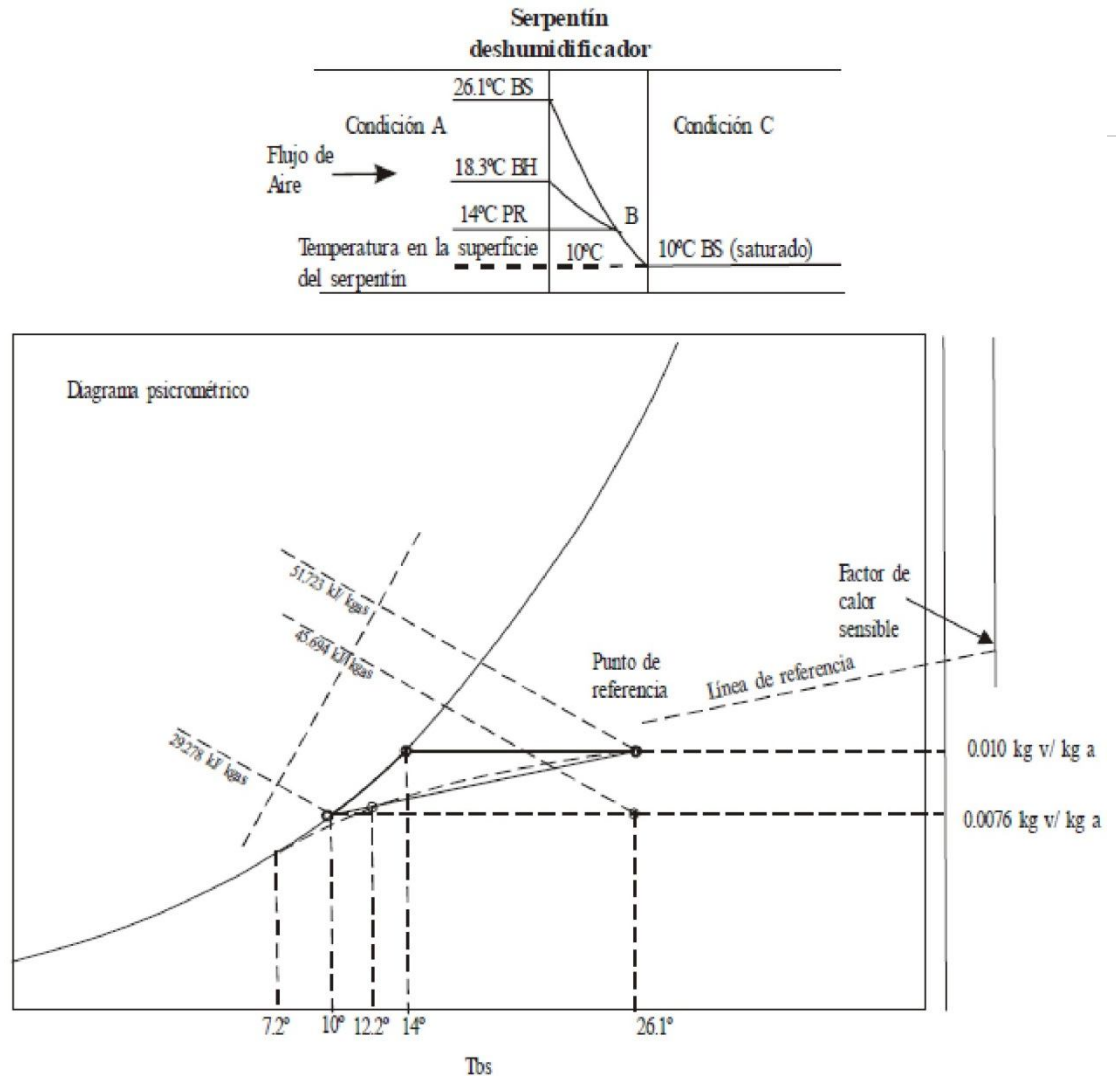


Fig. 12. Diagrama Psicrométrico del Sistema de deshumidificación propuesto por Sánchez. Fuente: Sánchez 2002



1.6. PROCESOS DE DESHUMIDIFICACIÓN CON DESECANTES SÓLIDOS.

Sánchez (2002), describe distintos procesos para remover la humedad del aire: por enfriamiento, hasta alcanzar una temperatura por debajo del punto de rocío, por el incremento de la presión total, lo cual causa la condensación, y por último poner un desecante con el aire, con lo cual la humedad del aire migra hacia el desecante, impulsado por las diferencia en las presiones de vapor entre el aire y el desecante.

| 26

Los desecantes pueden ser clasificados como absorbentes, los cuales absorben la humedad sin experimentar cambios químicos o físicos, o adsorbentes los cuales absorben la humedad acompañado por cambios físicos ó químicos. Por ejemplo la Sílica gel son desecantes sólidos y absorbentes, contienen numerosos poros y capilares en la cual el agua es condensada y contenida. La Sílica gel tiene una alta capacidad de absorber la humedad y puede regenerarse si se somete a una alta temperatura. Es de bajo costo y disponible en tamaños desde 3/16 pulgadas.

Entre los sólidos adsorbentes se encuentran las zeolitas, Sánchez (2002) menciona que éste tipo de adsorbentes atraen la humedad debido al campo eléctrico en la superficie del desecante. Cronstedt, (citado por Olguín) descubrió el mineral estilbita. Este perdió agua cuando se calentó con una llama de soplete, un proceso conocido actualmente como "intumescencia", él llamó a dicho mineral "Zeolita". Se consideran como uno de los grupos de minerales más abundantes sobre la tierra. Las zeolitas pertenecen a la familia de los tectosilicatos y son aluminosilicatos cristalinos, con elementos de los grupos I y II como cationes. Consisten en un armazón de tetraedros de $[\text{SiO}_4]^{4-}$ y $[\text{AlO}_4]^{5-}$ conectados el uno al otro en las esquinas por medio de átomos de oxígeno. consideran como uno de los grupos de minerales más abundantes sobre la tierra. Las zeolitas pertenecen a la familia de los tectosilicatos y son aluminosilicatos cristalinos, con elementos de los grupos I y II como cationes. Consisten en un armazón de tetraedros de $[\text{SiO}_4]^{4-}$ y $[\text{AlO}_4]^{5-}$ conectados el uno al otro en las esquinas por medio de átomos de oxígeno.



Fig.13. Gel de Silicio. Fuente: www.wikipedia.org

Las investigaciones realizadas por Olguín¹³ mencionan, como la estructura de la zeolita presenta canales y cavidades de dimensiones moleculares en las cuales se encuentran los cationes de compensación, moléculas de agua u otros adsorbatos y sales. Este tipo de estructura microscópica hace que las zeolitas presenten una superficie interna extremadamente grande, entre 500 y 1000 m²/g, con relación a su superficie externa. La microporosidad de estos sólidos es abierta y la estructura permite la transferencia de materia entre el espacio intracristalino y el medio que lo rodea.

Según Breck (1974) las zeolitas son caracterizadas por las siguientes propiedades:

- Alto grado de hidratación.
- Baja densidad y un gran volumen de vacíos cuando es deshidratado.
- La estabilidad de su estructura cristalina cuando se deshidrata.
- Las propiedades de intercambio del catión.
- Presenta canales moleculares uniformes clasificados en los cristales deshidratados.
- Por su habilidad de absorber gases y vapores.
- Por sus propiedades catalíticas.

¹³ Olguín, Gutierrez Maria Teresa (2002) *Zeolitas Características y Propiedades*. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, México, D. F. México



Fig.14. Zeolita. Fuente: www.zeolitech.com

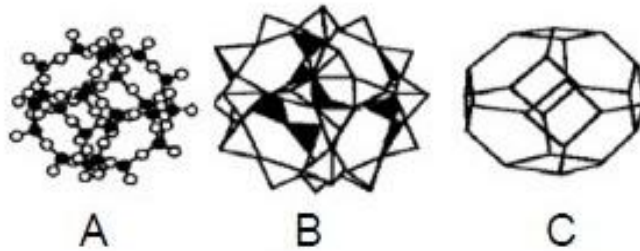


Fig.15. Estructura Típica de la Zeolita. Fuente Sanchez (2002)

Todas las zeolitas son consideradas como tamices moleculares, que son materiales que pueden absorber selectivamente moléculas en base a su tamaño, pero no todos los tamices moleculares son considerados como zeolitas, ya que también el carbón activado, las arcillas activadas, la alúmina en polvo, y la sílice en gel se consideran como tamices moleculares. Breck (1974) menciona las propiedades físicas, propiedades químicas y propiedades de adsorción de la Zeolita.

1.6.1 Propiedades físicas de las Zeolitas

Las propiedades físicas de una zeolita deben de considerarse de dos formas: (a) primero una descripción mineralógica de la zeolita desde el punto de vista de sus propiedades naturales, incluyendo la morfología, hábitos del cristal, gravedad específica, densidad, color,



tamaño del cristal o grano, el grado de cristalización, resistencia a la corrosión y abrasión. (b) el segundo desde el punto de vista de su desempeño físico como un producto para cualquier aplicación específica, tomando en cuenta las características de brillantes, color, viscosidad de Brookfield, viscosidad de Hércules, área superficial, tamaño de partícula, dureza, resistencia al desgaste.

La caracterización de cualquier zeolita siempre incluye la descripción básica de sus características mineralógicas y una evaluación al cambio con el efecto con la humedad las cuales son consideradas para las aplicaciones comerciales específicas.

1.6.2 Propiedades químicas de las Zeolitas

Las aplicaciones de las zeolitas naturales hacen uso de uno o más de sus propiedades químicas, que generalmente incluye el intercambio de iones, adsorción o deshidratación y rehidratación. Estas propiedades están en función de la estructura del cristal de cada especie, y su estructura y composición catiónica. Mumpton describe las siguientes propiedades de la siguiente manera:

1.6.3 Propiedades de adsorción de las Zeolitas

Olguín (2002) afirma que las zeolitas cristalinas son los únicos minerales adsorbentes. los grandes canales centrales de entrada y las cavidades de las zeolitas se llenan de moléculas de agua que forman las esferas de hidratación alrededor de dos cationes cambiables. Si el agua es eliminada y las moléculas tienen diámetros seccionales suficientemente pequeños para que estas pasen a través de los canales de entrada son fácilmente adsorbidos en los canales deshidratados y cavidades centrales. Las moléculas demasiado grandes no pasan dentro de las cavidades centrales y se excluyen dando origen a la propiedad de tamiz molecular una propiedad de las zeolitas.

Olguín (2002) describe las propiedades de intercambio de cationes de este mineral: Por procedimientos clásicos de intercambio catiónico de una zeolita se puede describir como la sustitución de los iones sodio de las zeolitas faujasitas por cationes de otros tamaños y otra carga.



Esta es una de las características esenciales de las zeolitas. En efecto, así se consigue modificar considerablemente las propiedades y ajustar la zeolita a los usos más diversos.

30

Las especificaciones de la zeolita dependen de los usos de los productos de la zeolita y varía ampliamente debido a la gran gama de productos de zeolita natural y variedad en el mercado. La sociedad americana para materiales y pruebas (ASTM) ha establecido métodos, pruebas y especificaciones estándares para la zeolita en los E.U.

Las especificaciones y pruebas en Europa y en Japón se hacen conjuntamente por las compañías productoras. Los productores de zeolita dividen de dos maneras las especificaciones: la venta del mineral en base a especificaciones negociadas con el comprador, o la venta del mineral en base a una línea de productos, donde cada producto de zeolita tiene una designación de nombre o número con especificaciones físicas y/o químicas. Los productos de la zeolita se venden usualmente con un nombre comercial en lugar de una variedad de mineral. Por ejemplo, la clinoptilonita.

Según la EPA ([US Environmental Protection Agency](#)) las regulaciones ambientales para la zeolita varían entre los estados y condados en Estados Unidos y esto puede ser una fuente de conflicto entre los inspectores del gobierno y los operadores encargados del minado. Las zeolitas naturales son relativamente inocuas y no presentan problemas ambientales particulares, con tres excepciones:

- Varios minerales de zeolita tienen formas fibrosas y pueden comportarse como materiales de asbesto.
- Los cristales de silicio fino se generan usualmente en depósitos de zeolita y los productos finos pueden ser respirados (0.1%).
- El minado de la zeolita y las plantas procesadoras secas tienden a generar polvos, ocasionando problemas en la calidad del aire.

El polvo generado en la planta y el minado pueden considerarse como un contaminante ambiental local. La mayoría de las zeolitas contienen sílice en forma de sílice amorfa o cristalina. Las plantas procesadoras, pueden por lo tanto requerir de un sistema eficiente para controlar la contaminación del aire, que van desde la norma Benhouse en donde se utilizan colectores de polvo a precipitadores



electrolíticos para minimizar la exposición de los trabajadores con estos polvos en el almacén del mineral o en los molinos y para cumplir con los requerimientos locales de control de calidad del aire. La mayoría de las zeolitas se producen usando métodos de procesamientos secos. El procesamiento de las zeolitas se inclina inevitablemente hacia procesos de lavados con agua y métodos húmedos de clasificación, requiriendo para esto un estanque de desperdicio o presa de jales y una manipulación apropiada de la planta.

Los minerales de zeolita son considerados generalmente por ser químicamente inertes, y la mayoría no son fibrosas. La erionita se establece como un mineral fibroso, mineral a circular y puede ser marcada como un posible cancerígeno en base a los estudios médicos, la modestia es también un mineral fibroso pero no es remarcado como un cancerígeno potencial.

Las zeolitas naturales son vendidas como productos triturados y cribados, finalmente como pulverizados o micronizados a productos ultrafinos. El producto triturado y cribado de estos materiales es de bajo costo y es usado en aplicaciones simples como son: acondicionamiento de suelos o como vivienda de animales domésticos, que toleran un equitativo y amplio rango de tamaño de partícula. Muchas zeolitas son trituradas, pulverizadas y clasificadas en un rango de tamaño de -60 a +325 mallas. Micronizando productos tan finos de 5 a 10 mm y productos ultrafinos como de 1 mm los cuales son preparados para usos especiales (papel filtro).

Los usos de la zeolita son los siguientes:

- En la agricultura como acondicionador y fertilizante de suelos.
- En la nutrición de animales. Da eficiencia en el desarrollo del ganado haciendo decrecer el agua amoniacal en el sistema digestivo (la clinoptilolita).
- Acuicultura.
- Catálisis y refinado del petróleo.
- Gasificación del carbón.
- Separación de gases.
- Intercambio iónico.
- Purificación del gas natural



Goto y Terao (2005) ¹⁴, realizaron investigación sobre control de humedad en estructuras de cemento con Toba Zeolítica, El cemento utilizado cemento portland puzolánico; comparando con dos tipos de minerales: Toba Zeolita y cenizas volantes ésta fue molida a partículas de diferente tamaño, se hizo reaccionar con 50% de cemento portland. El vapor de agua isoterma de adsorción del producto que se secó a 150.DEG.C; mostraron una variación rápida adsorción en el rango de 30-50% de humedad relativa. En comparación con el producto de las cenizas volantes, el importe de la adsorción de vapor de agua en el producto utilizando toba zeolítica fue el doble.

Martín y Velázquez (2012) hacen una "Comparación de Dos Muestras de Zeolita en La Adsorción De Humedad y Remoción de Olores". Donde se tuvo como objetivo evaluar la aplicación de zeolitas naturales de un yacimiento de Cuba (ZSA) entre una zeolita comercial de Canadá (ZC) a través de un método utilizado para evaluar la adsorción de agua denominado método de las campanas para distintos valores de humedades relativas.



Fig.16. Equipo para la determinación de la capacidad dinámica de adsorción de humedad. Fuente :Martín y Velázquez (2012)

¹⁴ Goto Katsuhiko, Terao Sasagu (2005) *Structures and humidity controlling performances of zeolite-Cement Hardened Bod.* Journal of the Ceramic Society of Japan. Japan.



Se realizaron pruebas controladas de laboratorio en desecadoras con solución H_2SO_4 con distintas densidades para humedades relativas del 100%, 80%, 60% y 40%. Se realizó la evaluación durante 24 horas

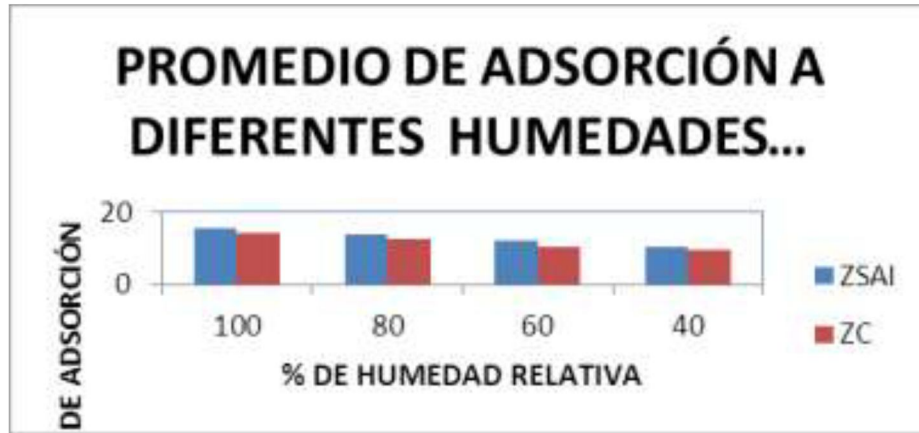


Fig.17. Muestra el promedio de adsorción a diferentes humedades relativasFuente :Martín y Velázquez (2012)

Las autoras concluyen que la capacidad de adsorción de humedad de la Zeolita cubana para un 80% de HR responde a un 14%, y la Zeolita canadiense un 13% de HR. También concluyen que los resultados logrados pueden influir positivamente en las distintas ramas de la industria porque se pueden desarrollar nuevos productos de mayor valor a partir de las zeolitas naturales cubanas que incidan en el medio ambiente y en la calidad de vida de productos que se vean afectados por la humedad.

Carbonell et al (2012) evalúan la "Utilización de las Ruedas Desecantes, Entálpicas y Sensibles en el Tratamiento del Aire en Cuba", allí el control de la humedad por lo general lo hacen mediante enfriamiento, el trabajo tuvo como objetivo mostrar la tecnología de las ruedas como una aplicación efectiva para tratar el control de la humedad.

La rueda desecante asume la apariencia de un panal con muchos canales pequeñas, la mayoría se hacen con sílica gel o zeolita que están unidas a fibras de vidrio, papel o aluminio. Los canales direccionan el arie a través de los poros, es allí cuando el desecante se activa y atrae el agua.

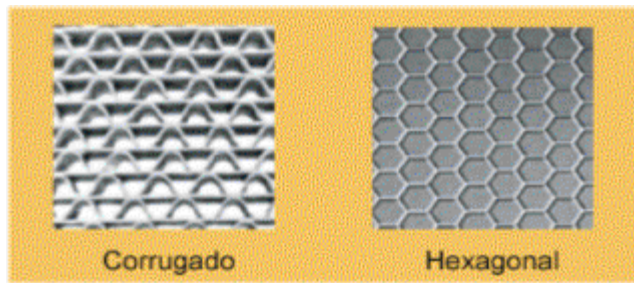


Fig.18. Rueda desecante Configuraciones Típicas Fuente :Carbonell et al. (2012)

La rueda tiene un ciclo de proceso y reactivación. El aire de proceso viaja entre los canales, el desecante va absorbiendo la humedad hasta que se satura lo que aumenta la presión de vapor en su superficie, cuando la rueda entra en el sector de reactivación el desecante es calentado por el flujo de aire y elimina la humedad de este. Cuando se termina este proceso, el desecante vuelve a la zona inicial donde se enfría al ponerse en contacto con el aire de proceso y vuelve a iniciar el ciclo.

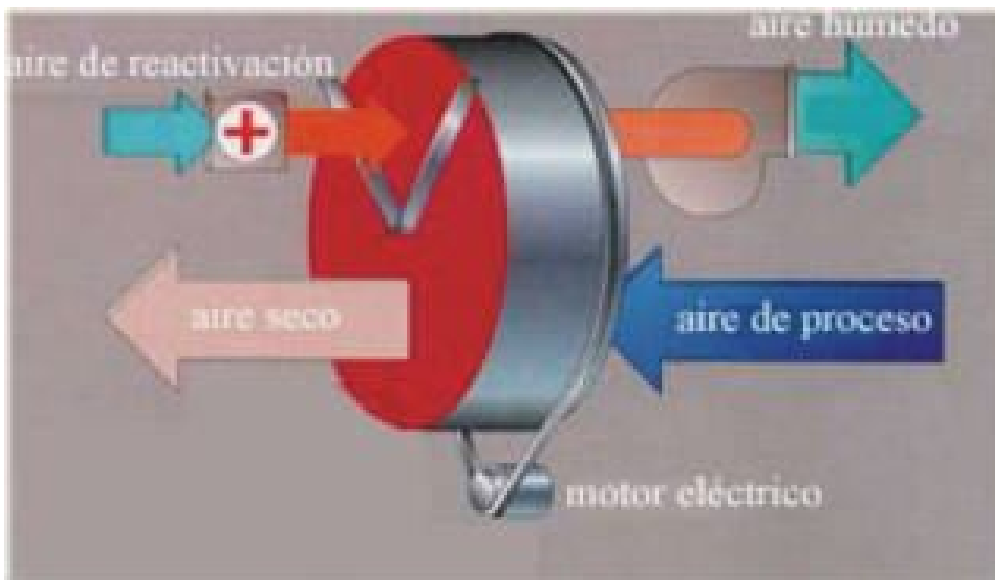


Fig.19 . Principio de funcionamiento de un deshumidificador desecante rotatorio o rueda desecante. Fuente: Carbonell et al. (2012)

Las aplicaciones de estas ruedas son muy comunes en supermercados, cámaras de conservación y congelados, quirófanos y cuartos limpios. El control de la humedad en la industria del turismo en la Isla de Cuba es necesario garantizarlo, la rueda desecante se presenta como una opción muy interesante que también contribuye con la economía energética, afirman los autores.



Los autores afirman que se deben abrir caminos de investigación con ésta tecnología en la parte de ventilación de cocinas, edificios industriales debido a que se puede ahorrar aproximadamente un 50 y 60% en climatización, y también en los costos de mantenimiento.

La zeolita natural en México ocurre en alteraciones ternarias de rocas volcánicas a lo largo de México, en Agua Prieta, El Cajón, Tetuachi, Arizpe y San Pedro todos en el estado de Sonora. También se pueden encontrar en Oaxaca, San Luis Potosí, Puebla y Guanajuato.

ZEOLITAS

ZEOLITA ZC

Compuestos granulares de zeolita para la formulación de detergentes ecológicos



n° CAS 1318-02-1
n° EINECS 215-283-8

NATURALEZA

Compuestos formados por Zeolita 4A, silicato cristalino sintético de aluminio y sodio, y copolímero acrílico-maleico o CMC carboximetilcelulosa. Se obtienen en forma granular por un proceso de atomización en torre.

DATOS TÉCNICOS

Composición química (%)	Valores promedio		
	ZC 2	ZC 10	ZCMC
Zeolita 4A (100% anhidra)	min 78	min 72	min 78
Copolímero acrílico-maleico	2	10	
CMC Carboximetilcelulosa			2
Capacidad secuestrante de Ca (mg CaO/g anh)	> 160	> 160	> 160
Densidad aparente (g/l)	470	540	470
Tamaño de partícula medio (mm)	0.3	0.3	0.3
> 0.5 mm	max 5.0%	max 5.0%	max 5.0%
< 0.1 mm	max 5.0%	max 5.0%	max 5.0%

CARACTERÍSTICAS

- Tamaño de partícula homogéneo. En el rango de tamaño de otros componentes del detergente.
- Elevada densidad aparente.
- Buena capacidad de absorción.
- Seguro desde un punto de vista toxicológico y medio ambiental.
- Elevada fluidez. Facilita las operaciones de dosificación.
- Muy buena dispersión en agua. Previene las deposiciones en ropa y máquinas.
- Alta porosidad de los granos (macroporos) conjuntamente con los canales específicos de la estructura de la Zeolita 4A (microporos).



www.iqe.es



Industrias Químicas del Ebro, S.A, IQE, es una empresa independiente fundada al final de los años 50 y con sede en Zaragoza (España), ellos son distribuidores de zeolita, entre las especificaciones se encuentra la hoja de seguridad donde afirman que la zeolita no causa daños a la salud.

www.iqe.es

ZEOLITA ZC

CAMPOS DE APLICACIÓN

- Producción de detergentes de lavado de ropa, libres de fosfatos, evitando el proceso de atomización en torre.
- Permite su utilización en post-adición, teniendo en cuenta los porcentajes adecuados de ambos componentes en la formulación final.
- Debido a la alta porosidad de los granos de ZC (macroporosidad) se puede utilizar como absorbente de líquidos: orgánicos (surfactantes) y acuosos (humedad), evitando problemas de fluidez y asegurando una buena estabilidad durante el almacenaje.

CLASIFICACIÓN DE SEGURIDAD PARA EL ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE

No está clasificado como sustancia peligrosa según las Directivas de la CEE sobre "Clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas".

ENVASES

- Sacos.
- Big bags.
- Camión cisterna.

GRUPO IQE

AENOR
ER
Sistema Registrado
ER-0336/2/96

IQNet

Toda información contenida en esta hoja técnica se basa en nuestros conocimientos y en nuestra experiencia actual. Por lo tanto no implica ninguna garantía jurídica de sus propiedades o de utilización del producto para una aplicación concreta.



1.7 CONCLUSIONES ANTECEDENTES

A través del análisis de los problemas que enfrenta la arquitectura del trópico y las variables climáticas es posible tener un panorama para entender el problema planteado en este estudio a través de los planteamientos metodológicos, por ejemplo Olgay(1963) estructura los estudios de alta calidad ambiental a través de cuatro componentes:

CLIMATOLOGÍA

EL ESTUDIO DE LA BIOLOGÍA HUMANA

DISEÑO DE ESTRATEGIAS APLICABLES

APLICACIÓN DE PRINCIPIOS BIOLCLIMATICOS EN LA ARQUITECTURA

Entonces tenemos que el problema categórico es la falta de confort térmico al interior de las edificaciones del clima cálido húmedo.

La sensación de confort está determinada por:

Factores Psicológicos

Factores Climáticos

Factores Físicos

En este sentido las categorías privilegiadas para éste estudio son:

La climática determinada por:

Humedad Temperatura Radiación Viento.

La Física determinada por:

Forma Emplazamiento Propiedades de los materiales







Contenido

Estado Del Arte

II	Estado Del Arte	39
2.1	Estudio De Deshumidificación Experimental En México.....	41
2.2	Caso De Estudio Experimental De Enfriamiento Pasivo En Clima Cálido Húmedo	50
2.3	Efectos De La Humedad En Los Materiales En Climas Cálidos Húmedos	55
2.4	Impacto De La Humedad Del Aire En Los Sistemas Constructivos	56
2.5	Fenómenos Que Intervienen En El Sistema Experimental.....	59
2.6	Conclusiones Estado Del Arte.....	66



2.1 ESTUDIO DE DESHUMIDIFICACIÓN EXPERIMENTAL EN MÉXICO

“Sistema De Aireación Inducida Para Reducir Los Riesgos de Humedad en Intramuros”

López (2010) realizó la tesis doctoral *“Sistema De Aireación Inducida Para Reducir Los Riesgos de Humedad en Intramuros”* en la ciudad de Villahermosa-Tabasco, la autora propone un aireador pasivo dentro de los muros al cual denomina: *“Sistema de Aireación de Intramuros”* (SAI); tiene como objetivo mejorar el proceso de secado de los muros afectados por inundaciones y humedades como factor climático. Su estudio se basa en el principio de balance de energía de un sistema limitado por los elementos arquitectónicos y su contexto. Los actores externos que se contemplan son el **clima, el microclima, la humedad relativa el viento y la radiación.**

“El aireador consiste en introducir aire fresco por la parte inferior de las cavidades del muro y hacer que recorra la cavidad verticalmente hacia arriba, extrayendo el aire por la parte superior del muro hacia el medio ambiente exterior”¹.

Es importante anotar como el entorno está en constante intercambio de energía con el edificio, López (2010) señala este fenómeno “El Edificio Como Sistema Dinámico” y lo involucra en su estudio definiéndolo como un sistema, en donde el edificio es tomado como partes “independientes” pero interactuantes que forman un sistema unitario y complejo. La autora divide el sistema en las siguientes partes: entradas, procesos y salidas, que comprenden la envolvente y su contexto inmediato. Este es un sistema que se concibió como integrado según la autora ya que si se hace un cambio en cualquiera de los subsistemas produce cambios en los demás, define el sistema de igual manera como un sistema permeable debido a que está influenciado por el medio circundante las fases de entrada y salida del proceso no se interrumpen. En la parte de termodinámica el Sistema SAI, la autora afirma que es un sistema cerrado ya que en el estudio se consideraron el intercambio de energía con el medio ambiente inmediato.

¹ López Cervantes, Aída (2010). *Sistema De Aireación Inducida Para Disminuir Riesgos De humedad Intramuros : Caso De Estudio Para El Trópico Húmedo. Tesis Doctoral.* Doctorado en Arquitectura-UNAM, Facultad de Arquitectura. Universidad Nacional Autónoma de México.



Se entiende por entradas según López (2010) como los recursos materiales que tiene la composición de la edificación que define la forma en el que el sistema opera. Formas que se relacionan con el entorno inmediato de acuerdo a la composición. Como procesos la autora señala como la transformación de una entrada en salida, siendo el edificio tangible el procesador. Al procesar las entradas se tiene como resultado las salidas que obtienen las características del ambiente habitable. Los atributos que definen el sistema corresponden a los muros, el piso y la cubierta y los atributos relacionados corresponden a la orientación, altura, espesor de los muros y tipo de material constructivo.

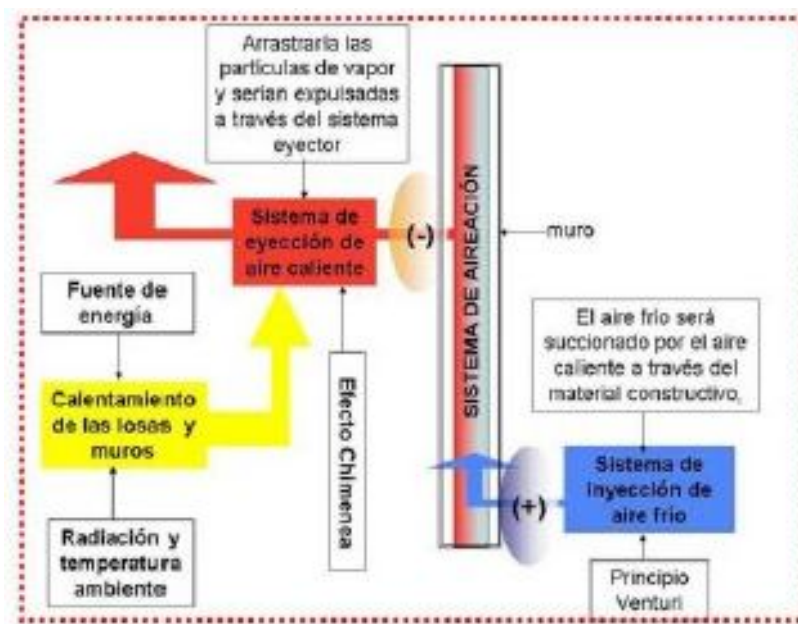


Fig. 20. Esquema I. Propuesta Teórica del Sistema SAI. Fuente: López (2010)

Para analizar este sistema López (2010) afirma que el sistema siempre está rodeado del contexto, que influye en parte las entradas, los procesos y las salidas del mismo. Generándose pues así vínculos entre el sistema y el contexto. La autora considera este sistema como limitado aunque existen infinitas relaciones y para un estudio experimental como es el objetivo de este trabajo aconseja estudiar aquellas variables que probabilísticamente proporcionan mejores características para la predicción científica.

López (2010) aprovecha la consistencia, geometría de los materiales y el calentamiento de la envolvente, la autora plantea que la aireación permite la disminución del contenido de vapor de agua y reduce los efectos de condensación permanente. Este sistema está basado en el fenómeno de la



convección inducida que a través de los muros circule el aire por flotación y por diferencias de presión.

El abordaje del estudio se centra en el análisis de las diferencias que se dan en el comportamiento del flujo del aire dentro de las cavidades formadas por el muro de block hueco utilizándose al mismo tiempo para observar la eficacia del flujo forzado en la disminución de los rangos de humedad relativa y temperatura contenidos en el muro. Los indicadores entonces que están presentes en la evaluación son: humedad del aire que entra, humedad del aire que sale, temperatura del aire que entra, temperatura del aire que sale, temperaturas máximas, mínimas y medias, momentos de la humedad máxima, mínima y promedio terminando con condiciones ambientales y radiación.

El proceso experimental pretendió aprovechar el calentamiento de muros y losas como fuente de energía del sistema propuesto, provocado por la radiación y temperatura del ambiente, funcionando esto como efecto chimenea que hace que el salga el aire caliente, también la autora afirma que la base del principio de Venturi inyectando un sistema de aire frío, éste sería succionado por el aire caliente a través de las cámaras del block lo que arrastraría las partículas de vapor.

El sistema del SAI, tiene las siguientes aproximaciones: la primera "**secado del aire**" que consiste en captar el aire, secar el aire, inyectarlo a los muros, inyectarlo al interior del espacio y por último extraer el aire caliente. La segunda aproximación es "**permitir que la construcción respire**" es captar aire, sacar aire, inyectarlo a los muros, inyectarlo al espacio interno, enfriamiento y desecación, extracción de aire caliente de intramuros y del espacio interno.

La tercera aproximación se denomina "**diferencia de presiones**" es utilizar para el sistema de ventilación un material que genere una diferencia de presión debido al calentamiento del mismo, considerándose la ubicación y el material.

La cuarta aproximación es el "**aprovechamiento de constitución del material**", aprovechar las cámaras de aire del material para crear flujos de aire.

Por último la quinta aproximación, "**eficiencia y permanencia de las condiciones del sistema**" prevenir que el proceso creado se revierta.

La hipótesis que plantea la autora es la siguiente:



“Un sistema de aireación inducida que se haga funcionar al interior de los muros, aprovechando la cavidad de los materiales, y el calentamiento de las losas y muros permitirá la disminución de la temperatura y la humedad relativa en la cavidad de los muros durante el día, minimizando por la noche los efectos de condensación que deterioran el material arquitectónico.”²

El diseño del experimento contempló la construcción de dos prototipos: uno que utilizara el sistema SAI, y el otro sin el sistema SAI; cuidando que cada muro estuviera direccionado a una orientación. La forma propuesta permitió la monitorización de temperaturas simultáneas. El prototipo estaba constituido por zapata corrida para la cimentación, firme de concreto, muros de block hueco y losa de panel W revestida con concreto. La losa se construyó en panel de poliestireno reforzado con acero de 3/8" y recubierto con concreto, en el interior se repelló con una mezcla de cemento arena, también tiene rupturas del puente térmico con la separación de los muros en las mismas orientaciones.. Los dos prototipos se realizaron en Villahermosa- Tabasco.

El Sistema de Aireación en Intramuros, está constituido por dos sistemas: **Sistema de Inyección y Sistema de Eyección**. Las líneas de inyección están distribuidas a nivel de piso, con la utilización de codos a 45° y en las redes principales se utilizaron tubos de PVC DE 1 ½" ϕ . La colocación del sistema de inyección se hace en la parte inferior de los muros, de igual manera con tubos de PVC de 1" ϕ unidos con codos, tes y coples. Las entradas individuales del aire se encuentran insertadas en el muro oeste, resguardado en la sombra sin obstruir ninguna parte del sistema.

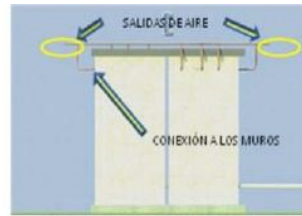
La autora describe que el muro norte posee un número menor de boquillas inyectoras, esta orientación cuenta con dos líneas de inyección de aire, debido a la ubicación de estas redes ocasionado por la posición de la puerta y la separación de los muros.

La tubería de eyección está hecha con tubería de cobre de ½" ϕ , la autora del proyecto consideró la utilización de este material para mejorar el calentamiento y facilitar el desarrollo de succión de aire por diferencias de presión por el calor cedido de la losa al tubo y al aire que circula. El sistema se puso en contacto directo con la losa por razones teóricas que señalan que la conducción de calor de la losa a la tubería podría mantenerse prolongado en la tarde como consecuencia de la

² López Cervantes, Aída (2010). *Sistema De Aireación Inducida Para Disminuir Riesgos De humedad Intramuros : Caso De Estudio Para El Trópico Húmedo*. Tesis Doctoral. Doctorado en Arquitectura-UNAM, Facultad de Arquitectura. Universidad Nacional Autónoma de México.



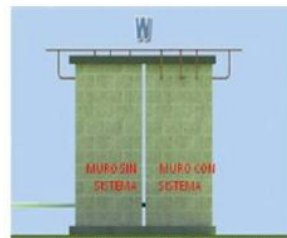
emisividad y a las propiedades de retardo térmico del concreto. Las principales tomas de aire del sistema inyector están orientadas a la fachada norte, para evitar exceso de radiación solar.



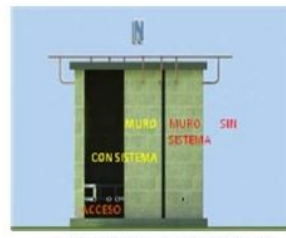
ESQUEMA III. 17. PROPUESTA ORIENTE DEL SISTEMA EYECTOR



ESQUEMA III. 18. PROPUESTA SUR DEL SISTEMA EYECTOR



ESQUEMA III. 19. PROPUESTA PONIENTE DEL SISTEMA EYECTOR



ESQUEMA III. 20. PROPUESTA NORTE DEL SISTEMA EYECTOR



FOTO III. 1. CONSTRUCCIÓN DE LOS MUROS.



FOTO III. 2. MURO NORTE DEL SISTEMA ARQUITECTÓNICO.

Fig. 21 Proceso de construcción del experimento. Fuente: López (2010)

López (2010) describe como se cuidó en el proceso de construcción que no cayera mezcla en el interior de los bloques, con el fin de evitar la obstrucción de los canales del materia. La losa interior tiene un acabado con mezcla de cemento arena. Es importante anotar que se conformó una ruptura del puente térmico con la separación de los muros en las mismas orientaciones, esto se hizo con el objetivo de medir simultáneamente el sistema arquitectónico con el sistema de aireación.

López (2010) afirma que en los climas cálidos como los de Tabasco, los sistemas de enfriamiento funcionan de manera óptima cuando se utilizan materiales constructivos de gran masa térmica para



conservar la temperatura fresca nocturna, un elemento fundamental que se menciona es la adecuada ventilación que arrastra el calor de las superficies internas, *"es importante encauzar los vientos frescos, Así el estar más frescos los muros y techos tomarán calor corporal dando sensación de fresca"*. Es así pues como las ganancias y pérdidas de calor en el cuerpo humano condicionan la sensación térmica a través de cuatro parámetros: su propia temperatura, su contenido de vapor de agua y por último su movimiento.

Los procesos pasivos dependen de los principios de la termodinámica, donde López (2010) cita a Serrá (1999) quien señala que el calor se transmite del cuerpo más caliente al cuerpo más frío, en este proceso se tiene al equilibrio sin haber una creación o destrucción de energía sino una transformación.

López (2010) hace una observación del fenómeno de la ventilación para el clima cálido húmedo, donde el sistema funciona de la siguiente manera captar el aire en una zona de alta presión y la salida en la zona de baja presión, y es allí cuando es posible deshumidificar el aire en el proceso de enfriamiento.

En la monitorización de datos, utilizaron una Microestación Bioclimática HOBO, estas estaciones se utilizaron para registrar la zona de inyección de aire en cada una de las orientaciones, donde se midió humedad, temperatura y punto de rocío simultáneamente. También se hicieron levantamientos de datos de radiación, viento y clima exterior así como el microclima que se generaba al interior de los módulos.

Los datos se registraron en dos fases: en la primera fueron resultados parciales que comprendían el prototipo según el diseño para verificar la eficiencia del SAI, posteriormente se detectaron falencias se modificaron y se realizó una segunda campaña de medidas dando los resultados finales.

La ruta de análisis de la evaluación se realizó en diez pasos, consistió en medir las diferencias de comportamiento higrotermico entre el punto de inyección, el punto de eyección, realizar comparativos del muro con el sistema SAI y el muro sencillo, realizar comparativos entre el aire captado en la red principal y el punto de inyección, comparar las condiciones microclimáticas internas con el aire de la red principal, estas mismas condiciones microclimáticas se compararon con el aire eyectado y por ultimo determinar y comparar la diferencia entre el clima exterior, temperatura, humedad relativa y el aire extraído como indicadores para inferir la eficiencia del SAI.



Fig. 22. Proceso de medición de datos. Fuente: López (2010)

Los resultados que se obtuvieron muestran que los rangos de temperatura han sido menores en los muros con sistema SAI, estando de menor a mayor el muro oeste, el muro sur, el muro norte y el muro este. La humedad relativa sigue el mismo patrón. Los comportamientos más estables para humedad relativa y temperatura se presentaron en los horarios nocturnos en los muros con el sistema SAI. Mientras que los muros que no tienen el sistema, los comportamientos no se presentaron muy uniformes entre la noche y el día.

En todas las orientaciones del prototipo estudiado, el comportamiento diferencial entre el microclima exterior y el aire eyectado, fue parecido. La temperatura del microclima para todas las orientaciones, fue más elevada para el muro con el sistema SAI, tanto en el día como en la noche. Sin embargo la Humedad Relativa, tuvo un comportamiento distinto y fue baja en los muros con el sistema.



En la evaluación comparativa de la temperatura exterior del prototipo y la temperatura interior de este, las cuatro orientaciones mostraron presentaron los mismos comportamientos de las condiciones externas en relación con los muros SAI. Hubo pérdida de temperatura al medio externo en el horario nocturno. La humedad relativa presentó el mismo patrón para todas las orientaciones. Los datos de viento registrados provenían del sur-sureste, seguido del este-noreste señala la autora.

López (2010), realizó un análisis de las cartas psicométricas para el prototipo donde observó que las condiciones de temperatura mínima de los muros con el sistema son similares y con pequeñas diferencias con respecto a la temperatura mínima exterior en todas las orientaciones. La diferencia importante esta en las temperaturas máximas, mostrándose un aumento en la temperatura del muro SAI oeste, con respecto a la humedad relativa presentó estabilidad para todas las orientaciones.

Después del análisis de las campañas de medida López (2010) concluye lo siguiente:

Las disminuciones esperadas para la humedad relativa, entre el muro con el sistema SAI y el muro sin el sistema SAI, no se lograron. El muro con orientación sur y este tuvieron un comportamiento distinto, ya que el factor viento influía.

*"Aunque la humedad relativa no fue menor, en los muros con SAI, si fue la menor que el medio ambiente."*³

La autora deduce, que la humedad tomada del material al aire de la cavidad y no desde el exterior, debido a que en los puntos de inyección, la humedad relativa registrada era más baja en los muros con el sistema SAI que la de los muros sin el sistema.

*"Este fenómeno abre la oportunidad para estudiar el fenómeno analíticamente y determinar el mayor riesgo de condensación en la pared interna o la pared externa además de determinar si hay mayor o menor riego en el muro sin SAI o en el muro con SAI, proceso que reafirmaría, de ser positivo el resultado, la validez del funcionamiento del SAI."*⁴

³ López Cervantes, Aída (2010). *Sistema De Aireación Inducida Para Disminuir Riesgos De humedad Intramuros : Caso De Estudio Para El Trópico Húmedo. Tesis Doctoral.* Doctorado en Arquitectura-UNAM, Facultad de Arquitectura. Universidad Nacional Autónoma de México.

⁴ López Cervantes, Aída (2010). *Sistema De Aireación Inducida Para Disminuir Riesgos De humedad Intramuros : Caso De Estudio Para El Trópico Húmedo. Tesis Doctoral.* Doctorado en Arquitectura-UNAM, Facultad de Arquitectura. Universidad Nacional Autónoma de México.



Fig. 23. Módulos de Mediciones. Fuente: Propia

El sistema SAI, conjuga varios sistemas en uno, proponer el experimento con la zeolita en éste sistema implicaría intervenir en cada uno de ellos; aprovechar el efecto chimenea que presenta el aire dentro del módulo puede permitir aprovechar las diferencias de presión por el calentamiento del aire; en ese sentido hipotéticamente la zeolita puede funcionar como un buen absorbente de calor ya que al ser calentado este mineral se producen reacciones químicas debido a su capacidad de absorber agua.



2.2 CASO DE ESTUDIO EXPERIMENTAL DE ENFRIAMIENTO PASIVO EN CLIMA CÁLIDO HÚMEDO

| 50

A continuación se presenta otro estudio experimental que tiene que ver con el enfriamiento a través de estanques sobre cubiertas, el objetivo de analizar este estudio es observar la dimensión de los módulos que se estudian para evaluar propuestas de enfriamiento pasivo, así como también análisis del montaje experimental y equipos de medición.

“Estudio Experimental Del Comportamiento Térmico De Sistemas Pasivos de Enfriamiento en Clima Cálido-Húmedo”

González (2011) realiza la tesis “*Estudio Experimental Del Comportamiento Térmico De Sistemas Pasivos de Enfriamiento en Clima Cálido-Húmedo*”, en la Universidad de Zulia en Venezuela. Este trabajo esta encaminado en la línea de investigación de evaluación de sistemas pasivos de enfriamiento donde las técnicas aplicadas son de enfriamiento evaporativo y enfriamiento radiativo que dicha Universidad adelanta a cargo del profesor Eduardo González.

La autora señala la problemática reciente del cambio climático y cómo los edificios tienen una gran responsabilidad por las emisiones de CO₂ por el alto consumo de energía, derivados del petróleo, el gas y el carbón que estos hacen. Según este estudio regiones como Maracaibo en Venezuela el mayor consumo energético se hace por el uso de sistemas de aire acondicionado. Mejorar las técnicas de enfriamiento pasivo pueden ayudar a disminuir estos altos consumos. Se señala que experiencias en Venezuela con este tipo de técnicas han demostrado la capacidad de reducción de temperaturas internas en algunos espacios. El trabajo consistió en estudiar una nueva tipología de techo-estanque metálico unido a un módulo de prueba y se compara con un módulo de control.

La autora tiene la siguiente Hipótesis:

“Es posible lograr mayores eficiencias de enfriamiento y reducción de amplitudes de temperatura interior en una nueva configuración de techo estanque, basado en el enfriamiento evaporativo indirecto, que incluya masa térmica confinada, en relación con el techo estanque simple sombreado, cuya masa térmica es solo la constituida por el agua en proceso de evaporación. Es posible lograr una mayor eficiencia de enfriamiento de un techo estanque con masa térmica confinada cuando se



aplican de manera conjunta el enfriamiento evaporativo indirecto y el enfriamiento radiativo nocturno"

Apoyados en estudios previos como el de la Universidad de Colima donde se hizo un módulo experimental de 1.60 x 1.60 x 0.95m con techo de concreto y bloques de adobe donde se evaluó un sistema pasivo de enfriamiento evaporativo indirecto (SPEEI). Este techo estanque tuvo resultados apropiados para el clima cálido sub-húmedo. Sánchez, G. Luis, H. 1993 citado por González (2011).



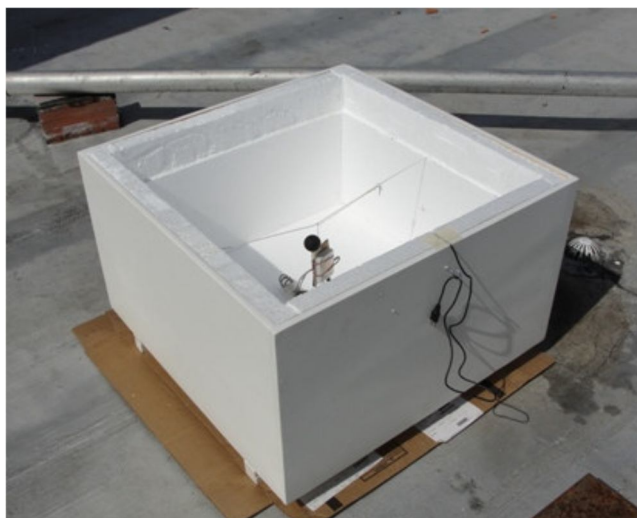
Fig. 24. Modelo de techo estanque, Colima Fuente: González (2011)

La autora cita a González, E. (1989) que también realiza un trabajo experimental, su meta era cuantificar el potencial de enfriamiento de los sistemas de enfriamiento radiativo con estanques metálicos llenos de agua. Utilizó cinco módulos de madera, aisló su interior y utilizó como acabado pintura blanca. Uno de los módulos trabajó como módulo de control, los otros módulos tenían un estanque metálico con agua, algunos se cubrían en el día y se abrían en la noche otros permanecieron las 24 horas cerrados.



Fig 25. Modelo de techo estanque *Evaluación de Sistemas Pasivos de Enfriamiento y su Aplicación en el Diseño de Viviendas*: Fuente: González (2011)

Para llevar a cabo este trabajo experimental la autora se basó en el trabajo "*Evaluación de Sistemas Pasivos de Enfriamiento y su Aplicación en el Diseño de Viviendas*" (González, 1989). Se hizo necesario la construcción de dos módulos a los que denominaron: módulo de control (MC) y módulo experimental (ME). Estos módulos se construyeron con las mismas especificaciones del trabajo de González (1989). En los módulos experimentales se colocaron distintas variables con el fin de realizar 7 experimentos. Las medidas utilizadas en ambos módulos son de 0.80Mts de largo por 0.80Mts de ancho y 0.47Mts de alto, los materiales que se utilizaron fueron madera de triplay de 0.015 Mts de espesor, el acabado exterior se hizo con pintura blanca, al interior los módulos se forraron con láminas de poliestireno expandido de 0.045 Mts de espesor. Para aislar los módulos del suelo se colocaron unos listones de madera de 0.04 Mts y 0.05 Mts en la base.



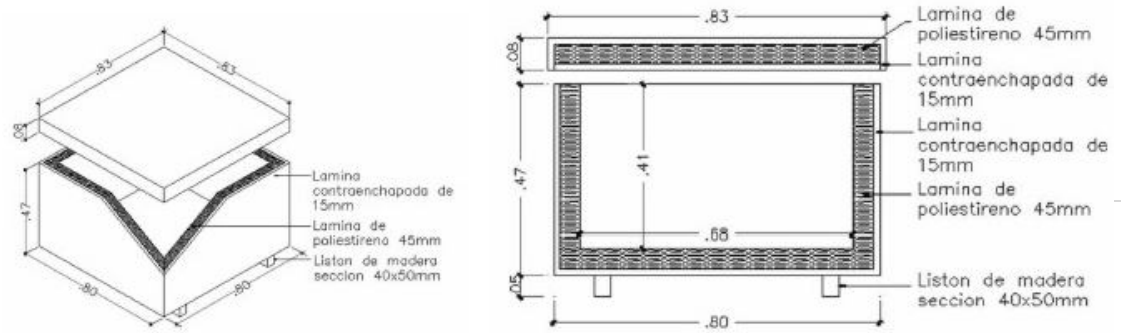


Fig 26. Modulo Experimental Fuente: González (2011)

El módulo experimental cuenta con las mismas especificaciones del módulo de control, la diferencia radica que en la parte superior se construyó un tanque con lámina galvanizada calibre 18, con acabado de pintura blanca. El espacio interior que quedó libre fue de 0.30 Mts de alto allí se ubicó un sensor de humedad relativa, temperatura y temperatura de globo. El módulo experimental cuenta con dos tipos de cubiertas: la primera con triplay de 0.015Mts aislado con placa de poliestireo de 0.045Mts de espesor. El otro tipo de cubierta tiene una protección solar de 1Mt x 1Mt en chapa de madera de 0.005 y su aislamiento se hace a través de una lámina de poliestireno de 0.015 Mts de espesor.

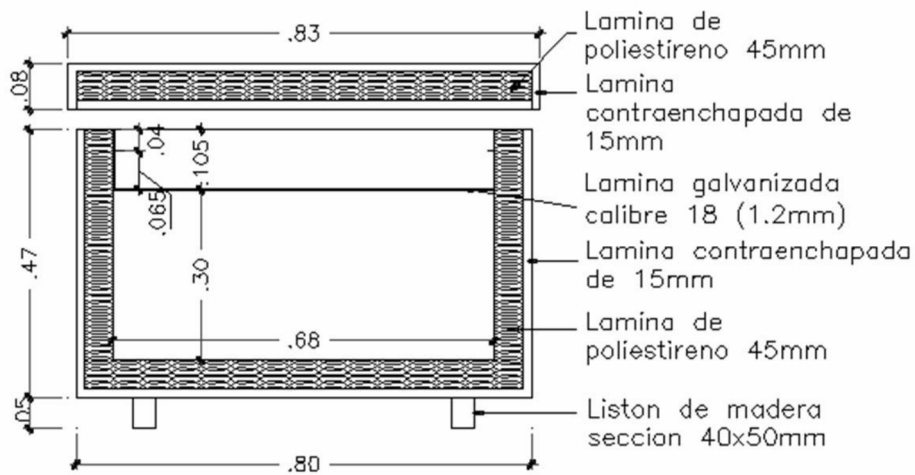


Fig 27. Modulo de Control Fuente: González (2011)

En este estudio se registraron datos de temperatura y humedad relativa, se utilizaron 6 equipos Hobo U12-001 Data Logger, se utilizó el canal externo donde se colocó un sensor de medición TMC20-HD, que registró las temperaturas interiores, exteriores y en el agua. Se calibraron los sensores Hobo bajo las mismas condiciones durante un día completo.



Fig.28. Ubicación de Equipos de Medición: González (2011)

Este estudio fue muy interesante debido a que se estudiaron siete configuraciones de techo, con el fin de evaluar el comportamiento térmico a partir del dispositivo denominado techo-estanque. El análisis de estas evaluaciones permitió conocer la evolución de temperaturas del comportamiento de las propuestas, esto a su vez permite conocer el comportamiento del clima y sus efectos del contexto conjugados con otras variables climáticas. La variedad de experimentos permite encontrar la mejor alternativa con el fin de seguir abriendo caminos para la investigación en climas cálido húmedos.



2.3 EFECTOS DE LA HUMEDAD EN LOS MATERIALES EN CLIMAS CÁLIDOS HÚMEDOS

Los materiales absorben humedad de acuerdo a su porosidad, el agua actúa como un conductor de calor. En estos climas se recomiendan materiales que sellen los poros como por ejemplo los materiales impermeabilizantes que además de funcionar como pintura reducen la absorción permitiendo mantener los muros más secos y así conducir el calor más lentamente.

Los materiales se desgastan rápidamente cuando están expuestos directamente al agua y al sol, afirma Salazar et al (2002), sin embargo existen otros agentes biológicos como moho, hongos o comején que ocasionan daños a la superficie si esta no está protegida con materiales inmunizantes o no cuentan con la debida impermeabilización.



Fig 29. Efectos de la Humedad En Materiales. Fuente: www.pce-instruments.com

López (2010) cita a Serra (2002) y menciona tres estrategias principales para disminuir los efectos nocivos que tiene la humedad, estas estrategias se basan en el aprovechamiento de la ventilación. La primera acción contra la humedad se refiere a que el aire exterior se presenta húmedo en valores absolutos pero este lo será menor que el aire interior estancado. La segunda estrategia que se menciona tiene que ver con la acción directa en la sensación térmica al no introducir aire exterior cálido al interior de un espacio; por último se encuentra la renovación del aire interior, se refiere al intercambio de aire interior con un aire exterior fresco, sobre todo en las horas de la noche o la toma de aire en lugares más frescos



2.4 IMPACTO DE LA HUMEDAD DEL AIRE EN LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

| 56

Avendaño et al (2007) realizaron el estudio de "*Patologías Por La Humedad En Los Materiales Para Construcción*" donde afirman que la totalidad de materiales naturales o desarrollados por el hombre no están exentos del deterioro. Los autores señalan que éste fenómeno se debe entender como un proceso, o acontecimientos que se derivan de la condensación⁵ y que influyen en el deterioro de las propiedades de los materiales: *arribo de hongos, bacterias, organismos protozoarios* a través del ambiente y sus variables climatológicas.

Regiones que presentan altos episodios de lluvias, intensa radiación solar ponen a pruebas exigentes el comportamiento de los materiales de construcción. En el estudio de "*Patologías Por La Humedad En Los Materiales Para Construcción*", mencionan como los materiales de construcción están expuestos a distintos factores ambientales que van desde el clima, el *biodeterioro* (acción mecánica de los organismos vivos sobre el sustrato y la producción de ácidos, enzimas y pigmentos). Este biodeterioro deja la superficie del material erosionada debido al secuestro de calcio y otros iones, las bacterias obtienen de ellos varios complementos para su proceso metabólico: calcio, aluminio, silicio, hierro y potasio. Según este estudio también ocurren procesos de *biosolubilización* (involucra la producción de metabolitos ácidos por las bacterias y hongos) ocurre igualmente una producción de ácidos orgánicos e inorgánicos por algas, hongos, líquenes y bacterias. Los autores afirman sobre como la producción de ácidos es uno de los mecanismos biogeoquímicos que causan el deterioro de piedras y arcillas, insumos que se usan en gran parte de las regiones tropicales en la parte de la construcción.

Los autores enuncian algunos síntomas de deterioro que presentan los materiales de construcción: manchas, eflorescencias, decoloraciones, ahuecamientos, desfiguraciones, desfibrilación, fisuras y grietas, también se presentan cambios en las propiedades mecánicas químicas y ópticas. La estética del material también se ve afectada en la parte de la coloración de la superficie, y es allí donde se constituye el primer daño posteriormente se forman depósitos y costras, Avendaño et al (2007) mencionan que estos cambios modifican la "*termo-higroscopicidad del sustrato generando un*

⁵ La condensación es el cambio del estado físico de la materia de la fase gaseosa a la fase líquida, y es la inversa de la vaporización. (<http://goldbook.iupac.org/C01235.html>) Consultado 17/11/12



gradiente térmico, condensando la humedad en algún punto al encontrar un plano frío favoreciendo la formación de biopelículas”; estas biopelículas varían las características fisicoquímicas del medio en contacto con el material haciéndolo más agresivo.

Rojas et al (2012) realizan un estudio en Colombia que tiene que ver con la *“Identificación de Problemas de Filtraciones en Las Estructuras de Concreto”*, donde se realizaron entrevistas a ocupantes de 33 inmuebles en la ciudad de Bucaramanga en el departamento de Santander al noroccidente de Colombia, los investigadores identificaron que los problemas de humedad en el concreto eran muy comunes en los estacionamientos, áreas de piscina, muros y cubiertas de éste mismo material.

El estudio indica, que la porosidad del concreto (que está conformado por una mezcla de materiales como partículas, fragmentos de agregado cemento y agua) es una causa para definir la resistencia y la durabilidad. *En cuanto más poroso sea el material menor será la resistencia mecánica de la mezcla y a mayor porosidad la vulnerabilidad ante agentes del medio ambiente.*

Manricic et al. (2012) comenta como la construcción masiva de viviendas económicas en países de desarrollo como es el caso de México ignoran el entorno climático que se presenta, lo que provoca en primera instancia que sean poco confortables y segundo tienen altos índices de consumo de energía. Los estándares internacionales que de alguna manera dictan los límites de condiciones de confort se quedan cortos ya que no engloba todos los tipos de clima y las preferencias de todo tipo de población, un ejemplo que presentan los autores es que en climas cálidos como el de Sonora, las preferencias de las personas cambian hacia temperaturas más altas. Deducen entonces los autores que el enfoque adaptativo es un método adecuado para obtener las preferencias de confort que engloben mas variables que inciden en el bienestar térmico de las personas. La expresión del confort debe quedar expresada en función de la temperatura y la humedad relativa, para que el diseñador relacione las estrategias pasivas con las condiciones de confort.

Se tienen entonces 4 escenarios distintos de estudio de la humedad en la arquitectura que van desde el análisis de la humedad en el material como molécula y fenómeno ambiental en un material de construcción hasta la influencia en las condiciones de confort de las personas, se concluye al citarlas la falta de estudio y de interés del gremio de la construcción por ahondar en un tema, la venta de productos impermeabilizantes y el uso de aparatos mecánicos de ventilación han dejado un



vacío en este tema, dejando que el uso de energía que conlleva al aumento de ésta resuelva el problema que presenta esta situación.

Es de vital importancia entender que los países que presentan altos porcentajes de humedad en el ambiente son países en vía de desarrollo, la mayoría de la población que se encuentra en estas latitudes no tiene acceso económico para aparatos de refrigeración o ventilación mecánicos esto es entonces una oportunidad porque está todo por hacer y por aprender.



2.5 FENÓMENOS QUE INTERVIENEN EN EL SISTEMA EXPERIMENTAL

Hobaica et al. (2000) señalan que las principales fuentes de calor que penetran en un edificio son externas: sol, temperatura del aire exterior y humedad. En el interior el calor se genera por los ocupantes, la iluminación artificial y los electrodomésticos). El sol es la mayor fuente de calor en el trópico, que penetra la envolvente y se transmite a su interior. Dependiendo del calor específico (Cantidad de calor que almacena un kg de material por °C de aumento de temperatura) la envolvente almacena este calor y la consistencia de los materiales que conforman los cerramientos. La conductividad de los materiales que conforman define la velocidad con la cual se transmite el calor en dirección perpendicular.

Los autores definen que la difusividad térmica es proporcional a la conductividad e inversamente proporcional a la densidad y al calor específico. Otro concepto que se debe tener en cuenta es la inercia térmica que se refiere a la característica que tiene la edificación para amortiguar el calor pero en conjunto llega a transmitirlo al interior.

Los mismos autores indican que el para que el calor llegue al interior del espacio debe pasar a través de las superficies del material, y los fenómenos que están ligados a esto son la convección y la absorción de radiación electromagnética. También se define la transmitancia y *representa la cantidad de calor transmitida de un ambiente a otro a través de un metro cuadrado de cerramiento cuando la temperatura aumenta 1°C en uno de los lados.*

La deshumidificación se define por varios autores como el proceso por medio del cual se extrae el vapor de agua contenido en el aire atmosférico y obtener aire seco. Fonseca (2009) hace un estudio de "*Rendimientos de Deshumidificación Del Aire Mediante Sales Disecantes En Aplicaciones HVAC/R*", la evaluación presenta resultados del rendimiento térmico de diferentes procesos de deshumidificación de aire en climatización de interiores comparando dos tipos de sistemas: sistema de rueda *disecante* y los sistemas tradicionales de acondicionamiento de aire. Lo que nos interesa de este estudio son las variables del sistema físico que están comprometidas y determinadas por el autor como la temperatura, humedad a la entrada, velocidad de viento, la temperatura y humedad del aire de generación y el flujo de aire de regeneración.



López (2010), contempla como variables de estudio principales la condensación y la humedad. Este sistema pretende ayudar el secado de los muros afectados por la humedad del aire: Los principios que desarrolla este sistema son los siguientes:

| 60

1. Secado de Aire, consiste en captar el aire/ secar el aire/ inyectarlo al interior del espacio/ extraer el aire caliente.
2. Permitir que la construcción respire, consiste en captar aire/ sacar aire / inyectarlo al espacio interno/ enfriamiento y desecación / extracción de aire caliente y del espacio interno haciendo más eficiente el proceso de convección
3. Aprovechamiento de la constitución del material, consiste en aprovechar la forma y propiedades del material de construcción para hacer pasar los flujos de aire.
- 4 Aproximación, eficiencia y permanencia de las condiciones del sistema, consiste en hacer que los procesos generados del sistema no se reviertan.

En el caso de este estudio las variables que se tendrán en cuenta son las siguientes:

HUMEDAD	↔	MUROS
TEMPERATURA	↔	TECHO
FLUJO DE CALOR VIENTO	↔	ABERTURAS

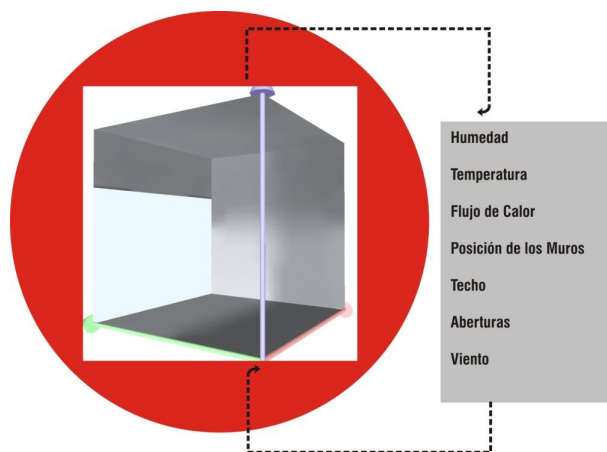


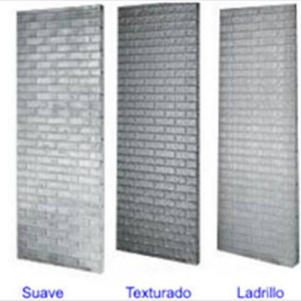
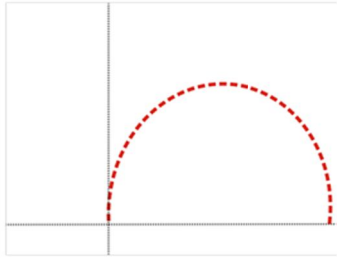


Fig.30. Variables externas que influyen en el sistema constructivo. Fuente Propia



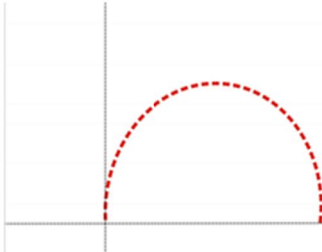

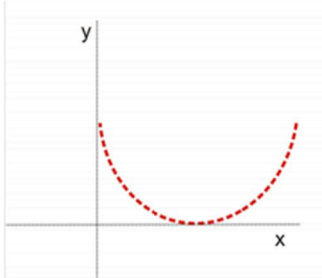
Variables Geométricas

Variables Conductoras

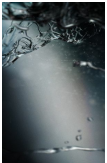
Variables Meteorológicas

Variable	Descripción	Factores de dependencia	Tipo de dependencia lineal + - exponencial + -	Tipo de medición Nominal Ordinal Intervalar De Razón
Forma Geométrica del Módulo	Envolvente arquitectónica donde se llevará a cabo el estudio de caso	Geometría	CONDICIÓN	CONDICIÓN
Capacidad Calorífica (Concreto)	<p>Transferencia de energía en forma de calor en un cuerpo, el cual cambia de temperatura.</p> 	<p>Temperatura / Calor / Masa</p> <p>La capacidad calorífica (C) de un sistema físico depende de la cantidad de sustancia o masa de dicho sistema. Para un sistema formado por una sola sustancia homogénea se define además el calor específico o capacidad calorífica específica c a partir de la relación:</p> $C = \frac{Q}{\Delta T} = c \cdot m$ <p>donde: C es la capacidad calorífica del cuerpo o sistema</p> <p>c es el calor específico o capacidad calorífica específica m la masa de sustancia considerada Q es el calor absorbido por el sistema. ΔT la variación de temperatura</p>	<p>FUNCIÓN CUADRÁTICA</p> 	NOMINAL/ORDINAL/INTERVALAR
Confort Térmico	<p>Sensación neutra de una persona respecto a un ambiente físico determinado.</p> 	<p>Temperatura del aire, velocidad de viento, humedad relativa, actividad física desarrollada, metabolismo.</p> <p>Para determinar el rango de confort se utilizo la Ecuación de Aluciems de termopreferendum (t_n) $t_n = [17.6 + 0.31(te)] \pm 2.5$ Donde: T_h= Temperatura comodidad humana T_e= Temperatura media promedio mensual</p>	<p>FUNCIÓN LINEAL</p> 	NOMINAL/ORDINAL/INTERVALAR



<p>Difusividad Térmica</p>	<p>La capacidad de un material de adaptarse a la temperatura que lo rodea. Entre más alto el valor, más rápido se adapta el material a la temperatura del ambiente.</p>	<p>Temperatura del Aire/ Iluminación/ Conducción</p> <div data-bbox="737 342 1241 529" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center; color: red;">Difusividad térmica</p> <p>• La difusividad térmica es la magnitud que aparece en la ecuación de conducción del calor, y depende proporcionalmente de la conductividad térmica y es inversamente proporcional al calor específico y a la densidad del material.</p> $\alpha = \frac{k}{\rho c}$ </div>	<p style="text-align: center;">FUNCIÓN CUADRÁTICA</p> 	<p>NOMINAL/ORDINAL/ INTERVALAR</p>
<p>Humedad Relativa</p>	<p>Vapor de agua y saturación de esta misma en la atmósfera.</p> 	<p>Vapor, temperatura.</p> <p>La humedad relativa es la humedad que contiene una masa de aire, en relación con la máxima humedad absoluta que podría admitir sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica. Esta es la forma más habitual de expresar la humedad ambiental y se expresa en porcentaje.</p> $RH = \frac{P_{(H_2O)}}{P_{(H_2O)}^*} \times 100\%$ <p>donde</p> <p>$P_{(H_2O)}$ es la presión parcial de vapor de agua en la mezcla de aire;</p> <p>$P_{(H_2O)}^*$ es la presión de saturación de vapor de agua a la temperatura en la mezcla de aire; y</p> <p>RH es la humedad relativa de la mezcla de aire que se está considerando</p>	<p style="text-align: center;">FUNCIÓN CUADRÁTICA INVERSA</p> 	<p>NOMINAL/ORDINAL/ INTERVALAR</p>





Dirección -Velocidad de Viento

Movimiento y orientación del aire.

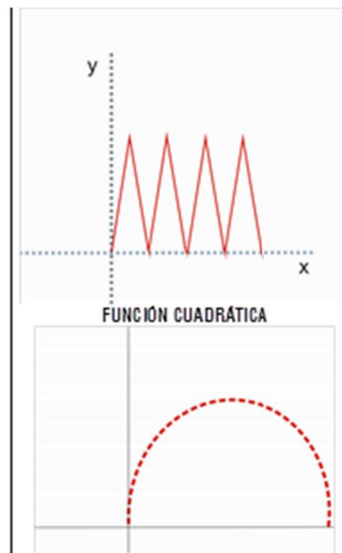
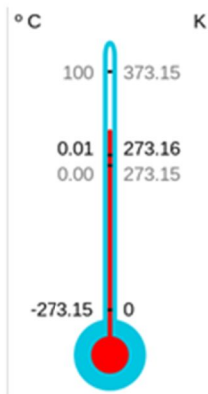
Temperatura, terreno, cercanía al mar.



Temperatura

Todos los objetos tienen temperatura. Sensación térmica, se refiere a las nociones de caliente, tibio, frío. Da una idea de la velocidad a que se mueve las moléculas, en un sólido también es posible que los átomos estén en el mismo lugar alrededor de un punto de equilibrio se mueven como en un resorte. (Resorte oscilación entre más rápido oscile más caliente esta)

Calor, velocidad con que se mueven las moléculas de un gas, entre más rápido se mueva la molécula del gas su temperatura será mayor. (Helio gas Ideal). Entre más se caliente un gas mas aumenta la presión.



NOMINAL/ORDINAL/
INTERVALAR

NOMINAL/ORDINAL/
INTERVALAR



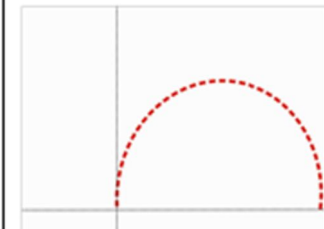
Absortancia Térmica (Material Desecante)

La energía que llega al material si no se refleja entonces se absorbe en forma de calor.

Radiación, Color y el acabado de los materiales



FUNCION CUADRÁTICA



NOMINAL/ORDINAL/INTERVALAR

Emisividad(Material Desecante)

Es la capacidad que tiene un material para intercambiar calor con otros cuerpos que se encuentren a su alrededor y a diferente temperatura.

Condiciones de las superficies (pulidas, oxidadas, grado de rugosidad), el ángulo de emisión y la longitud de onda.



coeficiente de emisividad (ε), es un número adimensional que relaciona la habilidad de un objeto real para irradiar energía térmica, con la habilidad de irradiar si éste fuera un cuerpo negro:

$$\epsilon = \frac{\text{radiacion emitida por una superficie}}{\text{radiacion emitida si fuera un cuerpo negro}}$$

Un cuerpo negro, por consiguiente, tiene un coeficiente ε = 1, mientras que en un objeto real, ε siempre se mantiene menor a 1.

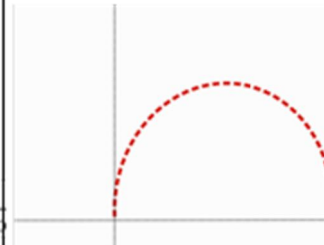
Teniendo en cuenta la Ley de Stefan-Boltzmann, la radiación emitida por una superficie real se expresa como una porción de la que emitiría el cuerpo negro y se expresa como:

$$\dot{Q}_{emitida} = \epsilon \cdot \sigma \cdot A_s \cdot T_s^4$$

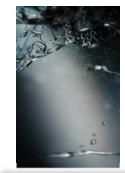
Donde:

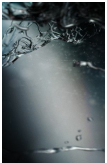
- Q = flujo de calor
- ε = emisividad
- σ = 5,67 E-8 W/(m²K⁴) es la constante de Stefan-Boltzmann
- A_s = área superficial del objeto
- T_s = temperatura superficial del objeto

FUNCION CUADRÁTICA



NOMINAL/ORDINAL/INTERVALAR





**Reflectividad
(Material Desecante)**

Es una propiedad de los materiales, cuando la energía llega hasta él rebota al chocar con su superficie, cambiando la dirección pero no sus propiedades energéticas, es decir, si llega en forma de luz rebotará en forma de luz

Condiciones de las superficies (pulidas, oxidadas, grado de rugosidad), el ángulo de emisión y la longitud de onda.
COLOR, Radiación

$$\rho(\lambda) = \frac{G_{\text{refl}}(\lambda)}{G_{\text{incid}}(\lambda)}$$

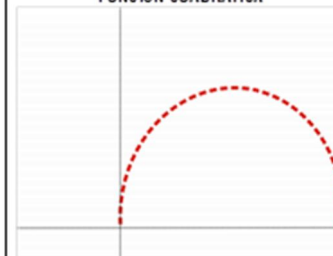
Donde $G_{\text{refl}}(\lambda)$ y $G_{\text{incid}}(\lambda)$ son las intensidades espectrales reflejadas e incidentes (por longitud de onda) respectivamente.

Así se puede promediar con todas las longitudes de onda, dando las **reflectividades totales hemisféricas**,

$$\rho = \frac{G_{\text{refl}}}{G_{\text{incid}}}$$

La reflectividad es un concepto importante en los campos de la energía solar térmica, telecomunicación y radar

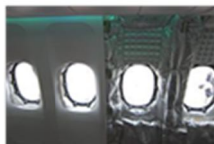
FUNCIÓN CUADRÁTICA



NOMINAL/ORDINAL/
INTERVALAR

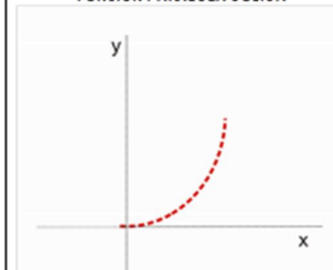
**Aislamiento Térmico
(Material Desecante)**

Tiene que ver con el espesor de las superficies que envuelven al edificio y se define como la facultad que tiene un muro o cubierta para almacenar calor.



Condiciones de las superficies (pulidas, oxidadas, grado de rugosidad), el ángulo de emisión y la longitud de onda.
COLOR

FUNCIÓN PARÁBOLA CÚBICA



NOMINAL/ORDINAL/
INTERVALAR

**Deterioro de los
Materiales**

Los materiales se desgastan rápidamente cuando están expuestos directamente al agua y al sol. Otros agentes como moho, hongos o comején de igual manera ocasionan daños si las superficies no se protegen con materiales inmunizantes o debida impermeabilización.

FACTORES AMBIENTALES EXTERNOS



FUNCIÓN EXPONENCIAL



NOMINAL/ORDINAL/
INTERVALAR



2.7 CONCLUSIONES ESTADO DEL ARTE

| 66

Hablar del sistema SAI propuesto por López (2010), es hablar de varios sistemas que conjugan los elementos naturales con los sistemas pasivos de enfriamiento. El método es muy riguroso y debe tomarse como ejemplo para éste trabajo experimental que también pretende hacer un estudio comparativo en éste tipo de clima. López (2010) hace una descripción de los fenómenos que pasan antes de que el aire pase por el interior del muro de block.

El material que propone López (2010) el block de concreto para realizar su parte experimental es muy conveniente, ya que la mayor parte de las construcciones de la república se hacen con éste material. Esto permite tener modelos para nuevas investigaciones.

El trabajo de González (2011) fué un trabajo muy interesante ya que se aprovecho al máximo el recurso de sus módulos, lo que les permitió organizar varias pruebas.

La bibliografía no especifica un tamaño determinado para realizar pruebas en módulos de estudio, pero si especifica las características de como se deben tomar los datos y de cómo se deben hacer las comparaciones entre los fenómenos climatológicos.

Se debe entender el fenómeno de la humedad en el interior de un espacio como un TODO, un todo que tiene que ver con la envolvente y sus ocupantes y que depende de otros factores ambientales como la ventilación, el clima, los materiales de la envolvente, la nubosidad.

Se observan pocos estudios sobre el tema de deshumidificación por lo que el desarrollo de ésta línea de investigación está por explorar.





Contenido

Caso De Estudio

A large, semi-transparent background image of a mound of white, granular zeolite powder, centered behind the table of contents.

III. Caso De Estudio.....	67
Ubicación Caso De Estudio.....	70
3.2 Metodología De Trabajo.....	74
3.2.1 Proceso Experimental.....	74
3.2.2 Dispositivos De Estudio.....	77
3.2.3 Célula De Control.....	79
3.2.4 Célula Experimental.....	80
3.2.5 Aparatos De Medición.....	84
3.3 Procedimiento Experimental.....	85
3.4 Montaje Experimental.....	98



3.5	Descripción De Experimentos	100
3.5.1	Calibración De Equipos.....	100
3.5.2	Experimento I / 2kg De Zeolita	105
3.5.3	Experimento II / 4kg De Zeolita.....	108
3.5.4	Experimento III / 6kg De Zeolita	110
3.5.5	Experimento IV / 6kg De Zeolita	112
3.5.6	Experimento V / 6kg De Zeolita	114
3.5.7	Experimento VI / 3kg De Zeolita.....	117
3.5.8	Experimento VII / 6kg De Zeolita	120
3.5.9	Experimento VIII/ 6kg De Zeolita	121
3.5.10	Experimento IX/ 6kg De Zeolita	121
3.5.11	Experimento X/ 6kg De Zeolita	124
3.5.12.	Experimento XI/ 10kg De Zeolita.....	125
3.6	Conclusiones Del Método	125



3.1 UBICACIÓN CASO DE ESTUDIO

| 70

La parte experimental del proyecto se llevará a cabo en la ciudad de Culiacán en el estado de Sinaloa, al noroeste de la República Mexicana según la clasificación de Köppen adaptada por García el estado posee un clima Tropical Seco (As). El INEGI indica que el 48% del estado de Sinaloa presenta un clima cálido subhúmedo se localiza en una franja noreste-sureste que abarca desde Choix hasta los límites con Nayarit, el 40% es clima seco y semi-seco que se presenta en una franja que va desde Mazatlán hasta El Fuerte, el 10% es muy seco y se encuentra en la zona de Los Mochis, el 2% tiene un clima templado subhúmedo localizado en las partes de la Sierra Madre Occidental.

La misma fuente señala que la temperatura media anual del estado está alrededor de los 25°C, las temperaturas mínimas alrededor de 10.5°C esto en el mes de enero, 36°C es la temperatura máxima promedio incluso pueden incrementarse durante los meses de mayo a Julio. En la parte de lluvias estas se presentan en verano en los meses de Julio a Septiembre, según la fuente la precipitación media del estado es de 790 mm anuales.

La ciudad de Culiacán está ubicada en la parte central del estado de Sinaloa a los 24°48'00" de latitud norte y 107°22'0" de longitud oeste del meridiano de Greenwich. Su altitud sobre el nivel del mar es de 54 mts. Según la clasificación climática de Koppen modificada por García (1973) y la Carta Climatológica del Cuaderno Estadístico del municipio de Culiacán, Sinaloa (Ed. 2008) se muestra que el tipo de clima que domina en la región es Bs(h') Clima seco muy cálido y cálido este ocupa alrededor del 37.24% del territorio. La carta señala que el mes más frío tiene una temperatura menor de 13°C y la temperatura media anual es mayor de 22°C

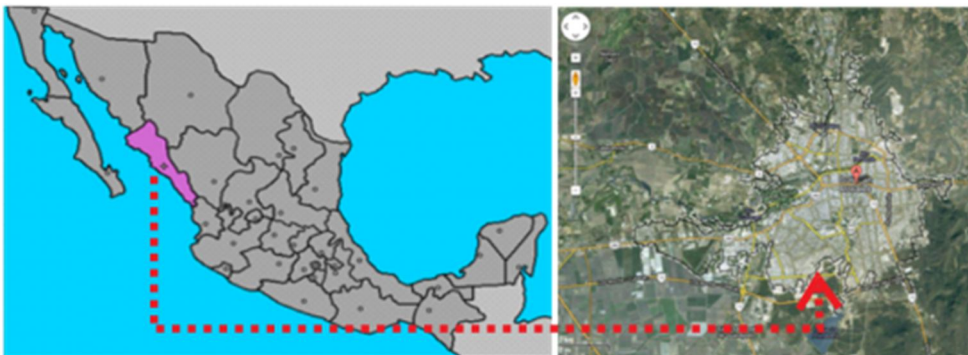


Fig. 31. Ubicación de la ciudad de Culiacán-Sinaloa. Fuente. Google maps.

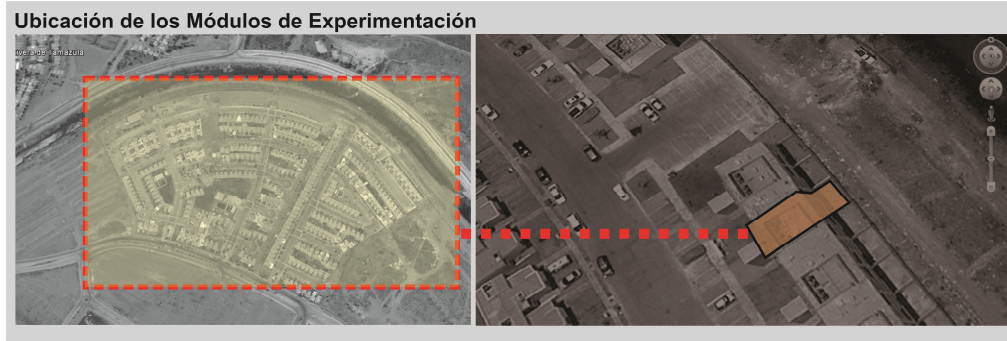


Fig. 32. Ubicación del lugar de implantación de proceso experimental. Fuente. Google maps.

A continuación se hace un análisis de las temperaturas y humedades para la ciudad de Culiacán, en el estado de Sinaloa teniendo como base los datos proporcionados por las Normales Climatológicas de la CONAGUA

CIUDAD	CULIACÁN
ESTADO	SINALOA
ESTACIÓN	00025015 CULIACÁN DGE
LATITUD	24° 47' 31" N
LONGITUD	107° 23' 53" W
ALTURA	60.0 MSN
PERÍODO	1981-2010

Temperaturas Máximas													
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
Normal	28.1	29.3	31	33.5	35.8	36.8	36.3	35.7	35.4	35.3	32.2	28.7	33.175
Maxima Mensual	31.6	31.5	33.3	37.3	38.5	39.3	39.2	37.7	38	37	34.2	32.4	
Año de Maxima	2003	1194	1994	1994	1994	1994	1994	2002	1994	2008	2005	1981	

Tabla III. Temperaturas máximas mensuales basados en las normales climatológicas. Fuente: CONAGUA.

Temperaturas Media													
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
Normal	19.8	20.7	22	24.6	27.4	30.4	30.4	30	29.7	28.4	24.3	20.7	25.7

Tabla IV. Temperaturas medias mensuales basados en las normales climatológicas. Fuente: CONAGUA.

Temperaturas Mínima													
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
Normal	11.5	12.1	13	15.7	19.1	24.1	24.6	24.2	24	21.6	16.3	12.8	18.25
Minima Mensual	8.4	9.3	10	12.8	16.9	21.5	22.6	23.1	22.7	20	14.3	9.7	
Año de Minima	1999	1998	1999	1999	1998	1999	1999	1996	1996	1995	1992	1998	

Tabla V. Temperaturas mínimas mensuales basados en las normales climatológicas. Fuente: CONAGUA.



Precipitaciones													
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
Normal	22.2	12.1	2.8	3	0.6	18.4	165.6	202.7	145.1	48.3	23.7	21.6	666.1
Máxima Mensual	201.2	125.3	22.1	36	7.5	155.5	331	424	270.3	219.9	142.9	165.7	
Año de Máxima	1992	2005	1983	1997	1997	1984	1990	2008	1996	1986	1983	1991	

72

Tabla VII. Temperaturas mínimas mensuales basados en las normales climatológicas. Fuente: CONAGUA.

Humedad Relativa													
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
HR MED Calculada	56.95740487	56.33153901	55.69653651	58.75518908	64.14	71.35830276	72.65961059	73.29375586	73.99989647	70.9766096	62.69756133	59.44990853	
HR MAX Calculada	79.51523107	79.09584737	78.75950402	82.45434193	88.42	92.71528763	93.01276825	93.31500161	94.26350689	93.89550219	85.88710232	82.21868213	
HR MIN Calculada	34.39957866	33.56723065	32.633569	35.05603623	39.852	50.00131788	52.30645293	53.2725101	53.73628604	48.05771701	39.50802035	36.68113493	
Hora Max	16:20:26	9:53:55	2:05:10	17:06:35	9:46:14	5:54:36	7:26:36	13:42:10	22:20:07	7:00:57	14:30:44	18:06:26	
Hora Min	7:27:38	21:53:55	8:05:10	2:13:47	6:53:26	11:54:36	13:26:36	13:42:10	1:27:19	23:20:09	23:23:32	12:06:26	

Tabla VIII. Humedades relativas mensuales. Fuente: Estimación de Humedades Relativas Horarias, A Partir de las Medias Mensuales.

Velocidad de Viento													
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Velocidad Promedio	1.94	1.94	1.94	2.22	2.22	1.94	1.94	1.66	1.66	1.94	1.94	1.94	

Tabla IX. Velocidad de viento. Fuente: <http://es.windfinder.com/>

ANÁLISIS TEMPERATURA CULIACÁN SINALOA

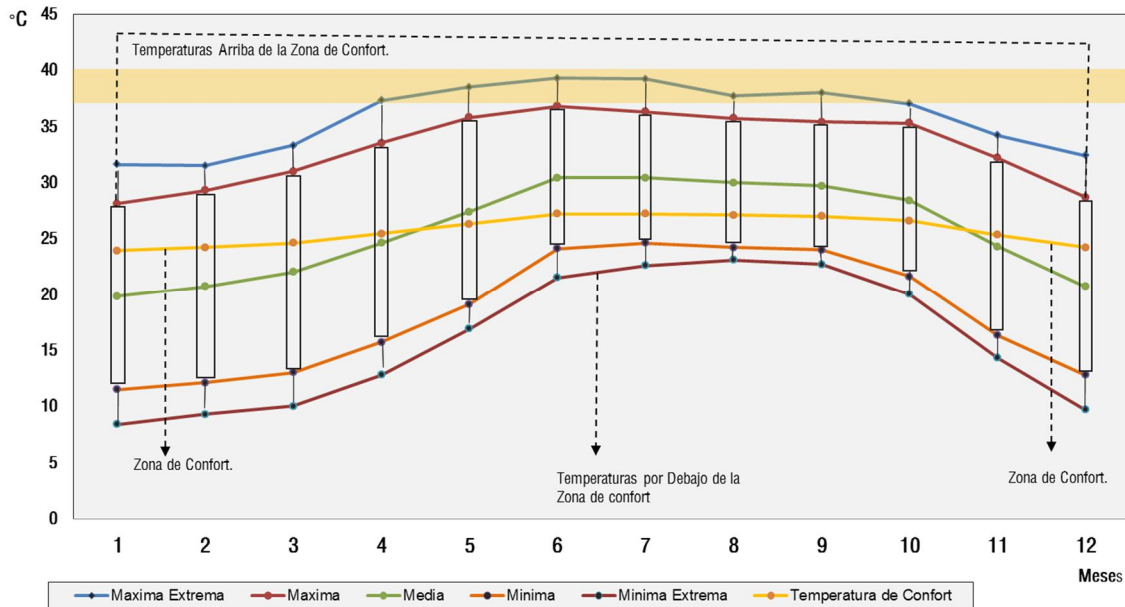


Fig. 33. Análisis Temperatura Culiacán-Sinaloa. Fuente: Propia



Se observa en la gráfica la evolución de temperaturas durante un año, se observa que las temperaturas van incrementando desde enero, siendo éste mes el que presenta menores temperaturas hasta Junio, Julio y Agosto donde la temperaturas están por fuera del rango de confort. En la clasificación climática de Koppen, la ciudad no se clasifica como cálido húmedo sin embargo la baja presión en el pacífico incrementa la humedad relativa en estos meses del año. A partir de mayo hasta octubre éstos números crecen y la poca velocidad de viento presentan sensaciones térmicas que pueden llegar a los 47°C. Si se hace un comparativo entre las humedades que se presentan en Villahermosa Tabasco y la ciudad donde se hará el estudio se observa que las humedades tienden a ser altas la mayor parte del año en Villahermosa, mientras que en Culiacan la temporada de verano las humedades se incrementan y se asemejan en valor a las de Tabasco.

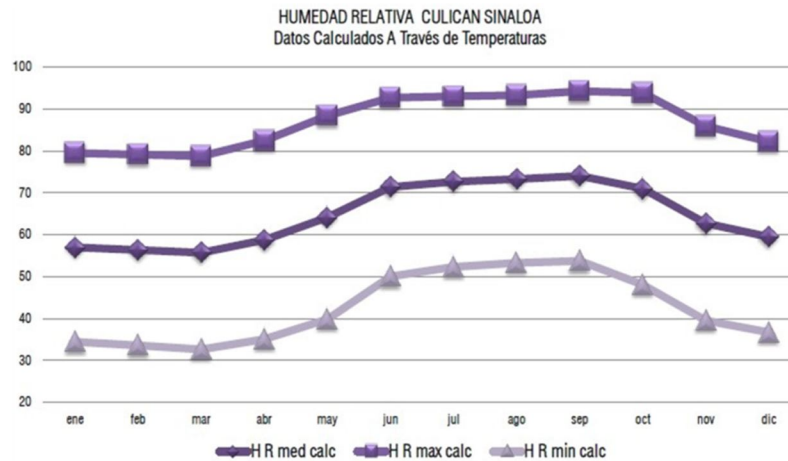


Fig. 34. Análisis Humedades relativa Culiacán-Sinaloa. Fuente: Propia

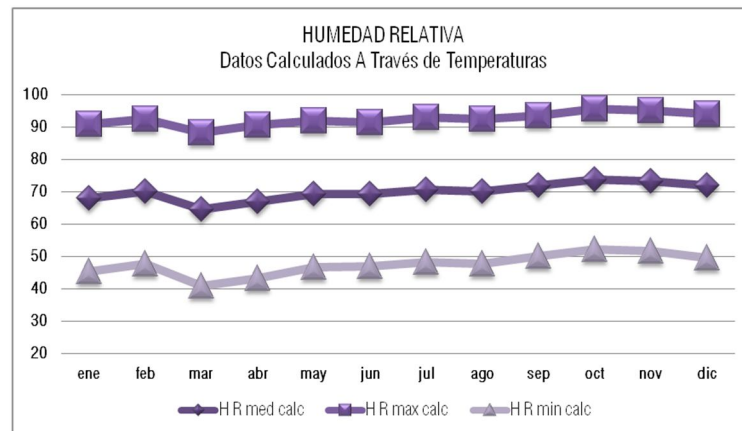


Fig. 35. Análisis Humedades relativa Villahermosa-Tabasco. Fuente: Propia



3.2 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Este estudio pretende hacer un trabajo experimental y comparativo en dos módulos de prueba que se ubicarán en un patio en la Ciudad de Culiacán Sinaloa, con el objetivo de observar el comportamiento de la humedad relativa interior mediante la utilización de zeolita natural en uno de los módulos de prueba.

| 74

Es obligatorio para llevar a cabo esta investigación construir dos módulos que se denominarán: CÉLULA DE CONTROL (CC) y CELULA EXPERIMENTAL (CE), ambos se construirán basados en las medidas y especificaciones de González (1989) "*Evaluación De Sistemas Pasivos De Enfriamiento y Su Aplicación El Diseño De Viviendas*"; esta investigación se realizó en el Instituto de Investigación de la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad de Zulia en Venezuela y su metodología se basa en la evaluación de sistemas de enfriamiento pasivo desarrolladas por B. Givoni en Israel. También se basa este procedimiento experiencial en el trabajo de López (2010) "*Sistema De Aireación Inducida Para Reducir Los Riesgos de Humedad en Intramuros*" en la ciudad de Villahermosa-Tabasco donde conjuga sistemas de climatización pasiva utilizando el flujo de aire al interior de los muros.

3.2.1 PROCESO EXPERIMENTAL

El principio que se plantea, consiste en aprovechar la propiedad de absorción de agua que tiene la zeolita que al ser calentada puede bajar la humedad al interior de la célula de experimentación.

El aire entra a través del exterior, el desecante produce una atracción de las moléculas de aire a través de las microporosidades, para Carbonell et al (2010) la zeolita atrae mecánicamente el agua como esponja. Es entonces cuando se tienen dos alternativas para el calentamiento: aprovechar el recurso solar de la región para calentar la zeolita, y con una resistencia eléctrica calentar la zeolita hasta llegar a la temperatura que recomiendan las lecturas hechas con el fin de activar sus propiedades desecantes. El flujo de aire viaja al interior de la célula, a través de un tamiz de zeolita, donde esta se activa por el calor y empieza a absorber el agua que esta en el aire, por lo tanto si se mide la humedad relativa al interior de la Célula de Experimentación ésta debe estar menor que la humedad relativa exterior.

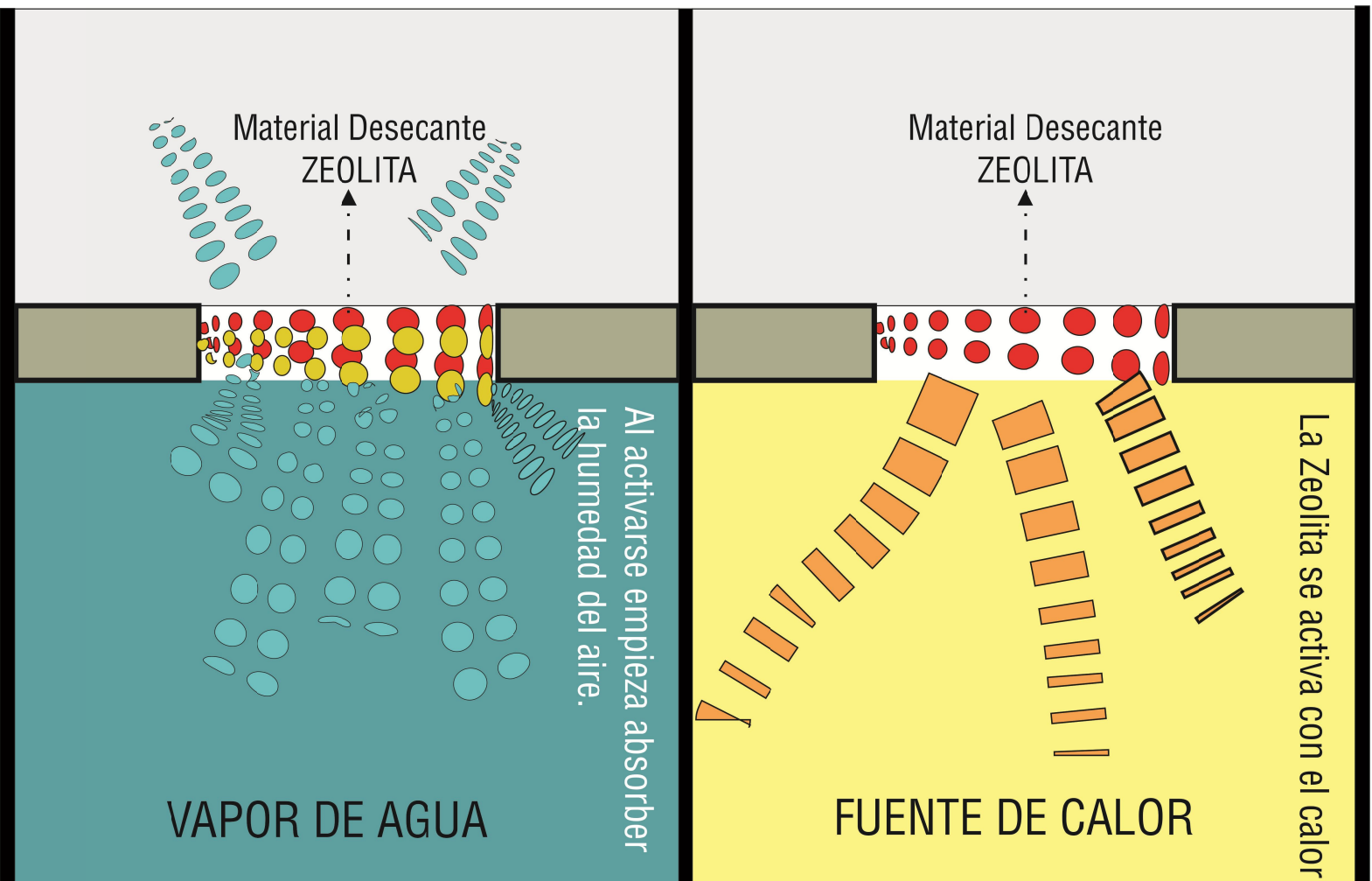
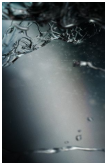


Fig. 36. Funcionamiento de la Zeolita dentro del módulo experimental. Fuente: Propia

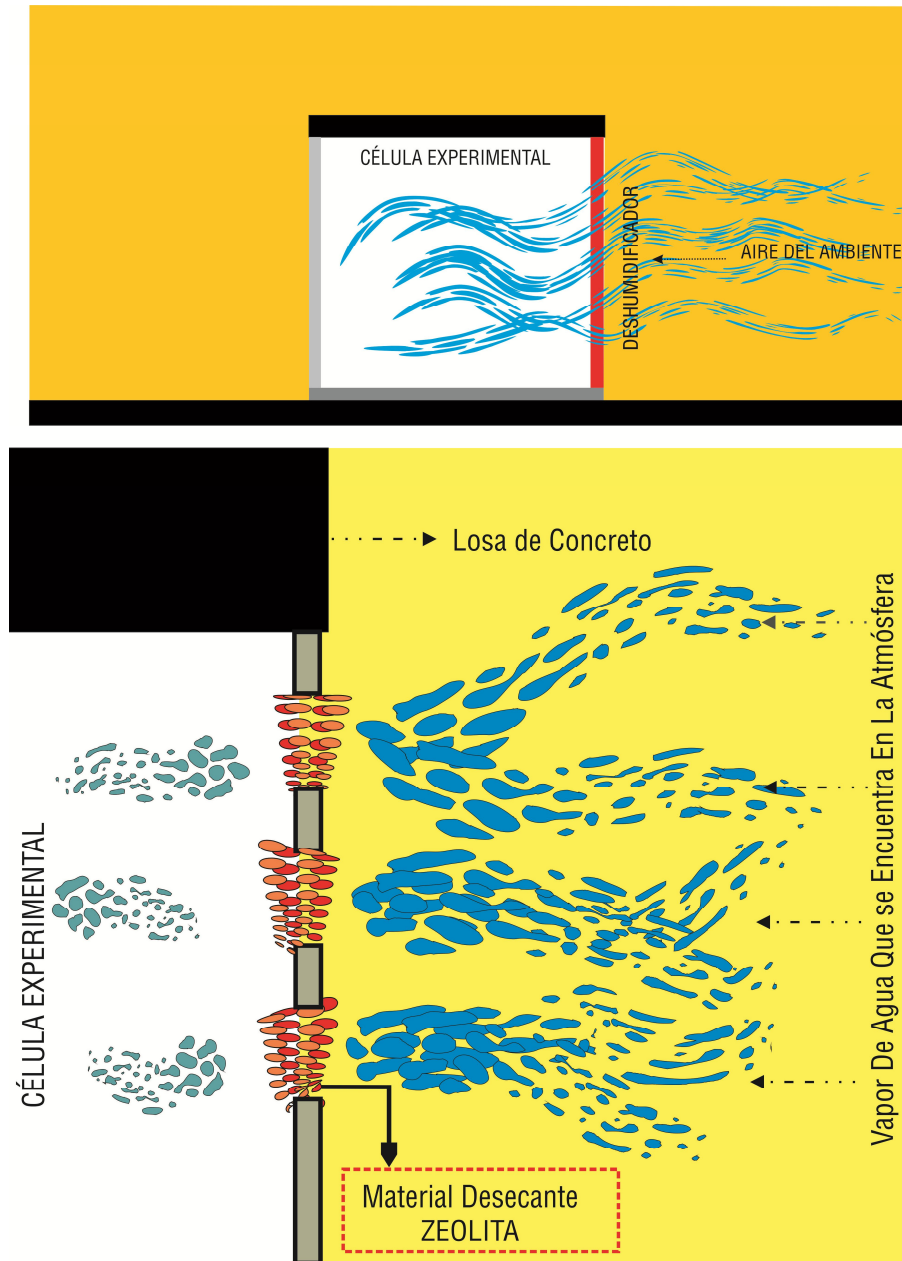


Fig. 37. Proceso Experimental. El aire llega al deshumidificador que contiene zeolita. La zeolita se activa al calentarse y es allí donde absorbe el agua que contiene el aire. Fuente. Propia

Es importante destacar que en este experimento el objetivo se centra en probar las propiedades desecantes de la zeolita por ello se plantean dos células de experimentación con el fin de comparar las temperaturas y humedades entre dos células y el ambiente exterior. En el experimento se deben hacer mediciones diarias para encontrar el punto de saturación del material debido a que esta información no se encuentra en las lecturas realizadas



3.2.2 DISPOSITIVOS DE ESTUDIO

El sistema experimental consta de dos células de experimentación: CC y CE, los módulos son idénticos en forma, tamaño, dimensión y color exterior para que la carga térmica sea igual, esto con el objetivo de realizar el estudio comparativo del funcionamiento entre el CC y el CE y determinar el potencial de deshumidificación en la célula de experimentación con el material desecante elegido

| 77

Las medidas que se utilizarán en las células deben contener 1MT^3 de aire, tiene 1.24 Mts de ancho y 1.24 Mts de alto con una abertura de 0.60 Mts en una de sus caras, allí se pondrá el objeto que tiene el desecante. En cuanto a los materiales, se manejará el block de concreto de 12 x 40 x 20 Cm, el exterior llevará un acabado con pintura blanca.

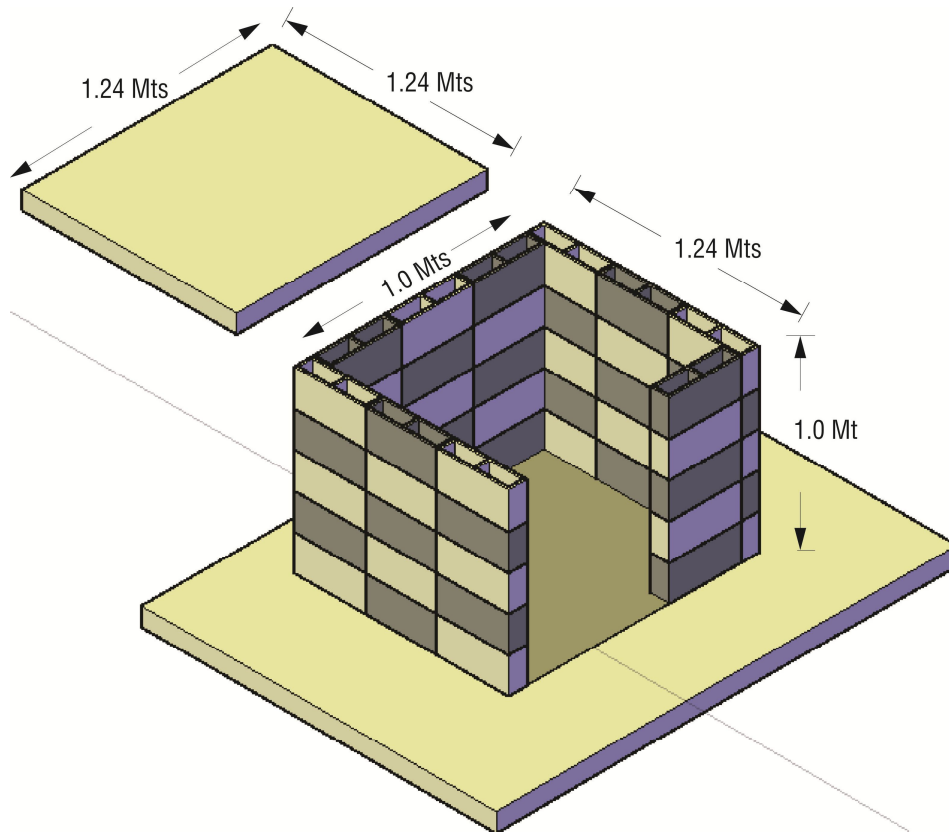


Fig. 38. Dispositivos de Estudio. Fuente. Propia



Fig.39. Dispositivos de Estudio Construidos. Fuente: propia



Fig. 40. Montaje Experimental. Fuente: propia



3.2.3 CÉLULA DE CONTROL

Este módulo fue preparado como se describe anteriormente, en el interior se deja un espacio libre de 1.0 Mt de alto donde a 0.40 Mts del piso se ubicará un sensor de medición de temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo y temperatura media radiante y humedad relativa.

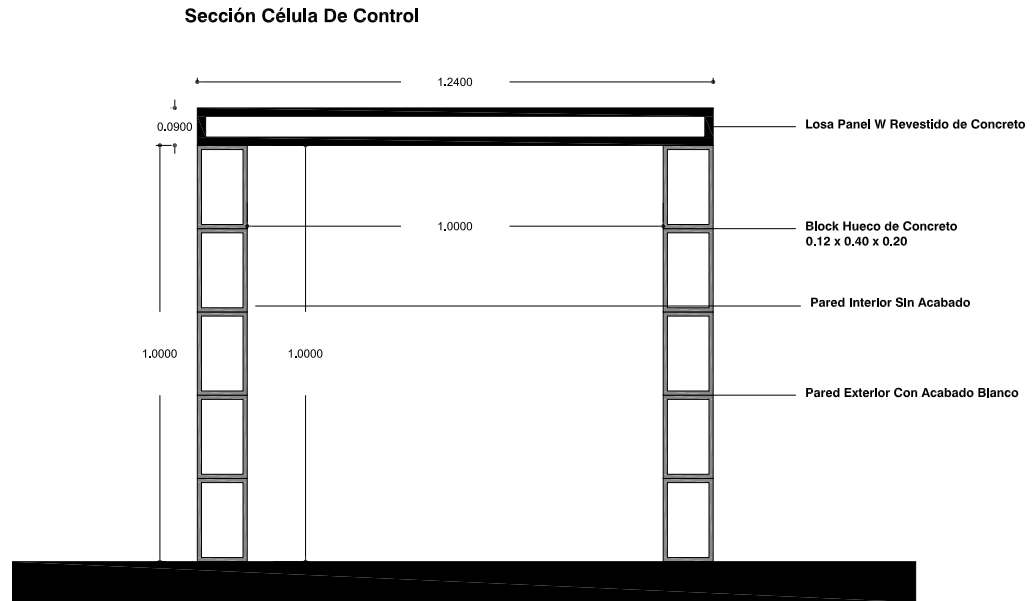


Fig. 41. Célula de control. Fuente Propia





3.2.4 CÉLULA EXPERIMENTAL

80

En la abertura frontal se encuentra un dispositivo que contiene la zeolita envuelta por una malla mosquitera y un marco de aluminio. En el exterior se harán mediciones simultáneas de temperatura y humedad relativa. Para el artefacto desecante se cortan dos pedazos de la malla de mosquitero según la medida del marco de la abertura (5 cm más ancha y 20 cm más larga que el tamaño del marco) y se entrepone el material desecante entre los dos pedazos de la malla de mosquitero. La zeolita empleada es zeolita natural denominada Malla 12, es una zeolita de 1.70mm – 2.36 mm de diámetro y distribuida por Zeolitech de México, S.A de CV



Planta Célula Experimental

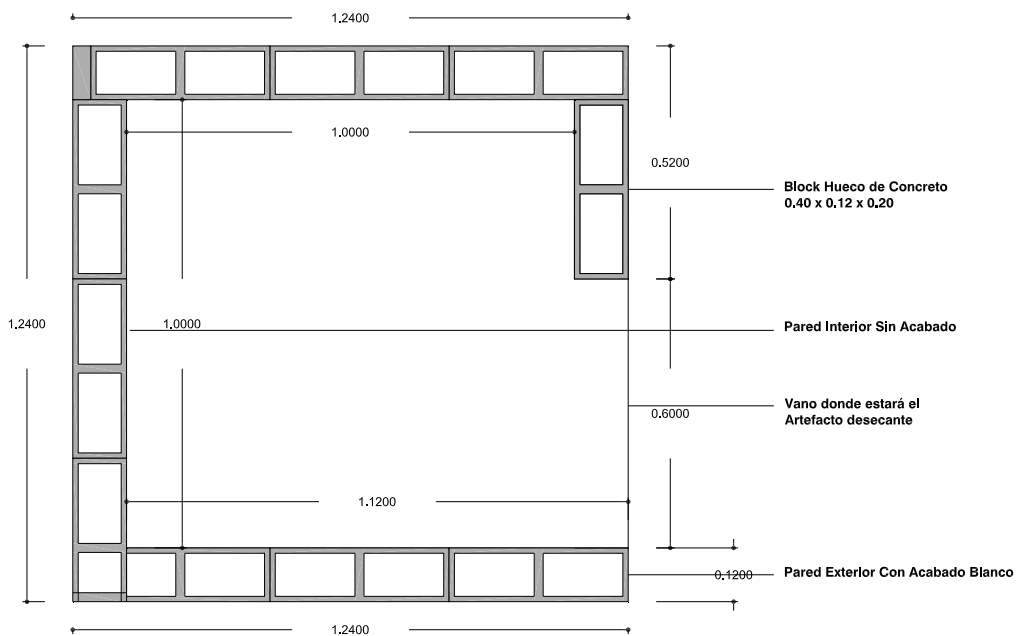


Fig.42. Planta célula experimental. Fuente: Propia.



Fachada Principal Célula Experimental

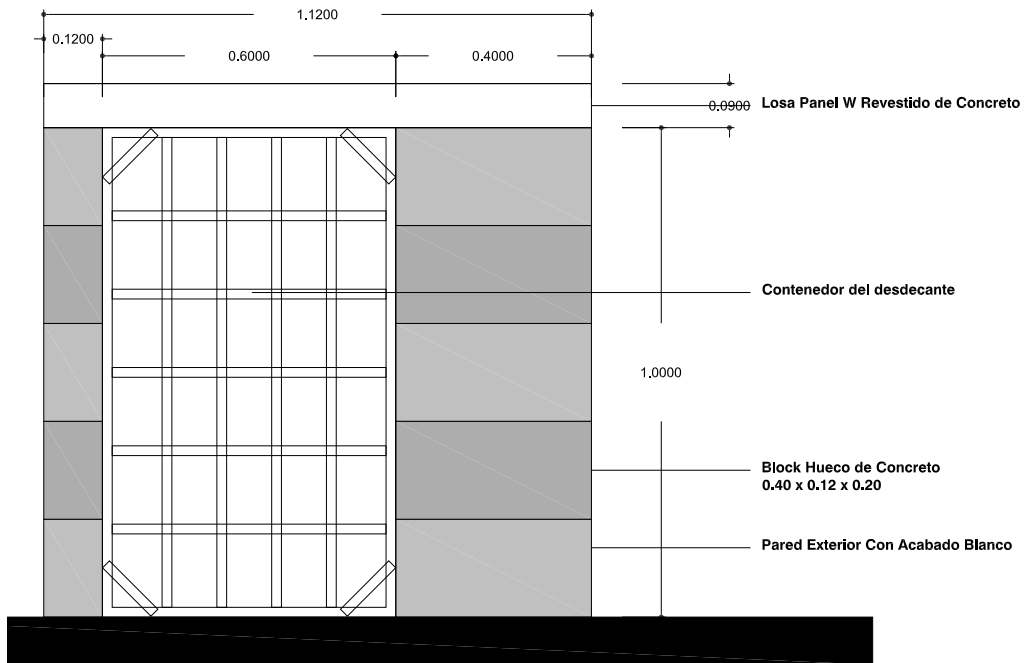


Fig. 43. Fachada principal Celula experimental. Fuente Propia.



Fig. 44. Vista posterior módulos. Fuente Propia

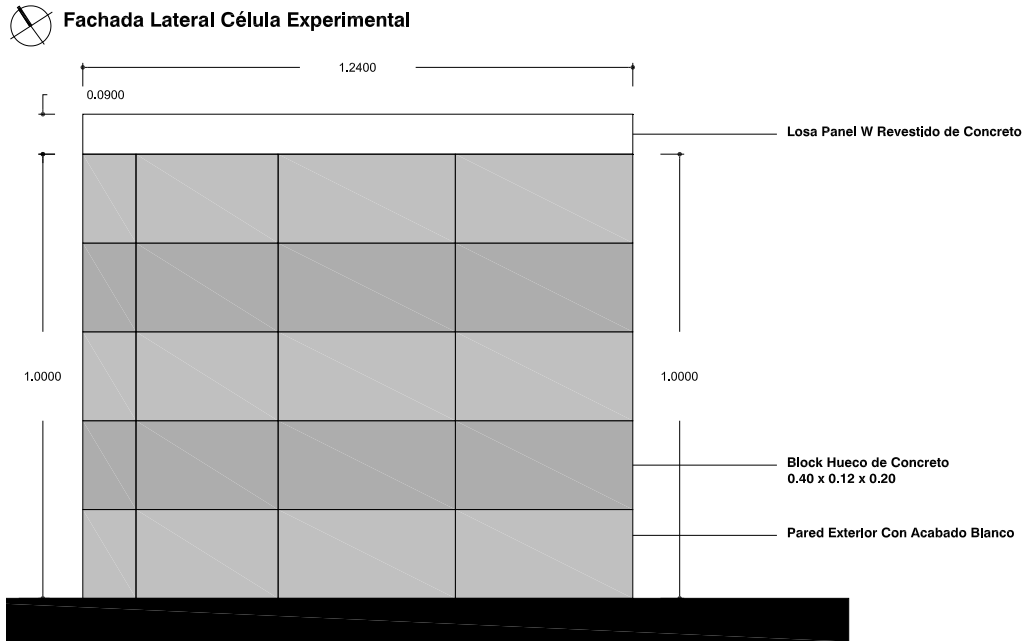


Fig. 45. Fachada Lateral Celula experimental. Fuente: Propia.

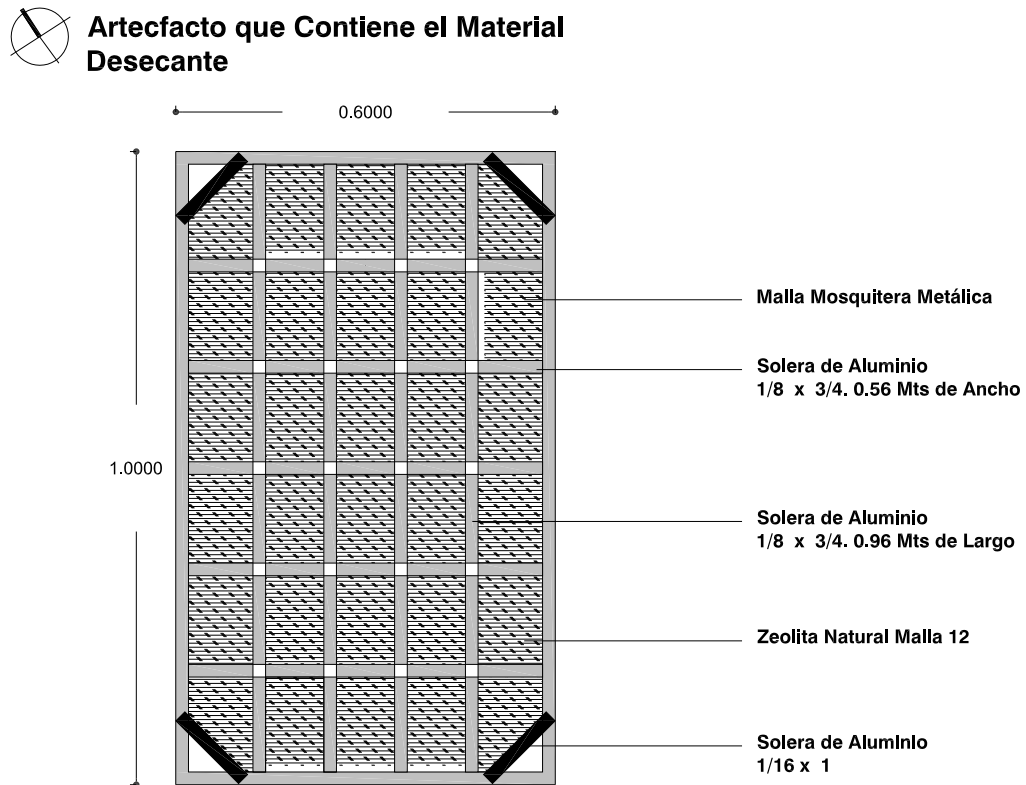


Fig. 46. Artefacto desecante. Fuente: Propia.



Fig. 47. Construcción artefacto desecante. Fuente: Propia.



3.2.5 APARATOS DE MEDICIÓN

Para el registro de temperaturas y humedad relativa durante el periodo de monitoreo se utilizarán dos equipos Hobo U12-012 *Temperature/Relative Humidity* comercializados por Onset, en cada uno de ellos se utilizará el canal externo para ubicar un sensor de medición TMC6-HD que se encuentra al interior de un termómetro de globo. Para medir la temperatura radiante en ambas células se hace necesario colocar al interior de cada una de estas un globo de cobre pintado de negro de 15 cm de diámetro. Se utilizará una microestación metereológica *HOBO Micro Station Data Logger - H21-002* con el fin de monitorizar las temperaturas y humedades exteriores y realizar el estudio comparativo entre estos datos y el comportamiento de la temperatura y la humedad en el interior de las células.

84



Fig.48 Sensores HOBO U12



Fig.49 Termómetro de globo



Fig.50. TMC6-HD Air/Water/Soil Temp Sensor (6' cable)



Fig.51. HOBO Micro Station Data Logger - H21-002



Fig.52. S-THB-M002 12-bit Temperature/RH Smart Sensor (2m cable)



3.3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

La temperatura de la zeolita se monitorizará a través de un Termómetro sin Contacto PCE-777, este es un termómetro compacto con puntero láser rojo para la medición sin contacto. Este termómetro se caracteriza por su manejo sencillo y la ayuda de enfoque rojo (rayo láser). De esta manera se puede enfocar precisamente la superficie y registrar la temperatura con el termómetro



Fig. 53. Termómetro sin Contacto PCE-777. Fuente. www.pceinstruments.com

Siguiendo con la metodología de González (2010), en su parte experimental menciona el procedimiento para la toma de datos con los sensores. La autora recomienda lo siguiente:

- Tomar un día de transición que también se denomina estabilización térmica donde se hacen cambios en cada una de las células para obtener los resultados.
- Se tomarán los registros cada 5 minutos de temperatura de bulbo seco (TBS) y de humedad relativa (HR).
- Los datos se descargarán por medio del software HoboWare Versión 2.0.0 diariamente para ser exportada a tablas de Excel para calcular los valores promedios y valores como máximos, mínimos, promedios y amplitud.
- Se mostrarán las gráficas estadísticas comparativas como resultado de los análisis de Excel.
- Se llevará a cabo la evaluación de los experimentos en función de las metas que se esperan.
- Se realizarán las conclusiones respectivas.



En este trabajo el procedimiento para la toma de datos con los sensores será la siguiente:

- Se harán la calibración de los sensores.
- Se tomará un día para hacer ajustes en los módulos e instalar los sensores.
- Se hará la toma de datos cada minuto.
- Se tomarán datos de: Bulbo Seco (TBS), Humedad Relativa (HR) al interior de las células de experimentación.
- Se tomarán datos de: Bulbo Seco (TBS), Humedad Relativa (HR) en el exterior.
- Los datos serán procesados a través del software HoboWare 2.0.0.
- La tabulación de los datos recabados se hará en Excel. Se calcularán, valores máximos, valores mínimos, promedio, hora de valores máximos, hora de valores mínimos.
- Se graficarán estos datos en el programa Excel,
- Se redactarán las conclusiones.

| 86

La construcción de las células de experimentación se inició la última semana de diciembre de 2013 en la ciudad de Culiacán- Sinaloa, en la Privada Tenerife de la Colonia Banus 360 al oriente de la ciudad.

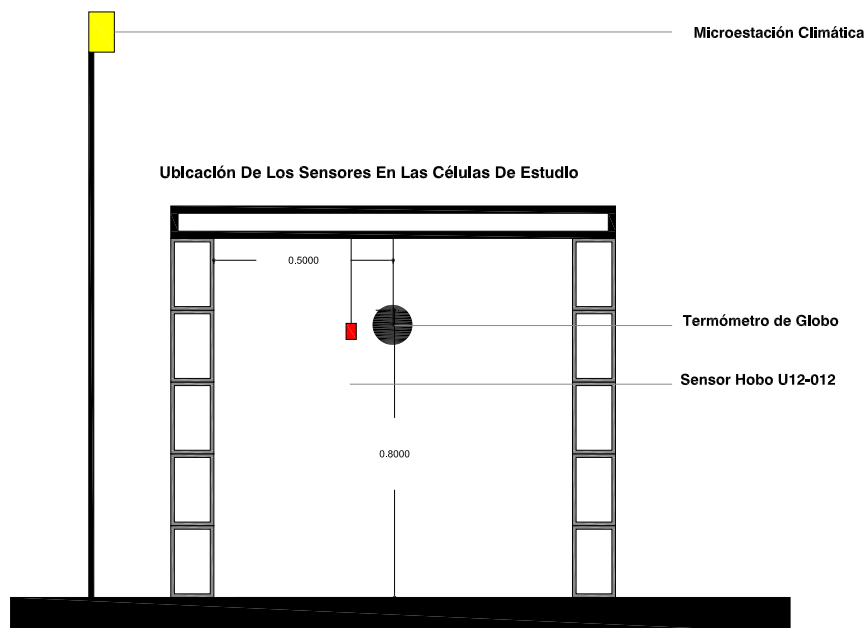


Fig.54. Ubicación de los sensores. Fuente. Propia



Fig. 55. Vista de la Colonia donde se hará la construcción de las células de estudio. Fuente: Propia.



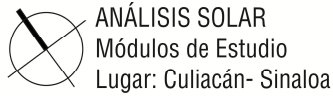
Fig. 56. Vista del edificio donde se harán las mediciones. Fuente: Propia.



Fig. 57. Contexto donde se implantarán las células de trabajo. Fuente: Propia.



Se hace el planteamiento de la implantación de las células de experimentación basados en estudios de incursión solar en planta para la ciudad de Culiacán, Sinaloa en las fechas de Junio 21, Julio 21/Mayo 21, Agosto 21/ Abril 21, Septiembre 21/ Marzo 21, Octubre 21/Febrero 21, Noviembre 21/Enero 21 y Diciembre 21 en las horas de la mañana 08:00 horas, 10:00 Horas, 12:00 Horas y 14:00 Horas (Ver anexos). Se determinó que las aberturas de las células deben estar orientadas al sur, debido a que esta orientación beneficia la ganancia solar por radiación directa donde se instalará el desecante. Este estudio de asoleamiento se hizo con el programa Google Sketchup 8.0 que considera la luz solar directa para este tipo de evaluaciones



Fecha de Estudio: JUNIO 21

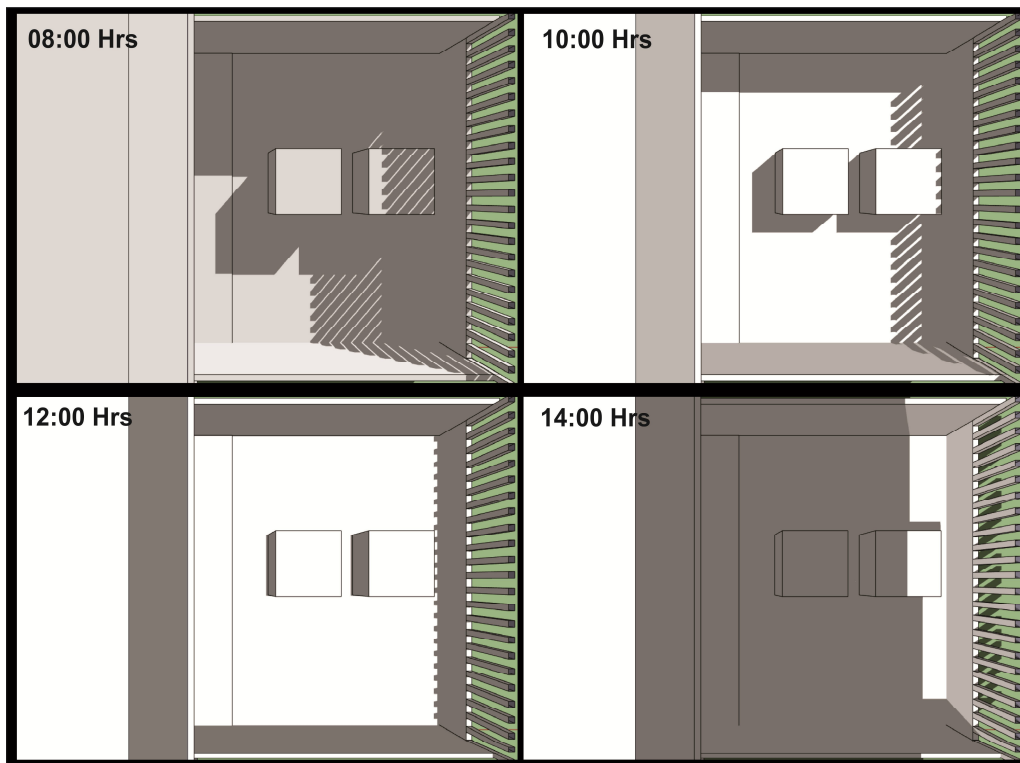


Fig. 58. Análisis solar módulos de estudio, Fecha Junio 21. Fuente: Propia.



Después de hacer el análisis solar cualitativo, se concluye que por la orientación del edificio las horas donde se tendrán ganancias importantes son en las horas de la mañana: desde las 07:00 Horas hasta las 14:00 Horas, así que necesariamente las aberturas de los módulos deben estar dirigidas hacia el sur.

Es necesario conocer el flujo de calor que llega a través de los muros para definir en cuál de los módulos es más conveniente colocar el artefacto desecante. A través de simulaciones lumínicas con el programa Dialux 4.11 se pueden medir con Luxes la cantidad de luz que llegan a los muros a través de la radiación solar directa en un día despejado o sea con ausencia total de nubosidad las fechas de estudio son: Junio 21, Septiembre 21 y Diciembre 21 a las 11:00 Horas. Se elige esta hora con el fin de complementar el análisis solar.

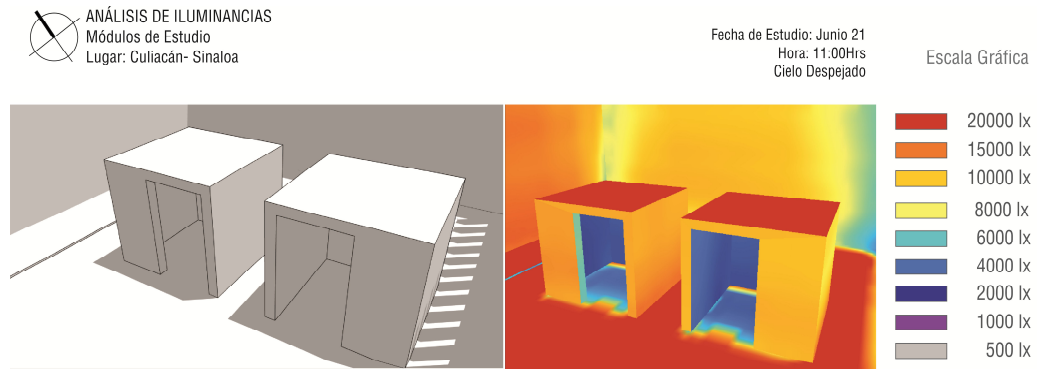


Fig. 59. Análisis de iluminancias Junio 21, 11:00 Horas. Fuente: Propia.

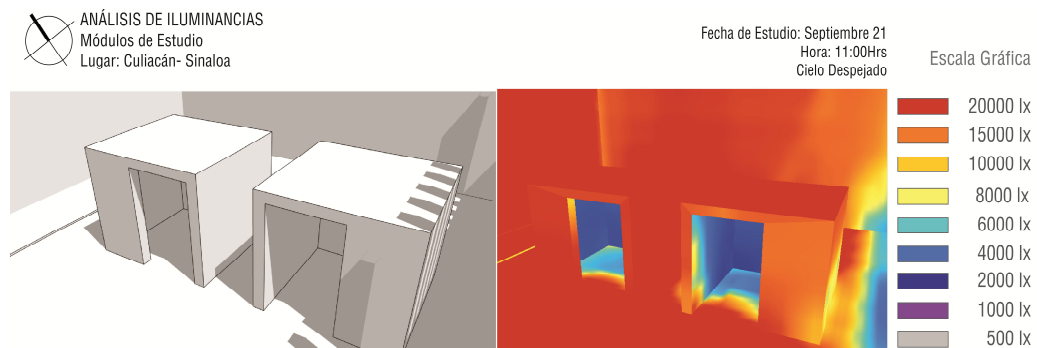


Fig. 60. Análisis de iluminancias Septiembre 21, 11:00 Horas. Fuente: Propia

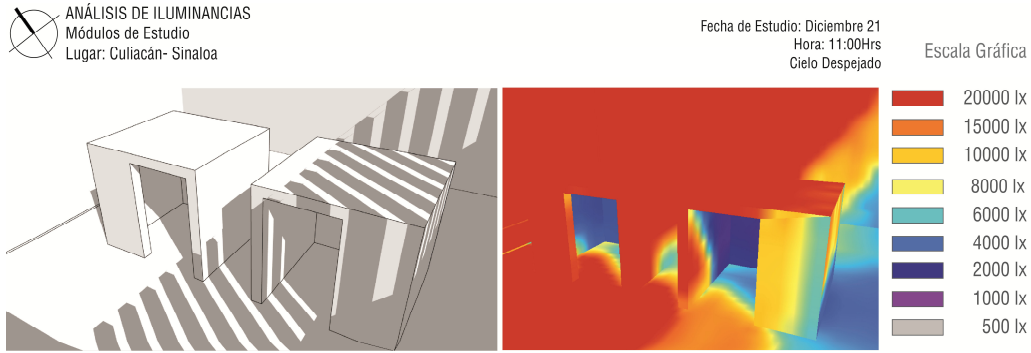


Fig.61. Análisis de iluminancias Diciembre 21, 11:00 Horas. Fuente: Propia

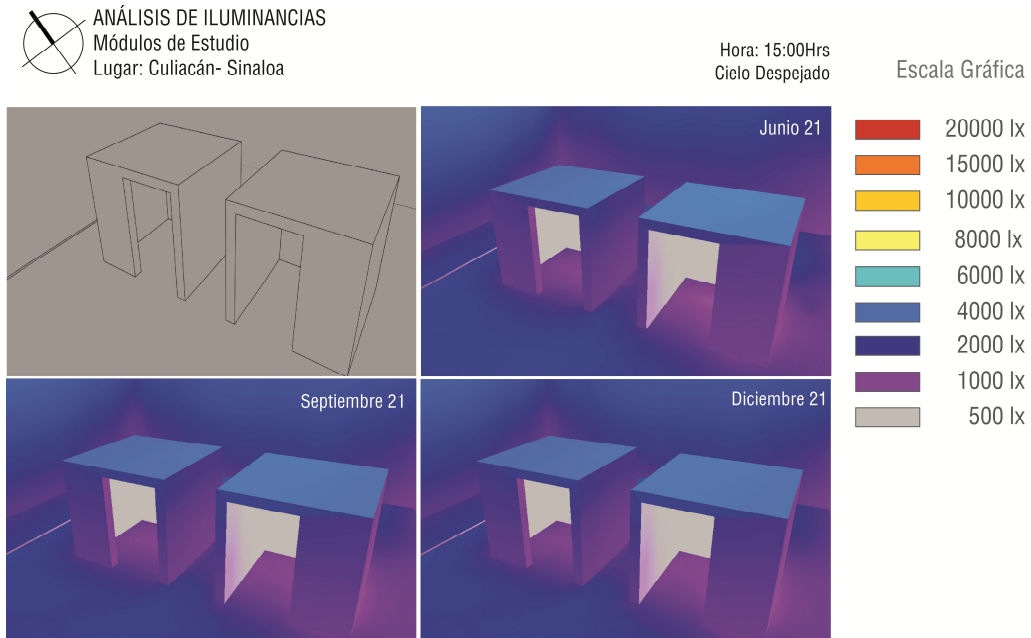


Fig.62. Análisis de iluminancias en horas de la tarde. Fuente: Propia

A través de estos análisis se puede observar como llegan a los muros del módulo cerca de 8.000lx hasta 20.000 luxes en las horas de la mañana. En la tarde decae bastante estos valores ya que los módulos reciben la sombra del edificio, los valores se encuentran entre los 500lx y 6000lx. Aunque los rayos solares no están presentes de manera directa, la temperatura del aire intervienen en el calentamiento de las superficies de los módulos de estudio y nos puede llevar a un valor de temperatura aproximada que puede alcanzar la zeolita.

Para entender cómo el fenómeno de los rayos solares y la temperatura del ambiente inciden en el calentamiento de los muros, se realizó un estudio de conducción térmica: Edward et al (1996) explican la conducción térmica como intercambio de energía interna de un cuerpo a otro sin existir



desplazamiento apreciable de materia. De acuerdo al mismo autor la conducción de calor en un medio es tridimensional, depende del tiempo y la temperatura de un medio varía con la posición y con el tiempo. En 1822, el matemático francés llamado **Joseph Fourier**, definió el intercambio de calor por conducción mediante la ecuación "Ley de Fourier".

El autor explica que esta expresión es directamente proporcional a un coeficiente de proporcionalidad denominado coeficiente de conductividad térmica " λ " que define la capacidad del material para conducir el calor a través de él.

$$\phi_{cond} = (\lambda A \Delta T) / e$$

Donde

Φ_{cond} :	Flujo de calor por conducción (W)
λ :	Coefficiente de conductividad Térmica (W/m °C)
A :	Superficie (m ²)
ΔT :	Diferencial de temperatura (°C)
e :	espesor (m)

Teniendo en cuenta las propiedades térmicas y ópticas del block de concreto se aplica esta ecuación a la geometría de un módulo de estudio con el fin de evaluar su comportamiento térmico interior a lo largo del día 21 de Julio para la ciudad de Culiacán- Sinaloa, se selecciona esta fecha por ser un día en que a lo largo del año posee las temperaturas mas elevadas igual que su humedad relativa. Los resultados de estos valores se dan en la unidad de Watts/M² . (Ver anexos)

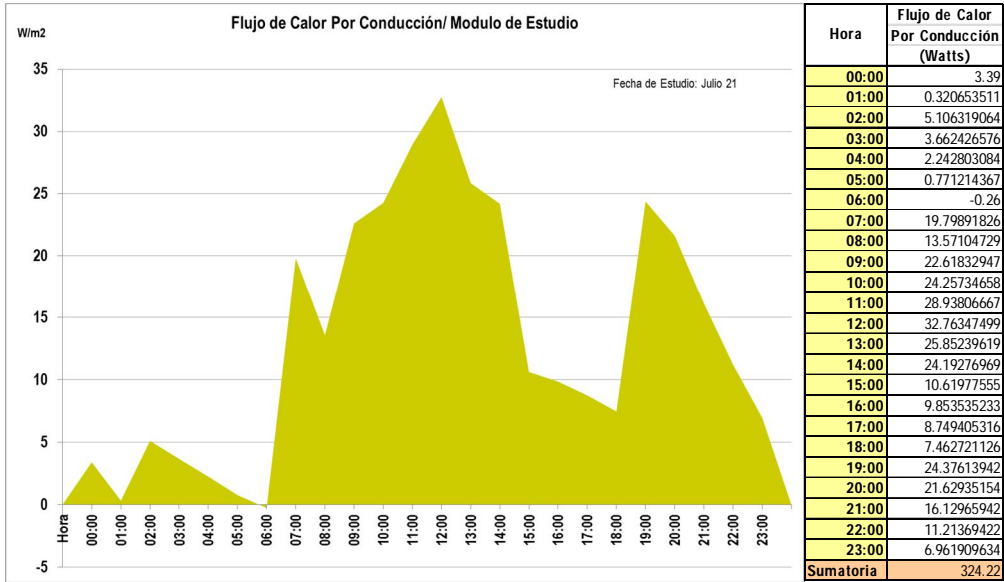


Fig.63. Flujo de calor por conducción en Modulo de Estudio. Fuente: Propia

Las ganancias que se dan por conducción de los materiales en esta fecha son importantes y se presentan las 24 horas del día, su ganancia se incrementa en las horas de la mañana, decrece en la tarde pero nuevamente en la noche suben.

Para determinar las ganancias por radiación solar directa se utiliza la ecuación de balance térmico dictada por el Dr. José Diego Morales Ramírez en la clase de Cálculo Térmico del posgrado de Arquitectura de la UNAM.

$$QSHG = Au * Fc * HT$$

- QSHG** Ganancia directa total en Watts (W/hr).
- Au** Área de la superficie transparente en m².
- Fc** Fracción de radiación solar que pasa por una ventana.
- HT** Radiación solar global (W/M²)

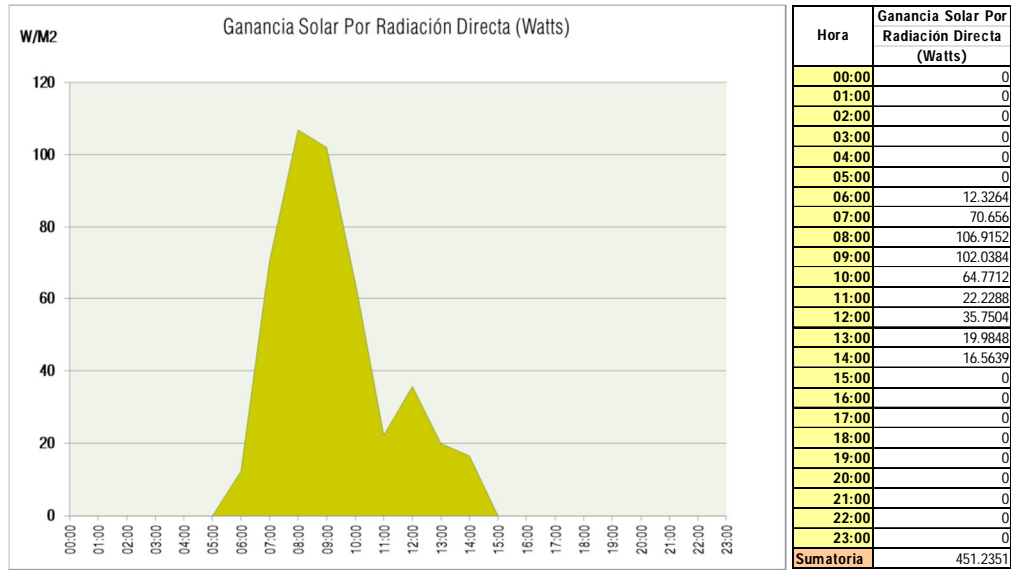


Fig.64. Ganancia Solar Por Radiación Directa Modulo de Estudio. Fuente: Propia

Las ganancias radiación solar directa para el módulo de estudio llegan cerca de los 120W/M², los valores más importantes se dan entre las 07:00 Horas y las 11:00 Horas, en la tarde las ganancias directas disminuyen debido a la sombra que arroja el edificio a el patio donde se encuentran los módulos. Se deduce que la zeolita puede recibir calor en las horas de la mañana.

Siguiendo con las ecuaciones de balance térmico, se hace la evaluación de la carga de calor que entra al interior del módulo del aire exterior, este aire esta cargado de mayor temperatura y humedad que el aire interior. Se calcula el caudal de aire que llega al interior y con ayuda de un diagrama psicrométrico se determinan las condiciones de aire interno y externo así como también de la humedad.

$$Q_{infS} = 0.278 * Camb * vol * \rho * C_{po} * (t_{amb} - t_{int})$$

$$Q_{infL} = 0.278 * Camb * vol * \rho * H_{vap} * (W_{amb} - W_{int})$$

Q_{infS}: Flujo de calor por infiltración sensible (Watts/hr)

Q_{infL}: Flujo de calor por infiltración latente (Watts/hr)

0.278: Factor de conversión Kj a Watts



Camb: # de veces que cambia el volumen de aire por hora

Vol: Volumen del espacio

p: densidad del aire (1.18 Kg/m³)

Cpo: Calor específico del aire (1.0065 Kj/Kg°C)

Tamb: Temperatura ambiente

Tint: Temperatura interior

Wamb: Humedad específica ambiente

Wint: Humedad específica interior

En la siguiente grafica se muestra la sumatoria de estas dos ganancias, se observa como a partir de las 09:00 Horas se gana calor, llega a su máximo valor a entre las 13:00 Horas y las 14:00 Horas, a partir de allí los valores van decreciendo el resto del día. A través de estas infiltraciones se tiene una sumatoria alta en Watts: en total suman 2805.84 Watts, que seria la ganancia más alta registrada hasta el momento si se compara con los Watts ganados por la radiación solar directa y el flujo de calor por conducción.

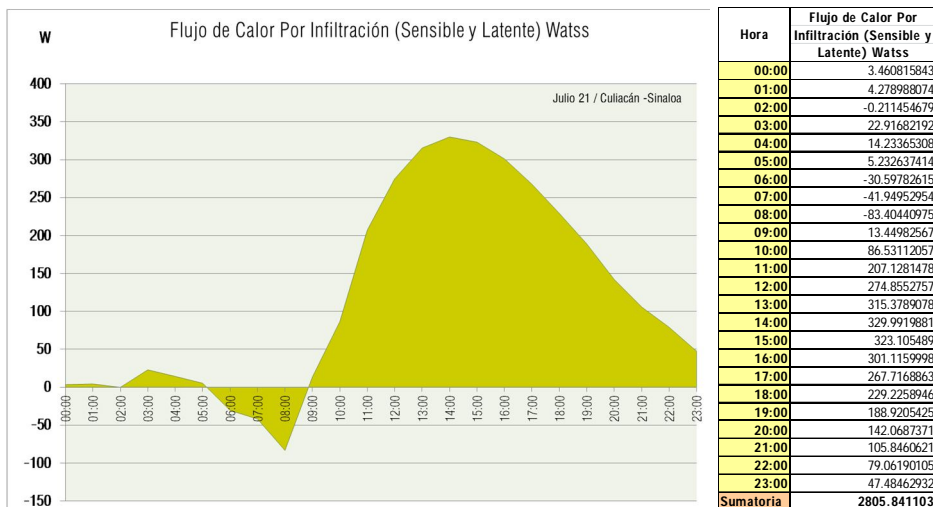


Fig. 65. Flujo de Calor Por Infiltración (Sensible y Latente) Modulo de Estudio. Fuente: Propia

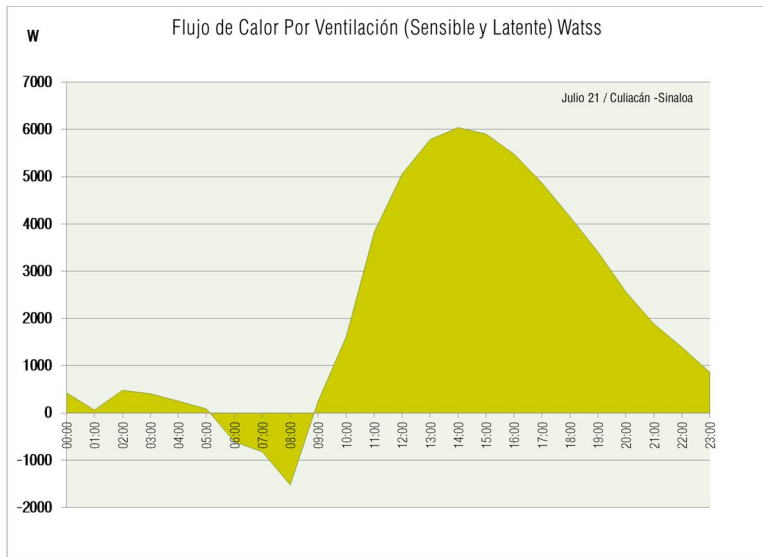
Se hace el análisis con la ecuación para flujo de calor por ventilación sensible y latente para el módulo el día 21 de julio.



$$Q_{ventS} = 0.278 * \rho * C_{po} * G * (t_{amb} - t_{int})$$

$$Q_{ventL} = 0.278 * \rho * C_{po} * G * (W_{amb} - W_{int})$$

- QventS:** Flujo de calor por ventilación sensible (Watts/hr)
- QventL:** Flujo de calor por ventilación latente (Watts/hr)
- 0.278:** Factor de conversión Kj a Watts
- p:** densidad del aire (1.18 Kg/m³)
- Cpo:** Calor específico del aire (1.0065 Kj/Kg°C)
- G:** Flujo de aire(m³/m)
- Tamb:** Temperatura ambiente
- Tint:** Temperatura interior
- Wamb:** Humedad específica ambiente
- Wint:** Humedad específica interior



Hora	Flujo de Calor Por Ventilación (Sensible y Latente) Watss
00:00	427.7393219
01:00	62.43186618
02:00	481.6165381
03:00	407.3864469
04:00	251.1893971
05:00	86.87817436
06:00	-610.2624517
07:00	-823.9589754
08:00	-1523.957231
09:00	259.6810848
10:00	1616.039656
11:00	3825.615483
12:00	5061.060558
13:00	5787.552945
14:00	6040.463236
15:00	5903.715014
16:00	5481.302833
17:00	4868.018909
18:00	4154.491572
19:00	3408.080754
20:00	2562.917425
21:00	1886.521984
22:00	1393.1275
23:00	860.6117238
Sumatoria	51868.26376

Fig. 66. Flujo de Calor Por Ventilación (Sensible y Latente) Modulo de Estudio. Fuente: Propia

Se aprecia un comportamiento similar en cuanto al comportamiento del flujo de calor por infiltración, solo que los valores en las ganancias del flujo de calor por ventilación son más



elevados y llegan a alcanzar los 6000 Watts alrededor de las 14:00 Horas. La sumatoria de las 24 horas da como resultado 51868.26 Watss, mostrando una diferencia de 49062.42 Watts con respecto a la ganancia de calor por infiltración.

96

Se complementa el análisis del módulo de estudio con el cálculo de la capacitancia de los materiales que conforman el módulo que se va a evaluar. Para ello se trabaja con las propiedades óptica del block de concreto que es el material con el que se van a construir los módulos. (Ver Anexo)

Para calcular la capacitancia del material, es preciso conocer su absorptancia, su emitancia y su transmitancia para el caso de los materiales translúcidos. Se grafican los valores resultantes del block de concreto, en el caso de la zeolita la bibliografía estudiada no da un número de éstas propiedades. Este es un nuevo camino que debe abrirse en el estudio de estos minerales para conocer mejor su desempeño.

Propiedades Ópticas De Los Materiales				
Item	Materiales	Absortancia	Emitancia	Transmitancia
1	Muro Block Común	0.8	0.99	

Tabla X, Propiedades Ópticas de los Materiales. Fuente Norma ENER 020 2010

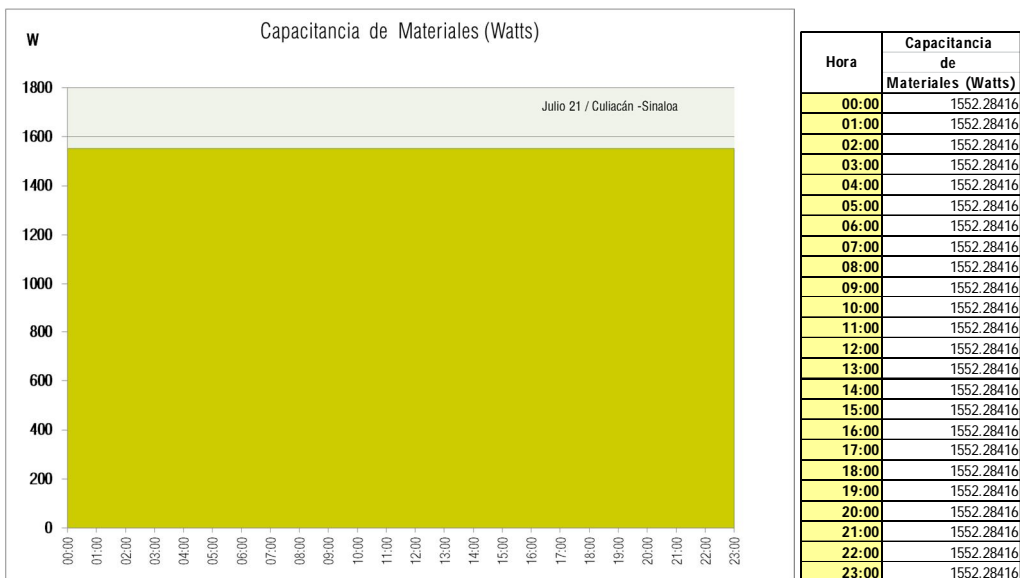


Fig. 67. Flujo de Calor Por Ventilación (Sensible y Latente) Modulo de Estudio. Fuente: Propia



Se hace una sumatoria de todas las ganancias que se tienen en el módulo, y que se consideran como una etapa diagnóstico para las 24 horas que se están estudiando: ganancias por conducción, ganancia solar por radiación directa, ganancia de flujo de calor por infiltración y por ventilación. Se concluye que las ganancias importantes de calor que se pueden tener en el módulo son a través de la ventilación, y de la capacitancia de los materiales. Por radiación solar las ganancias directas son perceptibles en las horas de la mañana, pero en la tarde son despreciables debido a la sombra que arroja el edificio sobre el módulo.

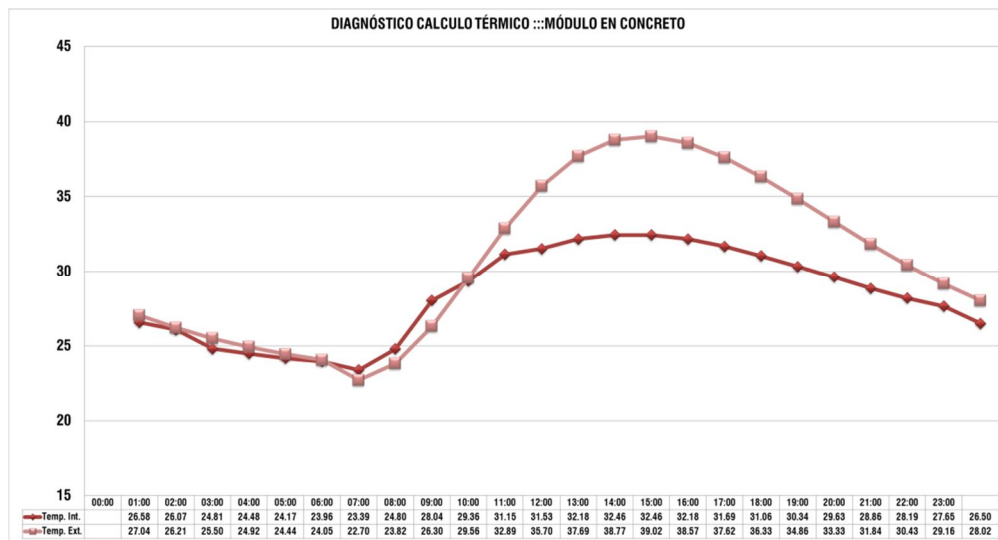


Fig. 68. Diagnóstico Cálculo Térmico Módulo de Estudio. Fuente: Propia

Esta simulación nos muestra el comportamiento de la temperatura interior con respecto a la exterior en 1m^3 de un block de concreto en Julio 21, se observa que en el día la temperatura exterior está por encima de la temperatura interior. En la noche las temperaturas se igualan, pero a partir de las 11 am tienen una separación considerable y empieza el incremento. Se concluye entonces a manera de hipótesis que la zeolita no sólo recibirá calor directamente del sol, recibirá importantes ganancias de la parte de la ventilación.



3.4 MONTAJE EXPERIMENTAL

La construcción de los módulos se realizó la última semana de diciembre de 2012, estos quedaron listos para utilizarse en enero de 2013. La bibliografía estudiada no señala cuál es la cantidad de zeolita que se debe utilizar para deshumidificar un espacio determinado así que se determina la cantidad de zeolita a partir del cálculo del volumen que está en el interior de la malla mosquitera, el resultado fue de 6 litros, por ello se determinó que las pruebas deberían hacerse con 6 Kgs de Zeolita. Las mediciones empezaron con 2 Kgs y va aumentando cada día hasta llegar a los 6 Kg; o sea 2 Kgs por día

98



Fig.69. El pesaje de la zeolita se realizó con una balanza.

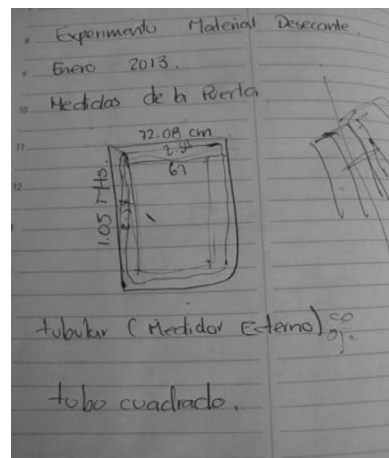


Fig. 70. Cálculo del volumen para determinar la cantidad de zeolita al interior del artefacto



El **Sensor 1** se ubica en el módulo Célula de Control y el **Sensor 2** se ubica en el módulo denominado Célula Experimental.

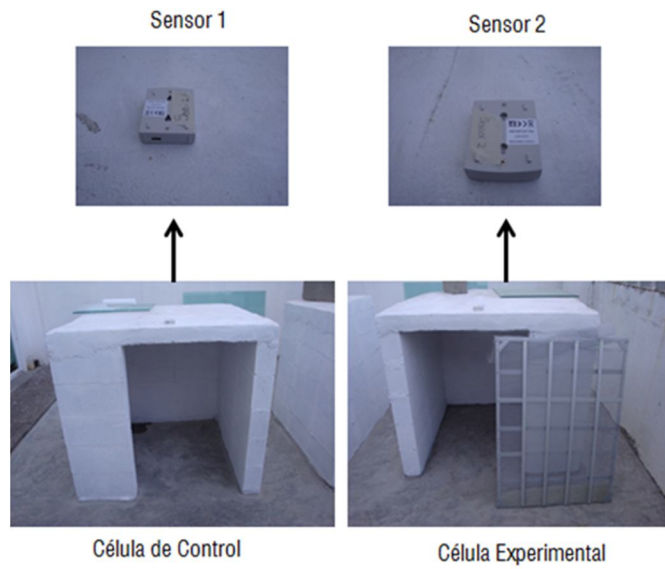


Fig.71. Ubicación de los sensores en las células de estudio. Fuente: Propia



Fig. 72. Ubicación del sensor externo. Fuente: Propia



El sensor externo se ubica en la parte superior del módulo de control con el fin de monitorear la temperatura y humedad del ambiente minuto a minuto.

| 100



Fig.73. Vista del montaje experimental. Fuente: Propia

3.5 DESCRIPCIÓN DE EXPERIMENTOS

3.5.1 Calibración de Equipos

Los Hobos son calibrados en dos etapas, la primera etapa se realiza en un lugar cerrado donde se programan los sensores para recabar datos cada minuto. Los dos sensores Hobo se encuentran ubicados en la misma posición y la misma altura con el fin de someterlos a igualdad de condiciones y observar el comportamiento a lo largo de las 3 horas que fueron programados. Se muestran a continuación gráficas de evolución de temperatura y humedad relativa entre los sensores denominados: "Sensor 1" y "Sensor 2".



Fig.74. Ubicación de sensores para la calibración. Fuente: Propia



Se grafica a continuación el comportamiento que tuvieron los dos sensores aunado a esto se realiza una comparación con datos de temperatura exterior para conocer el comportamiento climático. Las mediciones se realizaron por 5 horas.

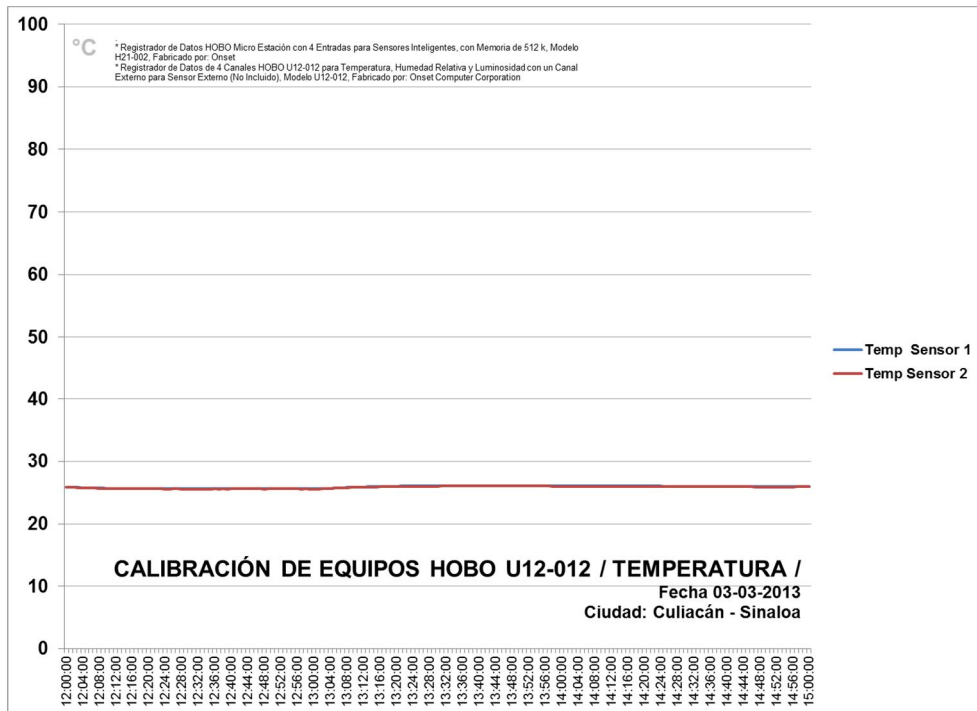
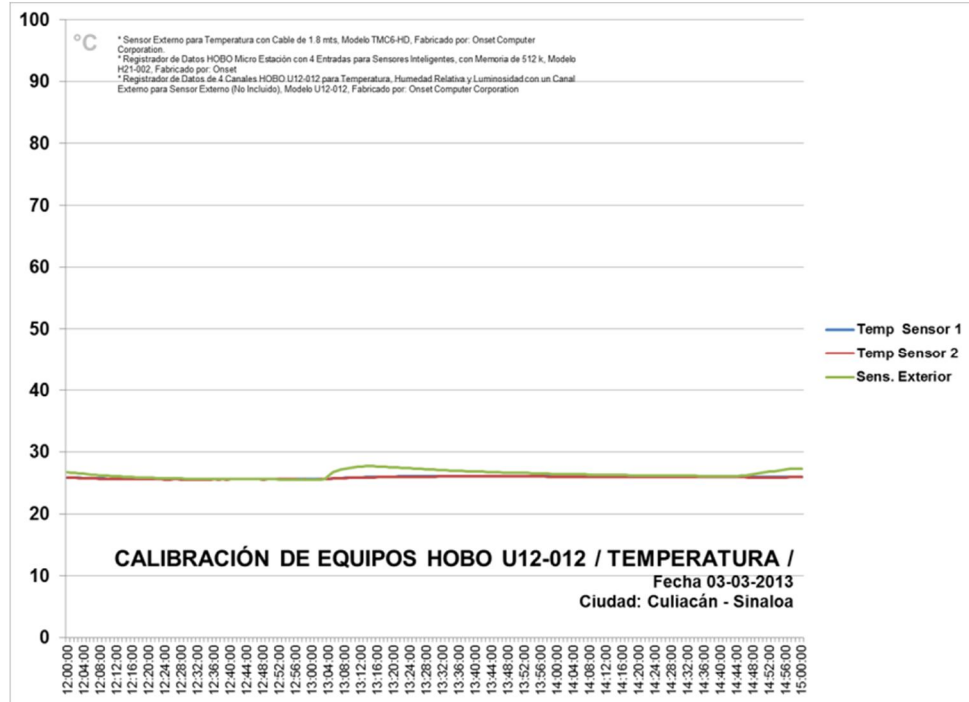


Fig.75. Calibración de Equipos. Fuente: Propia



	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Promedio	25.86092081	25.82226519	26.37857459
Varianza S1 Y S2	5.08		
Varianza S1, S2 y Ext.	7.65		
Desviación E. S1 y S2	2.25		
Desviación Estandar	2.77		

Tabla. XI. Valores de Calibración de equipos Hobo. Fuente: Propia

En esta gráfica se observa que tanto el "Sensor 1" como el "Sensor 2" van en una sola línea. Lo que significa el buen funcionamiento de los sensores, la óptima monitorización de los datos en el interior de los módulos y la correcta lectura de los datos que serán recabados en los experimentos posteriores.

Los días 11 y 12 de Marzo de 2013, se ubican los sensores en el interior del Módulo 1, con el fin de realizar un segundo estudio de calibración de los equipos de medición. Los dos sensores Hobo se encuentran puestos de la misma manera esto con el fin de someterlos a las mismas condiciones de medición y observar el comportamiento en la toma de datos. Se realizan gráficas de evolución de temperatura y Humedad relativa entre los sensores 1 y 2, se grafica también la temperatura exterior para conocer el comportamiento climático en esos días. Estas mediciones se realizaron por 24 horas.



Fig.76. Calibración de Equipos. Fuente: Propia

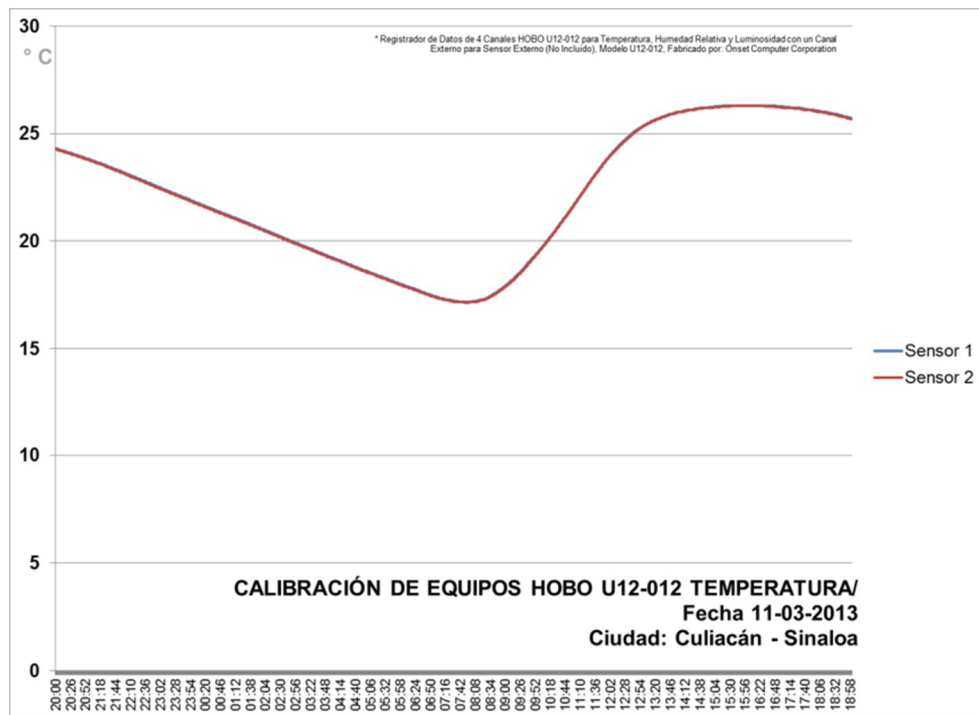
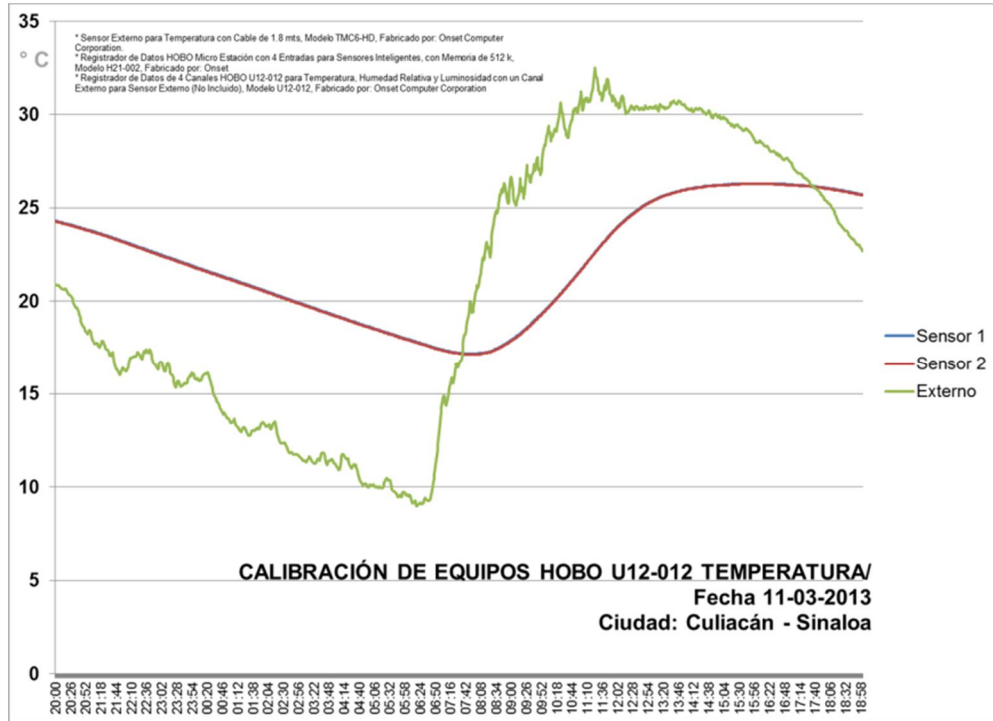


Fig.77. Calibración de Equipos, Desviación Estándar. Fuente: Propia

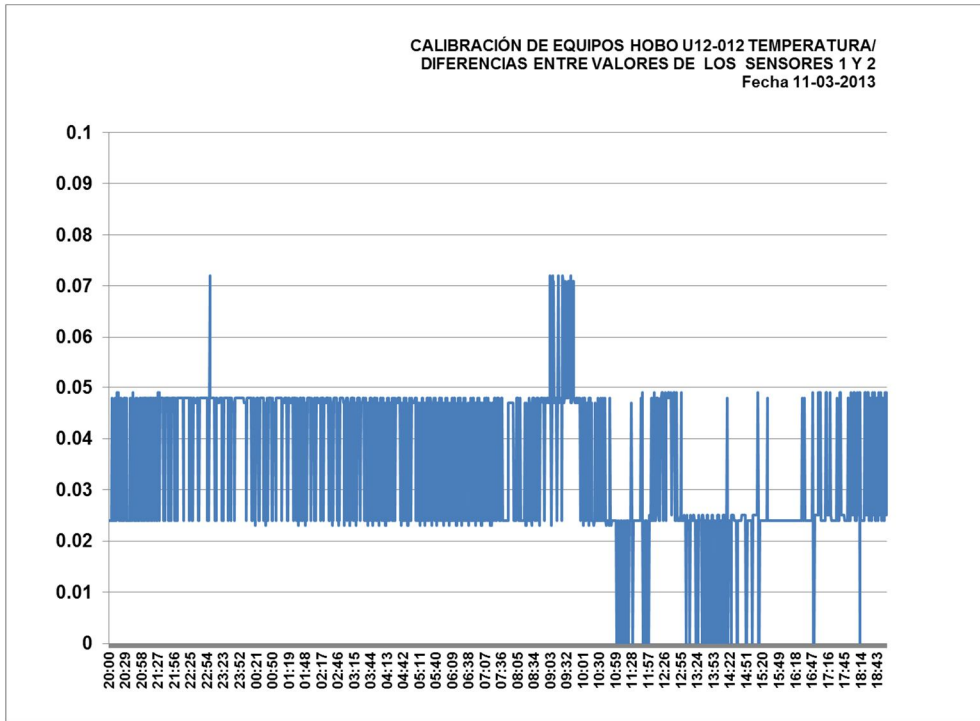


Fig.78. Calibración de Equipos. Diferencias entre valores de los sensores 1 y 2. Fuente: Propia

	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Promedio	22.0769298	22.0422223	20.85146778
Varianza S1 Y S2	4.70		
Varianza S1, S2 y Ext.	4.65		
Desviación E. S1 y S2	2.167201405		
Desviación Estandar	2.157148164		

Tabla.XII. Valores de Calibración de equipos Hobo. Fuente: Propia

En la gráfica de desviación estándar se observa una variación que va de 0 a 0.1, lo cual en equipos de medición está aceptado. El promedio que se presenta entre los Sensores 1 y 2 es de 22.07 para el primero y 22.04 para el segundo, el sensor externo tiene un promedio de 20.85 pero hay que aclarar que este sensor se encontraba al exterior de los módulos con lo cual el monitoreo presenta 2 grados menos en su lectura.



3.5.2 EXPERIMENTO I / 2Kg DE ZEOLITA

31 ENERO 2013/CULIACÁN SINALOA

En la primera evaluación, se observa el comportamiento de la célula de experimentación donde el artefacto desecante contiene 2Kg de zeolita en su interior. La célula de control permanece sin ningún tipo de desecante y con el vano abierto. Se midieron datos de temperatura interior en los dos módulos, humedad relativa interior en los dos módulos, temperatura exterior y temperatura exterior. El objetivo de este primer experimento es observar el comportamiento de la zeolita con respecto a la humedad relativa interior y exterior. Esta evaluación se realizó el 31 de enero de 2013 y se extendió por 24 horas.

| 105

Para el registro de datos se colocó en la Célula de Control 1 Sensor Hobo denominado como sensor 1, también un termómetro de globo con el fin de realizar la monitorización de la temperatura radiante. En la célula experimental se ubica en el Sensor Hobo denominado como Sensor 2, se encuentra al interior de igual manera un termómetro de globo que tiene el mismo objetivo de la célula de control. Las alturas de los sensores están a 0.80 Mts de alto midiendo desde el piso hacia la parte superior en ambos casos

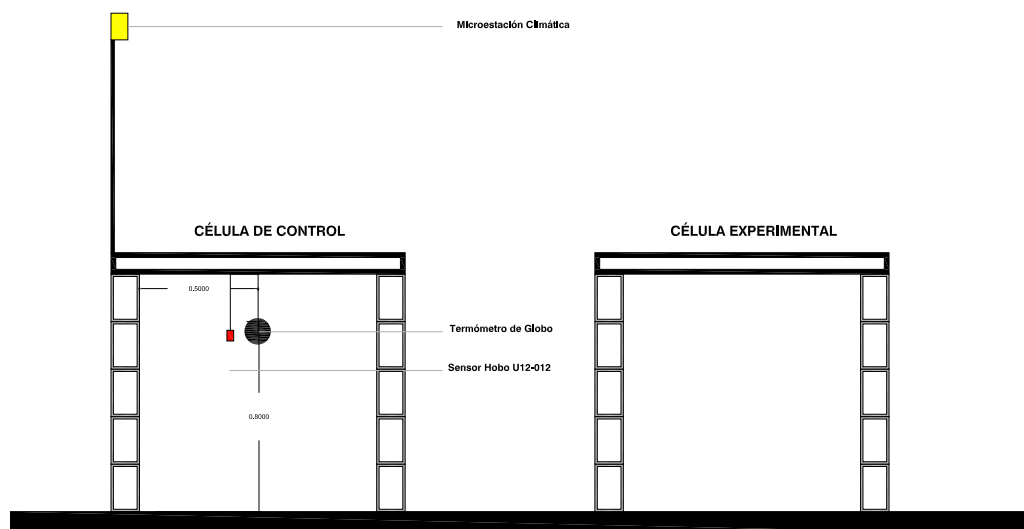


Fig.79. Montaje experimental. Fuente: Propia



Fig. 80. Montaje de Experimento I con 2 Kgs de zeolita en el artefacto desecante



Fig. 81. Montaje de Experimento I la célula de Control se encuentra sin artefacto desecante.



Procedimiento

09:00 Horas (am) Se colocan 2 Kg de zeolita en la malla mosquitera. Los sensores hacen la monitorización de temperatura y humedad relativa cada minuto interior y exterior.

12:00 Horas (Tarde) Se retira la malla y se procede a calentar la zeolita por una hora con una plancha casera.

13:00 Horas : Se retira la plancha casera.



Fig.82. Montaje de Experimento I Plancha casera que calienta la zeolita.



Fig. 83. Experimento I. Fuente Propia



3.5.3 EXPERIMENTO II / 4Kg DE ZEOLITA 01 FEBRERO 2013/CULIACÁN SINALOA

| 108

En la segunda evaluación, se observa el comportamiento de la célula de experimentación donde el artefacto desecante contiene 4Kg de zeolita en su interior. La célula de control permanece sin ningún tipo de desecante y con el vano abierto. Se midieron datos de temperatura interior en los dos módulos, humedad relativa interior en los dos módulos, temperatura exterior y temperatura exterior. El objetivo de este primer experimento es observar el comportamiento de la zeolita con respecto a la humedad relativa interior y exterior. Esta evaluación se realizó el 01 de febrero de 2013 y se extendió por un día completo.



Fig.84. Montaje de Experimento II con 4 Kgs de zeolita en el artefacto desecante. Fuente: Propia



Fig.85. Montaje de Experimento II Célula de control y Celula experimental. Fuente: Propia



09:00 Horas (am) Se retira la malla del vano y se rellena con otros 2 Kg. De zeolita.

09:05 Horas (am) La puerta es colocada en su lugar.

12:00 Horas (Tarde) Se procede a calentar la zeolita con fogón eléctrico.

13:00 Horas: Se retira el Fogón Eléctrico



Fig. 86. Montaje de Experimento II Se calienta la zeolita con fogón eléctrico. Fuente: Propia



Fig.87. Montaje de Experimento II con 4 Kgs de zeolita en el artefacto desecante. Célula de control y Célula experimental. Fuente: Propia.



Fig. 88. Montaje de Experimento II con 4 Kgs de zeolita en el artefacto desecante. Célula experimental. Fuente: Propia

3.5.4 EXPERIMENTO III / 6Kg DE ZEOLITA 02 FEBRERO 2013/CULIACÁN SINALOA

En la tercera evaluación, se estudia el comportamiento de la célula de experimentación donde el artefacto desecante contiene 6Kg de zeolita en su interior. La célula de control permanece sin ningún tipo de desecante y con el vano abierto. Se midieron datos de temperatura interior en los dos módulos, humedad relativa interior en los dos módulos, temperatura exterior y temperatura exterior. El objetivo de este primer experimento es observar el comportamiento de la zeolita con respecto a la humedad relativa interior y exterior. Esta evaluación se realizó el 02 de febrero de 2013 y se extendió por un día completo.



Fig. 89. Montaje de Experimento III Célula de Control. Fuente: Propia



09:00 Horas (am) Se retira la malla del vano y se rellena con otros 2 Kg. De zeolita.

09:05 Horas (am) La puerta es colocada en su lugar.

12:00 Horas (Tarde) Corte de luz no se puede calentar la zeolita

17:00 Horas (Tarde): Se procede a calentar la zeolita con fogón eléctrico

18:00 Horas: Se retira el fogón eléctrico.



Fig. 90. Montaje de Experimento III Calentamiento de la Zeolita con Fogón Eléctrico. Fuente: Propia



Fig.91. Montaje de Experimento III Calentamiento de la Zeolita con Fogón Eléctrico. Fuente: Propia



3.5.5 EXPERIMENTO IV / 6Kg DE ZEOLITA

03 MARZO 2013/CULIACÁN SINALOA

| 112

En la cuarta evaluación se tienen los mismos objetivos que las anteriores evaluaciones; se tiene el artefacto desecante en la célula experimental que contiene 6 Kgs de zeolita. La célula de control se mantiene en las mismas condiciones funcionando como testigo de la prueba. La diferencia radica en que no se utilizarán objetos eléctricos para calentar el material desecante.

Se utiliza el calor generado por el sol que al chocar en la superficie de la zeolita hace la activación de ésta; se hace una observación a través de un termómetro laser de la temperatura que alcanza el material desecante. La evaluación inicia el 03 de marzo hasta el 06 de marzo a las 12:00 Horas.

04 de Marzo 09:00 pm: Se coloca el artefacto desecante en la puerta de la célula experimental.

Temperaturas que alcanza la zeolita

Fecha	Hora	Temperatura
04/03/13	10:07 Hrs	51.8°C
04/03/13	11:08 Hrs	54.8°C
04/03/13	12:01 Hrs	55.2°C
04/03/13	13:37 Hrs	39.6°C
05/03/13	07:58 Hrs	17.8°C
05/03/13	09:02 Hrs	23.2°C



Fig.92. Medición de temperaturas en la zeolita con termómetro láser. Fuente: Propia



Fig. 93. Montaje experimento IV. Fuente: Propia



3.5.6 EXPERIMENTO V / 6Kg DE ZEOLITA 06 MARZO 2013/CULIACÁN SINALOA

| 114

En el estudio número 5, se cerrarán ambos módulos: Célula de control y Célula experimental con paneles de poliestireno de 0.12cm de ancho, éstos se ubicaran en las entradas de los dos módulos. En el módulo experimental se calentará la zeolita alrededor de una hora con un fogón casero, el objetivo es llevar a la zeolita a una temperatura de los 100°C, para activar sus propiedades absorbentes. Después de ser calentada se introduce en el interior del módulo experimental, posteriormente es sellado con el panel de poliestireno.



Fig.94. Montaje experimento V. Los módulos se cierran con láminas de poliestiresno de 0.12cm de ancho.Fuente: Propia



Fig.95. Montaje experimento V. La zeolita es calentada con una estufa eléctrica. Se pretende llevar el material desecante cerca de los 100°C para activar su capacidad absorbente. La zeolita es calentada por una hora antes de introducirse al interior del módulo experimental. Fuente: Propia



Fig. 96. Montaje experimento V. La zeolita es calentada con una estufa eléctrica. Se pretende llevar el material desecante cerca de los 100°C . En este caso la zeolita alcanzó los 152°C. Fuente: Propia



Fig.97. Montaje experimento V. Se introduce el artefacto desecante con la zeolita caliente. Posteriormente se sella la célula experimental con los paneles de poliestireno. Fuente: Propia



Fig.98. Montaje experimento V. Posteriormente se sella la célula experimental con los paneles de poliestireno. La célula de control se sella de igual forma con los paneles de poliestireno. Fuente: Propia



3.5.7 EXPERIMENTO VI / 3Kg DE ZEOLITA 27 MARZO 2013/CULIACÁN SINALOA

En el sexto estudio para comprobar la hipótesis, se tiene el objetivo de realizar el estudio con ambas células cerradas con poliesterino. Para calentar la zeolita, se vierten los 3 kgs del material desecante en una olla en una estufa eléctrica con el fin de hacer uniforme la distribución del calor. Se calienta alrededor de media hora, para activar las propiedades absorbentes del material desecante, buscando llegar alrededor de los 100°C.

Posteriormente la zeolita se pone a reposar hasta alcanzar una temperatura de 48°C. Se introduce la zeolita a la célula experimental el 27 de marzo a las 18:37Hrs, se coloca un ventilador por unos minutos dentro de la célula experimental con el fin de disipar el calor que retiene la zeolita. Los datos se tomaron cada minuto desde el 27 de marzo hasta el 30 de marzo en la ciudad de Culiacán – Sinaloa.



Fig.99. Montaje experimento VI . Calentamiento de 3 Kgs de zeolita Fuente: Propia



Fig. 100. Montaje experimento VI . Termómetro de Globo en una de las células de estudio. Fuente: Propia



Fig. 101. Montaje experimento VI . La zeolita es calentada hasta alcanzar temperaturas cercanas a los 100°C, después se deja reposar hasta alcanzar los 48°C. Fuente: Propia



Fig. 102. Montaje experimento VI . Después de ser calentada y reposada la zeolita se introduce en el módulo experimental a las 18:47Hrs del 27 de Marzo de 2013. El módulo se cierra completamente con los paneles de poliestirreno a las 18:51 Hrs, del mismo día. Fuente: Propia



Fig. 103. Montaje experimento VI . Ambas células se cierran con los paneles de poliuretano. Fuente: Propia



3.5.8 EXPERIMENTO VII / 6Kg DE ZEOLITA 30 MARZO 2013/CULIACÁN SINALOA

| 120

El procedimiento es igual que en el experimento VI, cambia la cantidad de zeolita que se introduce al interior de la célula experimental. El módulo se cierra a las 19:00Hrs del 30 de marzo y se destapa la célula experimental el 02 de abril del 2013 a las 20 Horas.



Fig.104. Montaje experimento VII . Calentamiento de la zeolita. Fuente: Propia



Fig.105. Montaje experimento VII . Se colocó la zeolita dentro del Módulo Experimental. Fuente: Propia



3.5.9 EXPERIMENTO VIII/ 6Kg DE ZEOLITA 04 de Julio 2013/CULIACÁN SINALOA

En el experimento VIII, se repite el procedimiento del experimento IV. Se mantiene el artefacto desecante con 6 Kgs de zeolita, la diferencia radica que el experimento se llevó a cabo por 8 días. Los días de mediciones fueron de 04 de Julio al 12 de Julio de 2013.

| 121

3.5.10 EXPERIMENTO IX/ 6Kg DE ZEOLITA 13 de Julio 2013/CULIACÁN SINALOA

En esta etapa se hace la repetición del experimento VII. Se calienta la zeolita por media hora, se deja reposar y se dispone a cerrar la entrada de aire de los módulos con paneles de poliestireno.



Fig.106. Montaje experimento IX . Calentamiento de la zeolita. Fuente: Propia



Fig.107. Montaje experimento IX. Colocación de la zeolita dentro del modulo experimental. Fuente: Propia



Fig.108. Montaje experimento IX. Se verifica la temperatura de la zeolita dentro del módulo. Fuente: Propia.



Fig. 109. Montaje experimento IX. Fuente: Propia



Fig.110. Montaje experimento IX. Se cierran los módulos con paneles de Poliestireno. Fuente: Propia



3.5.11 EXPERIMENTO X/ 6Kg DE ZEOLITA 15 de Julio 2013/CULIACÁN SINALOA

Se toman 6 Kgs de zeolita, sin calentar previamente y se introduce en el módulo de estudio. Se cierran ambos módulos con los paneles de poliestireno, se hacen las pruebas de medición durante dos días.

| 124



Fig.111. Montaje experimento X. La zeolita no es calentada. Fuent: Propia



Fig.112. Montaje experimento X. Se cierran los módulos con los paneles de poliestireno. Fuent: Propia



3.5.12. EXPERIMENTO XI/ 10Kg DE ZEOLITA 17 de Julio 2013/CULIACÁN SINALOA

Se repite el procedimiento del experimento X, el cambio se dá en que se aumenta la zeolita a 10 Kgs en el módulo de estudio. Se cierra con los paneles de poliestireno. La medición se realiza por un día.

3.6 CONCLUSIONES DEL MÉTODO

Basados en los estudios anteriores se propone un sistema experimental que consta de dos módulos de estudio en la ciudad de Culiacán- Sinaloa. Se hizo un análisis del clima, humedad relativa, velocidades de viento. De igual manera se hicieron análisis solares en los módulos de evaluación para conocer mejor el comportamiento que tendrá el material desecante.

A partir de la recabación de datos se pretende hacer un análisis comparativo entre el interior de los módulos y el exterior. Comparar también las humedades relativas entre ellos y observar el efecto que tiene el calentamiento sobre el material desecante.

Se propusieron 11 experimentos con el fin de encontrar cuál es el peso adecuado de material desecante que se deba utilizar para 1m^3 debido a que la bibliografía consultada no hace ningún comentario sobre éste aspecto.

Estas mediciones permitirán conocer mejor el clima de Culiacán –Sinaloa, debido a que en la ciudad se presentan microclimas.

Con estas mediciones también se conocerá el funcionamiento del block como sistema constructivo en este clima, previo un estudio de cálculo térmico para los módulos y se podrá establecer si es necesario un sistema de enfriamiento pasivo para estos casos.







Contenido

Análisis De Resultados

Capitulo IV Análisis De Resultados

4.1	Experimento I.....	130
4.2	Experimento II.....	134
4.3	Experimento III.....	138
4.4	Experimento IV.....	142
4.5	Experimento V.....	146
4.6	Experimento VI.....	150
4.7	Experimento VII.....	154
4.8	Experimento VIII.....	158
4.9	Experimento IX.....	162
4.10	Experimento X.....	167
4.11	Experimento XI.....	171
	4.12 Análisis De Humedades Absolutas En Los Experimentos.....	175
4.12.1	Experimento I.....	177
4.12.2	Experimento II.....	178
4.12.3	Experimento III.....	179
4.12.4	Experimento IV.....	180
4.12.5	Experimento V.....	181
4.12.6	Experimento VI.....	182



4.12.7 Experimento VII	183
4.12.8 Experimento VIII.....	184
4.12.9 Experimento IX.....	185
4.12.10 Experimento X.....	186
4.12.11 Experimento XI.....	187

4.13 Análisis De Sensación Térmica..... 188

4.13.1 Experimento I.....	189
4.13.2 Experimento II.....	190
4.13.3 Experimento III.....	191
4.13.4 Experimento IV.....	192
4.13.5 Experimento V	193
4.13.6 Experimento VI.....	194
4.13.7 Experimento VII.....	195
4.13.8 Experimento VIII.....	196
4.13.9 Experimento IX	197
4.13.10 Experimento X.....	198
4.13.11 Experimento XI	199





4.1 EXPERIMENTO I / 2Kg DE ZEOLITA 31 ENERO 2013/CULIACÁN SINALOA

130

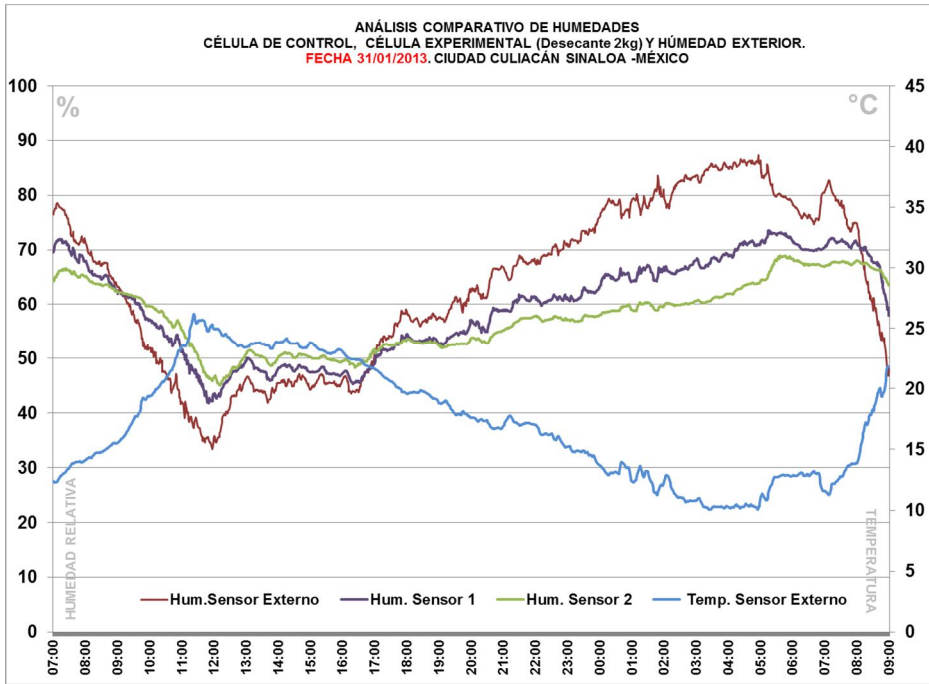


Fig.113. Análisis comparativo de humedades Exp. I. Fuente: Propia

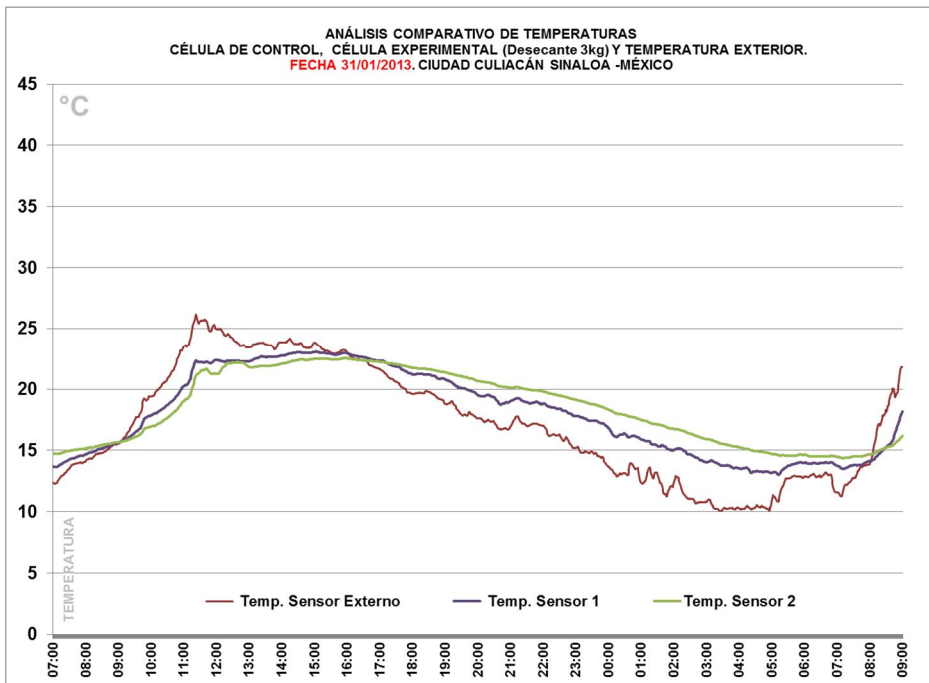


Fig.114. Análisis Comparativo de Temperaturas Experimento I Fuente: Propia



Se observa la evolución de la humedad en el interior de los módulos y en el exterior; también se muestra la evolución de la temperatura exterior para el día 31 de enero de 2013 en la ciudad de Culiacán. En este día la humedad varía entre rangos del 30% al 90%. Se observa que la humedad en la célula experimental es menor que las otras dos humedades a partir de las 18:00 Hrs. En la parte de las temperaturas los rangos van desde los 10°C hasta los 25°C. La célula experimental se mantiene debajo de la temperatura exterior desde las 07:00 am hasta las 16:00 Horas donde se eleva por encima de la temperatura exterior y es seguido por la temperatura de la célula de control.

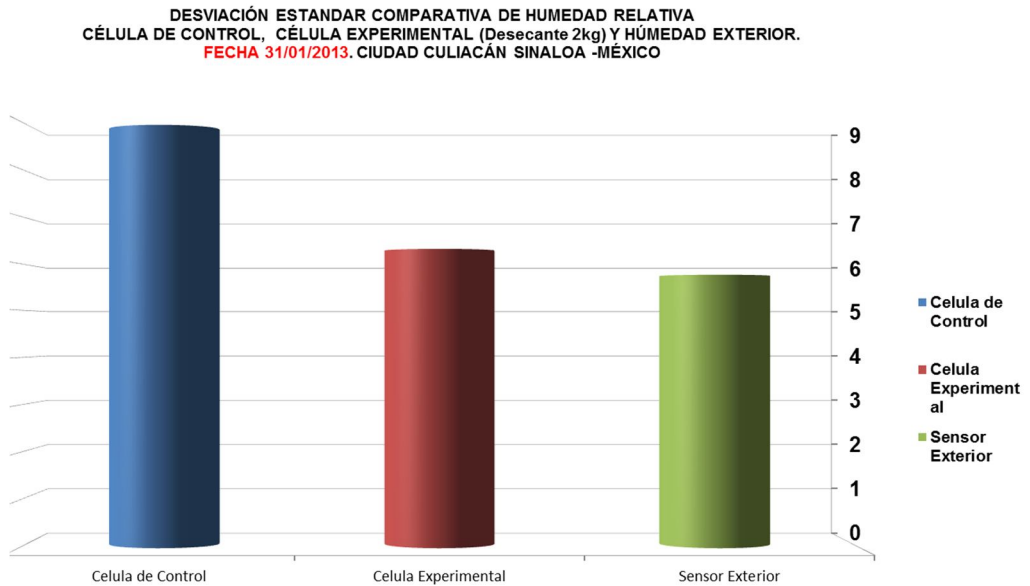


Fig115. Desviación estándar comparativa Experimento I Fuente: Propia

EXPERIMENTO I / 31 ENERO 2013 / CULIACÁN SINALOA			
	Celula de Control	Célula Experimental	Exterior
TEMPERATURA °C			
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Temp. Max °C	23.06	22.51	26.18
Hora Temp Max	03:02 p.m.	03:53 p.m.	11:23 a.m.
Temp Min. °C	13.02	14.36	10.05
Hora Temp Min	05:13 a.m.	07:10 a.m.	03:25 a.m.
Promedio	17.97	18.46	17.15
HUMEDAD RELATIVA %			
% Hum. Max	73.51	68.97	87.30
Hora % Hum. Max	05:15 a.m.	05:37 a.m.	04:56 a.m.
% Hum Min	41.77	45.04	33.40
Hora % Hum. Min	11:50 a.m.	12:11 p.m.	11:57 a.m.
Promedio	59.62	57.75	63.75

Tabla XII. Datos Comparativos Humedades Relativas y Temperaturas Experimento I. Fuente: Propia



EXPERIMENTO I / 31 ENERO 2013 / CULIACÁN SINALOA			
TEMPERATURA			
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Promedio	17.97	18.46	17.15
Varianza S1 Y S2	4.59		
Varianza S1, S2 y Ext.	4.52		
Desviación Estandar S1 y S2	2.14		
Desviación Estandar 3 Sensores	2.13		

Tabla XIII. Análisis Estadístico Temperaturas Experimento I. Fuente: Propia

EXPERIMENTO I / 31 ENERO 2013 / CULIACÁN SINALOA			
HUMEDAD			
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Promedio	59.62	57.75	63.75
Varianza S1 Y S2	7.16		
Varianza S1, S2 y Ext.	7.17		
Desviación E. S1 y S2	2.68		
Desviación Estandar 3 Sensores	2.68		

Tabla XIV. Análisis Estadístico Humedades Relativas Experimento I. Fuente: Propia

Los promedios de las temperaturas para la Célula de control son de 17.97°C, para la célula experimental de 18.46°C y el sensor exterior tiene un promedio de 17.15°C. Las temperaturas máximas en los 3 casos se presentan en las horas de la tarde excepto el sensor externo da una lectura a las 11:23am. Las temperaturas mínimas se dan a horas tempranas de la mañana.

La humedad relativa presenta un comportamiento interesante, se tiene un máximo en el exterior de 87.30% y un mínimo de 33.40%, la célula experimental tiene valores promedio de 57.75% y la célula de control tiene un valor promedio de 59.62%. Lo que sitúa a la célula de estudio por debajo de las dos mediciones, tanto en valores de humedad máxima como en porcentaje de humedad mínima.

A través de las gráficas de barras se grafican los promedios de los valores de temperatura y humedad relativa. Se observa que utilizando 2 Kgs de Zeolita la humedad se encuentra en un promedio de 58% mientras que la célula de control está cerca del 60% y el exterior en 64%. En la parte de la temperatura el comportamiento es completamente distinto a la parte de humedad la célula experimental presenta una temperatura promedio de 18.6°C. Mientras que la célula de control la temperatura llega a los 18°C y la temperatura exterior registra un valor de 17°C, casi un grado debajo de la temperatura de la célula experimental.

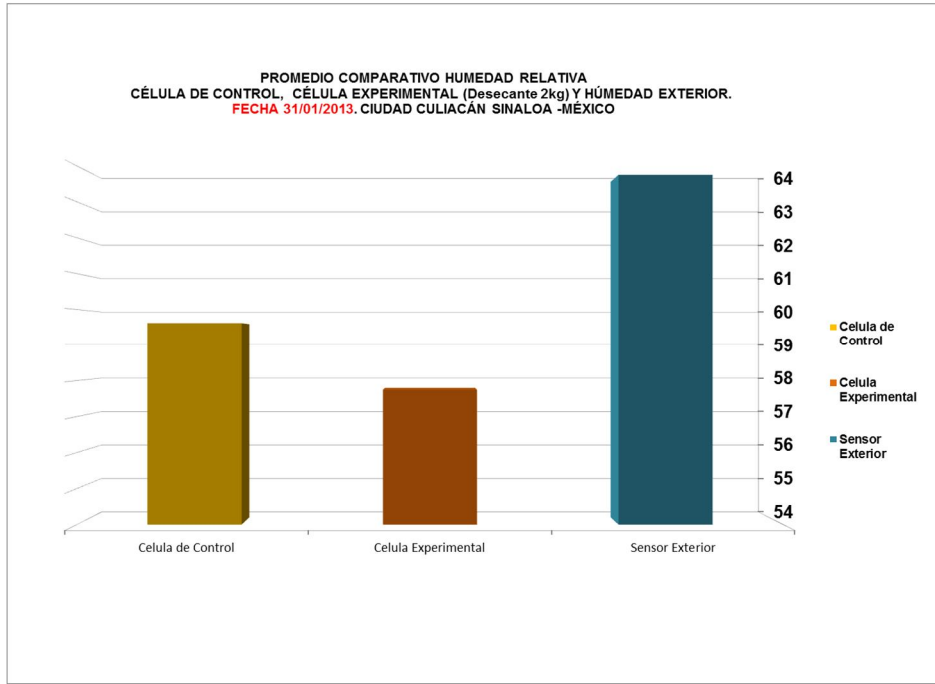


Fig116. Promedio Comparativo Humedad Relativa Experimento I. Fuente: Propia

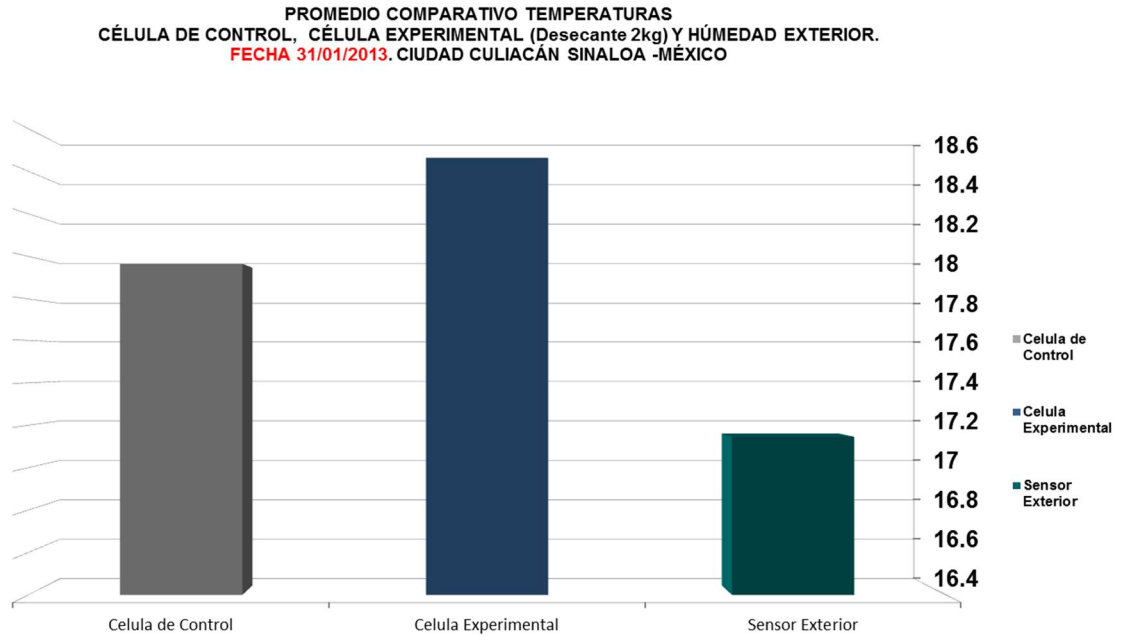


Fig.117. Promedio Comparativo Temperaturas Experimento I. Fuente: Propia



4.2 EXPERIMENTO II / 4Kg DE ZEOLITA 01 FEBRERO 2013/CULIACÁN SINALOA

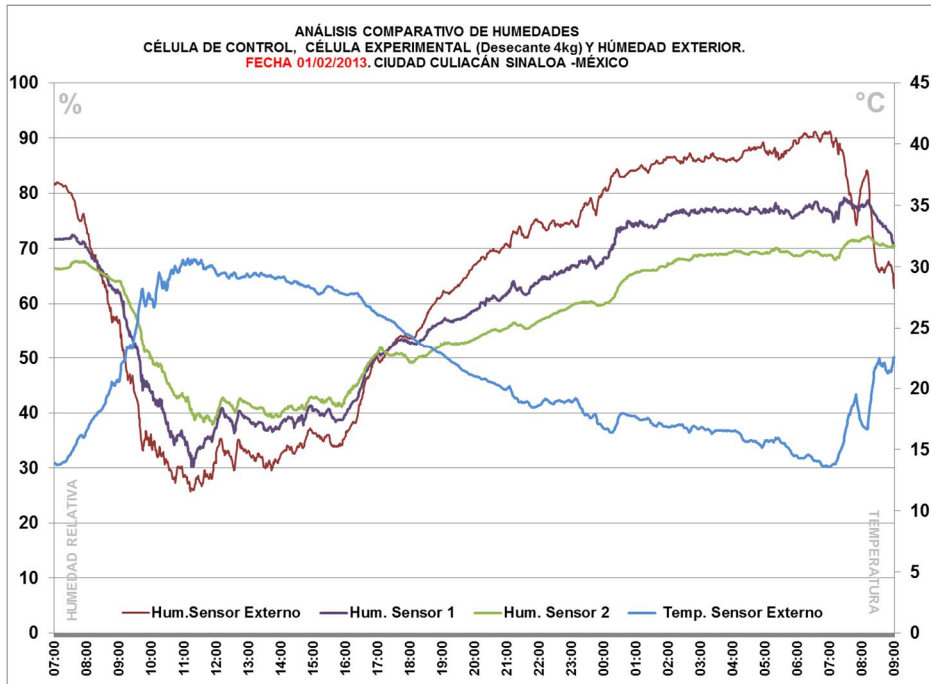


Fig.118. Análisis comparativo de humedades Exp. II. Fuente: Propia

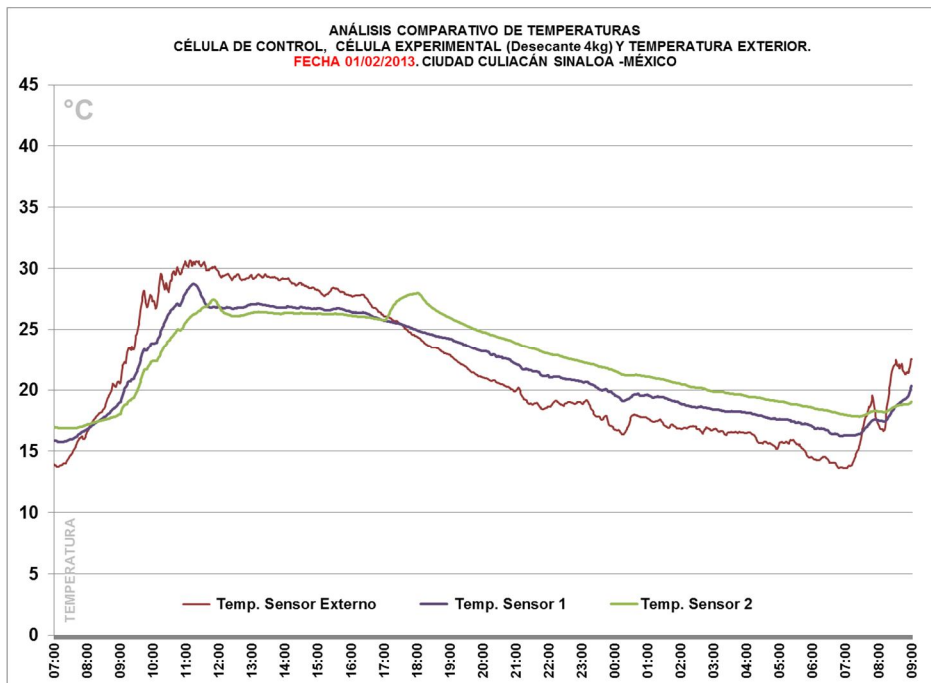


Fig. 119. Análisis Comparativo de Temperaturas Experimento II Fuente: Propia



DESVIACIÓN ESTANDAR COMPARATIVA DE HUMEDAD RELATIVA
 CÉLULA DE CONTROL, CÉLULA EXPERIMENTAL (Desecante 4kg) Y HUMEDAD EXTERIOR.
 FECHA 01/02/2013. CIUDAD CULIACÁN SINALOA -MÉXICO

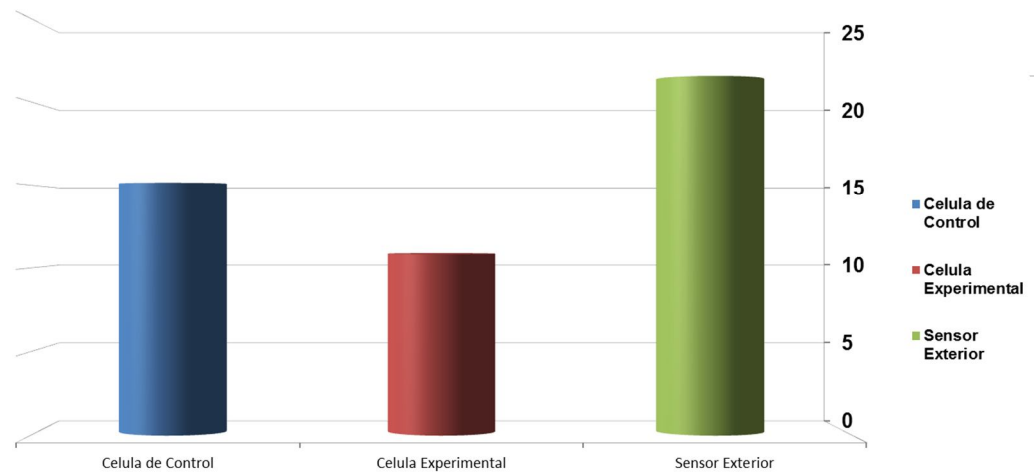


Fig. 120. Desviación estándar comparativa Experimento II Fuente: Propia

Se muestra la evolución de temperaturas y humedad para el día 01 de febrero, donde el artefacto desecante contiene 4kg de zeolita. Se observa un comportamiento similar al día del experimento I. En Las primeras horas del día la humedad de la célula experimental está por encima de la humedad exterior pero a partir de la 17:00 Hrs disminuye por debajo de la humedad exterior y mantiene este comportamiento. La humedad de la célula de control evoluciona en medio de la humedad exterior y la humedad de la célula experimental. En la temperatura, la evolución en la célula experimental empieza con una temperatura por debajo de la célula de control y la temperatura exterior y a las 17: 00 Hrs se incrementa y sube por encima de estas dos.

EXPERIMENTO II / FEBRERO 01 2013 / CULIACÁN SINALOA			
	Celula de Control	Célula Experimental	Exterior
TEMPERATURA °C			
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Temp. Max °C	28.74	28.00	30.67
Hora Temp Max	11:14 a.m.	06:02 p.m.	11:08 a.m.
Temp Min. °C	15.72	16.87	13.59
Hora Temp Min	07:09 a.m.	07:13 a.m.	06:59 a.m.
Promedio	21.70	22.42	21.43
HUMEDAD RELATIVA %			
% Hum. Max	79.14	72.25	91.20
Hora % Hum. Max	07:28 a.m.	08:12 a.m.	07:01 a.m.
% Hum Min	30.17	37.89	25.70
Hora % Hum. Min	11:15 a.m.	11:54 a.m.	11:13 a.m.
Promedio	60.23	57.14	63.43



EXPERIMENTO II / FEBRERO 01 2013 / CULIACÁN SINALOA			
TEMPERATURA			
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Promedio	21.70	22.42	21.43
Varianza S1 Y S2	4.59		
Varianza S1, S2 y Ext.	4.52		
Desviación Estandar S1 y S2	2.14		
Desviación Estandar 3 Sensores	2.13		

Tabla XV. Análisis Estadístico Temperaturas Experimento II. Fuente: Propia

EXPERIMENTO II / FEBRERO 01 2013 / CULIACÁN SINALOA			
HUMEDAD			
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Promedio	60.23	57.14	63.43
Varianza S1 Y S2	7.16		
Varianza S1, S2 y Ext.	7.17		
Desviación E. S1 y S2	2.68		
Desviación Estandar 3 Sensores	2.68		

Tabla XVI. Análisis Estadístico Temperaturas Experimento II. Fuente: Propia

Los rangos de temperatura máxima están entre los 28°C y 31°C, las horas en que se dan son alrededor del mediodía, en la célula experimental la temperatura máxima se presenta a las 18:02Hrs, los rangos de temperatura mínima están entre los 13°C hasta los 17°C, las horas de los valores son en las primeras horas de la mañana.

En la parte de humedad las humedades máximas están en los rangos que van desde 79% hasta 91.20%. La célula experimental tiene una humedad máxima de 72.25% a las 08:12Hrs, hora que también es cercana a las humedades máximas de los dos estudios. Los valores mínimos están alrededor del mediodía. El promedio de la célula experimental fue de 57.14%, mientras que la célula de control tiene un valor de 60.23% y la humedad exterior es de 63.43%.

La humedad en la célula experimental esta 3.09% por debajo de la célula de control y 6.29% de la humedad exterior. Lo cual indica un buen comportamiento del material desecante. Los rangos en que se dio la lectura para este día fueron de 0% a 64%. En el caso de la la temperatura se observa que en la célula experimental está por encima de los otros dos estudios, la célula experimental esta 0.72°C por encima de la célula de control y 0.99°C del sensor exterior.

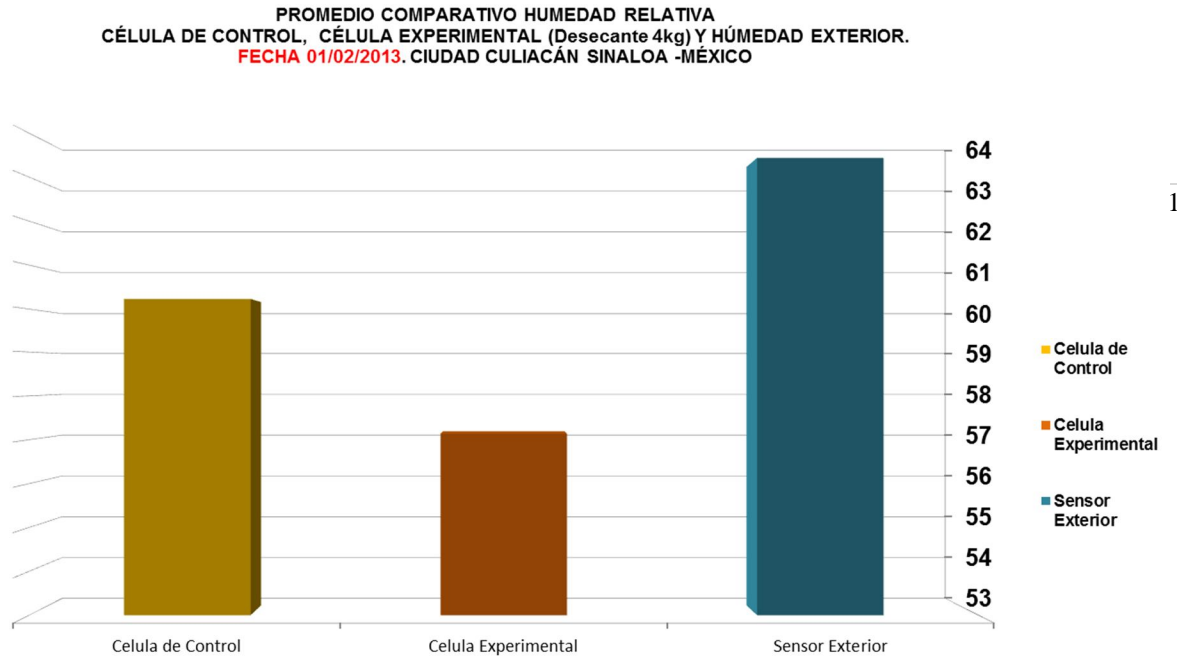


Fig.121. Promedio Comparativo Humedad Relativa Experimento I. Fuente: Propia

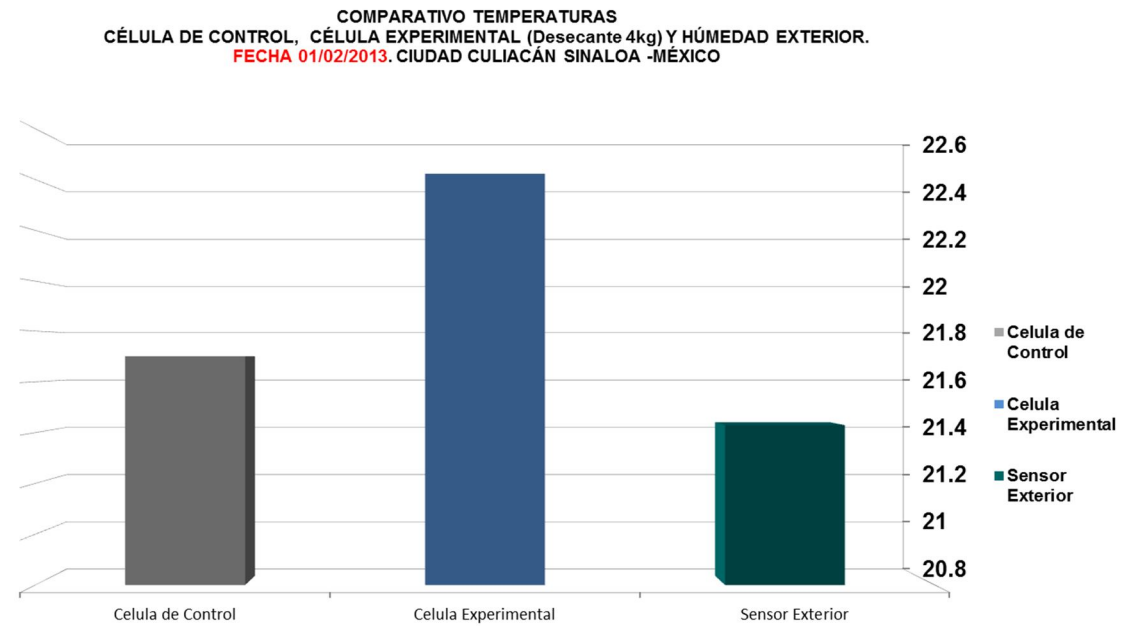


Fig.122. Promedio Comparativo Temperaturas Experimento II. Fuente: Propia



4.3 EXPERIMENTO III / 6Kg DE ZEOLITA 02 FEBRERO 2013/CULIACÁN SINALOA

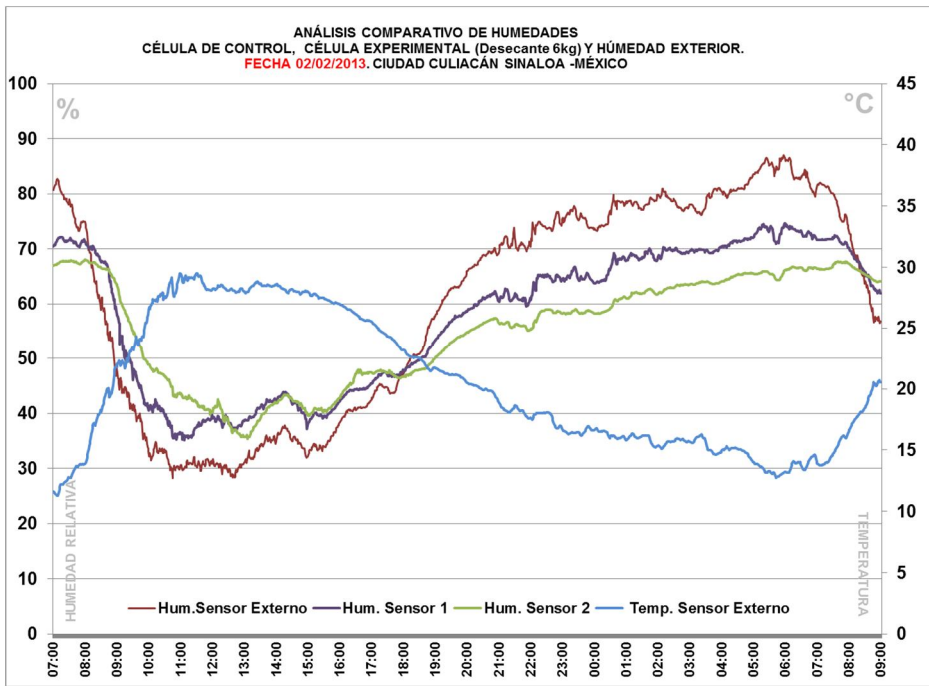


Fig.123. Análisis comparativo de humedades Exp. III. Fuente: Propia

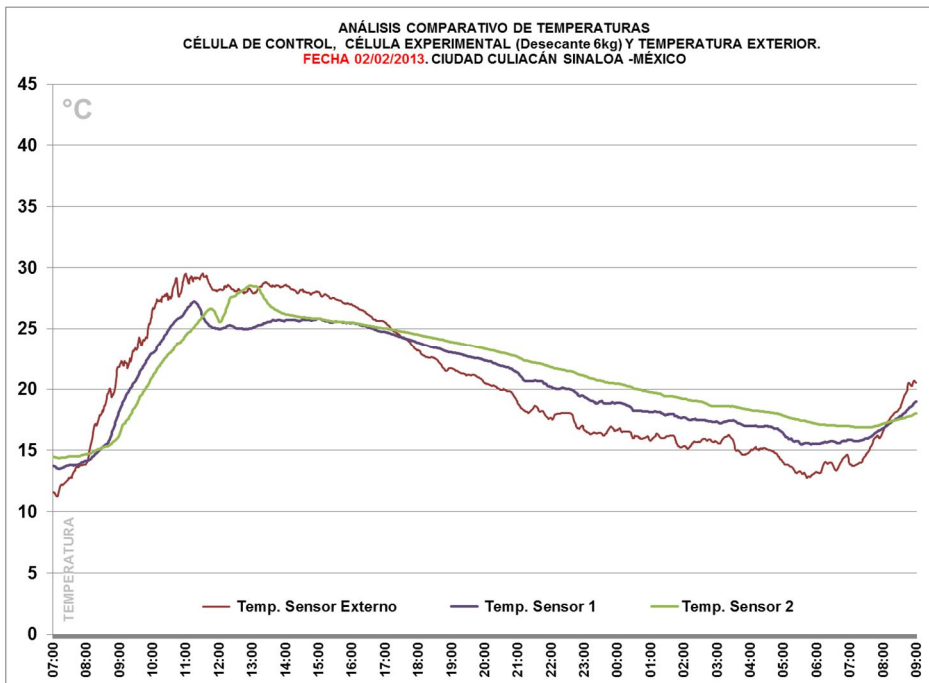


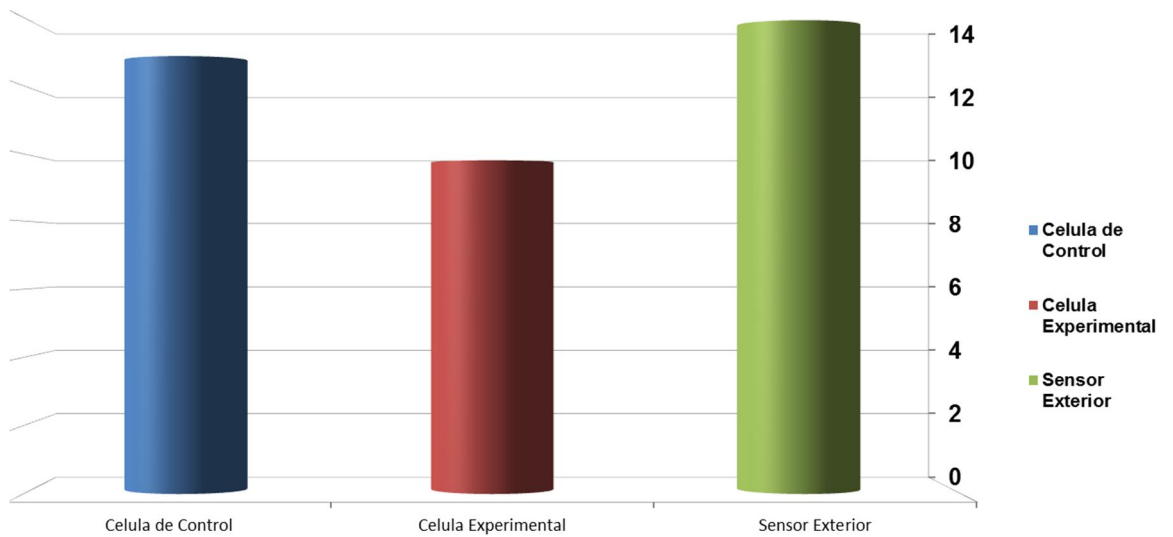
Fig. 124. Análisis Comparativo de Temperraturas Experimento I Fuente: Propia



En la evaluación con 6Kg de zeolita, el comportamiento de la humedad sigue el mismo patrón de los dos primeros experimentos. Los rangos en que está la humedad para este caso van desde 29% hasta 90% de humedad relativa. El comportamiento muestra humedades bajas en las mañanas y humedades altas a partir de las 18:00Hrs. La temperatura tiene una evolución contraria a la humedad relativa a lo largo del día las altas temperaturas se encuentran en las mañanas, presentándose la máxima cerca de la hora del mediodía y la temperatura más baja al amanecer.

El comportamiento de la temperatura en los módulos fue muy parecido a los dos experimentos anteriores. En la tarde la temperatura de la célula experimental está por encima de los otros dos estudios.

**DESVIACIÓN ESTANDAR COMPARATIVA DE HUMEDAD RELATIVA
CÉLULA DE CONTROL, CÉLULA EXPERIMENTAL (Desecante 6kg) Y HÚMEDAD EXTERIOR.
FECHA 02/02/2013. CIUDAD CULIACÁN SINALOA -MÉXICO**



EXPERIMENTO III / 02 DE FEBRERO 2013 / CULIACAN SINALOA			
	Celula de Control	Célula Experimental	Exterior
TEMPERATURA °C			
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Temp. Max °C	27.24	28.52	29.52
Hora Temp Max	11:15 a.m.	12:55 p.m.	11:30 a.m.
Temp Min. °C	13.50	14.36	11.27
Hora Temp Min	07:10 a.m.	07:10 a.m.	07:07 a.m.
Promedio	20.49	21.25	20.32
HUMEDAD RELATIVA %			
% Hum. Max	74.65	68.10	87.00
Hora % Hum. Max	05:59 a.m.	08:01 a.m.	05:57 a.m.
% Hum Min	35.07	35.39	28.20
Hora % Hum. Min	11:50 a.m.	12:11 p.m.	10:47 a.m.
Promedio	57.75	55.32	60.32

Tabla. XVII. Datos Comparativos Humedades Relativas y Temperaturas Experimento III. Fuente: Propia



EXPERIMENTO III / 02 DE FEBRERO 2013 / CULIACAN SINALOA			
TEMPERATURA			
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Promedio	20.49	21.25	20.32
Varianza S1 Y S2	4.59		
Varianza S1, S2 y Ext.	4.52		
Desviación Estandar S1 y S2	2.14		
Desviación Estandar 3 Sensores	2.13		

Tabla XVIII. Análisis Estadístico Temperaturas Experimento III. Fuente: Propia

EXPERIMENTO III / 02 DE FEBRERO 2013 / CULIACAN SINALOA			
HUMEDAD			
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Promedio	57.75	55.32	60.32
Varianza S1 Y S2	7.16		
Varianza S1, S2 y Ext.	7.17		
Desviación E. S1 y S2	2.68		
Desviación Estandar 3 Sensores	2.68		

Tabla XIX. Análisis Estadístico Humedad Relativa Experimento III. Fuente: Propia

Los rangos de temperatura máxima están entre los 27°C y 30°C, las horas en que se dan son alrededor del mediodía comenzando a las 11:15Hrs en la célula de control, en la célula experimental la temperatura máxima se presenta a las 12:55, los rangos de temperatura mínima están entre los 11°C hasta los 14°C, las horas de los valores son en el rango de las 07:00Hrs. En la parte de humedad las humedades máximas están en los rangos que van desde 74% hasta 87%.

La célula experimental tiene una humedad máxima de 68.10% a las 08:01Hrs, 3 horas después de que se presentan las humedades máximas en las dos mediciones, sus horas máximas fueron cercanas a las 06:00 Hrs. Los valores mínimos están alrededor del mediodía. El promedio de la célula experimental fue de 55.32%, mientras que la célula de control tiene un valor de 57.75% y la humedad exterior es de 60.32%.

La humedad en la célula experimental esta 2.43% por debajo de la célula de control y 5% de la humedad exterior. Lo cual indica un buen comportamiento del material desecante. Los rangos en que se dio la lectura para este día fueron de 0% a 60.5%. En el caso de la temperatura se observa que la temperatura en la célula experimental está por encima de los otros dos estudios, la célula experimental esta 0.76°C por encima de la célula de control y 0.93°C del sensor exterior.



PROMEDIO COMPARATIVO DE HUMEDAD RELATIVA
CÉLULA DE CONTROL, CÉLULA EXPERIMENTAL (Desecante 6kg) Y HÚMEDAD EXTERIOR.
FECHA 02/02/2013. CIUDAD CULIACÁN SINALOA -MÉXICO

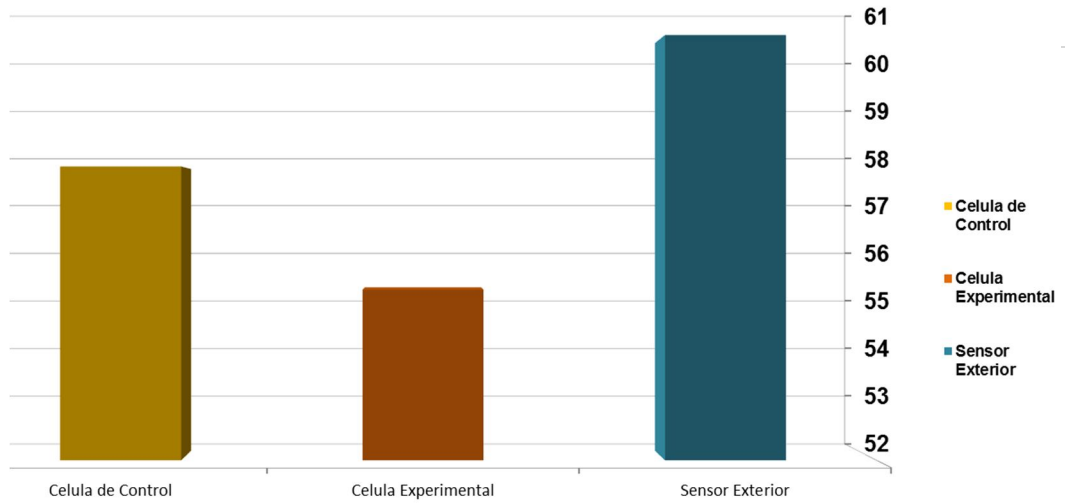


Fig.125. Promedio Comparativo Humedad Relativa Experimento III. Fuente: Propia

PROMEDIO COMPARATIVO TEMPERATURAS
CÉLULA DE CONTROL, CÉLULA EXPERIMENTAL (Desecante 6kg) Y HÚMEDAD EXTERIOR.
FECHA 02/02/2013. CIUDAD CULIACÁN SINALOA -MÉXICO

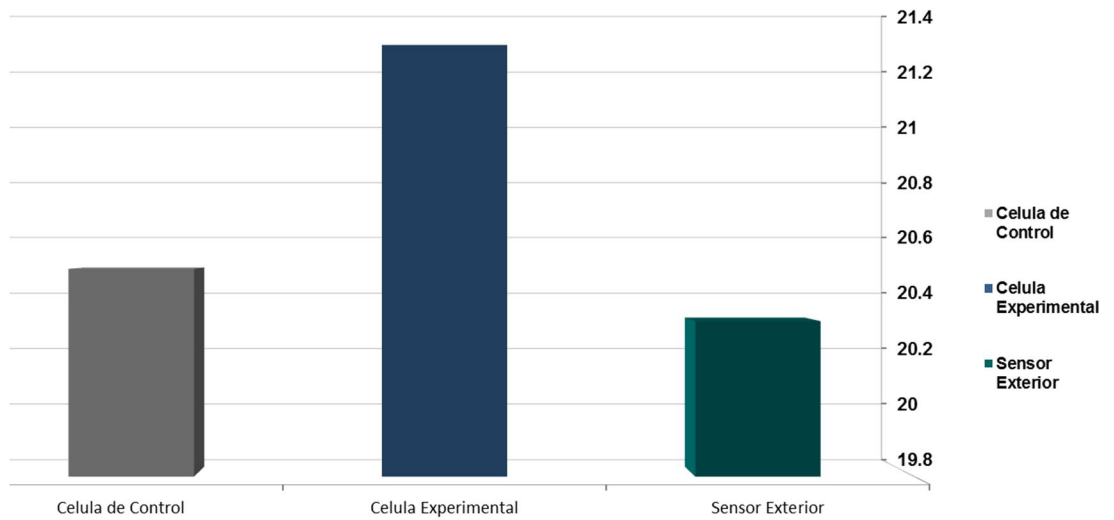


Fig.126. Promedio Comparativo Temperaturas Relativa Experimento III. Fuente: Propia



4.4 EXPERIMENTO IV / 6Kg DE ZEOLITA 04 MARZO 2013/CULIACÁN SINALOA

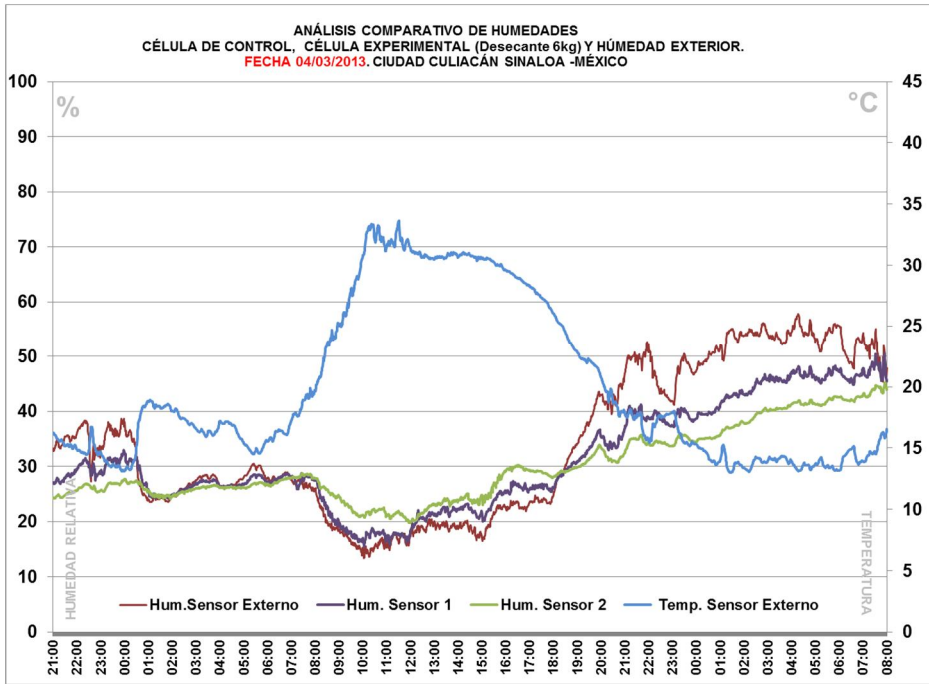


Fig.127 Análisis Comparativo de Humedades Experimento IV . Fuente: Propia

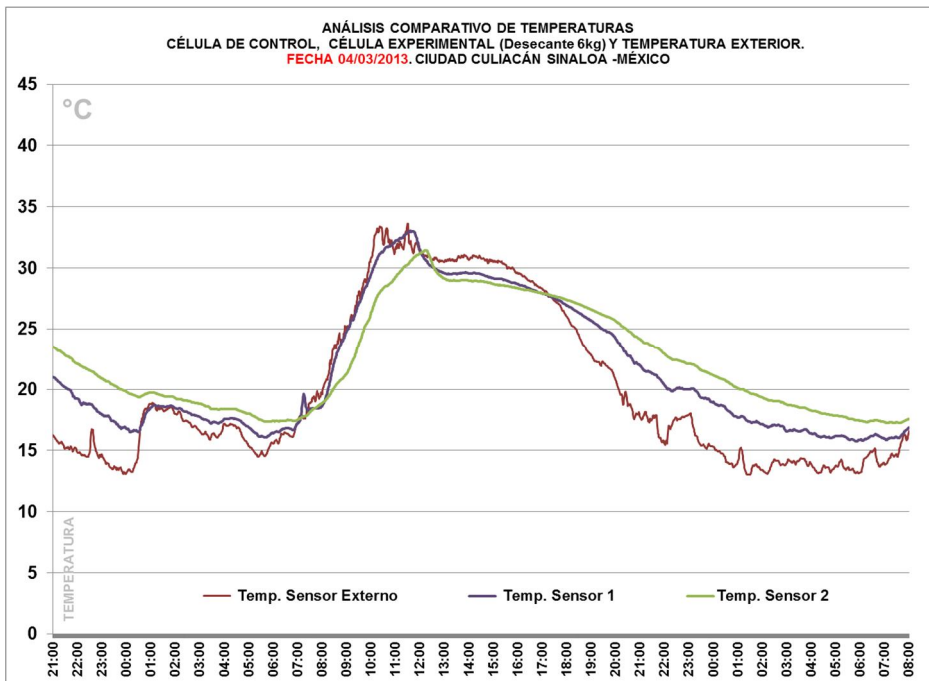
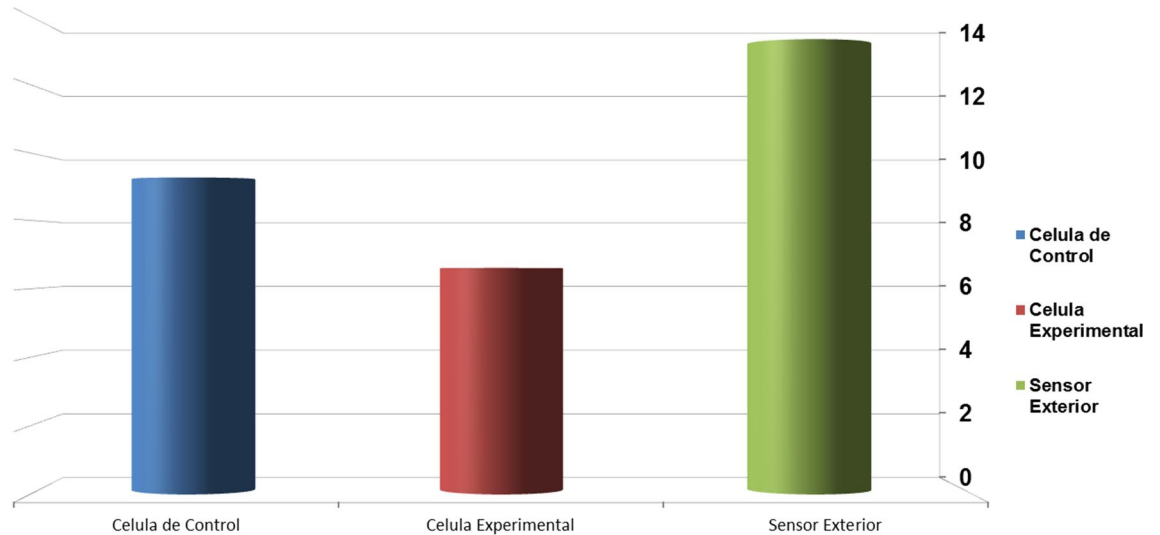


Fig.128. Análisis Comparativo de Temperaturas Experimento IV . Fuente: Propia



Se repite el experimento III con 6Kg de zeolita, con la variante de que la zeolita no será calentada en ningún momento del experimento. El comportamiento de la humedad es muy parecido al de los experimentos anteriores. A partir de las 17:00Hrs, la humedad se reduce en la célula experimental quedando encima de esta la humedad de la célula de control y la humedad exterior. Pasa de nuevo, se repite el patrón de la temperatura en el experimento en las primeras horas del día la temperatura presenta valores más bajos que la célula de control y el exterior, alrededor del mediodía hasta la tarde la temperatura aun presenta valores por debajo de las dos evaluaciones y a partir de las 18:00Hrs sube la temperatura por encima de las dos mediciones.

**DESVIACIÓN ESTANDAR COMPARATIVA DE HUMEDAD RELATIVA
CÉLULA DE CONTROL, CÉLULA EXPERIMENTAL (Desecante 6kg) Y HÚMEDAD EXTERIOR.
FECHA 04/03/2013. CIUDAD CULIACÁN SINALOA -MÉXICO**



EXPERIMENTO IV / 03 MARZO 2013 / CULIACÁN SINALOA			
	Celula de Control	Célula Experimental	Exterior
TEMPERATURA °C			
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Temp. Max °C	33.03	31.43	33.63
Hora Temp Max	11:37 a.m.	12:13 p.m.	11:31 a.m.
Temp Min. °C	15.72	17.25	13.02
Hora Temp Min	05:50 a.m.	07:37 a.m.	01:26 a.m.
Promedio	21.48	22.33	20.00
HUMEDAD RELATIVA %			
% Hum. Max	50.46	45.20	57.80
Hora % Hum. Max	07:31 a.m.	07:56 a.m.	04:17 a.m.
% Hum Min	15.43	19.75	34.11
Hora % Hum. Min	12:43 a.m.	11:56 a.m.	10:03 a.m.
Promedio	31.31	30.04	34.11

Tabla XX. Datos Comparativos Humedades Relativas y Temperaturas Experimento I. Fuente: Propia



EXPERIMENTO IV / 03 MARZO 2013 / CULIACÁN SINALOA			
TEMPERATURA			
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Promedio	21.48	22.33	20.00
Varianza S1 Y S2	4.39		
Varianza S1, S2 y Ext.	4.42		
Desviación Estandar S1 y S2	2.10		
Desviación Estandar 3 Sensores	2.10		

Tabla XXI. Análisis Estadístico Temperaturas Experimento IV. Fuente: Propia

EXPERIMENTO IV / 03 MARZO 2013 / CULIACÁN SINALOA			
HUMEDAD			
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Promedio	31.31	30.04	34.11
Varianza S1 Y S2	5.54		
Varianza S1, S2 y Ext.	5.64		
Desviación E. S1 y S2	2.35		
Desviación Estandar 3 Sensores	2.37		

Tabla XXII. Análisis Estadístico Humedades Experimento IV. Fuente: Propia

Los rangos en que evolucionan los datos de temperaturas máximas van de 31°C a 33°C. Las horas en que se dan son alrededor del mediodía comenzando a las 11:31Hrs en el exterior. En la célula de control la temperatura máxima se presenta a las 12:13Hrs. Los rangos de temperatura mínima están entre los 13°C hasta los 18°C, las horas en que se dan estas lecturas están en la madrugada y primeras horas de la mañana. En la parte de humedad las humedades máximas están en los rangos que van desde 45% hasta 58%. La célula experimental tiene una humedad máxima de 45.20% a las 07:56, 3 horas después de que se presentan las humedades máximas en el sensor exterior. Los valores mínimos están alrededor del mediodía. El promedio de la célula experimental fue de 30.4%, mientras que la célula de control tuvo un promedio de 31.31% y el exterior de 34.11%.

La humedad en la célula experimental está 1.27% por debajo de la célula de control y 4.07% de la humedad exterior. Lo cual indica un buen comportamiento del material desecante sin someterla al secado. Los rangos en que se dio la lectura para este día fueron de 0% a 34.5%.

En el caso de la temperatura se observa que la temperatura en la célula experimental está por encima de los otros dos estudios, la célula experimental está 0.85°C por encima de la célula de control y 2.33°C del sensor exterior.



PROMEDIO COMPARATIVO DE HUMEDAD RELATIVA
CÉLULA DE CONTROL, CÉLULA EXPERIMENTAL (Desecante 6kg) Y HÚMEDAD EXTERIOR.
FECHA 04/03/2013. CIUDAD CULIACÁN SINALOA -MÉXICO

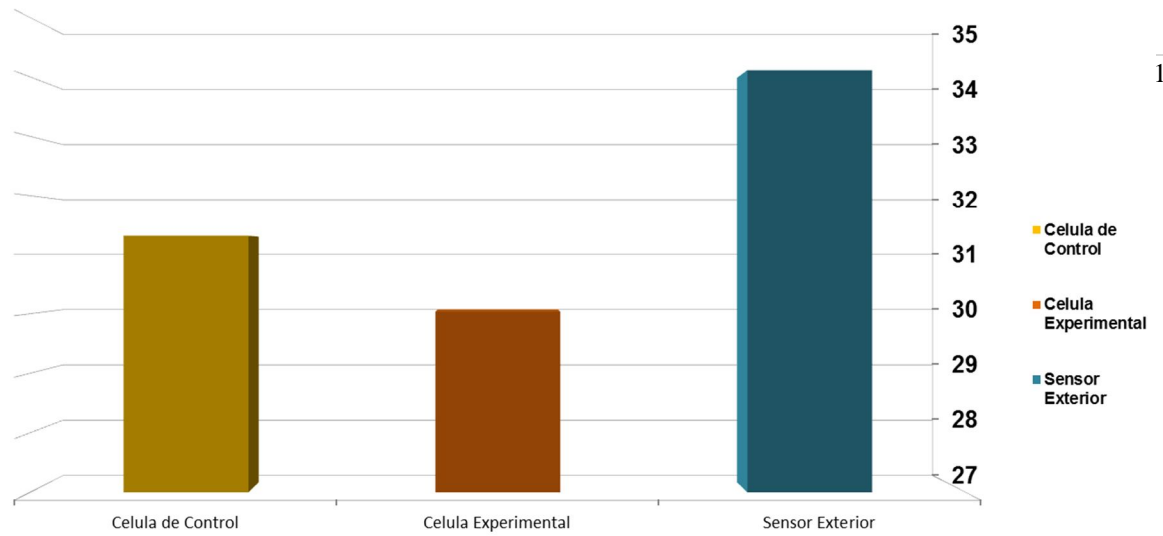


Fig.129 Promedio Comparativo Humedades Experimento IV . Fuente: Propia

PROMEDIO COMPARATIVO TEMPERATURAS
CÉLULA DE CONTROL, CÉLULA EXPERIMENTAL (Desecante 6kg) Y HÚMEDAD EXTERIOR.
FECHA 04/03/2013. CIUDAD CULIACÁN SINALOA -MÉXICO

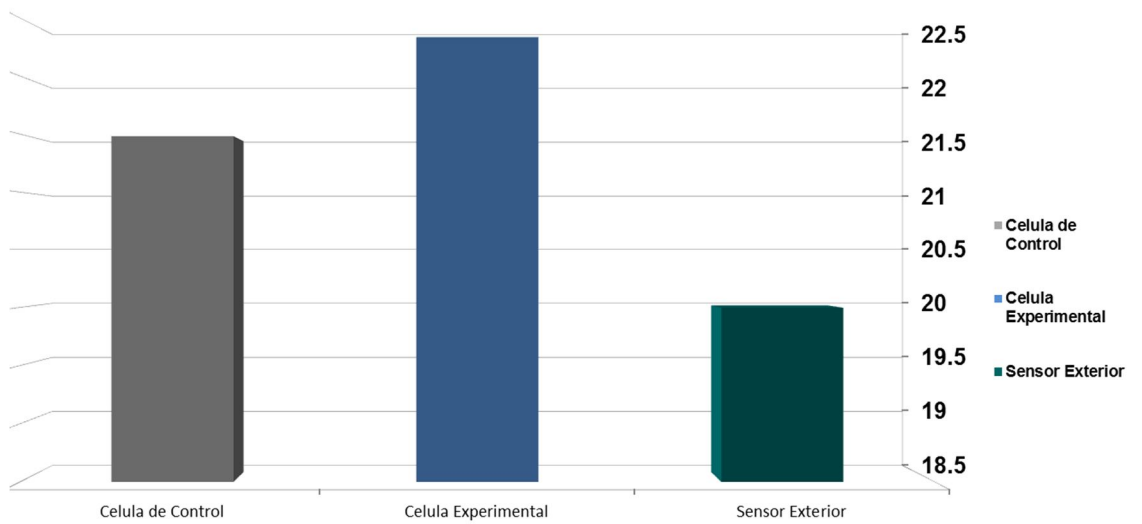


Fig.130. Promedio Comparativo Temperaturas Experimento IV . Fuente: Propia



4.5 EXPERIMENTO V / 6Kg DE ZEOLITA 06 MARZO 2013/CULIACÁN SINALOA

146

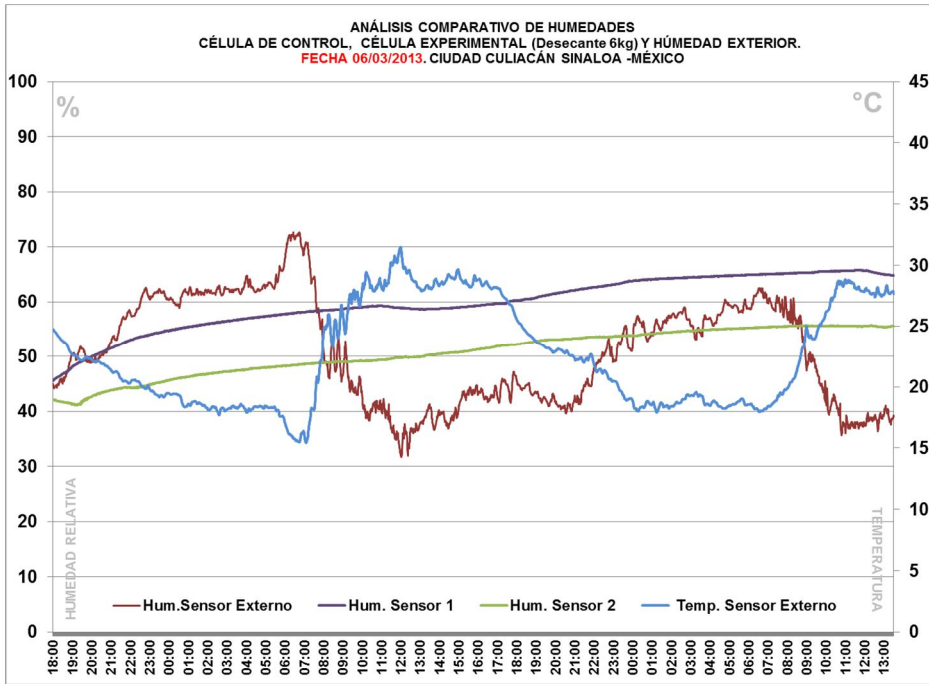


Fig.131. Análisis Comparativo de Humedades Experimento V . Fuente: Propia

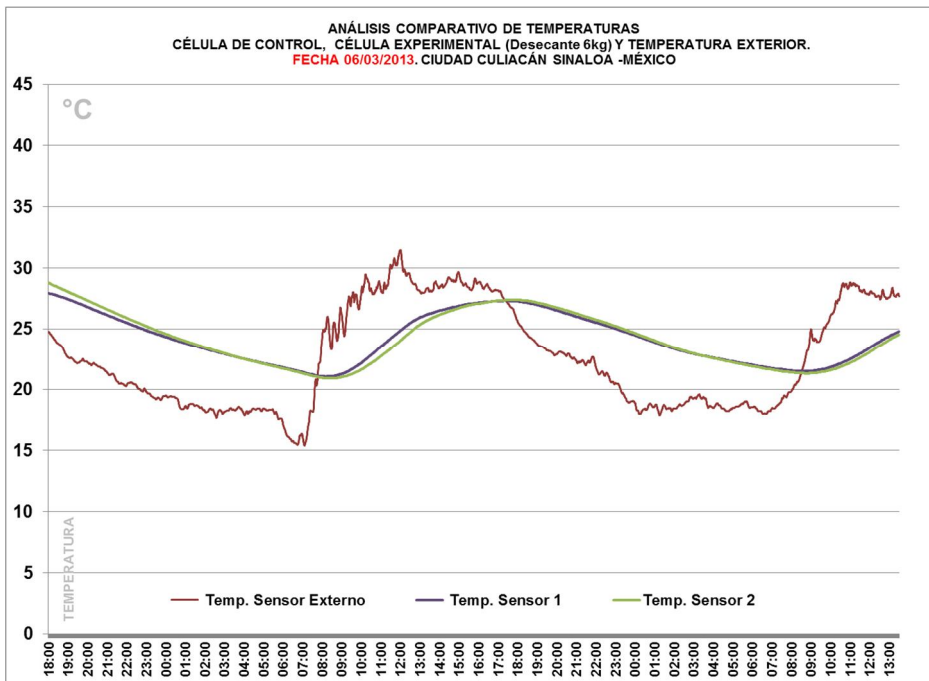
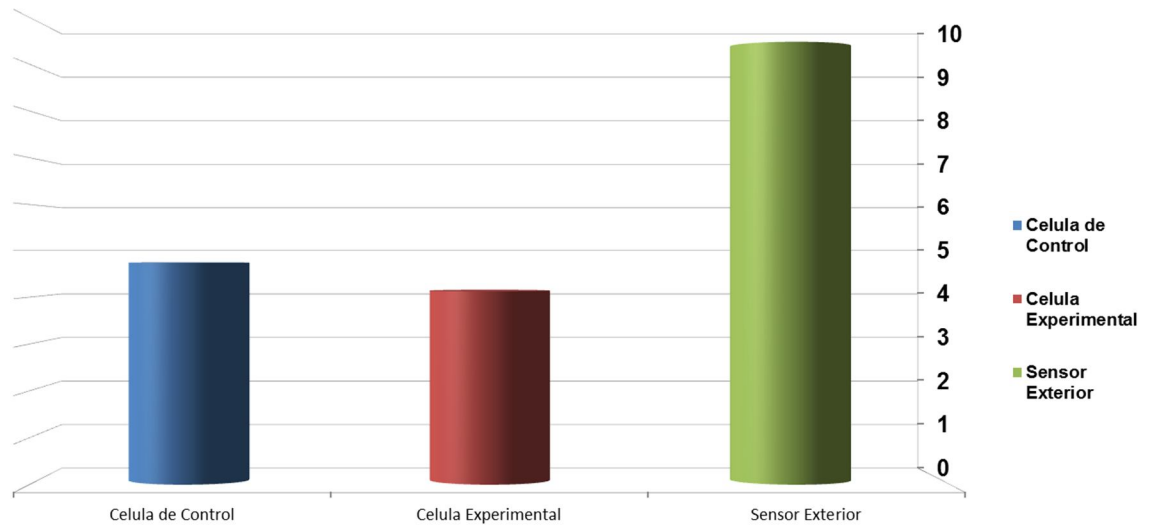


Fig.132. Análisis Comparativo de Temperaturas Experimento V . Fuente: Propia



Al cerrar las células de evaluación el comportamiento de la humedad cambia, excepto el exterior que mantiene su comportamiento normal, bajas humedades durante el mediodía y humedades altas en horas de la noche. El comportamiento en ambas células aparece como una línea ascendente donde se desenvuelven en el rango del 40% y el 60% de humedad relativa, se observa que los datos de humedad en la célula experimental se encuentran por debajo de la célula de control. En la temperatura el comportamiento entre la célula de control y la célula experimental es muy parecido incluso en algunas horas están las líneas sobrepuestas, sin embargo las temperaturas de ambas están por encima del exterior a partir de las 15:00Hrs hasta las 09:00 Hrs del otro día.

**DESVIACIÓN ESTANDAR COMPARATIVA DE HUMEDAD RELATIVA
CÉLULA DE CONTROL, CÉLULA EXPERIMENTAL (Desecante 6kg) Y HÚMEDAD EXTERIOR.
FECHA 06/03/2013. CIUDAD CULIACÁN SINALOA -MÉXICO**



EXPERIMENTO V / 06 MARZO 20103 / CULIACÁN SINALOA			
	Celula de Control	Célula Experimental	Exterior
TEMPERATURA °C			
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Temp. Max °C	27.31	27.41	31.48
Hora Temp Max	06:00 p.m.	06:00 p.m.	11:58 a.m.
Temp Min. °C	21.03	20.91	15.41
Hora Temp Min	08:09 a.m.	08:11 a.m.	07:05 a.m.
Promedio	24.13	24.11	22.55
HUMEDAD RELATIVA %			
% Hum. Max	65.78	55.70	72.60
Hora % Hum. Max	11:42 a.m.	10:22 a.m.	06:26 a.m.
% Hum Min	45.59	41.12	51.07
Hora % Hum. Min	06:00 p.m.	07:16 p.m.	12:01 p.m.
Promedio	59.79	50.73	51.07

Tabla XXII. Datos Comparativos Humedades Relativas y Temperaturas Experimento V. Fuente: Fuente: Propia



EXPERIMENTO V / 06 MARZO 20103 / CULIACÁN SINALOA			
TEMPERATURA			
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Promedio	24.13	24.11	22.55
Varianza S1 Y S2	4.39		
Varianza S1, S2 y Ext.	4.42		
Desviación Estandar S1 y S2	2.10		
Desviación Estandar 3 Sensores	2.10		

Tabla XXIII. Análisis Estadístico Temperaturas Experimento V. Fuente: Propia

EXPERIMENTO V / 06 MARZO 20103 / CULIACÁN SINALOA			
HUMEDAD			
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Promedio	59.79	50.73	51.07
Varianza S1 Y S2	5.54		
Varianza S1, S2 y Ext.	5.64		
Desviación E. S1 y S2	2.35		
Desviación Estandar 3 Sensores	2.37		

Tabla XXIV. Análisis Estadístico Humedades Experimento V. Fuente: Propia

Los rangos en que evolucionan los datos de temperaturas máximas van de 27°C a 31°C. La temperatura máxima en el exterior es a las 11:58Hrs mientras que en ambas células se da a las 06:00Hrs. Las temperaturas mínimas para los tres casos se dan en las primeras horas del día, los rangos están entre los 15°C y los 21°C..

Los valores máximos de humedad relativa se dan para la célula de control a las 11:42Hrs, a las 10:22 Hrs con un porcentaje de 55.40% en la célula experimental y a las 06:26 Hrs un 72.60% de humedad relativa. La humedad relativa en la célula experimental se da 4 horas después de tener la humedad máxima en el exterior. Los valores de humedad mínima se dan entre las 6 y 7 de la tarde en ambas células, mientras que en el exterior se da a las 12:01Hrs.

La humedad en la célula experimental tiene una diferencia de 9.06% con respecto a la célula de control y una diferencia de 0.34% con la humedad relativa exterior. Los Rangos van de 0% hasta 60% de humedad relativa. En el caso de la temperatura se observa que la temperatura de la célula experimental tiene una diferencia con respecto la célula de control de 0.02°C, el exterior y la célula experimental tiene una diferencia de 1.56°C.



COMPARATIVO PROMEDIO DE HUMEDAD RELATIVA
CÉLULA DE CONTROL, CÉLULA EXPERIMENTAL (Desecante 6kg) Y HÚMEDAD EXTERIOR.
FECHA 06/03/2013. CIUDAD CULIACÁN SINALOA -MÉXICO

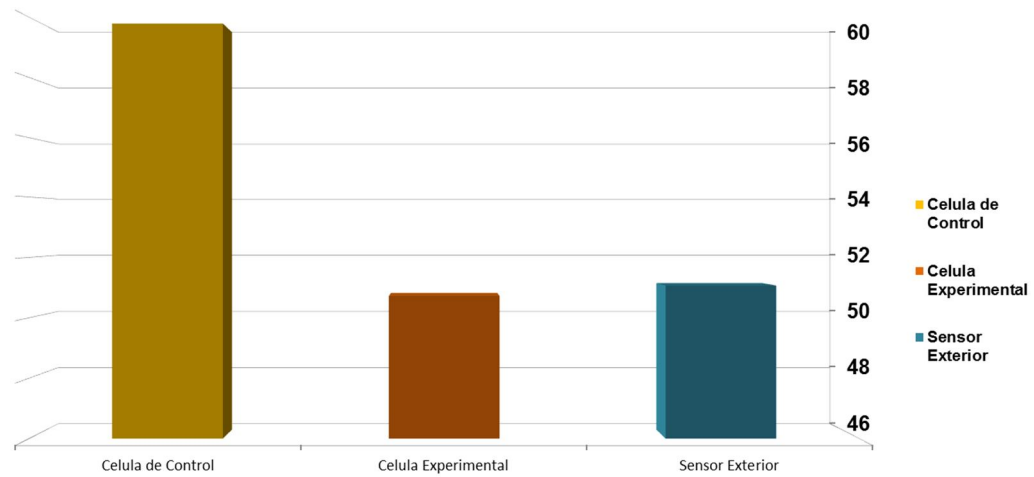


Fig.133. Comparativo Promedio Humedades Experimento V . Fuente: Propia

COMPARATIVO DE TEMPERATURAS
CÉLULA DE CONTROL, CÉLULA EXPERIMENTAL (Desecante 6kg) Y HÚMEDAD EXTERIOR.
FECHA 06/03/2013. CIUDAD CULIACÁN SINALOA -MÉXICO

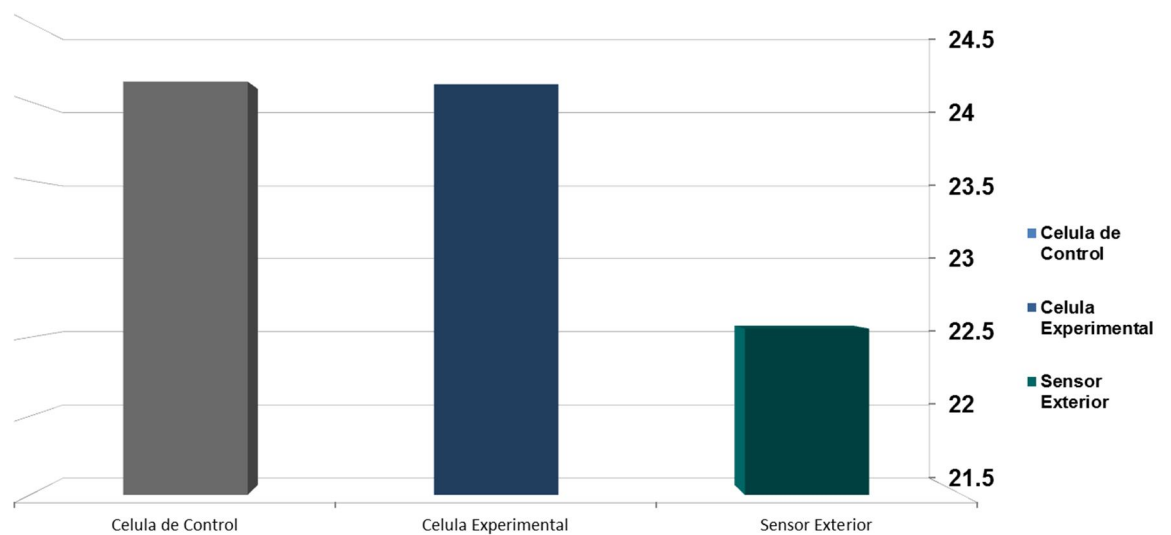


Fig.134. Comparativo Promedio Temperaturas Experimento V . Fuente: Propia



4.6 EXPERIMENTO VI / 6Kg DE ZEOLITA 27 MARZO 2013/CULIACÁN SINALOA

150

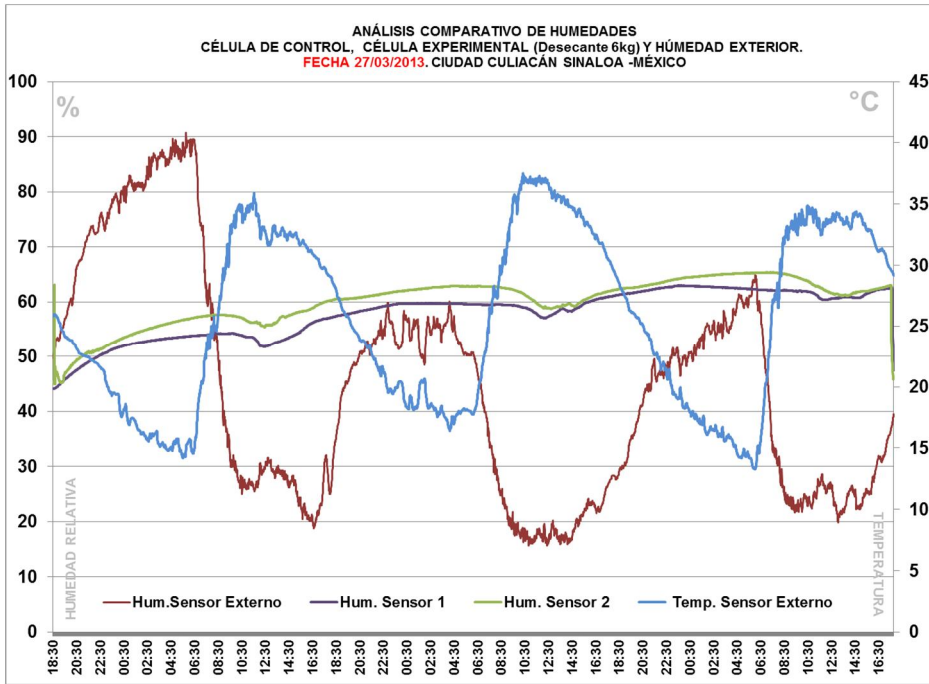


Fig.135. Análisis Comparativo de Humedades Experimento VI . Fuente: Propia

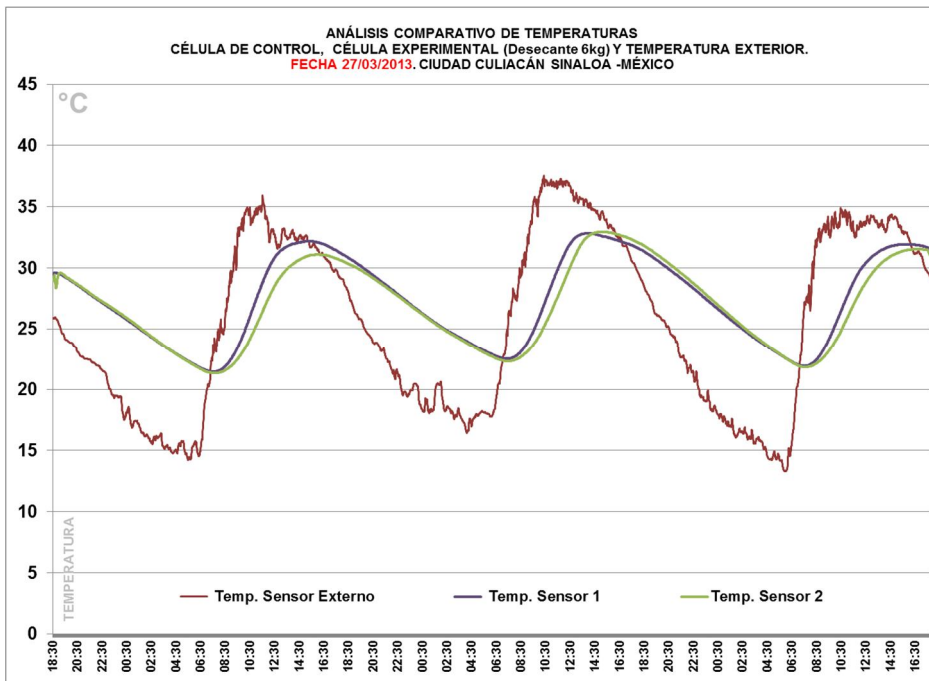
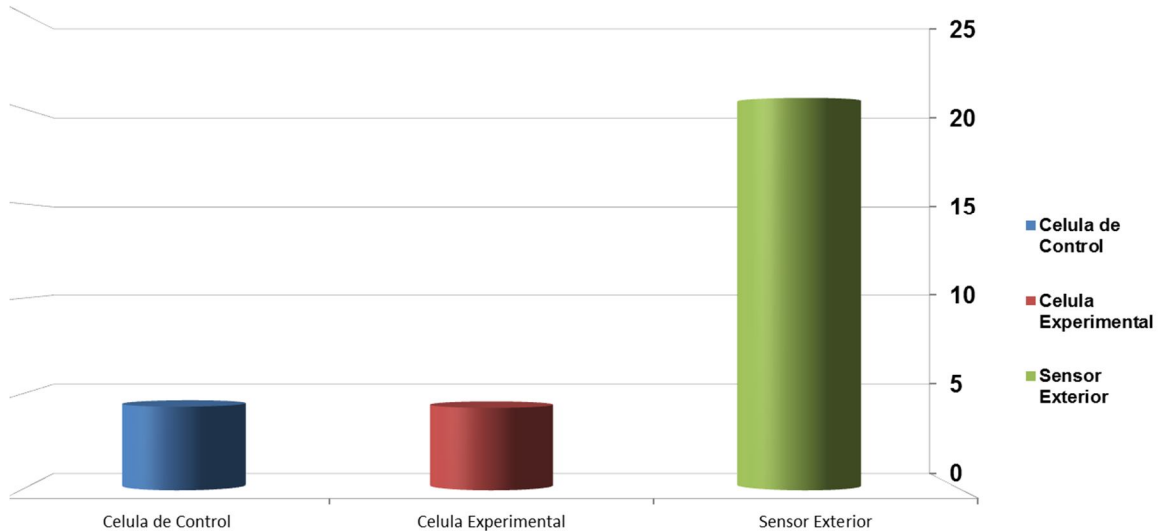


Fig.136. Análisis Comparativo de Temperaturas Experimento VI . Fuente: Propia



Esta evaluación presenta un comportamiento parecido al experimento anterior, ya que las células de estudio se encuentran cerradas con un panel de poliestireno en cada uno de sus vanos. El comportamiento de la humedad cambia completamente a lo que pasa en el exterior y se convierte en una línea continua con pocas variaciones, en este caso la humedad en la célula experimental tiene una distribución menor que la célula de control. En las horas donde la humedad es alta en el exterior, la humedad relativa de ambos módulos es más baja, cuando la humedad en el exterior disminuye la humedad en el interior de los módulos está alta. La temperatura tiene un movimiento dinámico y su comportamiento se asemeja al sensor exterior.

**DESVIACIÓN ESTANDAR COMPARATIVA DE HUMEDAD RELATIVA
CÉLULA DE CONTROL, CÉLULA EXPERIMENTAL (Desecante 6kg) Y HÚMEDAD EXTERIOR.
FECHA 27/03/2013. CIUDAD CULIACÁN SINALOA -MÉXICO**



EXPERIMENTO VI / 27 MARZO 2013 / CULIACÁN SINALOA			
	Celula de Control	Célula Experimental	Exterior
TEMPERATURA °C			
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Temp. Max °C	32.85	32.95	37.54
Hora Temp Max	02:02 p.m.	02:51 p.m.	10:21 a.m.
Temp Min. °C	21.46	21.34	13.28
Hora Temp Min	07:22 a.m.	07:26 a.m.	06:01 a.m.
Promedio	27.37	26.97	25.49
HUMEDAD RELATIVA %			
% Hum. Max	63.00	65.39	90.80
Hora % Hum. Max	11:46 p.m.	07:03 a.m.	05:46 a.m.
% Hum Min	44.07	44.94	15.60
Hora % Hum. Min	06:30 p.m.	06:39 p.m.	12:24 p.m.
Promedio	57.85	60.02	44.23

Tabla XXV. Datos Comparativos Humedades Relativas y Temperaturas Experimento VI. Fuente. Fuente: Propia



EXPERIMENTO VI / 27 MARZO 2013 / CULIACÁN SINALOA			
TEMPERATURA			
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Promedio	27.37	26.97	25.49
Varianza S1 Y S2	4.59		
Varianza S1, S2 y Ext.	4.52		
Desviación Estandar S1 y S2	2.14		
Desviación Estandar 3 Sensores	2.13		

Tabla XXVI. Análisis Estadístico Temperaturas VI. Fuente: Fuente: Propia

EXPERIMENTO VI / 27 MARZO 2013 / CULIACÁN SINALOA			
HUMEDAD			
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Promedio	57.85	60.02	44.23
Varianza S1 Y S2	7.16		
Varianza S1, S2 y Ext.	7.17		
Desviación E. S1 y S2	2.68		
Desviación Estandar 3 Sensores	2.68		

Tabla XXVII. Análisis Estadístico Humedades VI. Fuente: Fuente: Propia

Los rangos en que evolucionan los datos de temperaturas máximas van de 32°C a 27°C. La temperatura máxima en el exterior es a las 10:21Hrs mientras que en ambas células se da a las 06:00Hrs. Las temperaturas mínimas para los tres casos se dan en las primeras horas del día, los rangos están entre los 13°C y los 21°C..

Los valores máximos de humedad relativa se dan para la célula de control a las 11:46Hrs, a las 07:03 Hrs con un porcentaje de 65.39% en la célula experimental y a las 05:46 Hrs un 90.80% de humedad relativa. La humedad relativa en la célula experimental se da 2 horas después de tener la humedad máxima en el exterior. Los valores de humedad mínima se dan entre las 6 y 7 de la tarde en ambas células, mientras que en el exterior se da a las 12:24Hrs.

La humedad en la célula experimental tiene una diferencia de 2.17% con respecto a la célula de control y una diferencia de 15.79% con la humedad relativa exterior. Los Rangos van de 0% hasta 65% de humedad relativa. En el caso de la temperatura se observa que la temperatura de la célula experimental tiene una diferencia con respecto la célula de control de 0.4°C, el exterior y la célula experimental tiene una diferencia de 1.48°C.

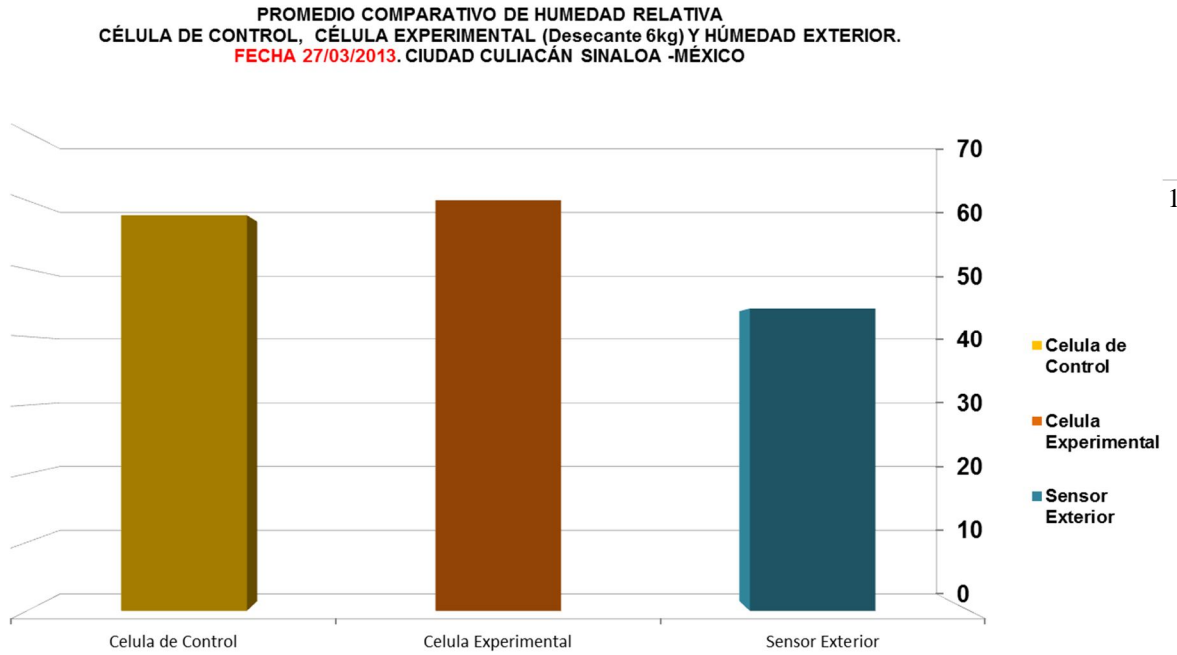


Fig.137. Promedio Comparativo Humedades Experimento VI . Fuente: Propia

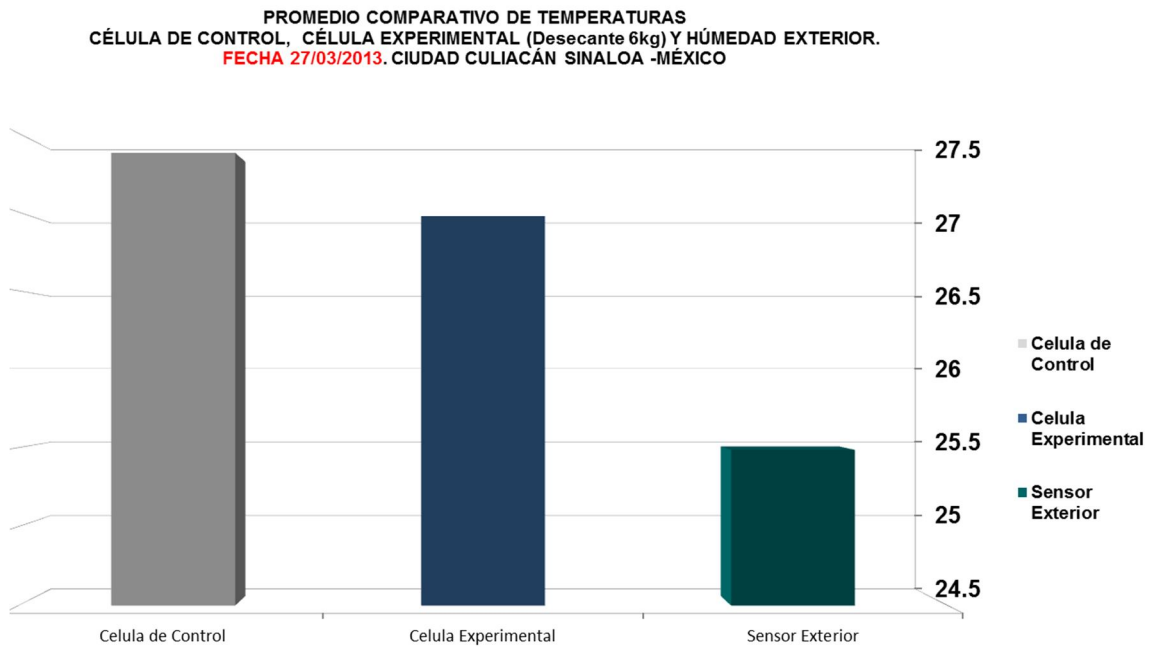


Fig.138. Promedio Comparativo Temperaturas Experimento VI . Fuente: Propia



4.7 EXPERIMENTO VII / 6Kg DE ZEOLITA 30 MARZO 2013/CULIACÁN SINALOA

154

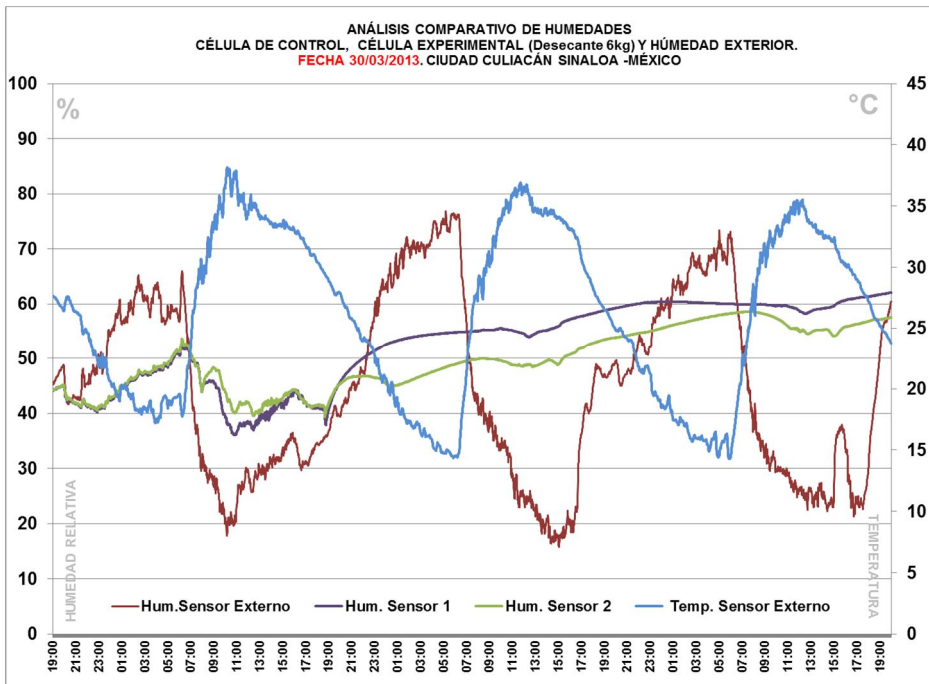


Fig.139. Análisis Comparativo Humedades Experimento VII . Fuente: Propia

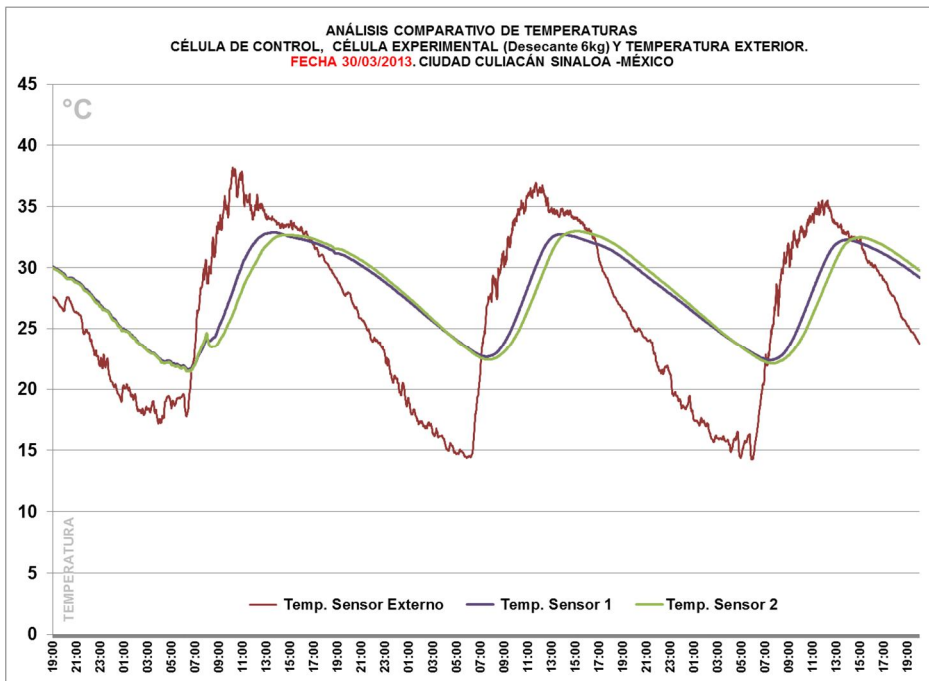
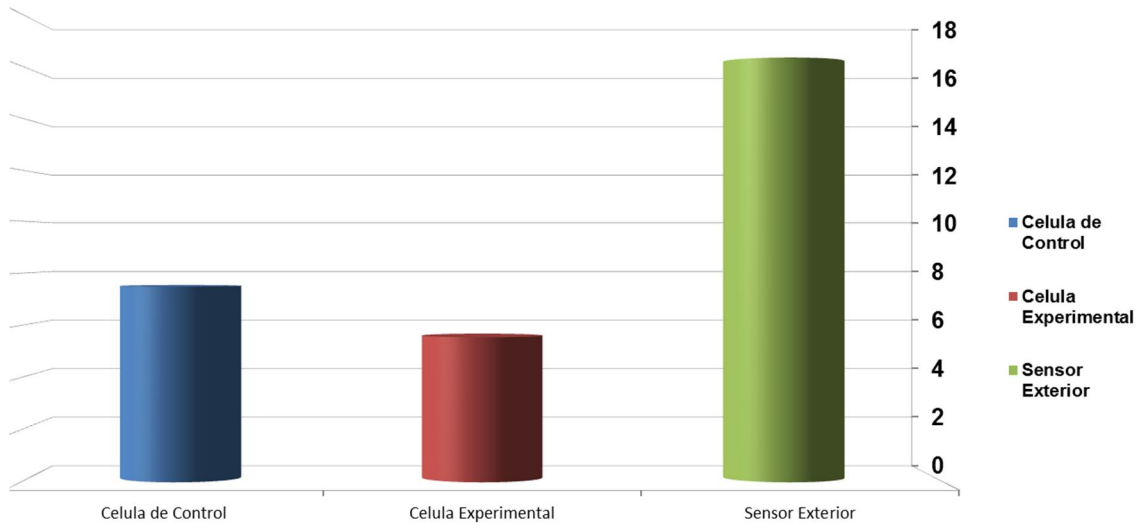


Fig.140. Análisis Comparativo Temperaturas Experimento VII . Fuente: Propia



Esta evaluación presenta un comportamiento parecido al experimento anterior, ya que las células de estudio se encuentran cerradas con un panel de poliestireno en cada uno de sus vanos. El comportamiento de la humedad cambia completamente a lo que pasa en el exterior y se convierte en una línea continua con pocas variaciones, en este caso la humedad en la célula experimental tiene una distribución mucho menor que la célula de control. En las horas donde la humedad es alta en el exterior, la humedad relativa de ambos módulos es más baja, cuando la humedad en el exterior disminuye la humedad en el interior de los módulos está alta. La temperatura tiene un movimiento dinámico y su comportamiento se asemeja al sensor exterior.

**DESVIACIÓN ESTANDAR COMPARATIVA DE HUMEDAD RELATIVA
CÉLULA DE CONTROL, CÉLULA EXPERIMENTAL (Desecante 6kg) Y HÚMEDAD EXTERIOR.
FECHA 30/03/2013. CIUDAD CULIACÁN SINALOA -MÉXICO**



EXPERIMENTO VII / 30 MARZO 2013 / CULIACÁN SINALOA			
	Celula de Control	Célula Experimental	Exterior
TEMPERATURA °C			
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Temp. Max °C	32.90	32.98	38.17
Hora Temp Max	01:31 p.m.	02:54 p.m.	10:10 a.m.
Temp Min. °C	21.63	21.46	14.27
Hora Temp Min	06:18 a.m.	06:20 a.m.	05:52 a.m.
Promedio	27.86	27.70	26.13
HUMEDAD RELATIVA %			
% Hum. Max	62.08	58.62	76.80
Hora % Hum. Max	07:57 p.m.	07:24 a.m.	05:12 a.m.
% Hum Min	36.05	39.26	15.80
Hora % Hum. Min	10:46 a.m.	06:40 p.m.	03:03 p.m.
Promedio	52.55	49.77	44.63

Tabla XXVIII. Datos Comparativos Humedades Relativas y Temperaturas Experimento VII. Fuente: Propia



EXPERIMENTO VII / 30 MARZO 2013 / CULIACÁN SINALOA			
TEMPERATURA			
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Promedio	27.86	27.70	26.13
Varianza S1 Y S2	4.59		
Varianza S1, S2 y Ext.	4.52		
Desviación Estandar S1 y S2	2.14		
Desviación Estandar 3 Sensores	2.13		

Tabla XXIX. Análisis Estadístico Temperaturas Experimento VII. Fuente: Propia

EXPERIMENTO VII / 30 MARZO 2013 / CULIACÁN SINALOA			
HUMEDAD			
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Promedio	52.55	49.77	44.63
Varianza S1 Y S2	7.16		
Varianza S1, S2 y Ext.	7.17		
Desviación E. S1 y S2	2.68		
Desviación Estandar 3 Sensores	2.68		

Tabla XXX. Análisis Estadístico Humedades Experimento VII. Fuente: Propia

Los rangos en que evolucionan los datos de temperaturas máximas van de 32°C a 38°C. La temperatura máxima en el exterior es a las 10:10Hrs mientras que en ambas células se da al mediodía. Las temperaturas mínimas para los tres casos se dan en las primeras horas del día, los rangos están entre los 14°C y los 22°C..

Los valores máximos de humedad relativa se dan para la célula de control a las 07:57Hrs, a las 07:24 Hrs con un porcentaje de 58.62% en la célula experimental y a las 05:12 Hrs un 76.80% de humedad relativa. La humedad relativa en la célula experimental se da 2 horas después de tener la humedad máxima en el exterior. Los valores de humedad mínima se dan a lo largo del día en ambas células, mientras que en el exterior se da a las 03:03Hrs.

La humedad en la célula experimental tiene una diferencia de 2.78% con respecto a la célula de control y una diferencia de 5.4% con la humedad relativa exterior. Los Rangos van de 0% hasta 54% de humedad relativa.

En el caso de la temperatura se observa que la temperatura de la célula experimental tiene una diferencia con respecto la célula de control de 0.16°C, el exterior y la célula experimental tiene una diferencia de 1.57°C.



PROMEDIOS COMPARATIVOS DE HUMEDAD RELATIVA
CÉLULA DE CONTROL, CÉLULA EXPERIMENTAL (Desecante 6kg) Y HÚMEDAD EXTERIOR.
FECHA 30/03/2013. CIUDAD CULIACÁN SINALOA -MÉXICO

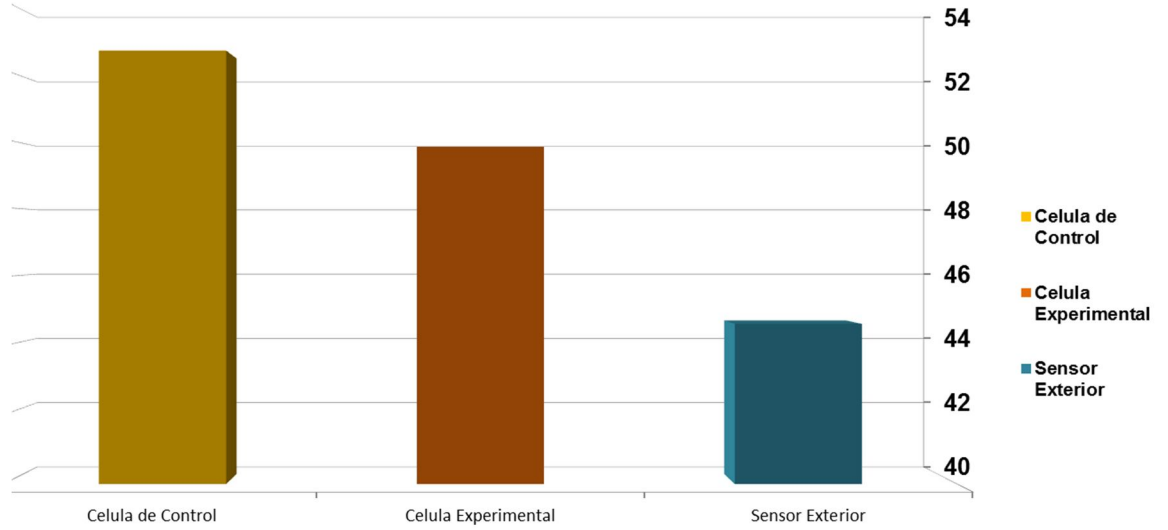


Fig.141. Promedios Comparativos de Humedades Experimento VII . Fuente: Propia

PROMEDIO COMPARATIVOS DE TEMPERATURAS
CÉLULA DE CONTROL, CÉLULA EXPERIMENTAL (Desecante 6kg) Y HÚMEDAD EXTERIOR.
FECHA 30/03/2013. CIUDAD CULIACÁN SINALOA -MÉXICO

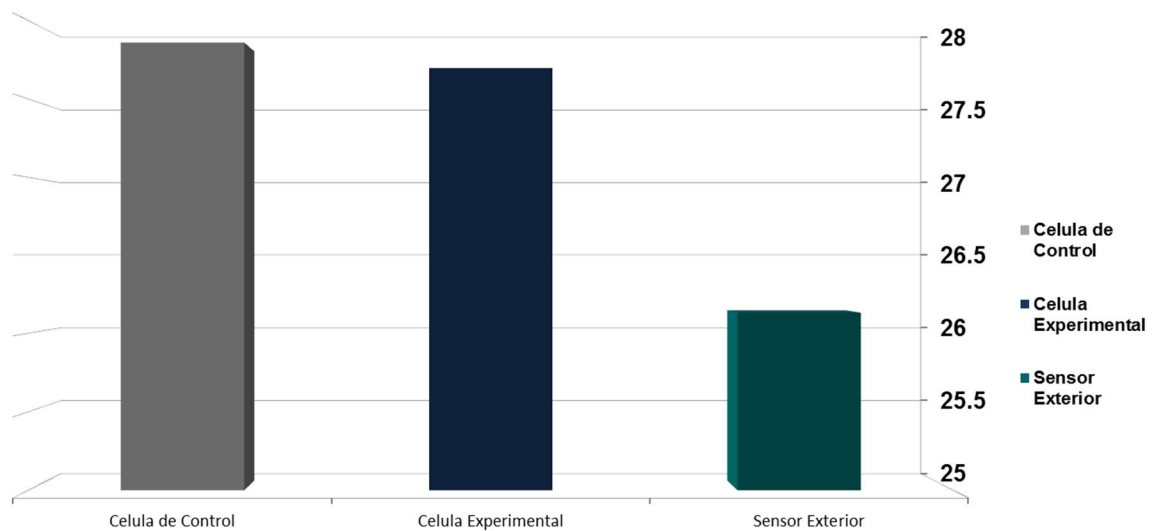


Fig.142. Promedios Comparativos de Temperaturas Experimento VII . Fuente: Propia



4.8 EXPERIMENTO VIII / 6Kg DE ZEOLITA 04 de Julio 2013/CULIACÁN SINALOA

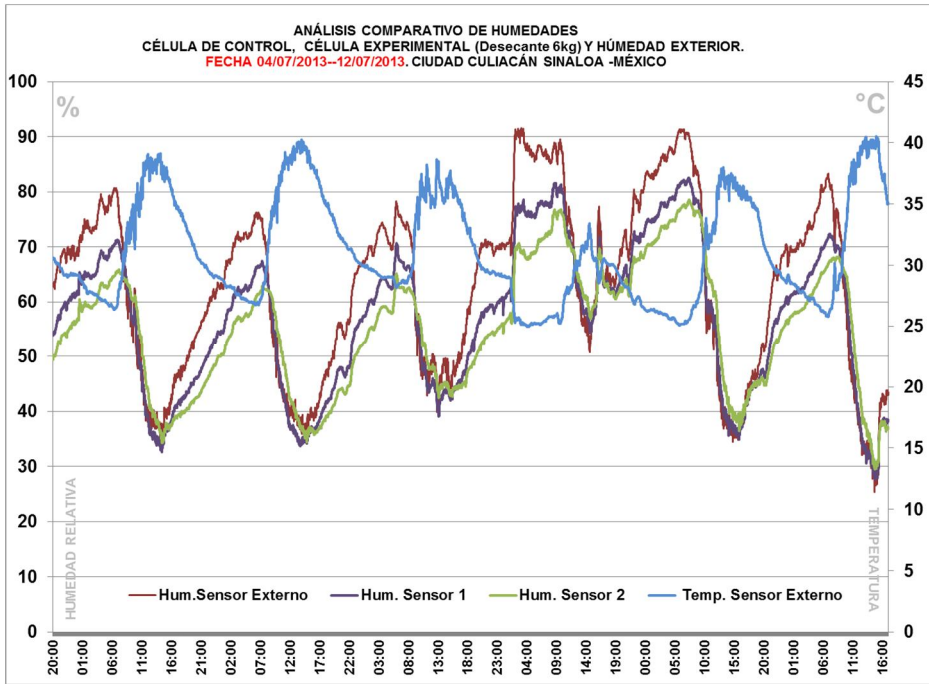


Fig.143. Análisis Comparativo de Humedades Experimento VIII . Fuente: Propia

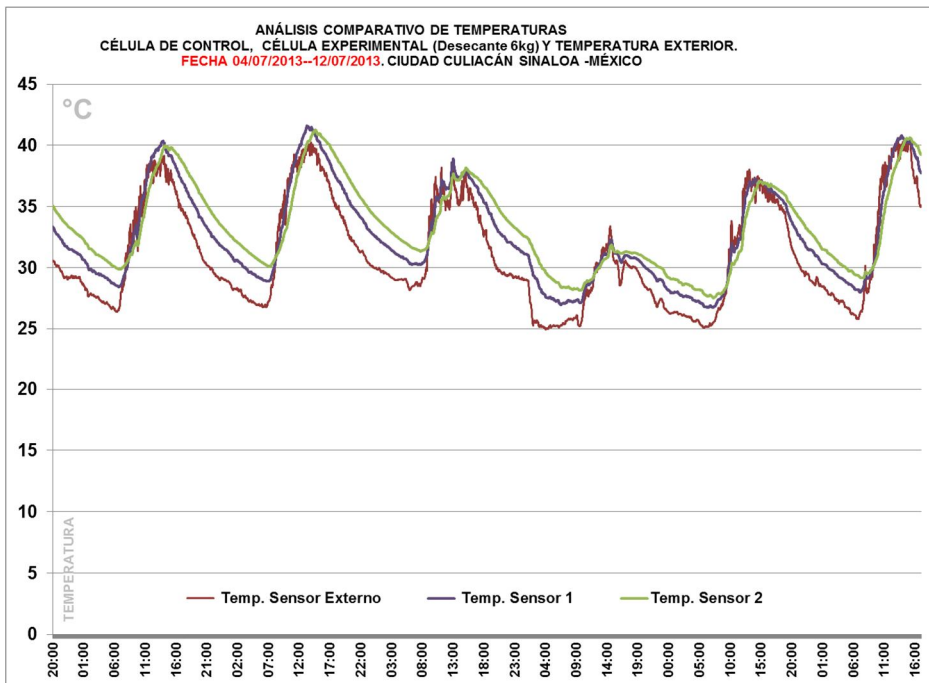
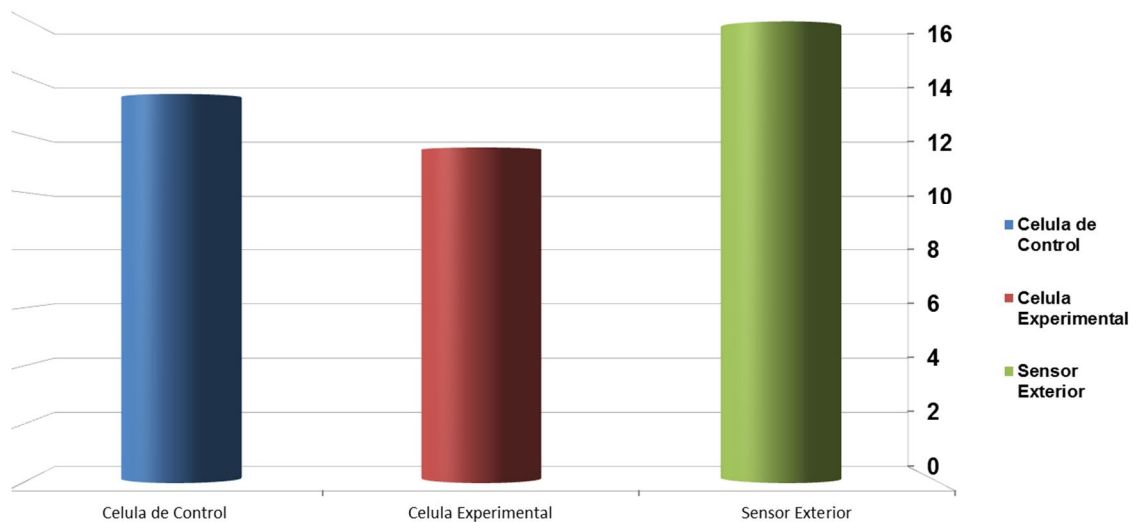


Fig.144. Análisis Comparativo de Temperaturas Experimento VIII . Fuente: Propia



Se retoma el experimento IV, donde el desecante tiene 6 Kgs de zeolita en su interior y no se realiza ningún procedimiento mecánico para calentar dicho desecante. En la gráfica comparativa de humedades relativa se observa que los tres sensores tienen un comportamiento normal de éste fenómeno climático: Los valores máximos se observan en las horas de la madrugada y los valores menores se encuentran alrededor del medio día. Se observan diferencias entre los valores de humedad relativa de los 3 sensores en las horas de la tarde, a esa hora la humedad exterior se incrementa es seguido por la humedad de la célula de control y finalmente está la humedad de la célula experimental. Se observa que desde las 06:00 Hrs hasta aproximadamente las 11:00 Hrs las tres humedades que se están comparando tienen valores muy parecidos por eso se ven las líneas muy cercanas. En la parte del comparativo entre temperaturas los valores mas altos están alrededor de las 12:00 Hrs y decrece hasta las mínimas temperaturas que son en la madrugada. Los sensores que se encuentran ubicados en las células presentan valores más altos de temperatura con respecto al exterior, siendo el de valores más altos el sensor que se encuentra en la célula experimental.

**DESVIACIÓN ESTANDAR COMPARATIVA DE HUMEDAD RELATIVA
CÉLULA DE CONTROL, CÉLULA EXPERIMENTAL (Desecante 6kg) Y HÚMEDAD EXTERIOR.
FECHA 04/07/2013--12/07/2013. CIUDAD CULIACÁN SINALOA -MÉXICO**



Los datos de temperaturas medidas se encuentran entre los 31°C y los 42°C, las máximas se encuentran entre los 40.52°C y los 41.59°C siendo ésta última la mayor encontrándose en la célula experimental, éste valor se da a las 13:19 Hrs y no coincide necesariamente con la temperatura máxima del exterior que se da a las 15:00 Hrs.



EXPERIMENTO VIII / 04 DE JULIO 2013 / CULIACÁN-SINALOA			
	Celula de Control	Célula Experimental	Exterior
TEMPERATURA °C			
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Temp. Max °C	41.59	41.27	40.52
Hora Temp Max	01:19 p.m.	02:37 p.m.	03:00 p.m.
Temp Min. °C	26.72	27.51	24.94
Hora Temp Min	06:29 a.m.	07:16 a.m.	04:03 a.m.
Promedio	32.58	33.27	31.10
HUMEDAD RELATIVA %			
% Hum. Max	82.55	78.56	91.60
Hora % Hum. Max	07:18 a.m.	07:23 a.m.	03:03 a.m.
% Hum Min	27.67	29.46	62.83
Hora % Hum. Min	02:41 p.m.	02:44 p.m.	02:41 p.m.
Promedio	57.22	55.35	62.83

Tabla XXXI. Datos Comparativos Humedades Relativas y Temperaturas Experimento VIII. Fuente: Propia

EXPERIMENTO VIII / 04 DE JULIO 2013 / CULIACÁN-SINALOA			
TEMPERATURA			
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Promedio	32.58	33.27	31.10
Varianza S1 Y S2	5.48		
Varianza S1, S2 y Ext.	5.51		
Desviación Estandar S1 y S2	2.34		
Desviación Estandar 3 Sensores	2.35		

Tabla XXXII. Análisis Estadístico Temperaturas Experimento VIII. Fuente: Propia

EXPERIMENTO VIII / 04 DE JULIO 2013 / CULIACÁN-SINALOA			
HUMEDAD			
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Promedio	57.22	55.35	62.83
Varianza S1 Y S2	7.50		
Varianza S1, S2 y Ext.	7.64		
Desviación E. S1 y S2	2.74		
Desviación Estandar 3 Sensores	2.76		

Tabla XXXIII. Análisis Estadístico Humedades Experimento VIII. Fuente: Propia

Las temperaturas mínimas están entre los 24°C y los 26°C, la menor temperatura se encuentra en el exterior con un valor de 24.94°C seguida por la célula de control con 26.72°C. El promedio de las temperaturas fué de 32.58°C para la célula de control, 33.27°C para la célula experimental y 31.10°C para la temperatura exterior. La célula experimental se encuentra 0.69°C más arriba que la célula de control y 2.17°C mas arriba que la temperatura exterior. a humedad relativa máxima tiene un valor de 93.60% y se encuentra en los datos que se midieron en el exterior a las 03:03 am. El promedio del valor de la humedad relativa de la célula de control fué de 82.55% y de la célula



experimental del 78.56%, lo que lo hace tener una diferencia de 3.99% menos que la célula de control y 9.05% menos que el ambiente exterior.

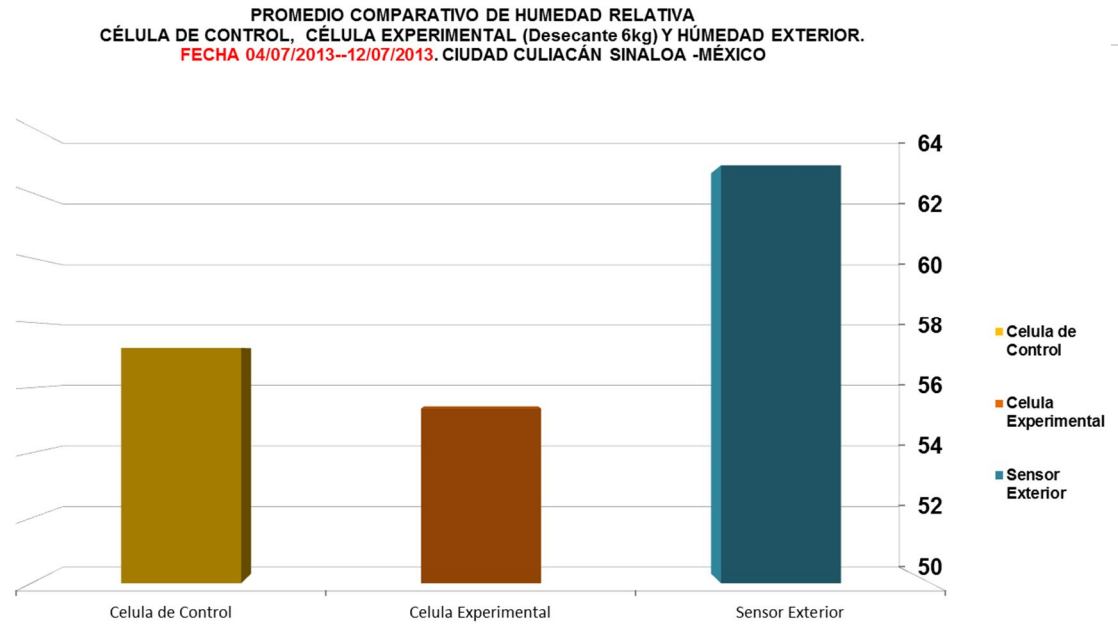


Fig.145. Promedio Comparativo Humedades Experimento VIII . Fuente: Propia

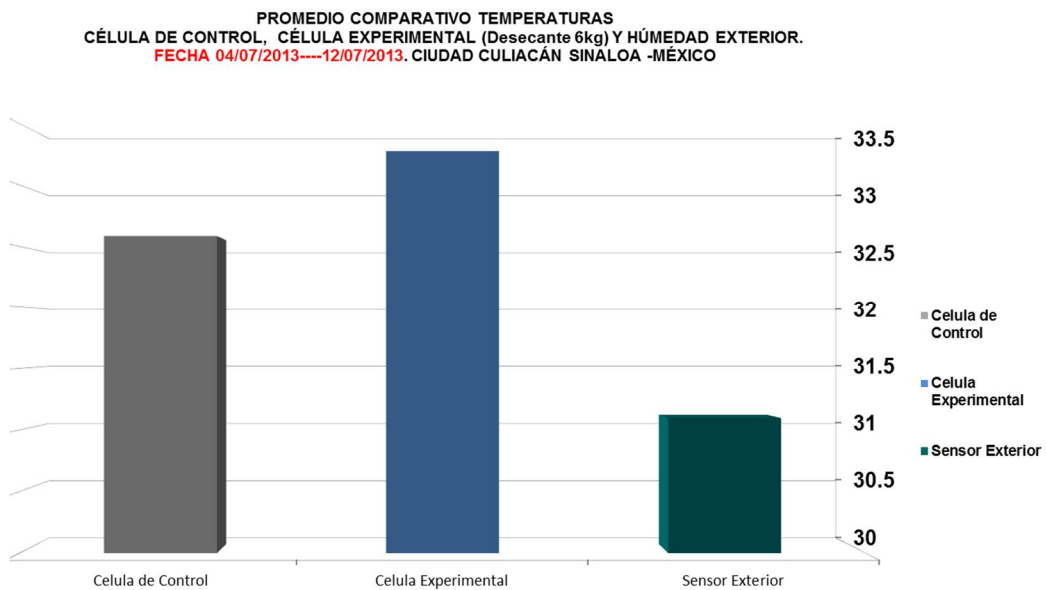


Fig.146. Promedio Comparativo Temperaturas Experimento VIII . Fuente: Propia



4.9 EXPERIMENTO IX/ 6Kg DE ZEOLITA 13 de Julio 2013/CULIACÁN SINALOA

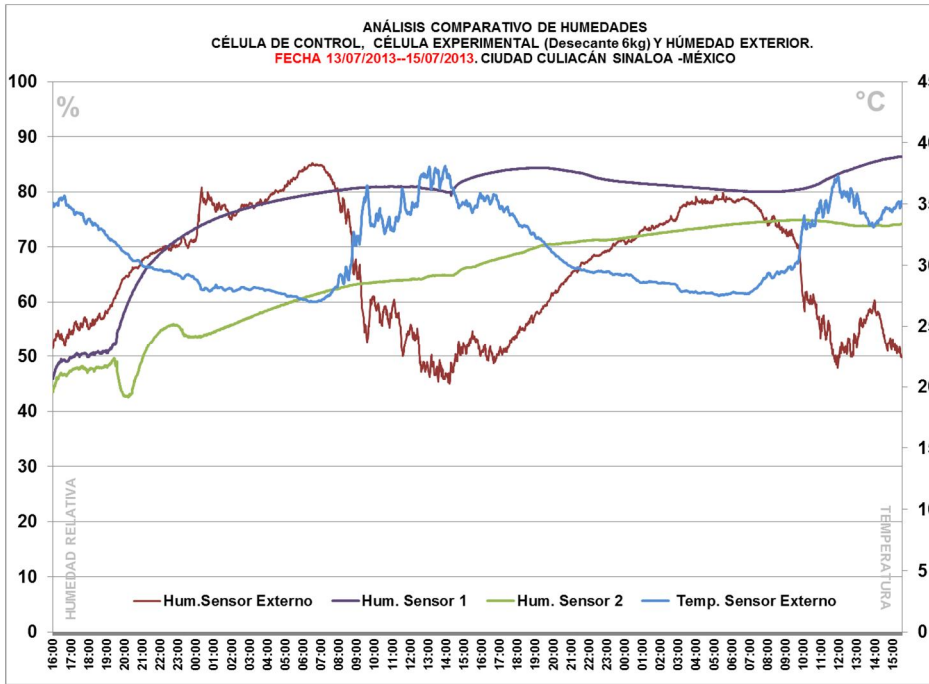


Fig.147. Análisis Comparativo de Humedades Experimento IX . Fuente: Propia

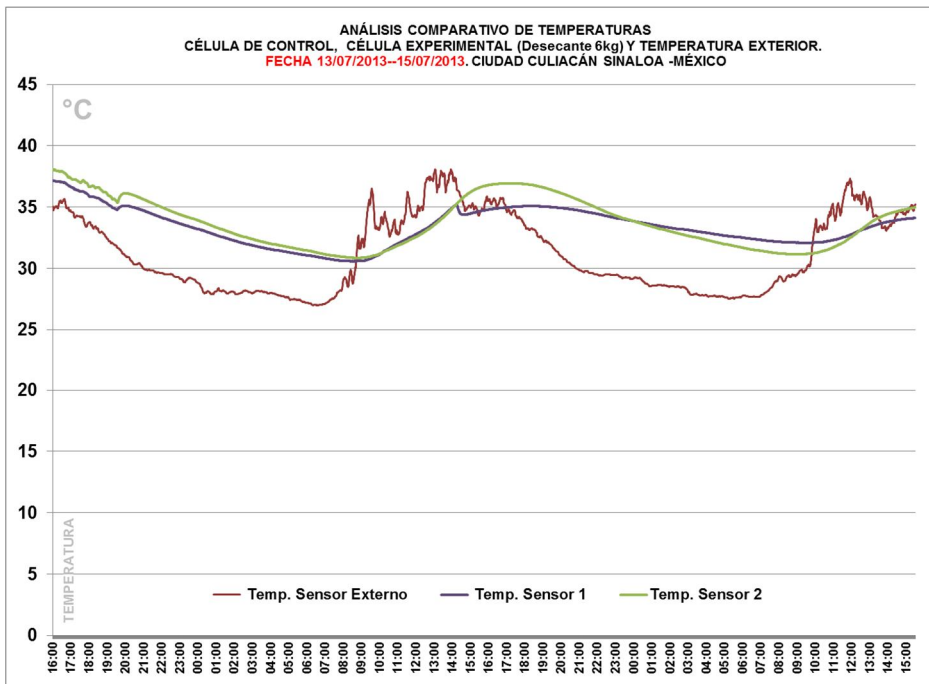


Fig.148. Análisis Comparativo de Temperaturas Experimento IX . Fuente: Propia



Al estar ambas células cerradas, las humedades relativas interiores tienen un comportamiento muy diferente a la humedad relativa exterior. En el exterior la humedad relativa tiene un comportamiento como se ha descrito anteriormente, mayores valores de humedad en las noches y menores valores en las mañanas llegando a su menor valor alrededor del medio día. Los sensores en el interior de las células muestran líneas continuas con pocas variaciones, pero el sensor de la célula de control muestra mayores valores de humedad relativa que la célula experimental, estos valores se presentan durante todo el experimento. La humedad exterior presenta valores importantes alcanza a llegar a 85% de humedad relativa en las horas de la madrugada y llegando a un 52% de humedad relativa en la tarde. La humedad en la célula de control alcanzó un valor de 85% igualando la humedad exterior, la humedad en la célula de estudio alcanzó un valor de 75%, se hablaría entonces de diez por ciento menos que la célula de control y el exterior. En la parte de temperatura, los valores mayores se presentan en la célula experimental, en el experimento se observa que son líneas continuas que tienen un comportamiento parecido pero desde las 11:00 Hrs se separan dramáticamente unos 5°C hasta las 23:00 Hrs, que los valores decaen con respecto a la célula de control. En el exterior la temperatura alcanza un valor máximo cerca de los 37°C a las 13:00 horas y en la noche la temperatura cae hasta los 27°C.

**DESVIACIÓN ESTÁNDAR COMPARATIVA DE HUMEDAD RELATIVA
CÉLULA DE CONTROL, CÉLULA EXPERIMENTAL (Desecante 6kg) Y HUMEDAD EXTERIOR.
FECHA 13/07/2013---15/07/2013. CIUDAD CULIACÁN SINALOA -MÉXICO**

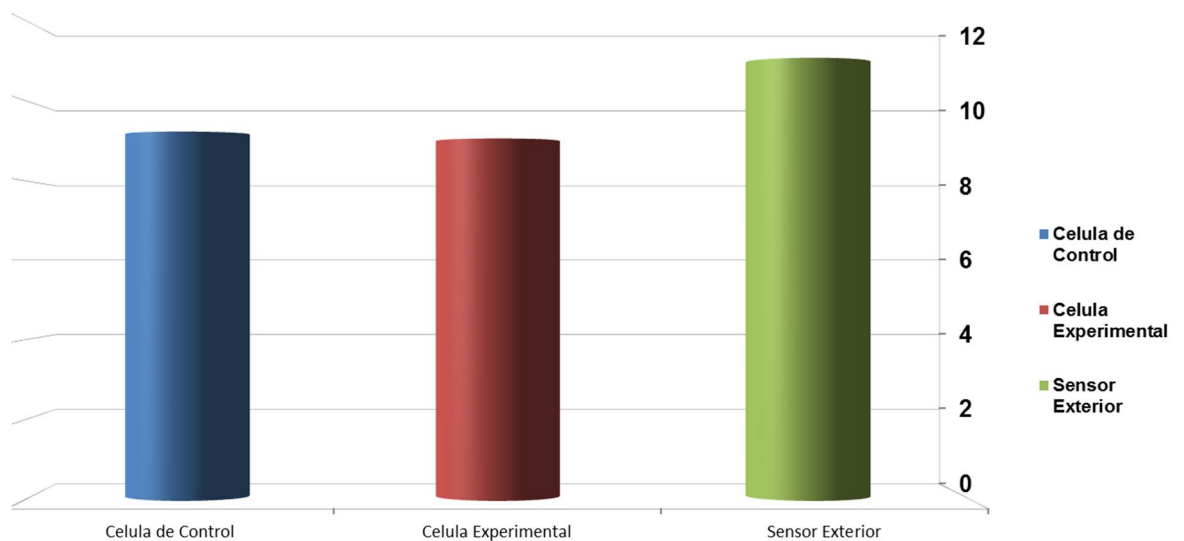


Fig.149. Desviación Estándar Comparativa Humedad Relativa Experimento IX . Fuente: Propia



EXPERIMENTO IX / 13 DE JULIO 2013 / CULIACÁN-SINALOA			
	Celula de Control	Célula Experimental	Exterior
TEMPERATURA °C			
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Temp. Max °C	37.18	38.09	38.09
Hora Temp Max	04:00 p.m.	04:00 p.m.	01:56 p.m.
Temp Min. °C	30.57	30.85	26.99
Hora Temp Min	08:24 a.m.	08:33 a.m.	06:20 a.m.
Promedio	33.35	33.70	31.17
HUMEDAD RELATIVA %			
% Hum. Max	86.41	74.89	85.20
Hora % Hum. Max	03:25 p.m.	09:48 a.m.	06:31 a.m.
% Hum Min	45.93	42.55	65.85
Hora % Hum. Min	04:00 p.m.	08:13 p.m.	02:12 p.m.
Promedio	77.45	64.84	65.85

Tabla XXXIII. Datos Comparativos Humedades Relativas y Temperaturas Experimento IX. Fuente

EXPERIMENTO IX / 13 DE JULIO 2013 / CULIACÁN-SINALOA			
TEMPERATURA			
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Promedio	33.35	33.70	31.17
Varianza S1 Y S2	5.66		
Varianza S1, S2 y Ext.	5.64		
Desviación Estandar S1 y S2	2.38		
Desviación Estandar 3 Sensores	2.37		

Tabla XXXIV. Análisis Estadístico Temperaturas Experimento IX. Fuente

EXPERIMENTO IX / 13 DE JULIO 2013 / CULIACÁN-SINALOA			
HUMEDAD			
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Promedio	77.45	64.84	65.85
Varianza S1 Y S2	8.43		
Varianza S1, S2 y Ext.	8.32		
Desviación E. S1 y S2	2.90		
Desviación Estandar 3 Sensores	2.88		

Tabla XXXV. Análisis Estadístico Humedad Experimento IX. Fuente

La comparación entre los datos de temperatura en el experimento IX, da como resultado temperaturas máximas que van de los 37°C a los 38°C. El valor de temperatura máxima fué de 38.09°C y se presentó en el exterior y en la célula experimental a las 13:56 Hrs y 16:00 Hrs respectivamente, la temperatura máxima más baja la reporto la célula de control con 37.18°C en la célula de control. Las temperaturas mínimas tienen rangos que van de los 26.99°C hasta cerca de los 31°C. la temperatura mínima más baja se encuentra en el exterior con 26.99°C se dio a las



06:20 am mientras que el reporte de esta temperatura mínima en las células de estudio se dió después de las 08:00 Hrs, a las 08:24 Hrs la célula de control presenta una temperatura mínima de 30.57°C y la célula experimental a las 08:33 Hrs tuvo una temperatura de 30.85°C. Si hablamos de los promedios, se observa que los valores están por encima de 31°C, para la célula de control se tiene una temperatura media de 33.35°C, para la célula experimental una temperatura media de 33.70°C y para el exterior una temperatura media de 31.17°C. Una vez más como en el experimento anterior la temperatura de la célula experimental se encuentra por encima de las otras dos condiciones que se están evaluando, ésta está 0.35°C más arriba que la célula de control y 2.53°C más arriba que el exterior.

Las humedades relativas presentan valores máximos en la célula de control de 86.41% a las 15:25Hrs, la célula experimental tiene un valor de 74.89% a las 09:48 Hrs y el exterior presenta un 85.20% a las 06:31 Hrs. Se observa un salto dramático en el valor de la humedad máxima en la célula de control ya que éste se da a las 15:25 Hrs, cuando generalmente las humedades máximas se dan en el amanecer. Las humedades mínimas tienen valores que van de 45% a 66% de humedad relativa. La célula de control llega a un valor de 45.93%, la célula experimental tiene un valor de 42.55% a las 20:13 Hrs mientras que el valor mínimo en el exterior fué de 65.85% y se da a las 14:12 Hrs.

Para compactar los resultados se hace un promedio de los datos el promedio de la humedad para la célula de control fué de 77.45%, la célula experimental tuvo un promedio de 64.84% y la humedad relativa exterior tuvo un promedio de 65.85%. Lo que nos lleva otra vez a observar que la célula experimental tiene un valor por debajo de las otras dos condiciones, la célula experimental tiene una diferencia con respecto a la célula de control de 12.61% y 1.01% con respecto a los datos exteriores.



PROMEDIO COMPARATIVO DE HUMEDAD RELATIVA
CÉLULA DE CONTROL, CÉLULA EXPERIMENTAL (Desecante 6kg) Y HÚMEDAD EXTERIOR.
FECHA 13/07/2013--15/07/2013. CIUDAD CULIACÁN SINALOA -MÉXICO

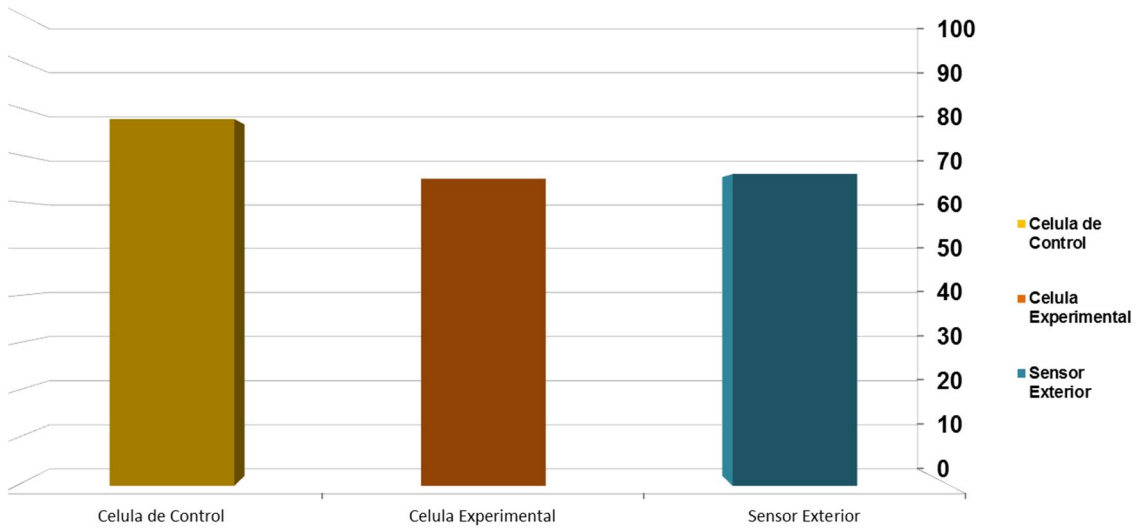


Fig.150. Promedio Comparativo Humedad Relativa Experimento IX . Fuente: Propia

PROMEDIO COMPARATIVO TEMPERATURAS
CÉLULA DE CONTROL, CÉLULA EXPERIMENTAL (Desecante 6kg) Y HÚMEDAD EXTERIOR.
FECHA 13/07/2013----15/07/2013. CIUDAD CULIACÁN SINALOA -MÉXICO

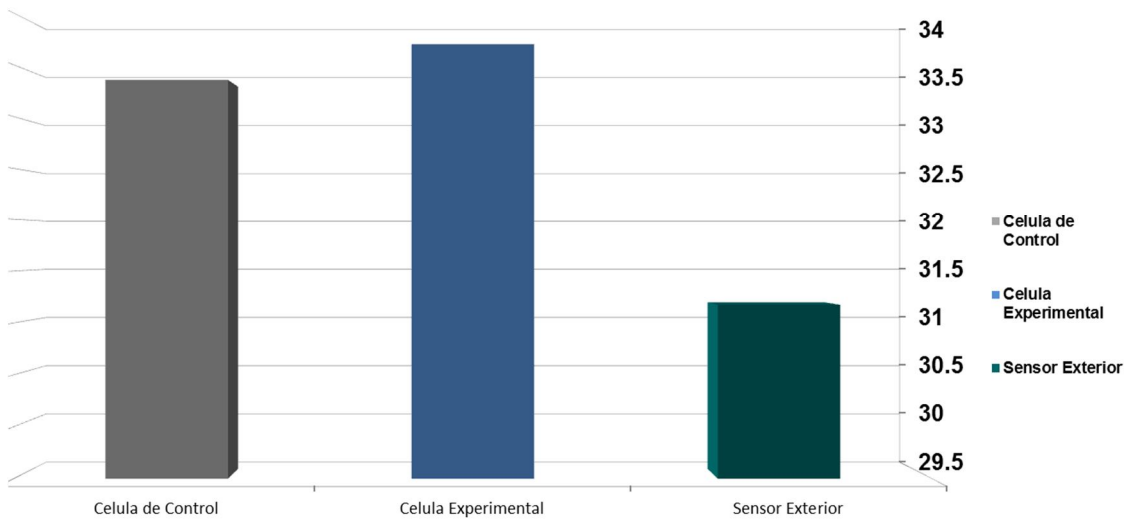


Fig.151. Promedio Comparativo Temperaturas Experimento IX . Fuente: Propia



4.10 EXPERIMENTO X/ 6Kg DE ZEOLITA 15 de Julio 2013/CULIACÁN SINALOA

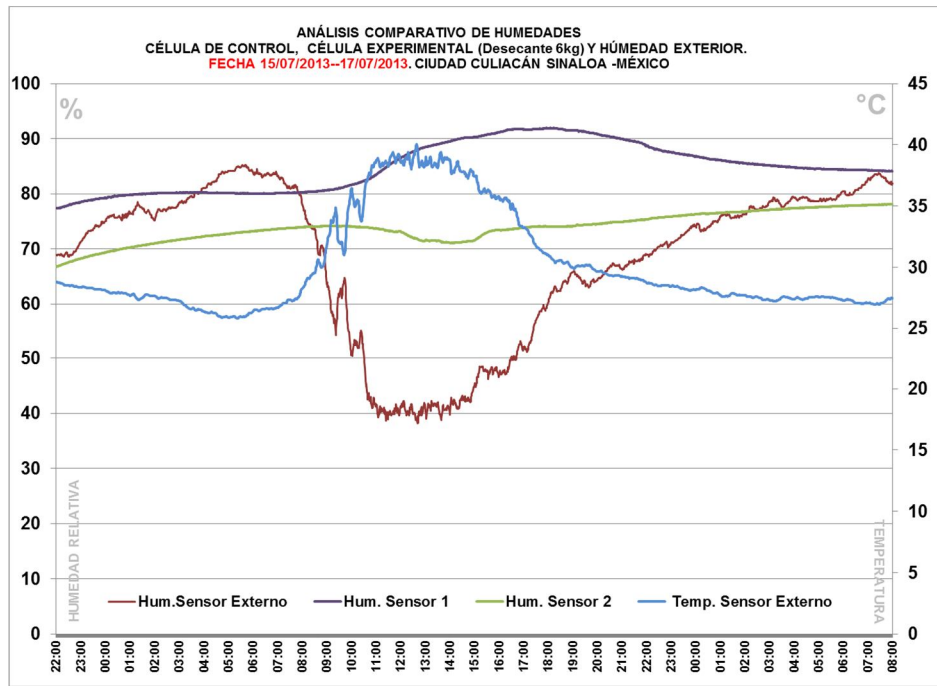


Fig.152. Análisis Comparativo de Humedades Experimento X. Fuente: Propia

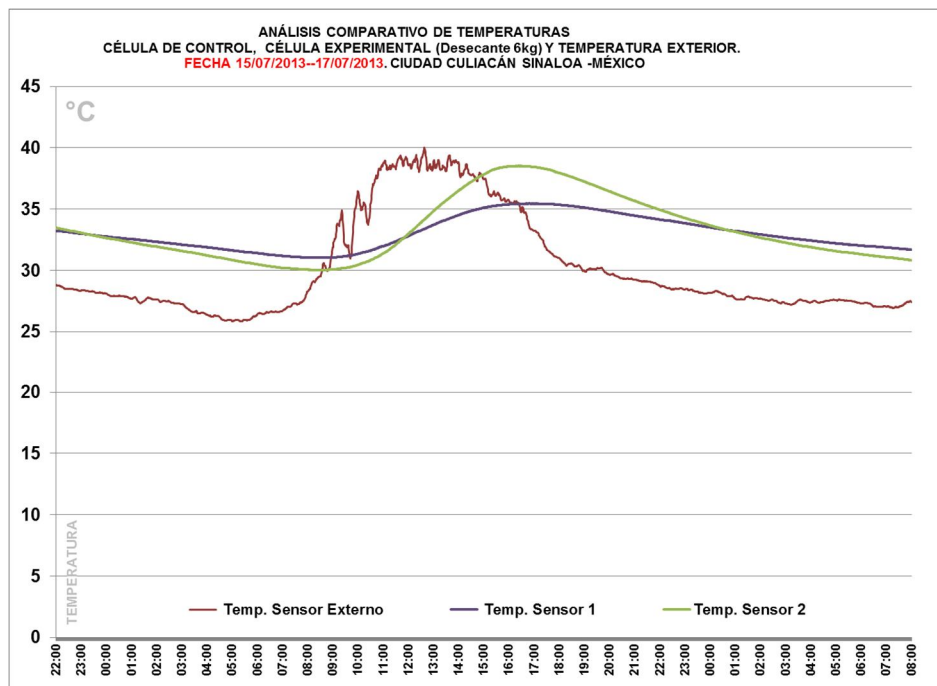
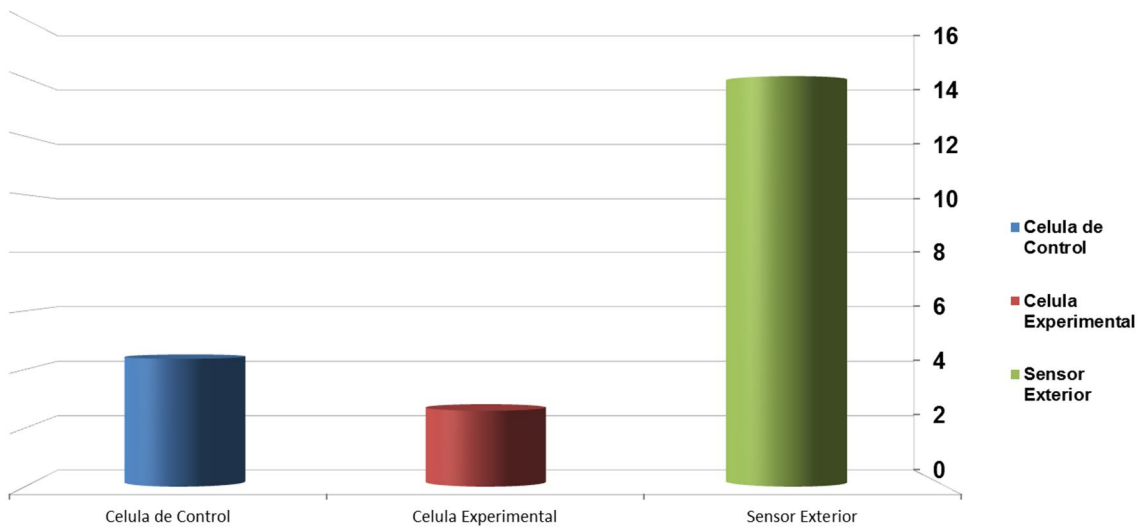


Fig.153. Análisis Comparativo de Temperaturas Experimento X. Fuente: Propia



Se observa un comportamiento con respecto a los valores de humedad relativa y temperatura muy parecido al experimento anterior. Líneas continuas que crecen y decrecen a lo largo del experimento. Las humedades en ambas células tienen un orden ascendente mostrando valores mayores la célula de control, valores que pueden llegar a sobrepasar el 90%, mientras que los valores de la célula experimental llegan a un 75%. Se observan en la parte exterior valores de humedad que llegan a el 90% y valores mínimos de 59% de humedad relativa, lo que indica un alto grado de vapor de agua en el ambiente durante esos días. La temperatura exterior tiene un valor máximo de 40°C y una temperatura mínima de aproximadamente 25°C, en las célula experimental los valores de la temperatura se elevan con respecto a la célula de control alrededor de unos 5 grados, no alcanza a igualar la temperatura exterior, pero sus valores no dejan de ser altos.

**DESVIACIÓN ESTANDAR COMPARATIVA DE HUMEDAD RELATIVA
CÉLULA DE CONTROL, CÉLULA EXPERIMENTAL (Desecante 6kg) Y HÚMEDAD EXTERIOR.
FECHA 15/07/2013---17/07/2013. CIUDAD CULIACÁN SINALOA -MÉXICO**



EXPERIMENTO X /15 DE JULIO 2013 /CULIACÁN-SINALOA			
	Celula de Control	Célula Experimental	Exterior
TEMPERATURA °C			
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Temp. Max °C	35.45	38.53	40.03
Hora Temp Max	04:41 p.m.	04:17 p.m.	12:39 p.m.
Temp Min. °C	31.03	30.04	25.84
Hora Temp Min	08:36 a.m.	08:03 a.m.	05:20 a.m.
Promedio	33.01	33.28	30.13
HUMEDAD RELATIVA %			
% Hum. Max	91.97	78.12	85.20
Hora % Hum. Max	06:05 p.m.	07:47 a.m.	05:34 a.m.
% Hum Min	77.34	66.73	68.05
Hora % Hum. Min	10:03 p.m.	10:00 p.m.	12:41 p.m.
Promedio	84.85	73.88	68.05



EXPERIMENTO X / 15 DE JULIO 2013 / CULIACÁN-SINALOA			
TEMPERATURA			
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Promedio	33.01	33.28	30.13
Varianza S1 Y S2	5.61		
Varianza S1, S2 y Ext.	5.57		
Desviación Estandar S1 y S2	2.37		
Desviación Estandar 3 Sensores	2.36		

Tabla XXXVI. Análisis Estadístico Temperatura Experimento IX. Fuente

EXPERIMENTO X / 15 DE JULIO 2013 / CULIACÁN-SINALOA			
HUMEDAD			
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Promedio	84.85	73.88	68.05
Varianza S1 Y S2	8.90		
Varianza S1, S2 y Ext.	8.69		
Desviación E. S1 y S2	2.98		
Desviación Estandar 3 Sensores	2.95		

Tabla XXXVII. Análisis Estadístico Humedad Experimento IX. Fuente

El experimento X presenta temperaturas máximas altas, que van desde los 40.03°C en el exterior a las 12:39 Hrs, pasando por los 38.53°C en la célula experimental a las 16:17 Hrs y la célula de control con una temperatura de 35.45°C a las 16:41. Las temperaturas mínimas pasan dentro a los rangos de 25°C a los 31°C. siendo la de menor valor la temperatura del exterior con un valor de 25.84°C. Las horas de las temperaturas mínimas se dan en las horas de la mañana para los tres casos siendo la temperatura mínima exterior la que se da más temprano: 05:20 Hrs, las temperaturas mínimas para la célula experimental y de control se dan a las 08:03 Hrs y 08:36 Hrs respectivamente. El promedio de temperatura nos muestra que la célula experimental tiene un valor de 33.28°C, mayor que la célula de control con un valor de 33.01°C y que el exterior con un valor de 30.13; en este caso la célula experimental está 0.27°C más arriba que la célula de control y 3.15°C más arriba que la temperatura exterior.

Todas las humedades máximas se presentan en las horas de la mañana, la célula de control presenta un porcentaje de 91.97% a las 06:05 Hrs, la célula experimental tiene un valor de 78.12% a las 07:47 Hrs y el valor del exterior es de 85.20% a las 05:34 am; las humedades mínimas se encuentran entre el 66% y el 77% y 66%, la humedad mínima más baja se encuentra en la célula experimental con un valor de 66.73% a las 22:00 Hrs, y la humedad mínima más alta se encuentra en la célula de control con un valor de 77.34% a las 22:03 Hrs. El valor del promedio más bajo lo



tiene la humedad exterior con un 68.05%, la humedad mayor la tiene la célula de control con 84.85% y la célula experimental tiene un valor de 73.88%. El valor de la célula experimental esta 11.8% por debajo de la célula de control y 5.83% mas que la humedad relativa exterior.

PROMEDIO COMPARATIVO DE HUMEDAD RELATIVA
CÉLULA DE CONTROL, CÉLULA EXPERIMENTAL (Desecante 6kg) Y HÚMEDAD EXTERIOR.
FECHA 15/07/2013--17/07/2013. CIUDAD CULIACÁN SINALOA -MÉXICO

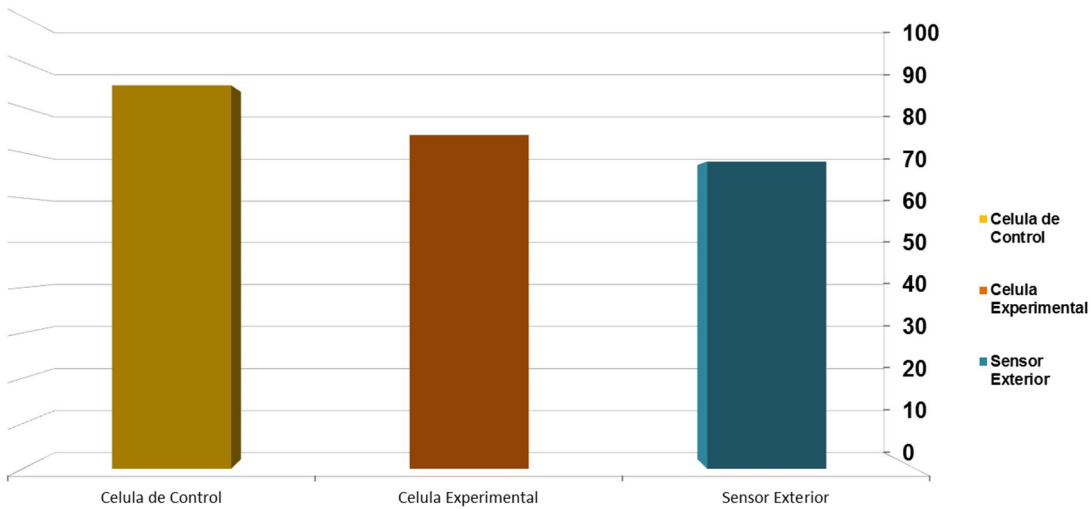


Fig.154. Promedios Comparativos Humedades Experimento X. Fuente: Propia

PROMEDIO COMPARATIVO TEMPERATURAS
CÉLULA DE CONTROL, CÉLULA EXPERIMENTAL (Desecante 6kg) Y HÚMEDAD EXTERIOR.
FECHA 15/07/2013----17/07/2013. CIUDAD CULIACÁN SINALOA -MÉXICO

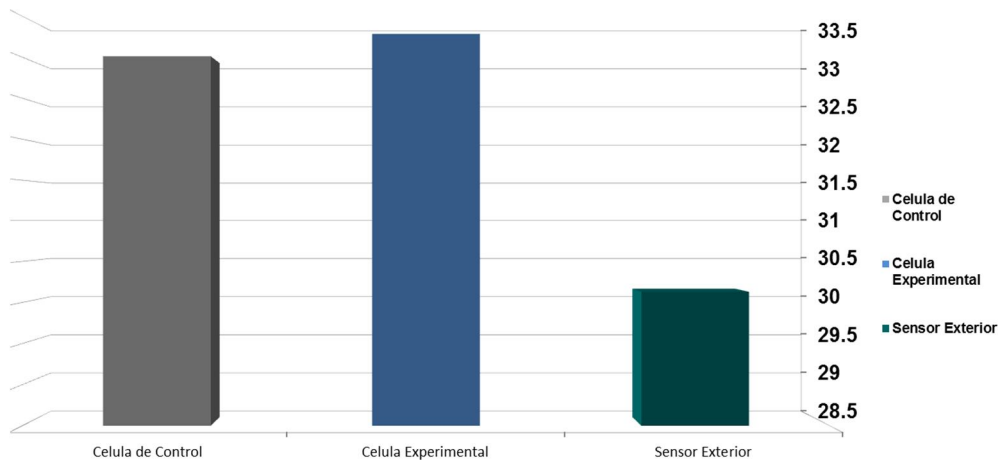


Fig.155. Promedios Comparativos Temperaturas Experimento X. Fuente: Propia



4.11 EXPERIMENTO XI/ 10Kg DE ZEOLITA 17 de Julio 2013/CULIACÁN SINALOA

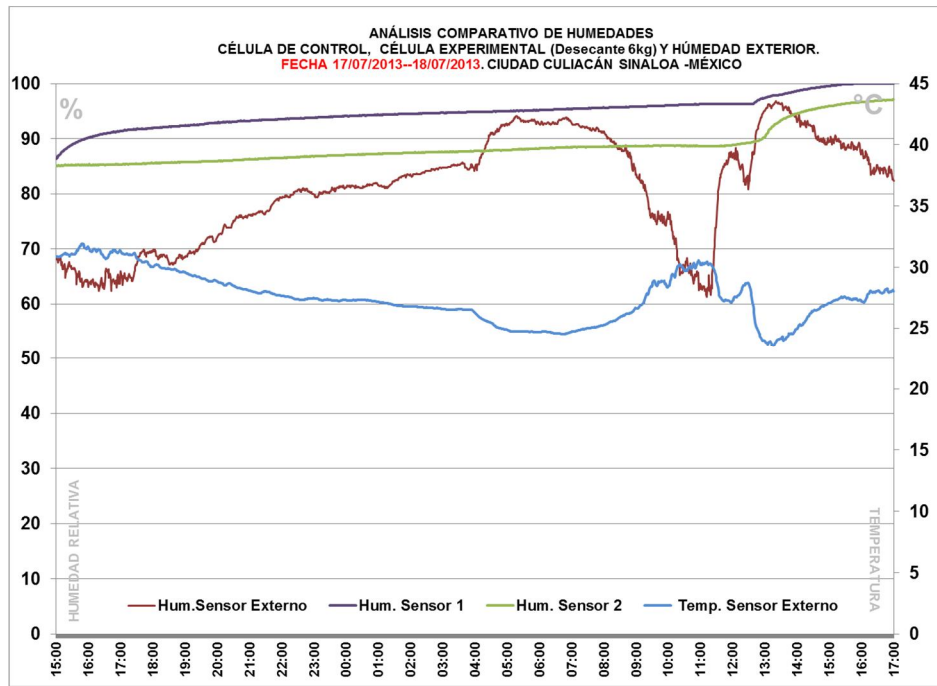


Fig.156. Análisis Comparativo de Humedades Experimento XI. Fuente: Propia

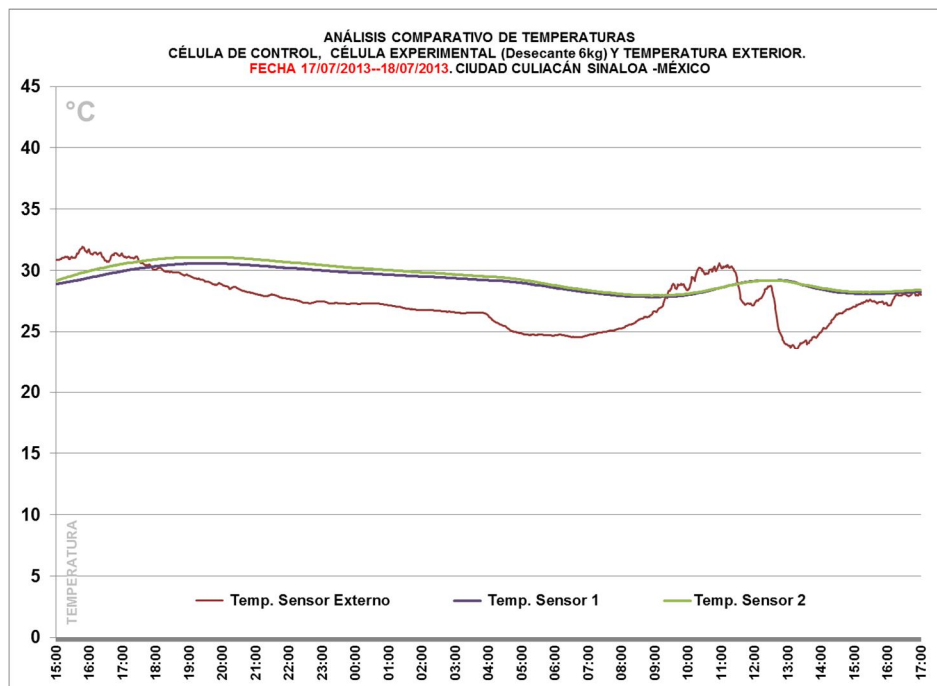


Fig.157. Análisis Comparativo de Temperaturas Experimento XI. Fuente: Propia



Para las fecha del 17 de Julio, se observan valores de humedad relativa muy altos, en la parte exterior estos valores alcanzan hasta un 95% y valores mínimos de 60%. La célula de control en éste análisis también presenta valores más altos que los que presenta la célula de estudio y la línea en que se desarrolla tiene un comportamiento muy parecido, a partir de las 11:00 Hrs la línea de los valores de la humedad de la célula experimental se acerca a la línea de valores de la célula de control pero no la sobrepasa. En los valores de temperatura, los valores exteriores empiezan con 31°C y llegan hasta la mínima en horas de la madrugada a unos 24°C aproximadamente, de allí vuelve aumentar hasta llegar a unos 30°C, vuelve y cae llega a unos 27°C sube otra vez a los 28°C y empieza a decrecer casi hasta los 22°C en las horas de la mañana. Lo que muestra valores erráticos para este día. En la célula experimental la temperatura tiene valores mayores que la célula de control, ambos valores tanto el de la célula experimental y la de control tienen la misma tendencia, es interesante observar que cuando la temperatura exterior comienza a bajar, ambas temperaturas interiores también lo hacen.

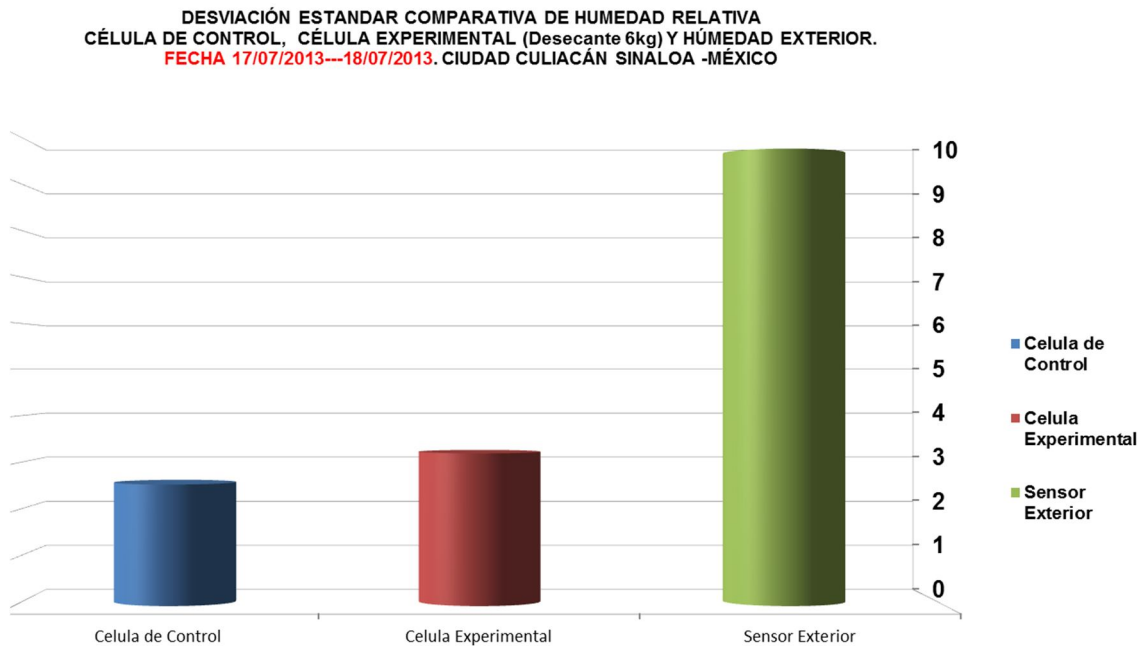


Fig.158. Desviación Estándar Comparativa Experimento XI. Fuente: Propia



EXPERIMENTO XI/ 17 DE JULIO 2013 / CULIACÁN-SINALOA			
	Celula de Control	Célula Experimental	Exterior
TEMPERATURA °C			
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Temp. Max °C	30.57	31.08	31.92
Hora Temp Max	07:05 p.m.	06:58 p.m.	03:48 p.m.
Temp Min. °C	27.83	27.95	23.57
Hora Temp Min	08:44 a.m.	08:53 a.m.	01:15 p.m.
Promedio	29.18	29.46	27.53
HUMEDAD RELATIVA %			
% Hum. Max	100.00	97.14	96.80
Hora % Hum. Max	03:44 p.m.	04:59 p.m.	01:20 p.m.
% Hum Min	86.38	85.02	81.02
Hora % Hum. Min	03:00 p.m.	03:01 p.m.	11:12 a.m.
Promedio	94.89	88.53	81.02

Tabla XXXVIII. Datos Comparativos Humedades Relativas y Temperaturas Experimento IX. Fuente: Propia

EXPERIMENTO XI/ 17 DE JULIO 2013 / CULIACÁN-SINALOA			
TEMPERATURA			
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Promedio	29.18	29.46	27.53
Varianza S1 Y S2	5.34		
Varianza S1, S2 y Ext.	5.31		
Desviación Estandar S1 y S2	2.31		
Desviación Estandar 3 Sensores	2.30		

Tabla XXXVIX. Análisis Estadístico Temperaturas Experimento IX. Fuente: Propia.

EXPERIMENTO XI/ 17 DE JULIO 2013 / CULIACÁN-SINALOA			
HUMEDAD			
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor Externo
Promedio	94.89	88.53	81.02
Varianza S1 Y S2	9.58		
Varianza S1, S2 y Ext.	9.38		
Desviación E. S1 y S2	3.09		
Desviación Estandar 3 Sensores	3.06		

Tabla XXXX. Análisis Estadístico Humedad Experimento IX. Fuente: Propia.

En el experimento XI se observa un incremento en las temperaturas y sobre todo en los porcentajes de humedad relativa. Las temperaturas máximas que se presentaron en la célula de control es de 30.57°C a las 19:05 Hrs, en la célula experimental este valor es de 31.08 a las 18:58 Hrs y en el exterior se da una máxima de 31.92°C. La temperatura mínima en el exterior fue de 23.57°C a las 13:15 horas, la hora en que se dieron las temperaturas mínimas en los otros dos casos fue alrededor de las 08:00 Hrs de la mañana: la célula de control con un valor de 27.83°C a las 08:44 Hrs y la célula experimental con un valor de 27.95°C a las 08:53 Hrs. La temperatura promedio de la célula



experimental fué de 29.46°C, mayor que el promedio de la temperatura de la célula de control con 29.18°C y 27.53°C de la temperatura exterior.

Se observa ganancias importantes en la humedad en este experimento, esto se debe a la entrada de baja presión del océano pacífico que hace que se intensifique la humedad en la parte noroeste del país. Las humedades máximas para la célula de control fué de 100% a las 15:44 Hrs, de 97.14% para la célula experimental y el exterior tuvo una humedad de 96.80%; en este caso la célula de control tuvo la humedad máxima para este rubro. Las humedades mínimas presentaron valores importantes: 86.38% para la célula de control, 85.02% para la célula experimental y 81.02% para el exterior, nuevamente la célula de control tiene la mayor humedad mínima. En la parte de promedio el mayor valor fué de 94.89% en la célula de control, seguido por 88.53% de la célula experimental y 81.02% del exterior. Si comparamos la célula experimental con las otras dos condiciones tenemos que la célula de control sobrepasa por 6.36% a la célula experimental, sin embargo la célula experimental sobrepasa el exterior por 7.51%.

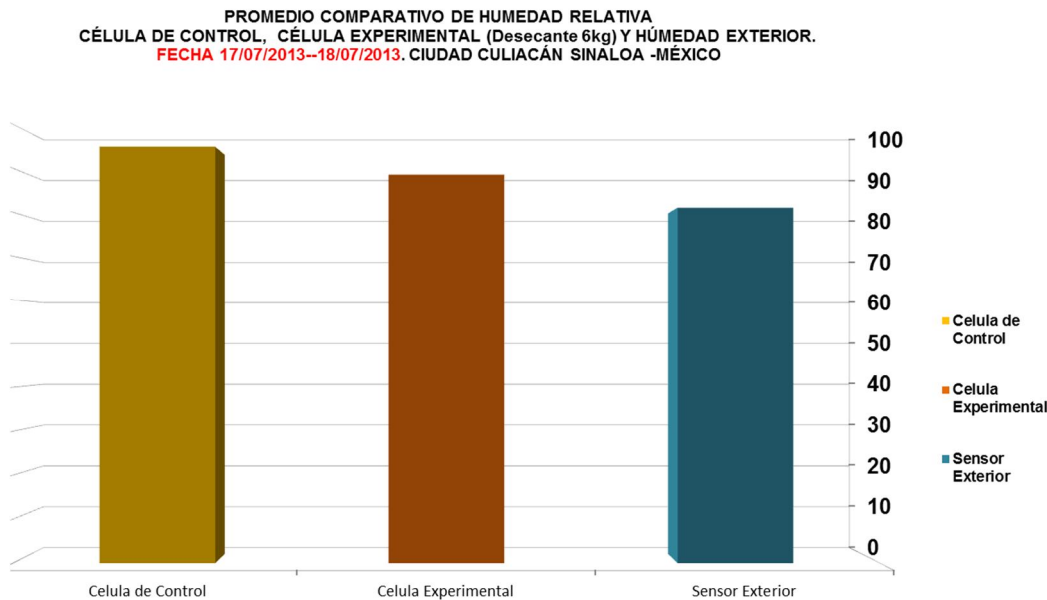


Fig.159. Promedio Comparativo Humedad Relativa Experimento XI. Fuente: Propia



4.12 ANÁLISIS DE HUMEDADES ABSOLUTAS EN LOS EXPERIMENTOS

Para entender mejor el fenómeno que ocurre dentro de los módulos, se hace un análisis de la humedad absoluta a partir de los datos de humedad relativa y temperatura de los sensores que fueron instalados los días de experimentación, con esto se quiere conocer la cantidad de vapor de agua que se encuentra en cada uno de los módulos. Para ello se presentan las definiciones de humedad relativa y humedad absoluta:

“La humedad relativa es la relación de la presión parcial de vapor de agua en una mezcla de aire-agua a la presión de vapor saturado de agua a una temperatura prescrita. La humedad relativa del aire depende de la temperatura y la presión del sistema de interés”¹

La humedad relativa generalmente se expresa como porcentaje y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Relative Humidity} = \frac{\text{actual vapor density}}{\text{saturation vapor density}} \times 100\%$$

“La humedad absoluta es la masa de vapor de agua, por unidad de volumen de aire total y la mezcla de vapor de agua”. La humedad absoluta generalmente se mide en gramos por metros cúbicos, su ecuación es la siguiente:

$$AH = \frac{m_w}{V_{net}}$$

Si simplificamos las ecuaciones tenemos entonces que:

$$Hr = \frac{Habs}{Hs} * 100$$

¹ Perry, R.H. and Green, D.W., *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (7th Edition), McGraw-Hill, ISBN 0-07-049841-5, Eqn 12-7



Si despejamos la ecuación para obtener los datos de humedad absoluta, la ecuación queda de la siguiente forma:

$$H_{abs} = H_r H_s / 100$$

| 176

H_s ó "*Humedad de Saturación*" depende de la temperatura y la presión atmosférica. La presión en los módulos fue de 1 atmósfera, entonces en este caso sólo es función de la temperatura-

El rango de temperatura medido es de 20°C a 35°C, la precisión de los termómetros es de 0.01°C, y este es el valor del cambio en la temperatura: 20°C, 20.01°C, 20.02°....., 30°C. Si se tienen 1000 valores de la temperatura, por lo tanto se tendrán 1000 valores de **H_s**. La dependencia funcional entre la densidad de vapor y la temperatura es:

$$VD = 5.018 + .32321 T_C + 8.1847 \times 10^{-3} T_C^2 + 3.1243 \times 10^{-4} T_C^3$$

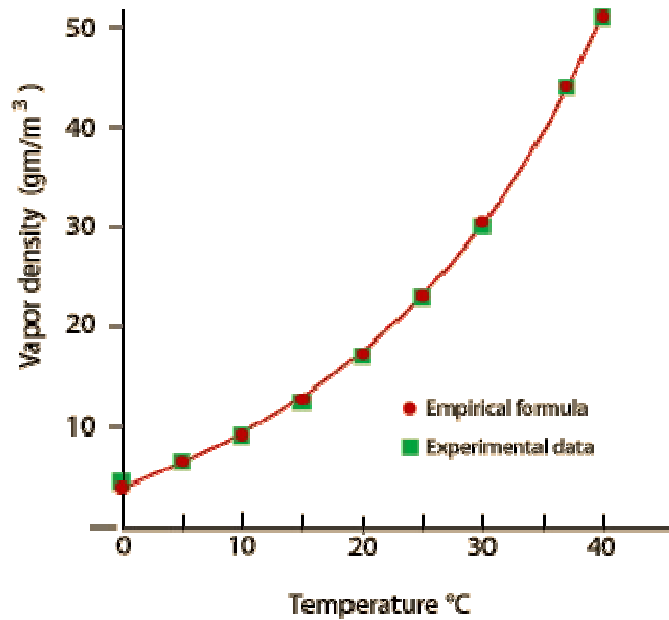


Fig. 160. Comportamiento de la densidad de vapor de agua. Fuente: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbases/kinetic/relhum.html#c4>

A continuación se hacen los análisis de las humedades absolutas para cada experimento a partir del cálculo para la humedad absoluta.



4.12.1 EXPERIMENTO I / 2Kg DE ZEOLITA 31 ENERO 2013/CULIACÁN SINALOA

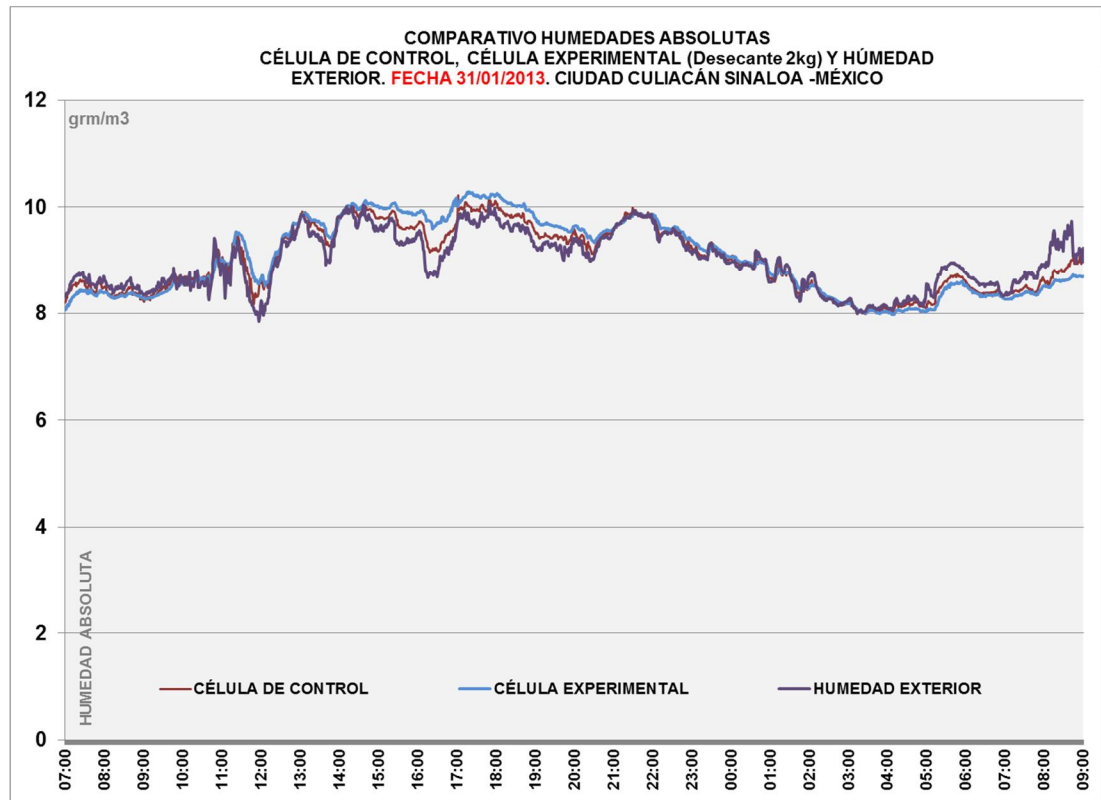


Fig.161. Comparativo Humedades Absolutas Experimento I. Fuente: Propia

Se muestran en el eje Y los datos de gramos por metro cúbico y en el eje x las horas en que se realizó el estudio para los tres casos: célula de control, célula experimental y humedad exterior. En el caso del experimento I, los gramos por metro cubico alcanzan hasta un 10.01gm/m³. Los tres casos muestran líneas con muchos movimientos hacia arriba y hacia abajo, al iniciar el experimento las líneas se encuentran muy juntas sin embargo en las horas de la tarde hasta las 22:00 Hrs se separan las tres condiciones; en este mismo punto se vuelven a ver las líneas juntas hasta alrededor de las 05:00 Hrs. Si se observa los promedios, la célula experimental tiene el mayor valor con 9.04 gr/m³, seguido por la célula de control con 9.0 gr/m³ y 8.98 gr/m³ del exterior.

Humedad Absoluta / Experimento I			
gm/m ³	Sensor 1	Sensor 2	Exterior
Promedio	9.00535925	9.048587226	8.98215695

Fig.162. Promedios Humedades Absolutas Experimento I. Fuente: Propia



4.12.2 EXPERIMENTO II / 4Kg DE ZEOLITA 01 FEBRERO 2013/CULIACÁN SINALOA

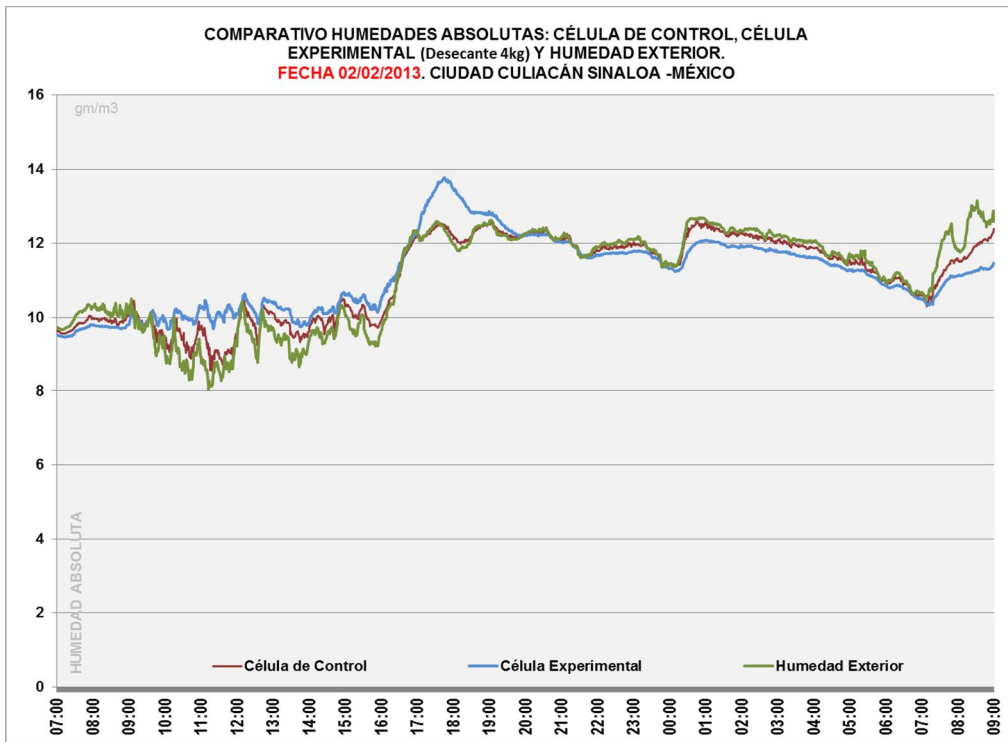


Fig.163. Comparativos Humedades Absolutas Experimento II. Fuente: Propia

En el experimento II se observa el mismo comportamiento de las líneas para los tres casos, el comportamiento también es muy similar, se observa las tres líneas muy juntas al inicio de las mediciones pero a partir de las 10:00 Hrs se separan y vuelven a unirse a las 17 horas, allí la humedad absoluta de la célula experimental se dispara hasta casi llegar a alcanzar los 14 gr/m³. Mientras que la línea de la célula de control y el exterior permanecen muy juntas. En la noche el comportamiento de los tres casos es muy similar. A partir de las 00:00 Hrs la célula experimental muestra datos menores que los otros dos casos. El promedio que tuvo la célula experimental fue de 11.17 gr/m³ la célula de control tuvo un promedio de 11.10 gr/m³ y el sensor exterior tuvo un promedio de 11.10 gr/m³. Los valores de la célula experimental estuvieron 0.07 gr/m³ mas arriba que la célula de control y el exterior.

Humedad Absoluta / Experimento II			
grm/m3	Sensor I	Sensor 2	Exterior
Promedio	11.10514491	11.17096885	11.1061736



4.12.3 EXPERIMENTO III / 6Kg DE ZEOLITA 02 FEBRERO 2013/CULIACÁN SINALOA

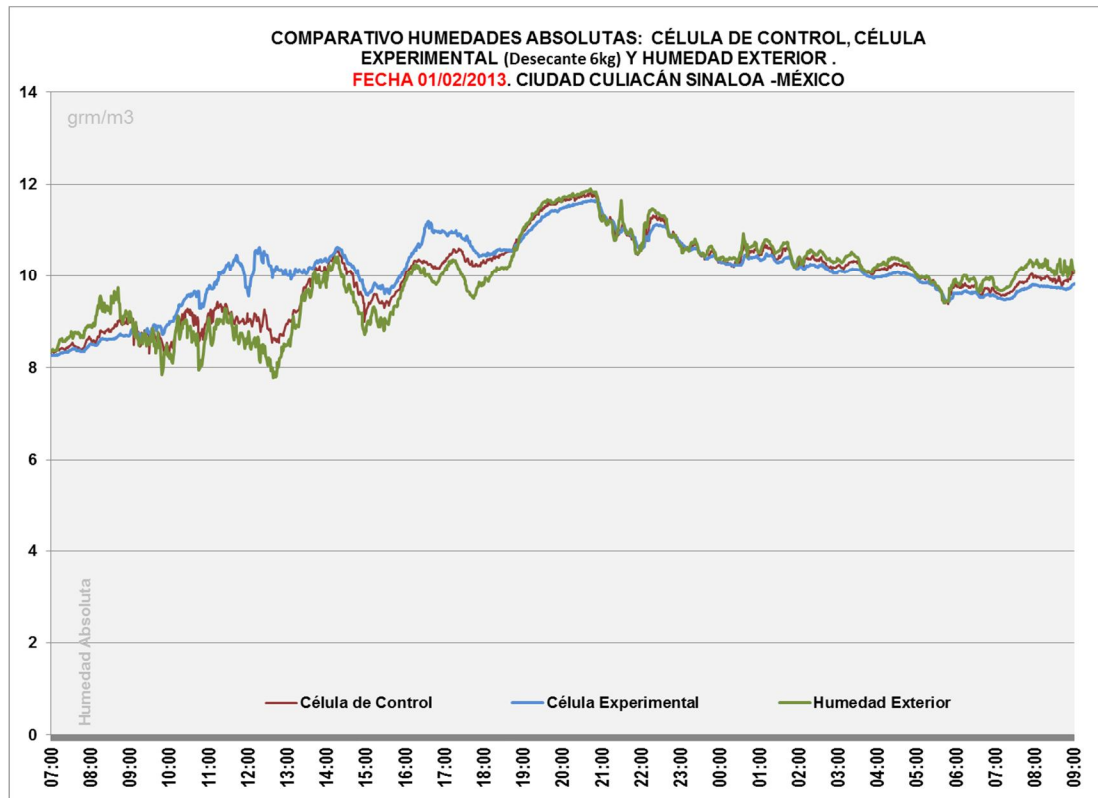


Fig.164. Comparativos Humedades Absolutas Experimento III. Fuente: Propia

Este experimento muestra un comportamiento similar al de los otros dos experimentos, en la célula experimental los datos superan a los otros dos casos a partir de las 10:00 Hrs hasta aproximadamente las 14:00 Hrs, allí las líneas se juntan de nuevo y los datos de la célula experimental vuelven a subir casi a los 11 gr/m³. A las 21:00 horas la gráfica muestra que se alcanza el máximo valor, allí los tres casos se encuentran muy juntos pero la célula experimental se encuentra por debajo y se mantiene así durante el resto del experimento. En el promedio se muestra que la célula experimental tuvo el mayor valor con respecto a los otros dos caso: 10.10 gr/m³,¹⁰ que lo ubica 0.12 gr/m³ arriba de la célula de control y 0.15 arriba del exterior.

Humedad Absoluta / Experimento III			
gr/m ³	Sensor 1	Sensor 2	Exterior
Promedio	9.98890086	10.10384224	9.95020916

Fig.165. Promedios Humedades Absolutas Experimento III. Fuente: Propia



4.12.4 EXPERIMENTO IV / 6Kg DE ZEOLITA
03 MARZO 2013/CULIACÁN SINALOA

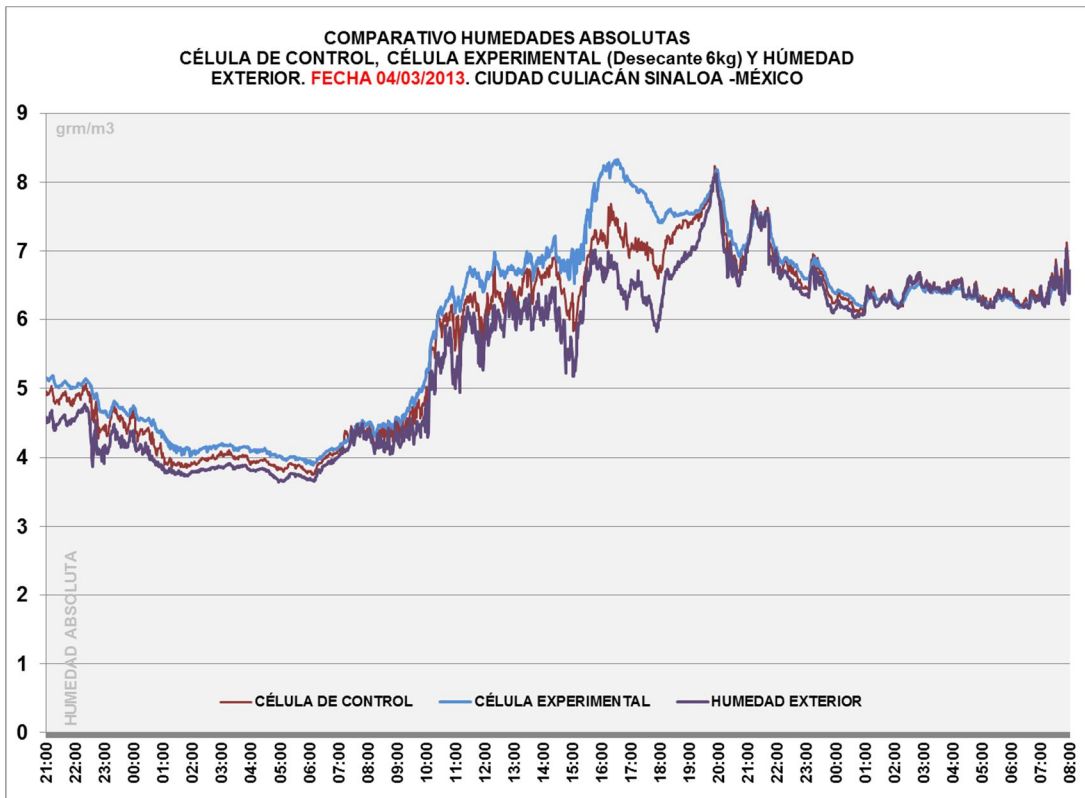


Fig.166. Comparativo Humedades Absolutas Experimento IV. Fuente: Propia

El experimento IV muestra desde el inicio de las mediciones que la célula experimental tiene valores mayores seguido por la célula de control y el exterior. El valor máximo lo alcanza la célula experimental alrededor de las 16:00 Horas y coincide con el valor máximo para las otras dos condiciones, las líneas se vuelven a unir a las 19:00 Hrs allí la humedad exterior y la humedad de la célula de control se unen con intervalos muy pequeños de separación. A la 01:00 Hrs los datos de la célula experimental bajan y son superados por muy poco valor por las otras dos condiciones. El promedio indica nuevamente que la célula experimental tiene el mayor valor 5.93 gr/m^3 la célula de control se encuentra 0.53 gr/m^3 debajo de la célula experimental y 0.22 gr/m^3 del exterior.

Humedad Absoluta / Experimento IV			
gr/m ³	Sensor 1	Sensor 2	Exterior
Promedio	5.7469688	5.933779088	5.52207942

Fig.167. Promedios Humedades Absolutas Experimento IV. Fuente: Propia



4.12.5 EXPERIMENTO V / 6Kg DE ZEOLITA 06 MARZO 2013/CULIACÁN SINALOA

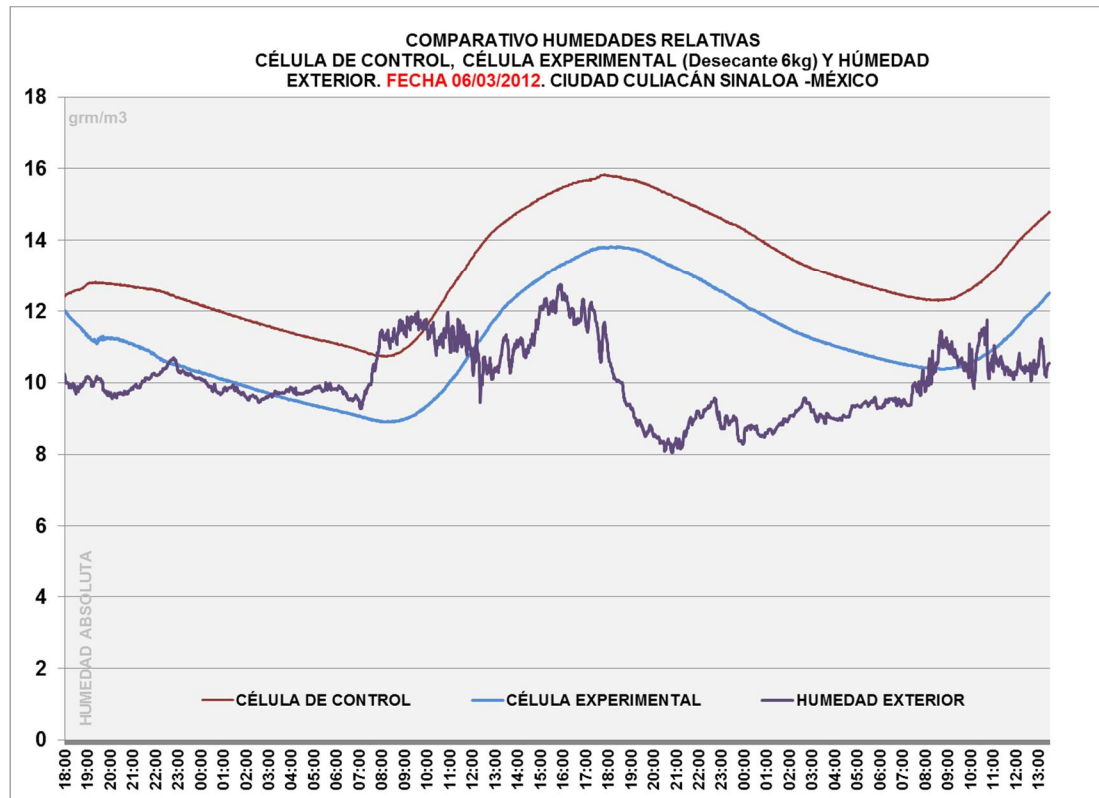


Fig.168. Comparativo Humedades Relativas Experimento V. Fuente: Propia

Este experimento tiene un comportamiento distinto ya que las células fueron cerradas al aire exterior. Los datos de la célula de control y la célula experimental muestran líneas continuas, donde los valores de la célula de control sobrepasan a los valores de la célula experimental. En el exterior el comportamiento de los datos se asemeja a los valores de la humedad relativa, el mínimo valor se da alrededor de las 12:00 Hrs, el valor mínimo para el caso de la célula experimental se da alrededor de las 08:00 Hrs igual sucede con la célula de control. El valor máximo para la célula de control y experimental se da a las 18:00 Hrs, mientras que el exterior su máximo se alcanza a las 14:00 Hrs. En este caso el valor promedio mayor de las tres condiciones es para la célula de control con 13.15 gr/m³, la célula experimental se sitúa 11.16 gr/m³ por debajo de ésta condición.

Humedad Absoluta / Experimento V			
gr/m ³	Sensor 1	Sensor 2	Exterior
Promedio	13.1582765	11.16774373	10.0673866



4.12.6 EXPERIMENTO VI / 3Kg DE ZEOLITA
27 MARZO 2013/CULIACÁN SINALOA

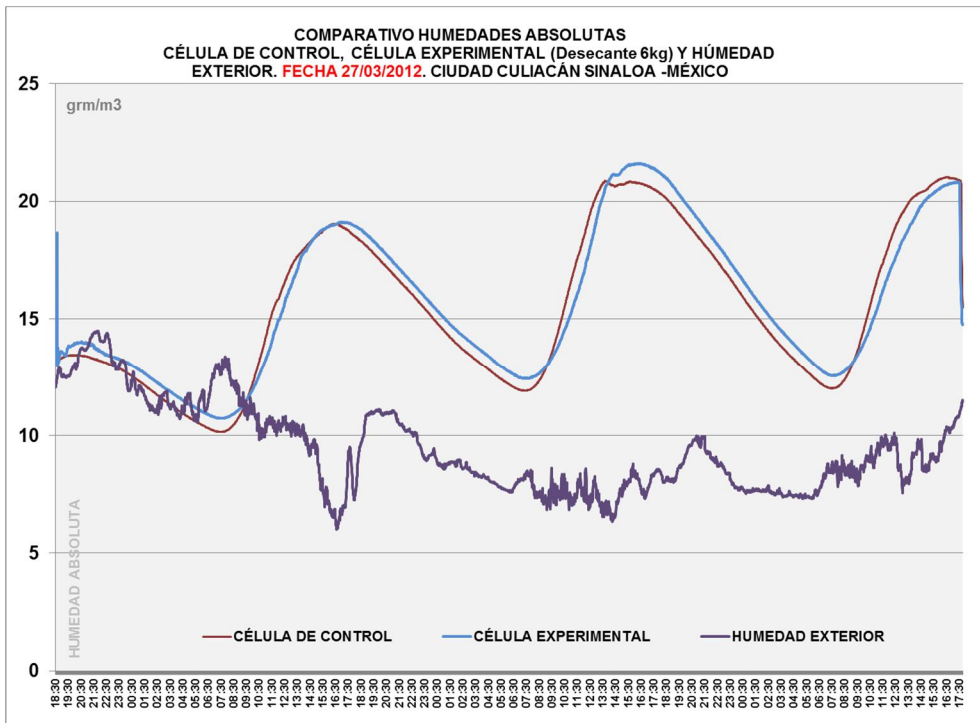


Fig.169. Comparativo Humedades Relativas Experimento VI. Fuente: Propia

En éste experimento también se utilizaron los vanos cerrados, vemos que en el caso de la célula de control y la célula experimental los valores se disparan y presentan una gran diferencia si se comparan con los datos exteriores. Al inicio del experimento los valores de la célula experimental están por encima de la célula de control, esto se da en el rango de las 18:30 Hrs hasta las 09:30 que las líneas se invierten y la célula experimental decae, y en el pico se cruzan de nuevo y vuelve a tener un valor mayor. El valor máximo para la célula experimental se acerca a los 21 gr/m³ a las 15:00 Hrs, la célula de control reporta igualmente la misma hora de la máxima, mientras que el exterior registra su máximo valor a las 16:30. Las tres condiciones coinciden en la tabla de valores desde las 18:30Hrs hasta las 07:00 Hrs. El valor promedio máximo lo alcanza la célula experimental con 15.71 gr/m³.rebase a los datos exteriores por 6.37 gr/m³ y la célula de control por 0.19 gr/m³.

Humedad Absoluta / Experimento VI			
gr/m ³	Sensor 1	Sensor 2	Exterior
Promedio	15.5223092	15.71499638	9.43974824



4.12.7 EXPERIMENTO VII / 6Kg DE ZEOLITA 30 MARZO 2013/CULIACÁN SINALOA

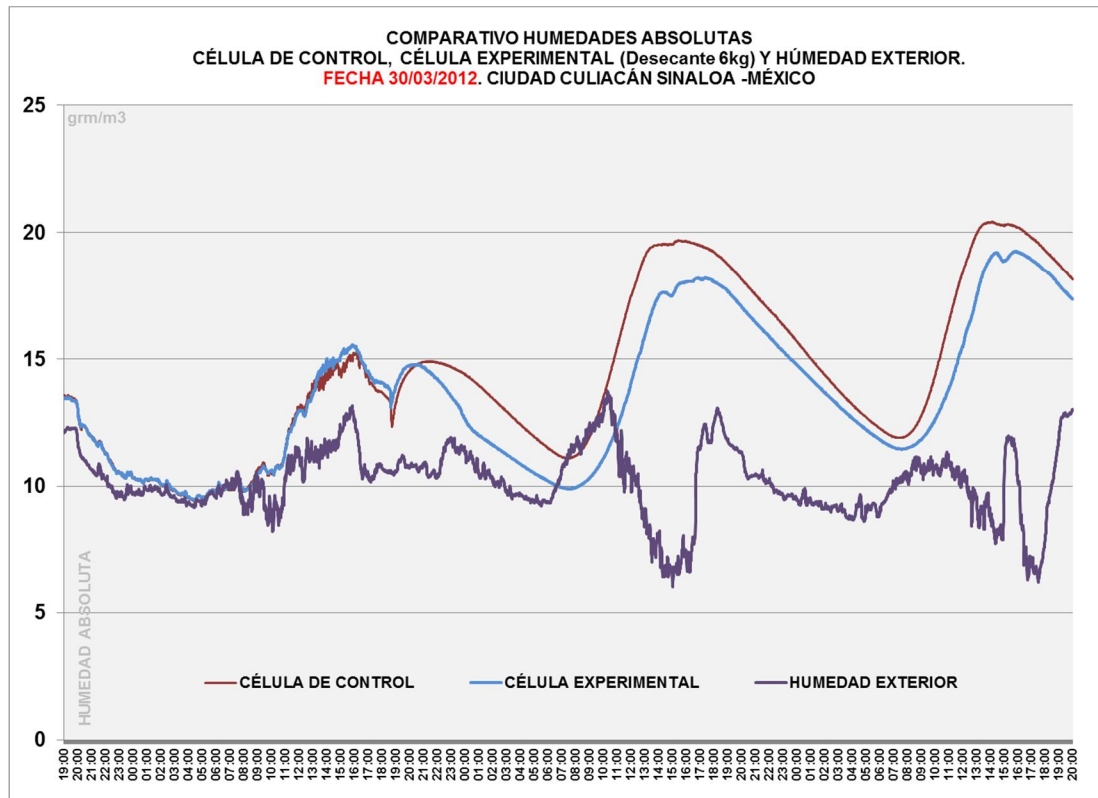


Fig.170. Comparativo Humedades Relativas Experimento VII. Fuente: Propia

Este experimento emula un poco la situación del estudio anterior, con la diferencia de que los datos no están haciendo saltos tan bruscos durante el estudio. Se observa al inicio de la toma de datos que los valores de la célula de control y la célula experimental van sobre la misma línea debajo de estas se encuentran los datos exteriores. A partir de las 09:00 Hrs los valores de la célula de control y la célula experimental aumentan, presentan una caída a las 18:00 horas hasta las 07:00 Horas. La célula de control presenta los mayores valores durante todo el experimento, y pues esta condición la que tiene mayor valor del promedio con 14.41 gr/m^3 , el valor promedio de la célula experimental se encuentra 0.83 gr/m^3 por debajo de la célula de control y 3.35 gr/m^3 más arriba que los valores exteriores

Humedad Absoluta / Experimento VII			
gr/m ³	Sensor 1	Sensor 2	Exterior
Promedio	14.4180545	13.5488343	10.1928569



4.12.8 EXPERIMENTO VIII/ 6Kg DE ZEOLITA 04 de Julio 2013/CULIACÁN SINALOA

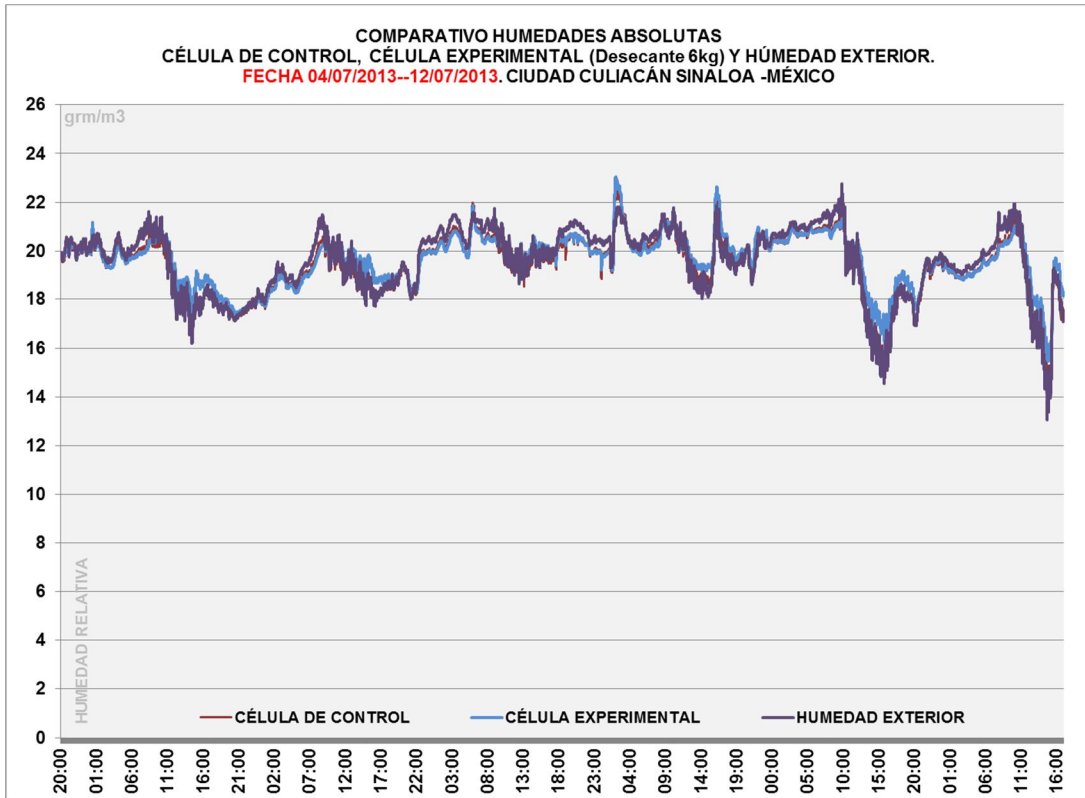


Fig.171. Comparativo Humedades Relativas Experimento VII. Fuente: Propia

Este experimento se hace con los vanos de las células de estudio abiertas, por lo que el comportamiento de los datos se asemeja mucho a los experimentos iniciales. Las tres condiciones tienen un comportamiento muy parecido. No se observa mucha diferencia entre los datos de la célula de control y la célula experimental. Los valores entre los cuales se ve una diferenciación son los de la célula experimental contra los datos exteriores que en algunas horas del día se imponen contra los otros dos caso y viceversa. El mayor valor promedio lo tiene la célula experimental con 19.62 gr/m^3 , seguido por los valores exteriores con un promedio de 19.59 gr/m^3 y se ubica en el último lugar la célula de control con 19.42 gr/m^3 .

Humedad Absoluta / Experimento VIII			
gm/m ³	Sensor I	Sensor 2	Exterior
Promedio	19.4255984	19.62195927	19.5911925



4.12.9 EXPERIMENTO IX/ 6Kg DE ZEOLITA 13 de Julio 2013/CULIACÁN SINALOA

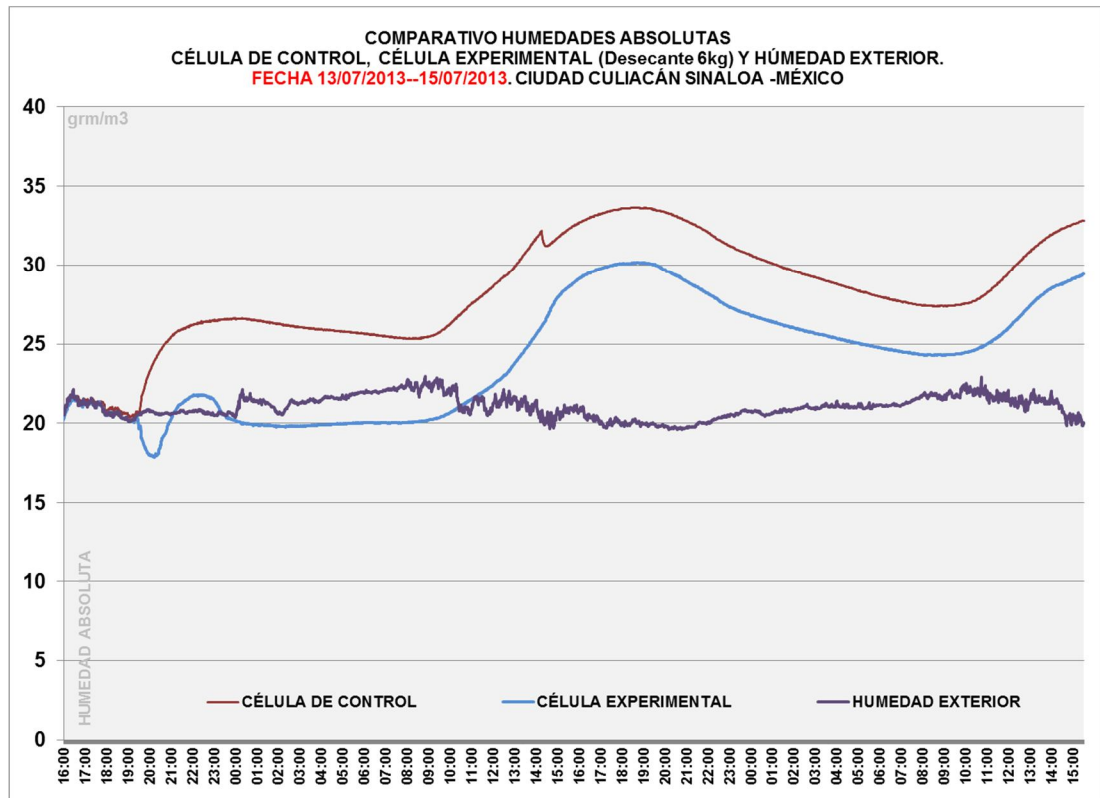


Fig.172. Comparativo Humedades Relativas Experimento VIII. Fuente: Propia

Las células de control vuelve a estar cerradas, se observa que el comportamiento de la célula experimental y de control vuelve a estar muy por encima que los valores exteriores. Los valores exteriores se encuentran dentro de los rangos de 19 gr/m³ y 22 gr/m³ durante todo el experimento. En el caso de los módulos el rango de los valores va desde los 20 gr/m³ hasta los 24 gr/m³. La hora en la que se observa el valor máximo para la célula de control son las 19:00 Hrs y coincide con el valor máximo de la célula experimental, en el exterior el valor máximo se da a las 08:00 Hrs. La célula de control tiene el mayor valor promedio de 28.20 gr/m³, la célula experimental se encuentra 4.13 gr/m³ por debajo de ésta condición pero si sobrepasa los valores exteriores por 3.02 gr/m³

Humedad Absoluta / Experimento IX			
grm/m3	Sensor 1	Sensor 2	Exterior
Promedio	28.2092039	24.0717228	21.0538162

Fig.173. Comparativo Promedio Humedades Relativas Experimento VIII. Fuente: Propia



4.12.10 EXPERIMENTO X/ 6Kg DE ZEOLITA
15 de Julio 2013/CULIACÁN SINALOA

| 186

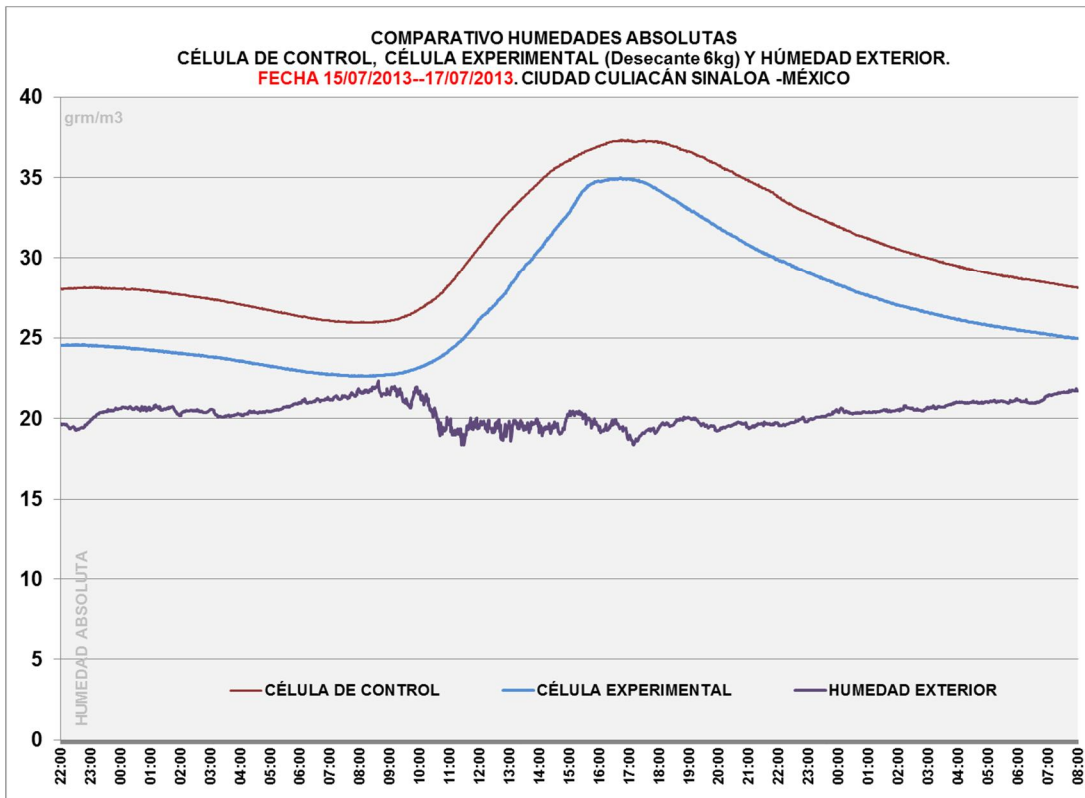


Fig.174. Humedades Relativas Experimento IX. Fuente: Propia

Se repite el mismo patrón del estudio anterior para las tres condiciones, los valores exteriores son menores su rango esta de 18 gr/m³ hasta los 21 gr/m³. Se observa una diferencia importante entre los valores exteriores de la célula de control y la célula experimental. Los valores máximos para las células de estudio se dan alrededor de las 15:00 Hrs, hora en que se da el valor mínimo del exterior. La célula de control muestra un dato máximo cercano a los 36 gr/m³ y la célula experimental un valor cercano a los 35 gr/m³. El comportamiento de las líneas de la célula de control y célula experimental se asemeja al desarrollo de una grafica de temperatura: se inician con valores bajos que van aumentando a medida que pasan las horas. El promedio con mayor valor se encuentra en la célula de control, seguido por la célula experimental y el menor promedio lo tiene el exterior.

Humedad Absoluta / Experimento X			
grm/m ³	Sensor 1	Sensor 2	Exterior
Promedio	30.5755417	27.0449859	20.309781



4.12.11 EXPERIMENTO XI/ 10Kg DE ZEOLITA
17 de Julio 2013/CULIACÁN SINALOA

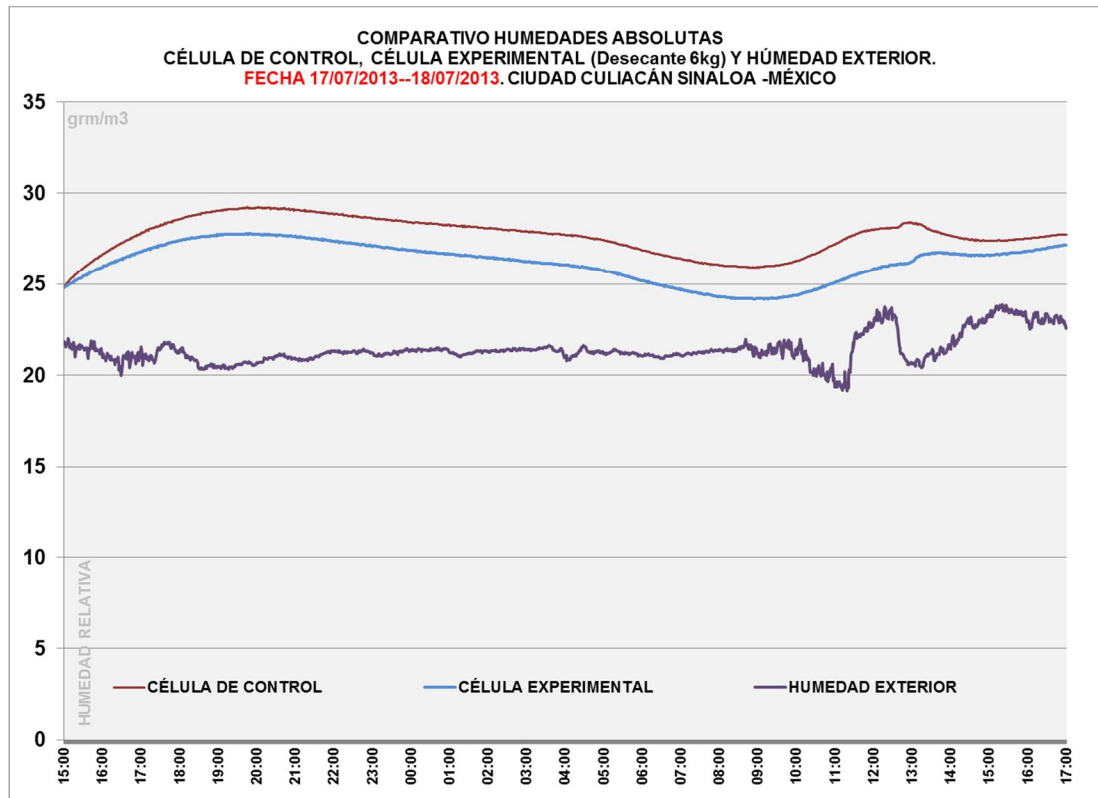


Fig.175. Humedades Relativas Experimento XI. Fuente: Propia

En el experimento donde se utilizan 10 Kgs de zeolita, el comportamiento de los tres casos que se están evaluando es similar al experimento anterior. Los valores promedios que se tienen son los siguientes: célula de control 27.65 gr/m³, célula experimental 26.23 gr/m³, y el exterior 21.40 gr/m³. Los datos del exterior siguen un comportamiento por debajo de las dos condiciones estudiadas, debido a que lleva su ciclo normal. Las humedades relativas en la célula de control y la célula experimental tienden a tener valores altos debido a la falta de ventilación dentro de los módulos, por lo cual no existe la renovación de aire.

Humedad Absoluta / Experimento XI			
grm/m3	Sensor 1	Sensor 2	Exterior
Promedio	27.6852012	26.2327828	21.4082956

Fig.176. Comparativo Promedio Humedades Relativas Experimento XI. Fuente: Propia



4.13 ANÁLISIS DE SENSACIÓN TÉRMICA

El libro *“Instalaciones y Servicios Técnicos”* de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid define el termino de **Sensación Térmica** como la sensación aparente que tienen los humanos basados en los parámetros que determinan el ambiente en un lugar. Usualmente las personas se refieren a las sensaciones de calor o frio, o tal vez sólo con mirar un termómetro se hace un juicio acerca de la temperatura en este sentido hay muchas condicionantes que pueden mejorar o empeorar la sensación.

| 188

Steadman, R.G., 1979: The assessment of sultriness. Part I: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. J. Appl. Meteor., 18, 861-873, menciona que en el verano la humedad es el elemento ambiental que aumenta la sensación de bochorno a partir de esto se desarrolló el parámetro de sensación térmica mezclando el calor y la humedad basados en evaluaciones de fisiología humana y transferencia de calor entre el cuerpo, vestimenta y entorno. Se desarrolló una tabla para calcular la sensación térmica. Basados en esta tabla se hace una evaluación para la sensación térmica que se tuvo en cada uno de los experimentos.

TEMP. (° C)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
20	16	16	17	17	17	18	18	19	19	19	19	19	20	20	20	21	21	21	21	21	21	21
21	18	18	18	19	19	19	19	19	20	20	20	20	21	21	21	22	22	22	22	22	22	23
22	19	19	19	20	20	20	20	20	21	21	21	21	22	22	22	22	23	23	23	23	23	24
23	20	20	20	20	21	21	22	22	22	23	23	23	24	24	24	24	24	24	24	24	25	25
24	21	21	22	22	22	23	23	23	24	24	24	24	25	25	25	25	25	25	25	26	26	26
25	22	23	23	23	24	24	24	24	24	24	25	25	25	26	26	26	27	27	27	28	28	28
26	24	24	24	24	25	25	25	26	26	26	27	27	27	27	28	28	28	29	29	29	29	30
27	25	25	25	25	26	26	26	27	27	27	27	28	28	29	29	29	30	30	31	31	31	33
28	26	26	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29	29	30	31	32	32	33	34	34	34	36
29	26	26	27	27	27	28	29	29	29	29	30	30	31	33	33	34	35	35	37	38	40	40
30	27	27	28	28	28	28	29	29	30	30	31	32	33	34	35	36	37	39	40	41	45	45
31	28	28	29	29	29	30	31	31	31	33	34	35	36	37	39	40	41	45	45	50	50	50
32	29	29	29	30	31	31	33	33	34	35	35	37	39	40	42	44	45	51	51	55	55	55
33	29	29	30	30	31	33	33	34	34	35	36	38	39	42	43	45	49	49	53	54	55	55
34	30	30	31	31	32	34	34	35	36	37	38	41	42	44	47	48	50	52	55			
35	31	32	32	32	33	35	35	37	37	40	40	44	45	47	51	52	55					
36	32	33	33	34	35	36	37	39	39	42	43	46	49	50	54	55						
37	32	33	34	35	36	38	38	41	41	44	46	49	51	55								
38	33	34	35	36	37	39	40	43	44	47	49	51	55									
39	34	35	36	37	38	41	41	44	46	50	50	55										
40	35	36	37	39	40	43	43	47	49	53	55											
41	35	36	38	40	41	44	45	49	50	55												
42	36	37	39	41	42	45	47	50	52	55												
43	37	38	40	42	44	47	49	53	55													
44	38	39	41	44	45	49	52	55														
45	38	40	42	45	47	50	54	55														
46	39	41	43	45	49	51	55															
47	40	42	44	47	51	54	55															
48	41	43	45	49	53	55																
49	42	45	47	50	54	55																
50	42	45	48	50	55																	

Tabla para calcular sensación térmica por efecto del calor y la humedad. Eje x: humedades relativas, Eje Y: Temperaturas en °c. Fuente:

http://www.tutiempo.net/silvia_larocca/Temas/Met21.htm



4.13.1 EXPERIMENTO I / 2Kg DE ZEOLITA 31 ENERO 2013/CULIACÁN SINALOA

Hora	Célula de Control			Célula Experimental			Datos Externos		
	Hr	Temp °C	ST (°C)	Hr	Temp °C	ST (°C)	Hr	Temp °C	ST (°C)
10:00	56.9418167	17.843	19	60.137333	16.939	19	51.9	19.389	19
12:00	40.9591764	22.393	21	43.8087823	21.246	20	35.3	24.968	23
15:00	46.4445829	23.04	23	48.0252234	22.465	21	44.3	23.857	22
18:00	53.417079	21.199	20	51.7203469	21.748	20	58.8	19.579	19
00:00	62.6969831	16.844	19	57.275852	18.343	19	76	13.69	20
05:00	74.9912256	13.161	19	68.249429	14.697	19	86.3	10.883	21
Promedio	20.16666667			19.66666667			20.66666667		

Para las tres condiciones de estudio se hace un análisis de sensación térmica por medio de la tabla de sensación térmica de *Steadman*, se pueden observar que la sensación térmica en este día fue de temperaturas bajas de 19°C a 21°C, por lo que incluso se podía sentir frío. Se puede afirmar que en la célula experimental la zeolita influyo sobre la sensación térmica un 1% menos comparado con los datos externos y la célula de control. Se realiza una grafica de confort a partir de los datos de humedad (en el eje Y) y temperatura (eje X) de la célula experimental, siendo el centro de la zona de confort 23.523384°C con un 50% de humedad relativa. Se observa que en esta fecha los datos recabadosse encuentran cerca de la zona de confort determinados por las dos líneas rojas.

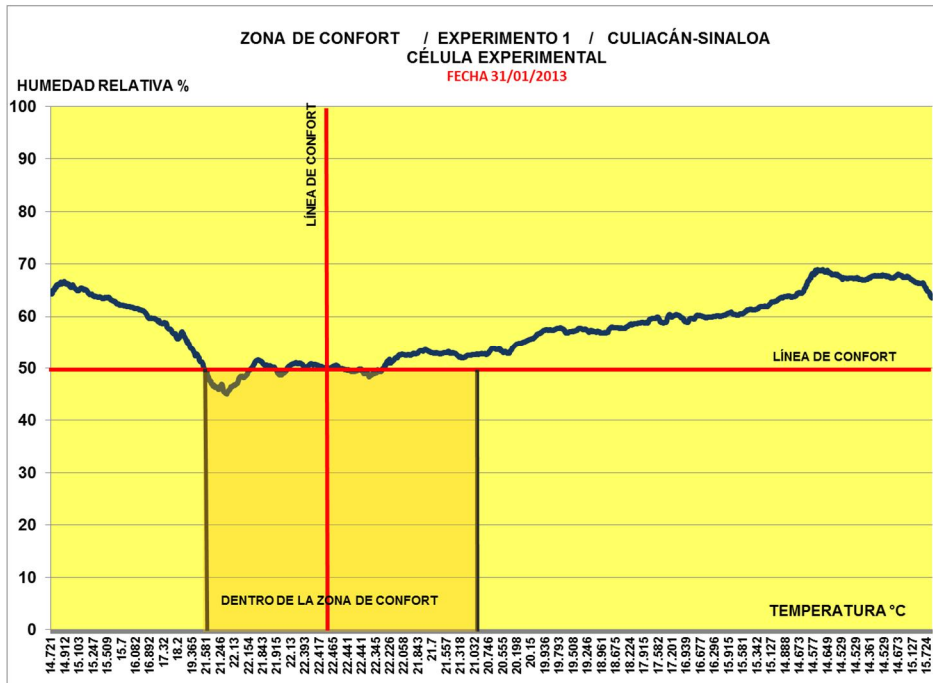


Fig.177. Análisis Zona de Confort Experimento I. Fuente: Propia



4.13.2 EXPERIMENTO II / 4Kg DE ZEOLITA 01 FEBRERO 2013/CULIACÁN SINALOA

190

EXPERIMENTO II / FEBRERO 01 2013 / CULIACÁN SINALOA									
Hora	Célula de Control			Célula Experimental			Datos Externos		
	Hr	Temp °C	ST (°C)	Hr	Temp °C	ST (°C)	Hr	Temp °C	ST (°C)
10:00	42.0245557	23.857	22	45.75025961	22.393	21	34.5	27.333	27
12:00	36.0237624	26.842	26	35.92490272	26.891	26	30.9	26.891	25
15:00	39.3588437	26.744	26	40.34546681	26.304	26	36.2	28.245	28
18:00	51.9922552	24.944	24	43.83827994	27.974	27	53.6	24.412	24
00:00	68.1707968	19.555	20	60.55244632	21.557	20	80.7	16.749	21
05:00	77.9956221	17.629	20	71.588509	19.056	20	87.8	15.676	21
Promedio	23			23.3333333			24.3333333		

Para las condiciones del experimento II, la sensación térmica para las tres condiciones se mantiene muy pareja el promedio de los estudios esta entre los 23°C y los 24.33°C. La sensación térmica en la célula experimental manje rangos desde los 20°C hasta los 27°C, un grado por debajo de los datos externos que el rango va hasta los 28°C. Se puede afirmar que la zeolita tuvo una influencia de un 1% menos que el exterior. Este día se puede clasificar como un día fresco. Para el análisis de la zona de confort con centro en 24.7°C y 50% de humedad relativa se observa que la mayoría de datos se encuentran cerca de esta zona, también se observan altas humedades con bajas temperaturas lo que hace que la sensación térmica de estas sean de frío.

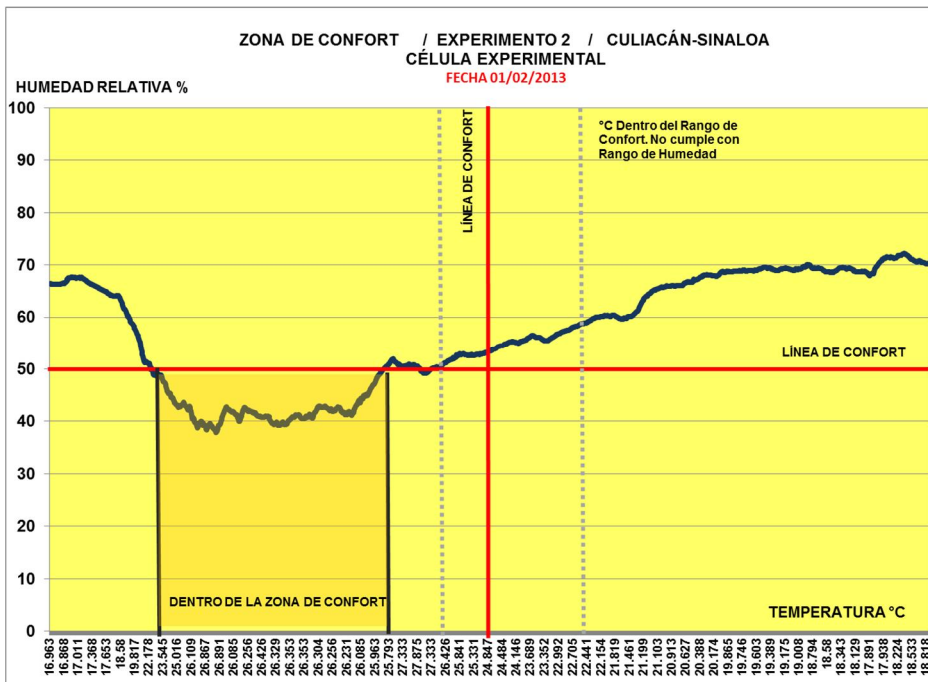


Fig.178. Análisis Zona de Confort Experimento II. Fuente: Propia



4.13.3 EXPERIMENTO III / 6Kg DE ZEOLITA 02 FEBRERO 2013/CULIACÁN SINALOA

EXPERIMENTO III / 02 DE FEBRERO 2013 / CULIACAN SINALOA									
Hora	Célula de Control			Célula Experimental			Datos Externos		
	Hr	Temp °C	ST (°C)	Hr	Temp °C	ST (°C)	Hr	Temp °C	ST (°C)
10:00	40.5573496	22.944	21	45.3623105	21.032	20	33	26.549	25
12:00	37.5298311	24.968	23	36.1070839	25.647	24	31.3	28.196	27
15:00	36.338223	25.841	24	36.338223	25.841	24	32.2	27.998	26
18:00	45.4280545	23.833	23	43.7587181	24.484	24	47.1	23.208	26
00:00	64.1443914	18.889	20	58.4978103	20.436	19	73.5	16.63	20
05:00	72.2719786	16.368	20	66.1029697	17.843	20	83.5	14.002	19
Promedio	21.83333333			21.83333333			23.83333333		

Se observa que para esta temporada del año en el estado de Sinaloa las temperaturas están bastante frescas, los rangos de los promedios de la sensación térmica para los tres casos van de los 21.83°C a los 23.8°C. La célula experimental presenta una sensación térmica de 2% menos respecto a los datos exteriores, si se compara con la célula de control no hay diferencia ya que su promedio es igual. Con respecto a la zona de confort con centro en 24.38, los valores durante el proceso experimental se acercan a la línea de confort, el fenómeno de temperaturas bajas con humedades relativas bajas se sigue presentando.

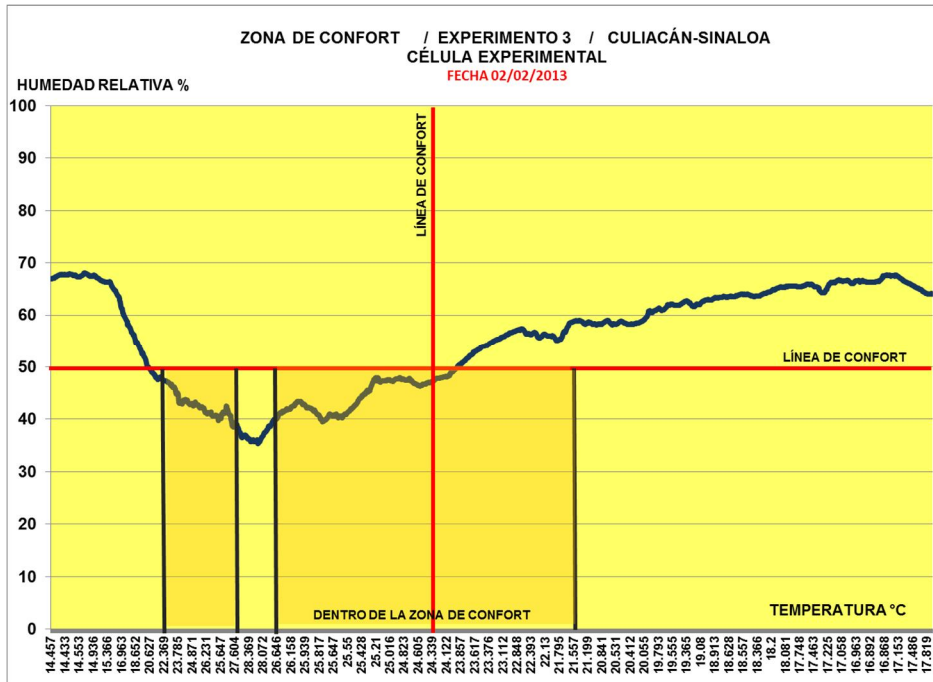


Fig.179. Análisis Zona de Confort Experimento III. Fuente: Propia



4.13.4 EXPERIMENTO IV / 6Kg DE ZEOLITA 03 MARZO 2013/CULIACÁN SINALOA

EXPERIMENTO IV / 03 DE MARZO 2013 / CULIACÁN SINALOA									
Hora	Célula de Control			Célula Experimental			Datos Externos		
	Hr	Temp °C	ST (°C)	Hr	Temp °C	ST (°C)	Hr	Temp °C	ST (°C)
07:00	27.5399367	17.177	18	27.0305442	17.486	19	27.5	17.201	19
11:00	14.7470278	32.175	29	17.2992653	29.215	27	15.3	31.484	29
15:00	18.4592903	29.165	27	18.9452403	28.692	27	17.1	30.571	29
18:00	23.6981376	26.94	25	23.0873356	27.407	26	24.9	26.061	25
21:00	36.6066071	21.987	19	32.2483235	24.171	23	46.9	17.819	19
00:00	37.8934218	18.961	20	33.223974	21.175	20	47.3	15.294	19
Promedio	23			23.6666667			23.3333333		

192

En marzo a lo largo del día se observa un incremento muy pequeño en las temperaturas, por lo que los promedios en la sensación térmica para las tres condiciones permaneces muy parecidas: célula de control 23°C, célula experimental 23.66°C y 23.33°C para los datos exteriores. Si observamos el efecto de la zeolita comparado con los datos exteriores la sensación térmica de esta célula estuvo 0.3% más alta y 0.6% más alta que la célula de control. Para la gráfica de confort con centro en 24.723°C y 50% de humedad relativa en la célula experimental se observan datos con temperaturas medias entre 20°C y 29°C y humedades relativas muy bajas, lo que hace que sus datos estén cerca de la zona de confort.

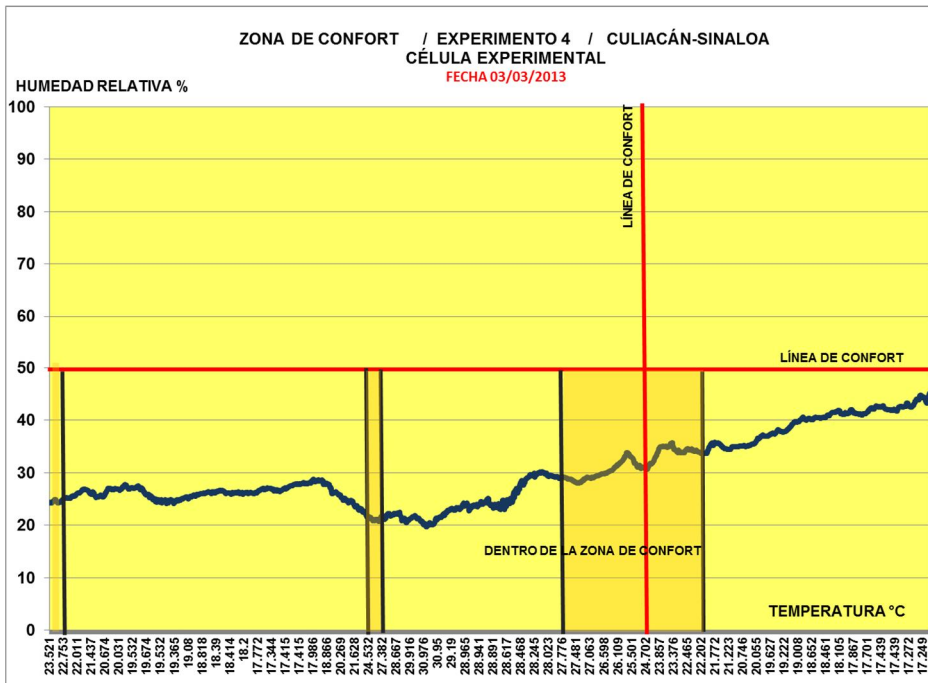


Fig.180. Análisis Zona de Confort Experimento IV. Fuente: Propia



4.13.5 EXPERIMENTO V / 6Kg DE ZEOLITA 06 MARZO 2013/CULIACÁN SINALOA

Hora	Célula de Control			Célula Experimental			Datos Externos		
	Hr	Temp °C	ST (°C)	Hr	Temp °C	ST (°C)	Hr	Temp °C	ST (°C)
10:00	59.2923073	22.178	22	61.148232	21.652	21	42.2	28.147	28
12:00	45.8720606	24.871	24	48.0838175	24.05	24	31.9	31.433	29
15:00	47.1470374	26.891	26	47.6016317	26.72	26	41	29.414	29
18:00	41.2652514	27.259	27	40.9828291	27.382	27	45.5	25.525	25
21:00	34.5212158	26.012	26	34.0487445	26.256	26	42.8	22.274	21
00:00	37.4674294	24.46	23	37.1062713	24.629	23	52.1	18.842	19
05:00	47.4676953	22.298	21	47.6678281	22.226	21	59.5	18.485	19
Promedio	24.14285714			24			24.28571429		

En el experimento V la sensación térmica de los tres casos de estudio se muestran con valores parecidos y lo revelan sus promedios. El promedio más alto lo tuvieron los datos externos con 24.8°C, seguidos por la célula de control con 24.14°C y con menor valor la célula experimental con 24°C. La célula que contenía la zeolita mejoró la sensación térmica un 0.2% menos que los datos externos y 0.1% menos que la célula experimental. Los datos de confort con su centro en 25.27°C, muestran una evolución de datos muy cercana a la zona de confort, con temperaturas entre los 22°C y 30°C y humedades que no sobrepasan el 50% de humedad relativa, lo que hace que la sensación térmica que se presente sea agradable.

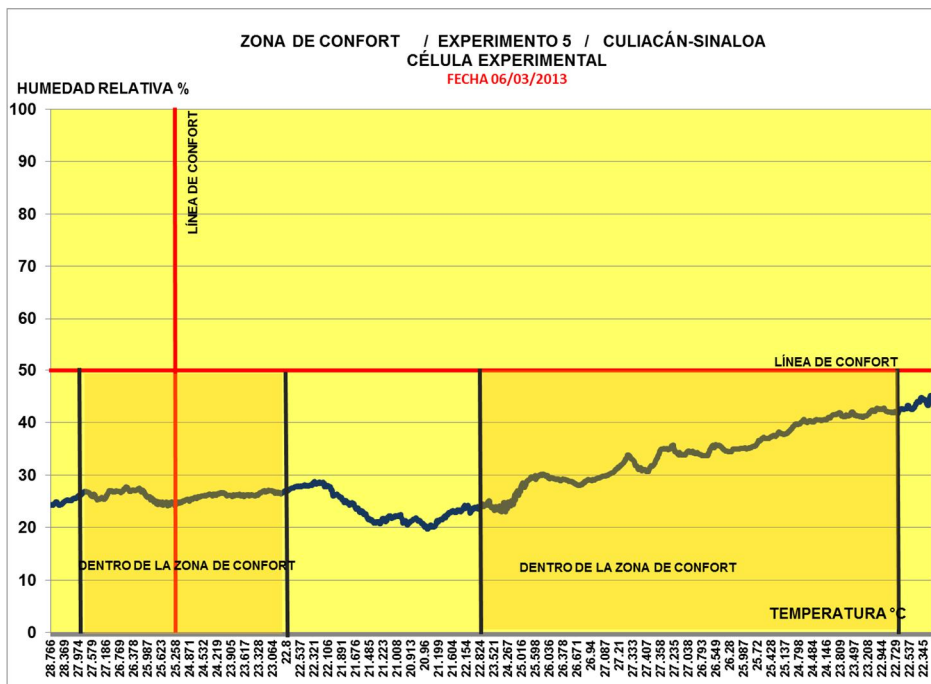


Fig.181. Análisis Zona de Confort Experimento V. Fuente: Propia



4.13.6 EXPERIMENTO VI / 3Kg DE ZEOLITA 27 MARZO 2013/CULIACÁN SINALOA

EXPERIMENTO VI / 27 DE MARZO 2013 / CULIACÁN SINALOA									
Hora	Célula de Control			Célula Experimental			Datos Externos		
	Hr	Temp °C	ST (°C)	Hr	Temp °C	ST (°C)	Hr	Temp °C	ST (°C)
10:00	48.4228789	24.605	23	52.4100337	23.232	24	29.9	33.391	33
12:00	34.8582263	29.916	29	39.8598999	27.481	27	28.8	33.495	33
15:00	27.9673672	32.175	31	29.9394276	30.9	28	27.4	32.562	31
18:00	22.3826549	31.128	29	23.0640404	30.571	28	25	29.09	28
21:00	38.25242	29.015	29	38.6729603	28.816	28	52	23.569	23
00:00	36.0785407	26.671	26	36.2778518	26.573	26	51.8	20.412	19
05:00	37.78181	23.472	22	38.15108	23.304	22	52.7	17.843	19
Promedio	27			26.14285714			26.57142857		

194

Para el 27 de marzo se observa un incremento en las temperaturas importantes los rangos se encuentran entre los 22°C y los 32°C. La sensación térmica de la célula experimental tuvo un promedio de 26.14°C, mientras que el exterior un promedio de 26.57°C y la célula de control una sensación térmica promedio de 27°C. La sensación térmica de la célula experimental fue un 0.43% menor que los datos externos y 0.9% menos que la célula de control. En la gráfica de la zona de confort para la célula experimental se observa un incremento entre las temperaturas y las humedades relativas lo que ubica a estas líneas un 10% arriba de la zona de confort, esto quiere decir que requieren elementos pasivos para el mejoramiento higrotérmico interior.

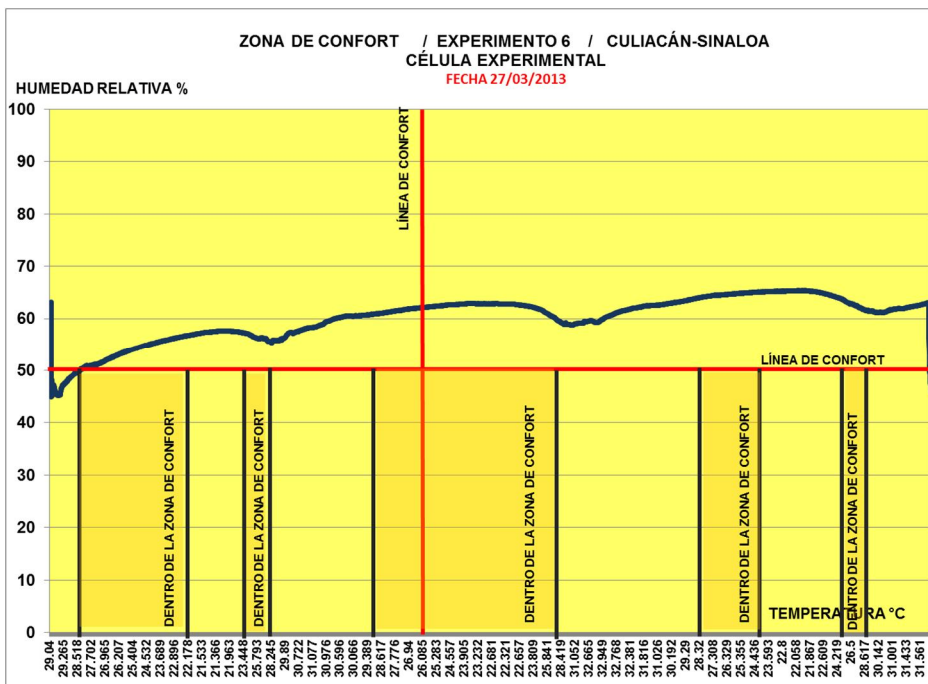


Fig.182. Análisis Zona de Confort Experimento VI. Fuente: Propia



4.13.7 EXPERIMENTO VII / 6Kg DE ZEOLITA 30 MARZO 2013/CULIACÁN SINALOA

EXPERIMENTO VII / 30 MARZO 2013 / CULIACÁN SINALOA									
Hora	Célula de Control			Célula Experimental			Datos Externos		
	Hr	Temp °C	ST (°C)	Hr	Temp °C	ST (°C)	Hr	Temp °C	ST (°C)
10:00	33.480979	27.628	27	37.065357	25.817	24	20.7	36.688	35
12:00	33.737977	32.047	31	37.16775	30.243	30	29.8	34.413	34
15:00	35.596515	32.536	33	35.354771	32.665	33	33.8	33.521	33
18:00	32.456524	31.663	31	31.929952	31.97	30	34.7	30.419	29
21:00	35.27623	30.167	29	34.466811	30.596	29	44.9	25.817	24
00:00	42.186462	28.023	28	41.386257	28.369	28	63.5	20.889	20
05:00	43.252772	24.05	23	43.372475	24.002	23	75.4	14.721	19
Promedio	28.85714286			28.14285714			27.71428571		

Para el 30 de marzo las temperaturas siguen incrementándose, la sensación térmica promedio para las tres condiciones es la siguiente: 28.85°C para la célula de control, 28.14°C para la célula experimental y 27.7°C para los datos externos, en este sentido la célula que contiene zeolita tiene el valor con una sensación térmica mayor con 1% más que los datos exteriores y 0.71% más que la célula de control. El centro en la gráfica de control con centro en 26.38°C y 50% de humedad relativa muestra que los datos en la célula experimental se encuentran la mayoría sobre la línea de confort debido a que sus humedades registran valores cercanos al 50% de humedad relativa.

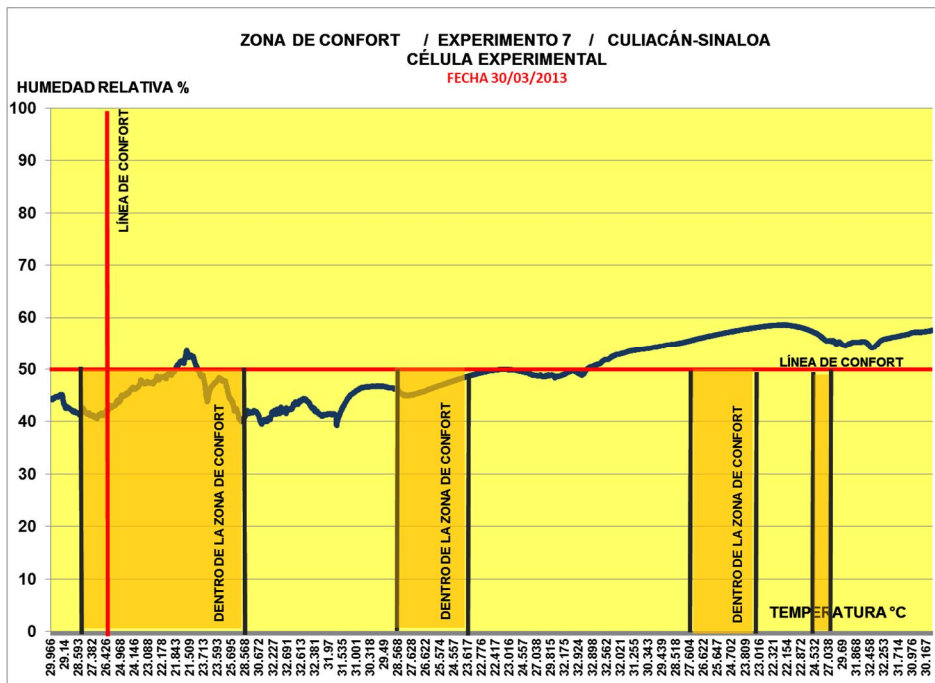


Fig.183. Análisis Zona de Confort Experimento VII. Fuente: Propia



4.13.8 EXPERIMENTO VIII/ 6Kg DE ZEOLITA 04 de Julio 2013/CULIACÁN SINALOA

196

EXPERIMENTO VIII / 04 DE JULIO 2013 / CULIACÁN-SINALOA									
Hora	Célula de Control			Célula Experimental			Datos Externos		
	Hr	Temp °C	ST (°C)	Hr	Temp °C	ST (°C)	Hr	Temp °C	ST (°C)
10:00	58.5525796	33.287	38	62.1722457	32.15	37	53	35.208	40
12:00	38.8665241	38.868	43	42.502203	37.069	41	38.6	39.008	46
15:00	37.1344145	39.121	44	36.1721245	39.658	44	40.5	37.37	41
18:00	42.269937	36.092	34	38.8231204	37.783	37	47.8	33.704	35
21:00	47.6318219	33.313	35	43.2912573	35.155	40	56.1	30.243	32
00:00	54.9475264	31.51	35	50.5628918	33.079	36	62.9	29.015	31
05:00	63.1254673	29.34	33	58.3216683	30.798	33	71.8	27.014	29
Promedio	37.42857143			38.28571429			36.28571429		

El 04 de Julio los rangos de temperaturas sobrepasan los 30°C y se observan valores de más de 40°C, las humedades relativas también presentan un incremento. La sensación térmica en la célula experimental presenta un promedio de 38.28°C, seguido por la célula de control con 37.42°C y en menor escala los datos externos con un valor promedio de 36.28°C. La célula experimental incrementa su sensación térmica un 2% más que los valores externos y 0.86% más que la célula de control. La gráfica de confort con centro en 28.11°C con 50% de humedad relativa muestra que la mayoría de los datos durante el experimento están muy alejados de la línea de confort, esto debido al incremento de humedad e incremento de temperatura.

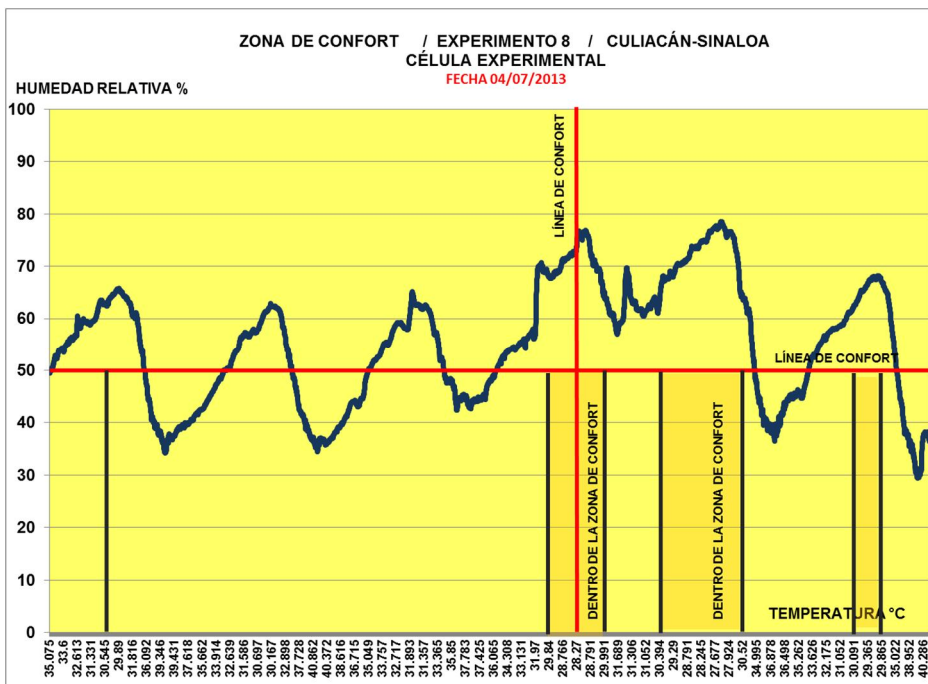


Fig.184. Análisis Zona de Confort Experimento VIII. Fuente: Propia



4.13.9 EXPERIMENTO IX/ 6Kg DE ZEOLITA 13 de Julio 2013/CULIACÁN SINALOA

Hora	Célula de Control			Célula Experimental			Datos Externos		
	Hr	Temp °C	ST (°C)	Hr	Temp °C	ST (°C)	Hr	Temp °C	ST (°C)
10:00	67.0284987	31.153	36	66.8453517	31.204	36	60.1	33.209	39
12:00	60.0097189	32.794	37	60.7490475	32.562	37	55.9	34.15	41
15:00	53.3092218	34.492	38	48.7764077	36.227	42	51.8	35.049	40
18:00	50.2606678	35.075	40	45.8568316	36.878	42	54.4	33.548	38
21:00	50.3725327	34.73	38	48.2833794	35.555	40	65.1	29.89	33
00:00	55.3123056	33.861	38	55.3872798	33.835	38	70.9	29.215	33
05:00	60.2723562	32.691	37	62.5327581	31.996	35	79.1	27.677	30
Promedio	37.71428571			38.57142857			36.28571429		

Para el 13 de Julio las temperaturas siguen dentro de los rangos del experimento anterior, la célula experimental tiene un promedio con la sensación térmica más alta si la comparamos con los otros dos estudios, tiene un valor de 38.57°C, seguido por 37.71°C de la célula de control y 36.28°C de los valores externos. La célula experimental sobrepasa 1.47% más que la célula de control y un 2.29% más que el exterior. Dentro de éste experimento con zeolita los datos en la zona de confort se encuentran muy alejados debido a las altas temperatura y las altas humedades.

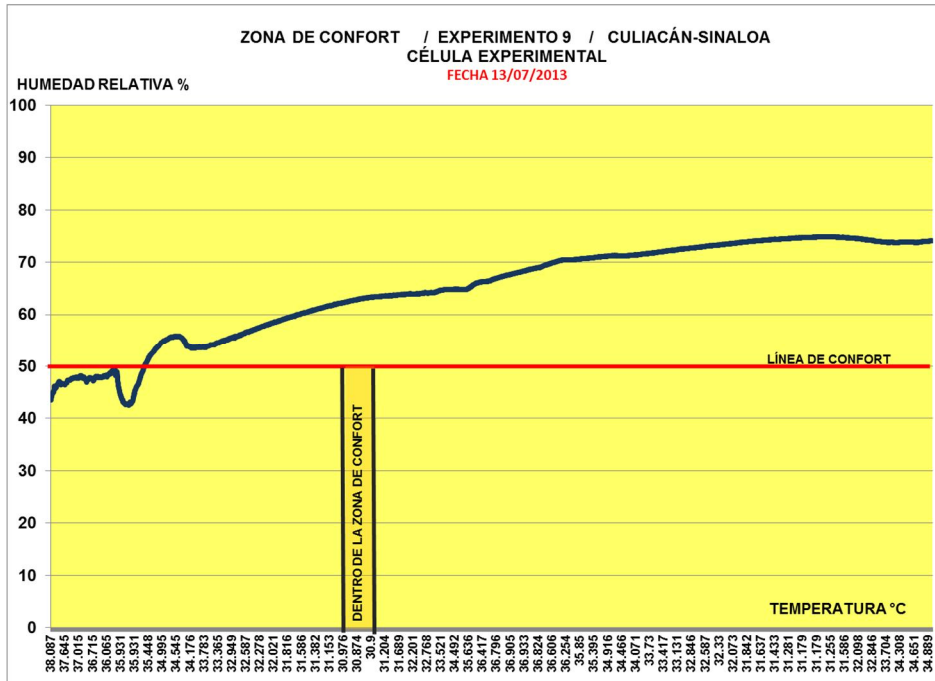


Fig.185. Análisis Zona de Confort Experimento IX. Fuente: Propia



4.13.10 EXPERIMENTO X/ 6Kg DE ZEOLITA 15 de Julio 2013/CULIACÁN SINALOA

EXPERIMENTO X / 15 DE JULIO 2013 / CULIACÁN-SINALOA									
Hora	Célula de Control			Célula Experimental			Datos Externos		
	Hr	Temp °C	ST (°C)	Hr	Temp °C	ST (°C)	Hr	Temp °C	ST (°C)
10:00	65.8144642	31.357	36	69.1285509	30.444	35	50.5	36.444	43
12:00	55.3546126	32.82	35	54.9046997	32.975	35	41.3	38.56	44
15:00	50.5112689	35.102	40	43.9841303	37.838	41	44.9	37.425	44
18:00	47.9331252	35.342	33	41.967113	37.976	41	60.2	31.001	35
21:00	50.2617711	34.466	38	47.2656046	35.662	40	66.3	29.265	33
00:00	55.5571753	33.521	38	55.1033509	33.678	38	74.2	28.147	30
05:00	61.1227657	32.201	37	63.1570282	31.586	35	78.7	27.554	30
Promedio	36.71428571			37.85714286			37		

198

El día 15 de Julio la célula experimental presenta el mayor valor promedio de sensación térmica con 37.85°C, los datos externos tuvieron un valor promedio de 37°C, y la célula de control 36°C. Esto vuelve a situar a la célula experimental por encima de los valores externos un 0.85% y un 1.14 más que la célula de control. Se observa que a lo largo del día se tuvieron en la célula experimental sensaciones térmicas que fueron desde los 35 hasta los 41°C, los valores externos tuvieron datos semejantes que llegaron hasta los 44°, pero se observa que la sensación en la noche en el exterior fue mucho menor que las dos condiciones estudiadas. En la gráfica de la zona de confort para la célula experimental los datos se encuentran alejados de las líneas debido a las altas temperaturas y altos valores de humedad relativa.

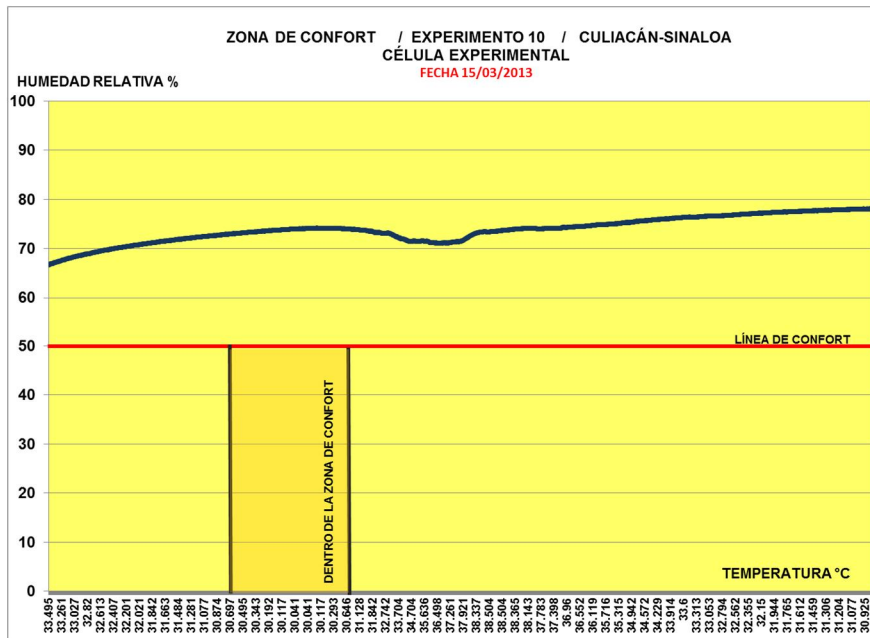


Fig.186. Análisis Zona de Confort Experimento X. Fuente: Propia



4.13.11 EXPERIMENTO XI/ 10Kg DE ZEOLITA 17 de Julio 2013/CULIACÁN SINALOA

EXPERIMENTO XI / 17 DE JULIO 2013 / CULIACÁN-SINALOA									
Hora	Célula de Control			Célula Experimental			Datos Externos		
	Hr	Temp °C	ST (°C)	Hr	Temp °C	ST (°C)	Hr	Temp °C	ST (°C)
10:00	77.7916681	28.023	32	77.4732671	28.097	32	75.9	28.468	30
12:00	78.1450244	29.115	34	78.1450244	29.115	34	86.6	27.259	29
15:00	84.5634294	28.122	33	83.8735534	28.27	32	89.7	27.063	29
16:00	83.4556297	28.122	33	82.7747911	28.27	30	87.8	27.21	31
Promedio	33			32			29.75		

El 17 de Julio se observan que las temperaturas bajan del rango de los 35°C y se sitúan entre los 25°C y los 35°C, sin embargo la humedad se incrementa hasta alcanzar más de un 90%. La célula de control presenta el mayor valor promedio de sensación térmica con 32°C, los valores externos tienen un valor de 29.75°C y la célula de experimental 32°C. La célula de control sobrepasa en un 1% la sensación térmica comparada con la célula experimental y 2.25% los valores externos. A pesar de tener humedades tan altas, al tener temperaturas medias la sensación térmica no se hace tan desagradable. Pero si se observa el análisis de la gráfica de confort, vemos que los valores están muy lejanos de la línea de confort.

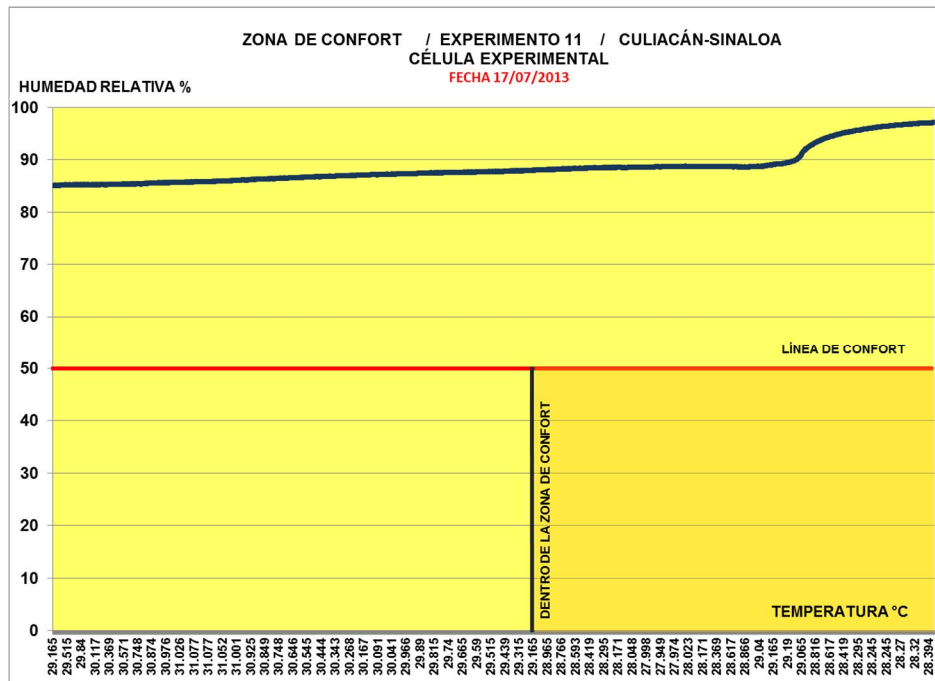


Fig.187. Análisis Zona de Confort Experimento XI. Fuente: Propia.







Se retoma la hipótesis con el fin de generar las distintas conclusiones y líneas de investigación que se pueden desarrollar a partir del planteamiento de ésta tesis.

" Un material desecante como la zeolita al ser calentada a altas temperaturas mejora la absorción de agua del aire en materiales de construcción con alta porosidad, reduce la sensación molesta de humedad que se presenta en los climas tropicales cálidos húmedos."

| 202

Se realizó el planteamiento metodológico basados en la revisión bibliográfica sobre deshumidificación, desecantes y experimentos in situ que tuvieran como propósito el estudio de materiales o técnicas de enfriamiento pasivo en módulos.

En la etapa metodológica se construyeron los dos módulos en block de concreto que en su interior contenían 1 m³ de aire, se realizaron 11 experimentos en las siguientes fechas y con las siguientes características:

Evaluación		Tratamiento del Desecante				
No Exp.	Fecha	Abierto	Cerrado	Cal. Mecánico	No de calentó	Cantidad Zeolita
1	31-ene-13	X		X		2kgs
2	01-feb-13	X		X		4Kgs
3	02-feb-13	X		X		6Kgs
4	03-mar-13	X			X	6Kgs
5	06-mar-13		X	X		6Kgs
6	27-mar-13		X	X		3Kgs
7	30-mar-13		X	X		6Kgs
8	04-jul-13	X			X	6Kgs
9	13-jul-13		X	X		6Kgs
10	15-jul-13		X		X	6Kgs
11	17-jul-13		X		X	10Kgs

Tabla Resumen de los Experimentos Realizados. Fuente: Propia

Se hace tabla resumen con el fin de sacar conclusiones de los experimentos en sus distintas etapas: se describe el número de experimento, la fecha en que se realizó. Más adelante se marca con una X si el experimento tuvo el vano cerrado o abierto. En una de las casillas con una X se señala si el experimento tuvo calentamiento mecánico o no, y también se hace el reporte de cuantos kilos de desecante se utilizaron.



Evaluación		Célula de control		Célula Experimental		Exterior	
No Exp.	Fecha	°C Promedio	Humedad Promedio	°C Promedio	Humedad Promedio	°C Promedio	Humedad Promedio
1	31-ene-13	17.97	59.62	18.46	57.75	17.15	63.75
2	01-feb-13	21.7	60.23	22.42	57.14	21.43	63.43
3	02-feb-13	20.49	57.75	21.25	55.32	20.32	60.32
4	03-mar-13	21.48	31.31	22.33	30.04	20	34.11
5	06-mar-13	24.13	59.79	24.11	50.73	22.55	51.07
6	27-mar-13	27.37	57.85	26.97	60.02	25.49	44.23
7	30-mar-13	27.86	52.55	27.7	49.77	26.13	44.63
8	04-jul-13	32.58	57.22	33.27	55.35	31.1	62.83
9	13-jul-13	33.35	77.45	33.7	64.84	31.17	65.85
10	15-jul-13	33.01	84.85	33.28	73.88	30.13	68.05
11	17-jul-13	29.18	94.89	29.46	88.53	27.53	81.02

Tabla Resumen de Humedades Promedio y Temperaturas Promedio de los Experimentos. Fuente: Propia

Entonces aquellos experimentos que cumplieron con lo que dice la hipótesis son los experimentos : 1,2,3,4,5,8 y 9. Se concluye entonces que: en los experimentos en que fue calentada la zeolita de manera mecánica o a través del aprovechamiento de la energía solar el 63.63% de los experimentos alcanzaron el objetivo de mejorar la absorción de agua del aire dentro de un módulo de evaluación. El otro 36.36% restante corresponde a la respuesta que tuvo el exterior frente a la humedad y que tuvo menor valor comparado con la célula de control y la célula de estudio, allí la célula experimental estuvo cerrada con paneles de policarbonato por lo que se puede deducir que la zeolita tiene un mejor comportamiento en un ambiente donde el aire esté circulando y no quede estático, por ello la bibliografía para el clima cálido húmedo recomienda que la arquitectura para estos lugares son aquellas con orificios amplios y paredes muy perforadas que permiten el paso del viento y éste llegue a todos los espacios.

Si hablamos de temperatura en la célula experimental se observó en los 11 experimentos un incremento en la temperatura, por ello se realizó un análisis de humedad absoluta, con el fin de conocer con más detalle como se comportó el material desecante:

Tabla Resumen Humedades Absolutas grm/m3			
Experimento	Célula de Control	Célula Experimental	Exterior
1	9	9.04	8.98
2	11.1	11.17	11.1
3	9.98	10.1	9.95
4	5.74	5.93	5.52
5	13.15	11.16	10.06
6	15.52	15.71	9.43
7	14.41	13.54	10.19
8	19.42	19.62	19.59
9	28.2	24.07	21.05
10	30.57	27.04	20.3
11	27.68	26.23	21.4

Tabla Resumen de Humedades Promedio y Temperaturas Promedio de los Experimentos. Fuente: Propia



Al realizar éste análisis la humedad absoluta de cada uno de los experimentos estos se calcularon a partir de las temperaturas correspondientes a cada uno de los módulos, entonces se concluye que la temperatura tiene una influencia directa con la capacidad de absorción de la zeolita, y esto también se corroboró con los análisis de incursión solar donde se pudo establecer que:

| 204

- Los rayos directos llegaban a la zeolita en la mañana, en la tarde la zeolita estaba sombreada.
- La temperaturas de la célula experimental sobrepasaban los valores comparadas con las otras dos condiciones.
- En los experimentos con los vanos cerrados la temperatura también presentó valores más altos que las otras dos condiciones.

Se concluye que el comportamiento de absorción para la zeolita tiene un comportamiento proporcional a la temperatura donde se encuentre, a medida que avanza el día la zeolita absorbe calor y en la noche se disipa, por ello la forma en que se desarrollan las líneas de evolución de las gráficas. Por ello las líneas de investigación que se generen a partir de este estudio deben tener en cuenta la temperatura ambiente para mejorar las condiciones en el interior de un proceso experimental de éste tipo.

En la parte de la sensación térmica que se calculó con base en la temperatura exterior el 27.27% de los experimentos favorables los tuvo la célula experimental, el 36.36% de los experimentos estuvo a favor de la célula de control y el 36.37 estuvo a favor del exterior.

TABLA RESUMÉN SENSACIÓN TÉRMICA °C			
Experimento	Célula de Control	Célula Experimental	Exterior
1	20.16	19.66	20.66
2	23	23.33	24.33
3	21.83	21.83	23.83
4	23	23.66	23.33
5	24.14	24	24.28
6	27	26.14	26.57
7	28.85	28.14	27.71
8	37.42	38.28	36.28
9	37.71	38.57	36.28
10	36.71	37.85	37
11	33	32	29.75

Tabla Resumen de Sensación Térmica Promedio de los Experimentos. Fuente: Propia



Los tres primeros experimentos que se realizaron al principio del año, muestran temperaturas y humedades un poco bajas por lo que los resultados de la sensación térmica se muestran benévolos. A medida que se acercaban las fechas hacia la mitad del año la temperatura y la humedad aumentaba de forma apreciable y esto se refleja en los datos recaudados.

Conociendo las conclusiones que se tuvieron anteriormente, no se debe dejar toda la responsabilidad del confort térmico a la zeolita, ya que éste está condicionado no sólo por factores térmicos del entorno, sino también por las propiedades térmicas de los materiales, la orientación, el tipo de aberturas, la geometría, los efectos del paisaje.

Estadísticamente los resultados que se tuvieron en los distintos experimentos y en los distintos análisis fueron positivos y cumplen de alguna manera con lo que se afirmó en la hipótesis.

Teniendo en cuenta lo dicho se recomienda lo siguiente:

Para próximos estudios con zeolita como desecante para la arquitectura se debe tener en cuenta lo que afirma Sánchez (2002) que denomina Ciclo de Recirculación, funciona de la misma manera que el ciclo de ventilación pero la diferencia radica en que el aire se recircula a través del deshumidificador y otros componentes. Se usa aire ambiente para la regeneración y luego es liberado.

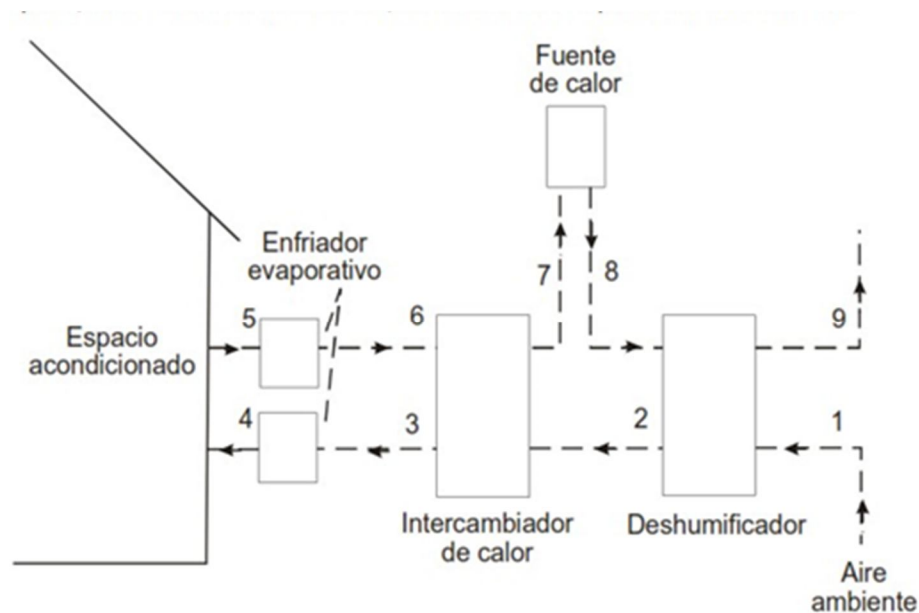


Fig. Ciclo de Pennington. Fuente. Sánchez (2002)



Debido a que la temperatura influye de manera directa en la zeolita, se puede plantear el estudio de convertir a la célula experimental en un deshumidificador que tenga dos funciones: la primera que es deshumidificar el aire y la segunda bajar la temperatura al aire y que sea transportado a un segundo módulo donde el aire que lleva la célula experimental sea trasladado a éste espacio y mejore las condiciones higrotérmicas, es indispensable integrar el fenómeno de la ventilación directa dentro de los próximos estudios.

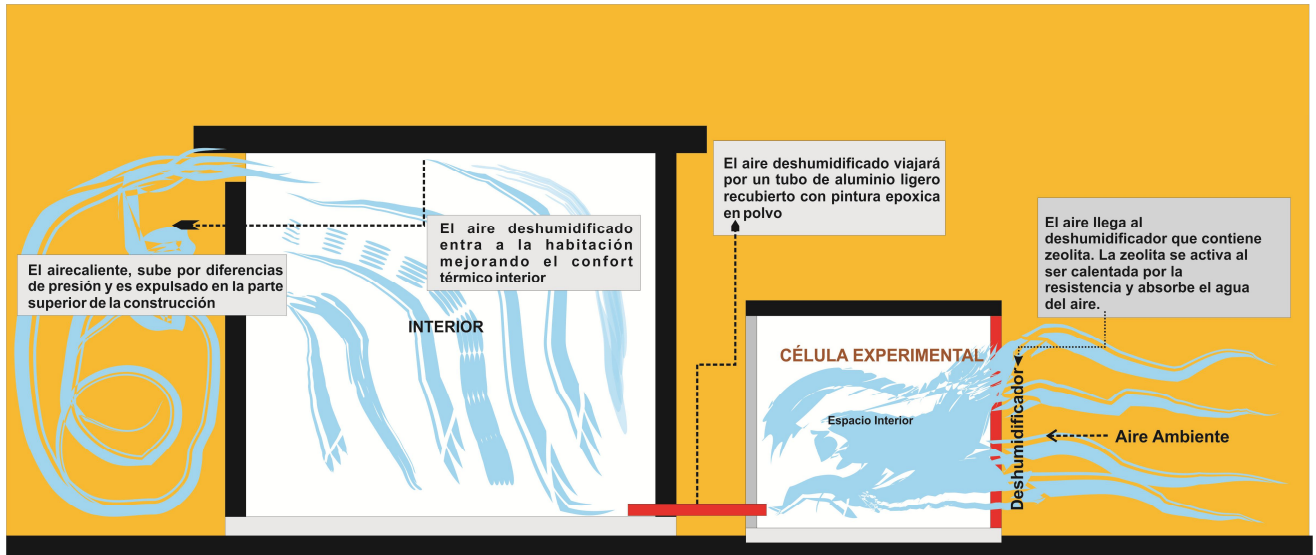


Fig. Propuesta mejoramiento del Experimento. Fuente: Propia

La propuesta del módulo experimental puede tener las siguientes características:

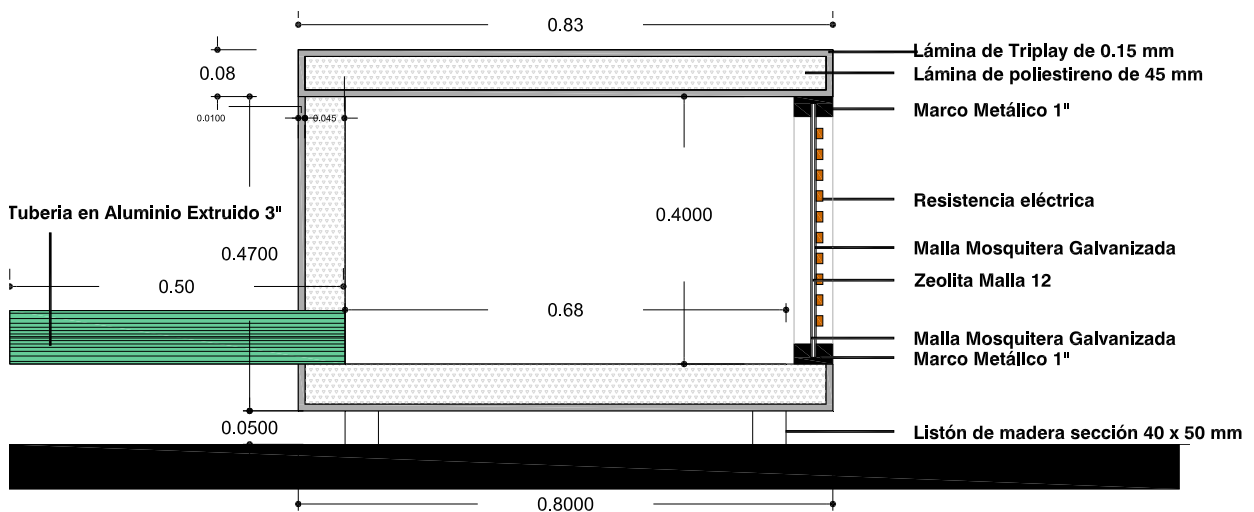


Fig. Propuesta mejoramiento Módulo Experimental. Fuente: Propia



Los materiales pueden ser cambiados por materiales con mejor aislamiento, también el empleo de más aparatos de medición como piránómetros y anemómetros con el fin de conocer el entorno y el desempeño del material desecante frente a los fenómenos ambientales.

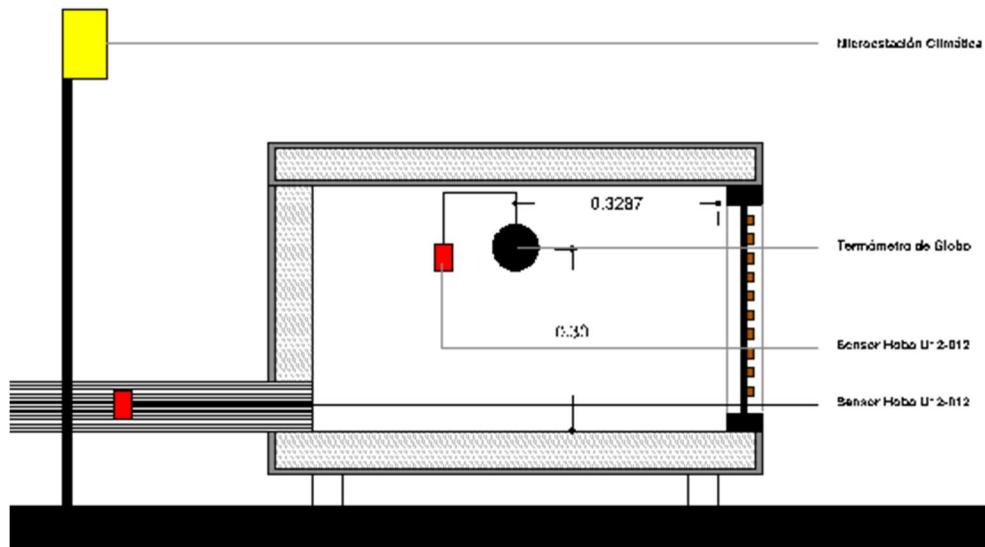


Fig. Propuesta mejoramiento Módulo Experimental y Ubicación de sensores. Fuente: Propia

Otra línea de investigación que es muy interesante está dada por el confort dentro de los espacios, la bibliografía presenta tablas, ecuaciones y demás basados en normativas internacionales donde las estaciones son muy marcadas. Es muy importante establecer parámetros de confort para los países que se encuentran en el trópico debido a que las condiciones de habitabilidad y factores térmicos son muy distintas.

Todas estas conclusiones y recomendaciones tienen una connotación ambiental debido a que plantear mecanismos de deshumidificación en las regiones del trópico no solo va en la vía de mejorar la calidad de vida de las personas que habitan estos lugares y que ya sus condiciones son difíciles, sino también en mejorar el tema de la arquitectura de alta calidad ambiental que plantea un ahorro en los consumos energéticos.

Las propuestas experimentales son una oportunidad de entender de primera mano los fenómenos que intervienen en la arquitectura, y así mismo se pueden plantear soluciones, líneas de investigación, propuestas arquitectónicas basados en un marco técnico serio donde la envolvente se entiende como la piel de una persona. Una piel que necesita adaptarse al frío, al calor, al día, a la noche y por supuesto a sus ocupantes.





Bibliografía



Referencias Bibliográficas

American Society of Heating and Ventilation Engineers (1951) *Heating, Ventilating, Air conditioning Guide*. 29ª Edición, Nueva York.

| 210

ASHRAE. 2010. ANSI/ASHRAE *Standard 62.1-2010, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc

Czajkowski Jorge D. et E. Rosenfel. (1993) *Condiciones Higrotérmicas Mínimas de Muros y Techos Para La Provincia de Buenos Aires*. 16 Reunión de Trabajo de ASADES. La Plata

Edwards, Brian (2008) *Guía Básica de La Sostenibilidad*. Ed. Gustavo Gilli, Barcelona.

García, J Fuentes(1995) *Viento y Arquitectura*. Ed. Trillas. México.

González Castaño, Alexander (2010) *Manual de Prácticas Para El Diseño Sostenible*. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Medellín, Colombia-

González E (1989) *Evaluación de Sistemas Pasivos de Enfriamiento y su Aplicación en El Diseño de Viviendas*. Informe de Investigación CONDES. Universidad de Zulia Venezuela.

González, E. (2001). *Enfriamiento Radiativo en Edificaciones*, Curso-Taller de la Red RIRAS del CYTED. Guadalajara. México.

Gómez Azpeitia, Gabriel (2007) *Los Arquitectos y La Investigación Científica*. Revista Palapa. Enero Junio. Año/Vol 2 Número 001. Universidad de Colima. Colima, México.

Grupo EMAT. (2001) *Manual Para Climas Tropicales*. Colciencias. Medellín. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín

Hobaica, María Elena. Sosa Griffin, María Eugenia. Siem, Geovanni. (2000). *Manual De Diseño Para Edificaciones Energéticamente Eficientes*. IDEC: Instituto de Desarrollo Experimental De La Construcción. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Central de Venezuela.

Jaramillo, Simón (2000). *Normativas de Eficiencia Energética Alrededor Del Mundo*. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

King Binelli, Delia (1994). *Acondicionamiento Bioclimático*. Ed. Universidad Autónoma de México.



Olguín, Gutierrez Maria Teresa (2002) *Zeolitas Características y Propiedades*. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, México, D. F. México.

Olgyay, Victor (1998) *Arquitectura y Clima. Barcelona*, Editorial Gustavo Gili.

Perry, R.H. and Green, D.W. *Perry's Chemical Engineers' Handbook (7th Edition)*, McGraw-Hill, ISBN 0-07-049841-5.

Rogers, S. Tyler (1951) *Design of Insulated Buildings for Various Climates*. Architectural Record Book, Nueva York.

Salazar, Jorge Hernán. García, Ader Augusto. González, Alexander. (2006) *Labor Cero Arquitectura A La Medida*. ISBN 958-978771-0-X. Medellín, Colombia.

Salazar, Jorge Hernán. Atehortua, Rafael Hernán (2002) *Construcción de Normas Urbanísticas Para El Ahorro Energético en Climas Tropicales*. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín.

Sánchez, Parrao Roger (2002) *Deshumidificación y Enfriamiento*. Universidad de Campeche, México.

Serra, Rafael. (1999) *Arquitectura y Climas. Barcelona*, 1ª Edición Editorial Gustavo Gili.

Steadman, R.G. (1979). *The assessment of sultriness. Part I: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science*. J. Appl. Meteor.

US Environmental Protection Agency, (1999). *Zeolita Un Adsorbente Versátil De Contaminantes Del Aire*. Office of Air Quality EPA 456/F-99-003. Environmental Protection Planning and Standards May 1999. Agency Research Triangle Park, NC 27711

Tesis

González García Sabrina Isabella (2010). Tesis: *Estudio Experimental Del Comportamiento Térmico de Sistemas Pasivos En Enfriamiento En Clima Cálido-Húmedo. VIII Maestría en Energías Renovables: Arquitectura y Urbanismo. La Ciudad Sostenible*. Universidad Internacional de Andalucía



Guimarães, Merçon Mariana (2008) *Confort Térmico y Tipología Arquitectónica en Clima Cálido-Húmedo. Análisis térmico de la cubierta ventilada*. Tesina Universidad Politécnica de Catalunya Master Oficial Arquitectura Energía y Medio Ambiente.

| 212

Khalila, Kisha (2005) Tesis de Maestría: *El Desempeño de La Ventilación Natural Según La Morfología de las Casas en Villa San Sebastián, Colima*. Facultad de Arquitectura y Diseño. Universidad de Colima

López Cervantes, Aida (2010). Tesis de Doctorado: *Sistema De Aireación Inducida Para Disminuir Riesgos De humedad Intramuros : Caso De Estudio Para El Trópico Húmedo*. Posgrado de Arquitectura, Facultad de Arquitectura. Universidad Nacional Autónoma de México.

Lorrio Domeme, Laura (2011). Tesis de Maestría: *Análisis Del Comportamiento Térmico De Las Zeolitas Como Material Ligero. Alternativo A La Arcilla Expandida. En Hormigones Para Formación de Pendientes*. EU De Arquitectura Técnica, Universidad Politécnica de Madrid.

Artículos Científicos

Avendaño Restrepo, Carlos Alberto. Londoño Echeverri, Carlos Andres. Vela Rosero, Miguel Ángel. (2007). *Patologías Por La Humedad En Los Materiales Para Construcción*. Scientia Et Technica, vol. XIII, núm. 36, septiembre, 2007, pp. 343-347, Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia

Carbonell M Tania, López A Leonart, Quesada R Guillermo. (2010) Artículo: *"Utilización De Las Ruedas Desecantes Entálpicas y Sensibles En El Tratamiento Del Aire En Cuba"*. CETER. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. La Habana-Cuba.

Fonseca Díaz, Néstor. (2009). *Rendimientos De Deshumidificación Del Aire Mediante Sales Disecantes En Aplicaciones Hvac/R*. Scientia et Technica Año XV, No 43. Universidad Tecnológica de Pereira Colombia ISSN 0122-1701.

Goto Katsuhiko, Terao Sasagu (2005) *Structures and humidity controlling performances of zeolite-Cement*. Hardened Bod. Journal of the Ceramic Society of Japan. Japan.



Hauer, A. (2007). *Thermal Energy Storage With Zeolite For Heating And Cooling Applications*. Pp 399-405. Journal Adsorption. Volume 13.

Manricic, Irene. Ochoa, José Manuel. Del Río, Jesús Antonio. (2012) *Confort Térmico Adaptativo Dependiente De La Temperatura y La Humedad*. ACE: Architecture, City and Environment= Arquitectura, Ciudad y Entorno (en línea) Año 7, núm 20. P. 27-46 . Octubre.

Martín Herre, Daniela. Velázquez Giraldo, Martha (2012). Artículo: *Comparación De Dos Muestras de Zeolita En La Adsorción de Humedad y Remoción de Olores*. Artículos Científicos, INFOMIN. Vol 4. Enero – Junio 2012.

Martinez, Patricia. Sarmiento, Pedro. Urquieta, Wadir. (2005) *Evaluación De La Humedad Por Condensación Dentro de Viviendas Sociales*. Revista INVI, Vol 20. No. 55.

Chang SC. Roux JA. (1985). *Thermodynamic Analysis Of A Solar Zeolite Refrigeration System*. Journal of Solar Energy Engineering. V107 N3.

Zhiming Gao. Viung C. Mei . John J. Tomlinson.(2005). *Theoretical Analysis Of Dehumidification Process In A Desiccant Wheel*. Heat Mass Transfer (2005) 41: 1033–1042 DOI 10.1007/s00231-005-0663-4. Springer-Verlag 2005

Ensayos y Apuntes

Gómez M. Claudia Juliana, Zeevaert A. Leonardo (2012). *Envolvente y Arquitectura*. Materia Interacción Con El Medio, Universidad Nacional Autónoma de México. Posgrado en Arquitectura.

Morales, Ramírez Jose Diego. (2012) Apuntes Clase: *Sistemas Pasivos de Climatización*. Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura. Universidad Nacional Autónoma de México.

Morillon, Galvez David (2002). *Introducción A Los Sistema Pasivos de Enfriamiento*. Ponencia Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco- México.

Leyes y Normas

Norma Oficial Mexicana Nom-020-Ener-1997, *Eficiencia Energetica En Edificaciones.- Envolvente De Edificios Para Uso Habitacional*. Diario Oficial De La Federación. México.



Norma Técnica Del Instituto De Normalización y Certificación IRAM, representante de la Argentina en las International Organization for Standardization (ISO) en la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT) y en la Organización Mercosur.

| 214

Norma UNE-ISO77-30:2006. Ergonomía Del Ambiente Térmico.

Páginas Web

www.ashrae.org / (Consultado el 07/10/11)

<http://www.ine.gob.mx/> (Consultado el 05/05/12)

<http://www.iso.org/iso/home.html> (Consultado el 11/11/11)

<http://www.iqe.es/en/productos/zeolita-zeolita.html> (Consultado el 01/12/11)

<http://www.iso.org/iso/home.html> (Consultado el 28/02/13)

<http://goldbook.iupac.org/C012355.html> (Consultado 17/11/12)

www.grupoemat.com (Consultado 20/07/12)

http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75 (Consultado 13/07/13)

Instrumentación

www.onsetcomp.com

www.pceinstruments.com

www.googlemaps.com

<http://www.karcher.com.mx>

<http://www.zeolitech.com.mx/>




Anexos




EQUIPOS DE MEDICIÓN

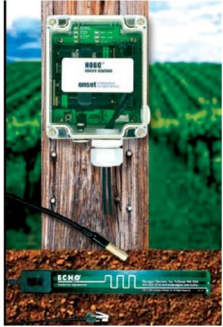
| 216

Sensor de Temperatura y Humedad Relativa

Hobo U12-012 Datta Logger				
	Marca	ONSET	Cantidad	2
	Características			
	Resolución de 12-bit para proporcionar una alta precisión			
	Memoria grande para medidas a largo plazo o muestreo rápidos			
	Comienzo programable y por medio de botón			
Interfaz directa USB para recuperación rápida de datos				
Compatible con HOBO U-Shuttle para el transporte de los datos en campo				
Almacena 43.000 medidas				
Especificaciones				
Especificaciones	Temperatura: -20° a 70°C (- 4° a 158°F) Humedad Relativa: del 5% a del 95%			
Precisión	Temperatura: ± 0.35°C de 0° a 50°C (± 0.63°F de 32° a 122°F) Humedad Relativa: ±2.5% a partir del 10% al 90% (típico), a un máximo de el ±3.5% Canal de entrada externo (véase el manual del sensor): ±2.5% ±2 milivoltios de la lectura absoluta			
Resolución	Temperatura: 0.03°C a 25°C (0.05°F en 77°F) Velocidad de Muestreo: desde 1 segundo a 18 horas, seleccionable por el usuario			
Deriva Térmica	Temperatura: 0.1°C/año (0.2°F/year) Humedad Relativa: <el 1% por año típico; Histéresis el 1% RH			
Vida de la Bateria	uso típico de 1 año			
Memoria	64K (43.000 medidas de 12bit)			
Peso	8 x 74 x 22 milímetros (2.3 x 2.9 x 0.9 pulgadas)			




TMC6-HD SENSOR TEMP. 1.80m Aire, Agua y Suelo				
	Marca	ONSET	Cantidad	2
	Características			
	Sensor/sonda de temperatura TMC6-HD para Aire, Agua y Suelo (-40°C a +100°C) con cable de 1.8m.			
	Compatible con registradores de Datos HOBO			
	Rango: -40°C hasta +50°C en agua o suelo y -40°C hasta +100°C en aire			
	Precisión: $\pm 0.5^\circ\text{C}$ a +20°C.			
	Deriva: < 0.1°C por año			
	Resolución: 0.41°C a +20°C			
	Tiempo de respuesta en aire quieto: 3 minutos típico para 90%			
	Tiempo de respuesta en agua agitada: 1 minuto típico para 90%			
Dimensiones de la punta del sensor: 7 mm x 2.5 cm.				
Peso: 37g, 125g ó 280g				
Punta del sensor de acero inoxidable				

Hobo Micro Station Data Logger / H21-002			
	Marca	ONSET	Cantidad
Características			
Micro-Est. Meteorológica "Micro-HWS", unidad con 500.000 lecturas de memoria y baterías alcalinas			
Peso: 0.10			
Estación Meteorológica "Micro-HWS" Micro-Est. Meteorológica "Micro-HWS"			
Unidad con 500.000 lecturas de memoria y baterías alcalinas de 1 año duración.			
Máximo 4 sensores inteligentes. Incluye caja intemperie miniatura.			
Operating Range: -20° to 50°C (-4° to 122°F) with alkaline batteries, -40° to 70°C (-40° to 158°F) with lithium batteries			
Sensor Inputs: Up to four smart sensors (including multiple-parameter sensors)			
Communication: 3.5 mm serial port			
Dimensions: 8.9 cm H x 11.4 cm D x 5.4 cm W (3.5 x 4.5 x 2.125 inches)			
Weight: 0.36 kg (0.8 lb)			
Especificaciones			
Características	Memory: 512K nonvolatile flash data storage		
	Memory Modes: Stop when full, wrap around when full		
	Operational Indicators: Seven lights provide logging and sensor network status		
	Logging Interval: 1 second to 18 hours, user-specified interval		
	Battery Life: 1 year typical use (up to 4 sensors with 1 minute or longer logging interval)		
	Battery Type: Four standard AA alkaline batteries included (for operating conditions -20° to 50°C [-4° to 122°F])		
	Time Accuracy: 0 to 2 seconds for the first data point and ±5 seconds per week at 25°C (77°F)		
	Data Type: Supports measurement averaging based on availability of supporting data from sensor		
	Logger Start Modes: Immediate, push-button, or delayed start options		
	Data Communication: Current reading while logging, offload while logging, or offload when stopped		
Environmental Rating: Weatherproof, with Gore™ Vent for deployment in harsh weather conditions			
Mounting: Mount vertically on flat surface 18 cm (3.5 inches) or wider; optional mast mounting kit for use on 4.1 cm			
Enclosure Access: Cover secured by four screws			
Sensor Network Cable Length: 100 m (328 ft) maximum			






S-THB-M002 SENSOR TEMP/ H.R cable 2m

	Marca	ONSET	Cantidad	1
	Características			
<p>El sensor S-THB-M002 Temperatura/Humedad Relativa (Humedad del Aire) se diseña para trabajar con todos los registradores de datos HOBO que acepten los Sensores Inteligentes.</p> <p>Todos los parámetros del sensor se almacenan dentro del sensor inteligente, que comunica automáticamente la información de los datos de la configuración al registrador sin ninguna programación, calibración, o configuración adicional por parte del usuario.</p> <p>Resolution:Temp: 0.02°C at 25°C (0.04°F at 77°F) See Figure 1 RH: 0.1% RH at 25°C (77°F)</p> <p>Bits Per Sample:Temp: 12RH: 10</p> <p>Drift:Temp: < 0.1°C (0.18°F) per yearRH: < 1% per year typical; hysteresis 1%</p> <p>Response Time:Temp: 5 minutes in air moving 1 m/secRH: 10 minutes in air moving 1 m/sec with protective cap</p> <p>Operating Temperature Range: -40°C to 75°C (-40°F to 167°F)</p> <p>Environmental Rating Weatherproof: 0 to 100% RH intermittent condensing environments.</p> <p>Housing PVC cable jacket with ASA styrene polymer RH sensor cap; modified hydrophobic polyethersulfone membrane</p> <p>Sensor Dimensions: 10 x 35 mm (0.39 x 1.39 in)</p> <p>Weight: 110 g (3.88 oz)</p> <p>Number of Data Channels: 2</p>				

BHW-PRO-CD Software

	Marca	ONSET	Cantidad	1
	Características			
<p>Gráficos Potentes y de Calidad Powerful Analysis Alarm Capabilities Easy file management Pro and Lite versions available. View enhanced features webcast</p>				



ANÁLISIS SOLAR

ANÁLISIS SOLAR
Módulos de Estudio
Lugar: Culiacán- Sinaloa

Fecha de Estudio: 21 JULIO /21 MAYO

| 220

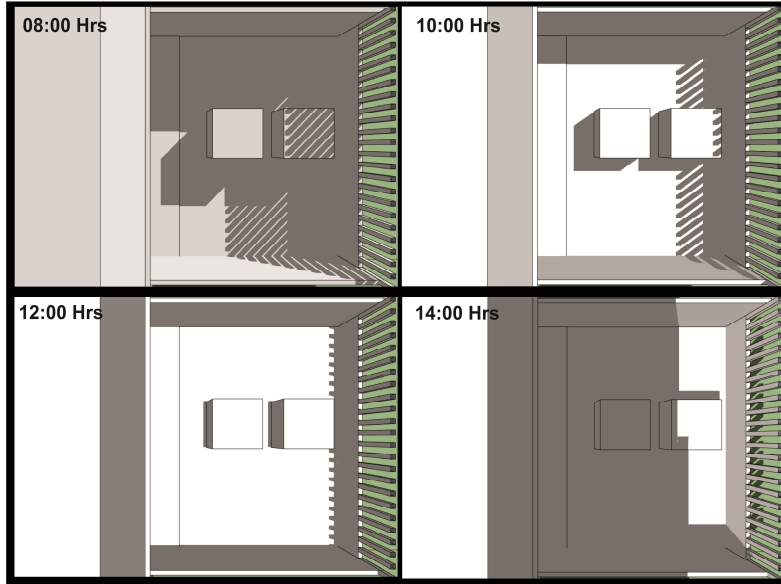


Fig. Análisis solar módulos de estudio, Fecha Julio/ Mayo 21. Fuente: Propia

ANÁLISIS SOLAR
Módulos de Estudio
Lugar: Culiacán- Sinaloa

Fecha de Estudio: 21 AGOSTO /21 ABRIL

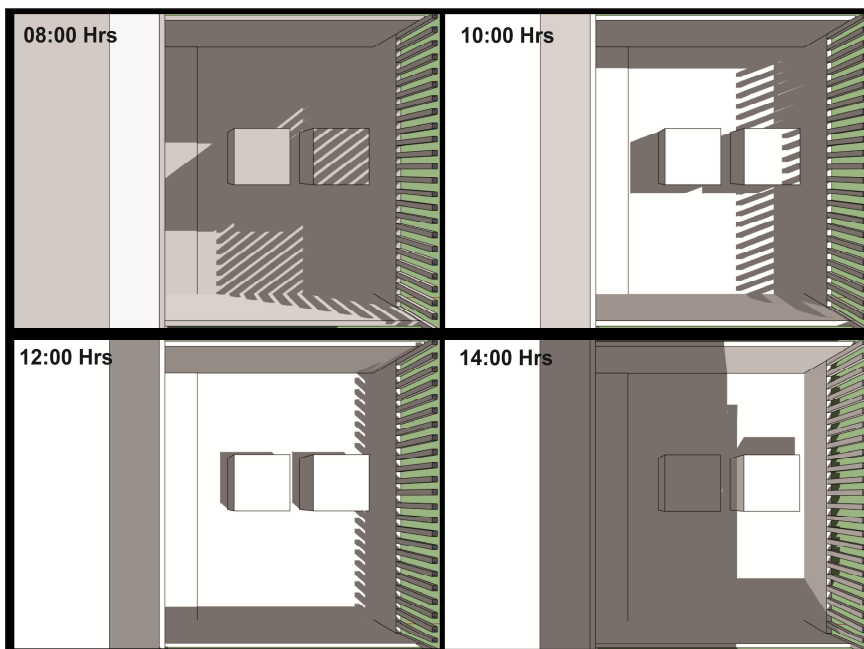


Fig. Análisis solar módulos de estudio, Fecha 21 Agosto/21 Abril.



ANÁLISIS SOLAR
Módulos de Estudio
Lugar: Culiacán- Sinaloa

Fecha de Estudio: 21 SEPTIEMBRE /21 MARZO

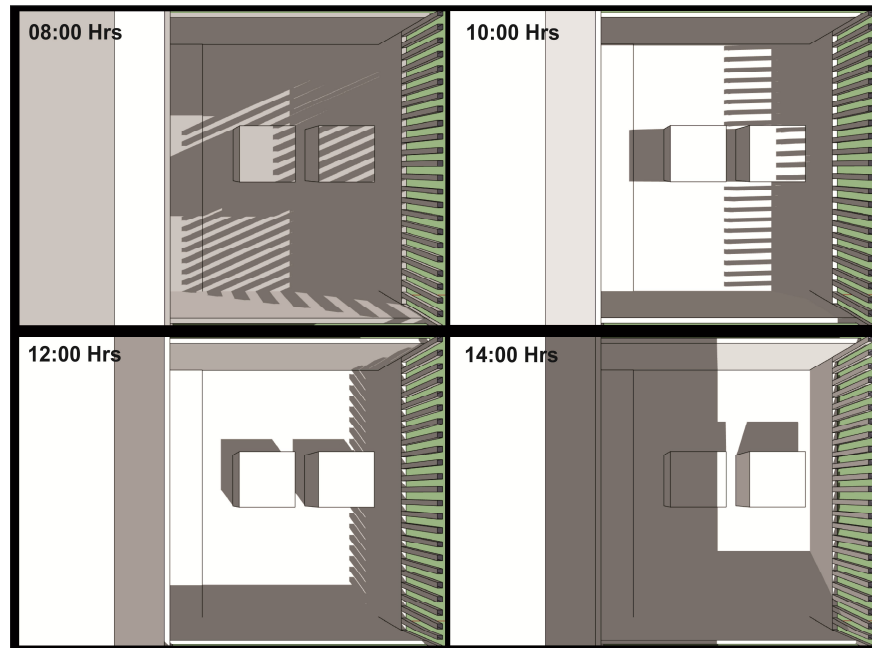


Fig. Análisis solar módulos de estudio, Fecha 21 Septiembre/ Marzo.

ANÁLISIS SOLAR
Módulos de Estudio
Lugar: Culiacán- Sinaloa

Fecha de Estudio: 21 OCTUBRE /21 FEBRERO

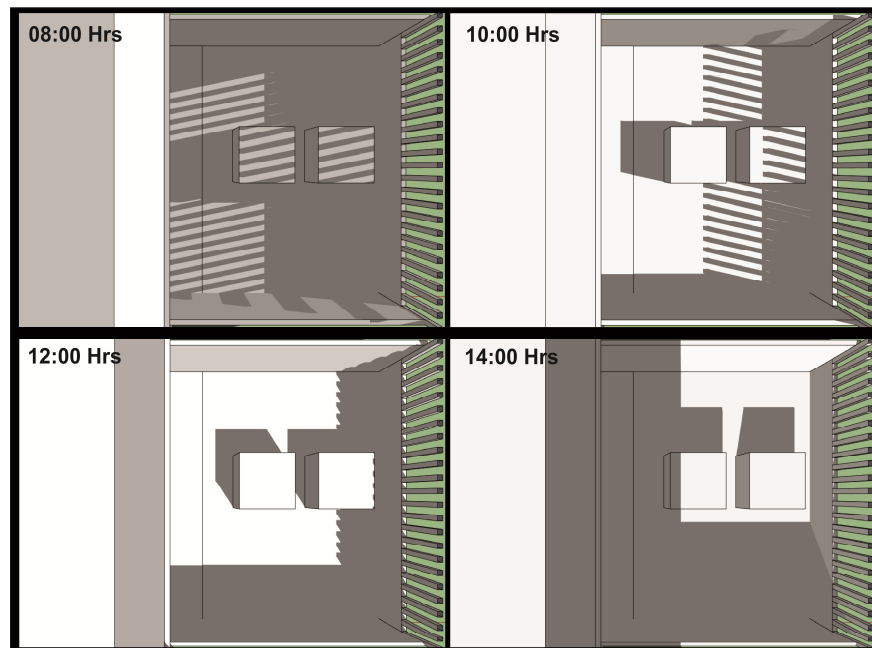


Fig. Análisis solar módulos de estudio, Fecha 21 Octubre/Febrero



ANÁLISIS SOLAR
Módulos de Estudio
Lugar: Culiacán- Sinaloa

Fecha de Estudio: 21 NOVIEMBRE /21 ENERO

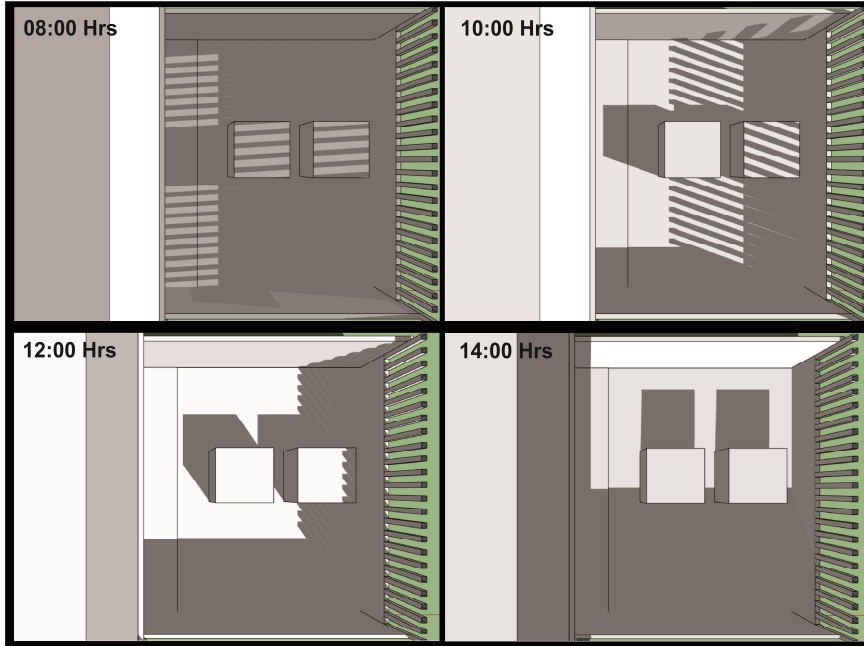


Fig. Análisis solar módulos de estudio, Fecha 21 Noviembre/ Enero

ANÁLISIS SOLAR
Módulos de Estudio
Lugar: Culiacán- Sinaloa

Fecha de Estudio: 21 DICIEMBRE

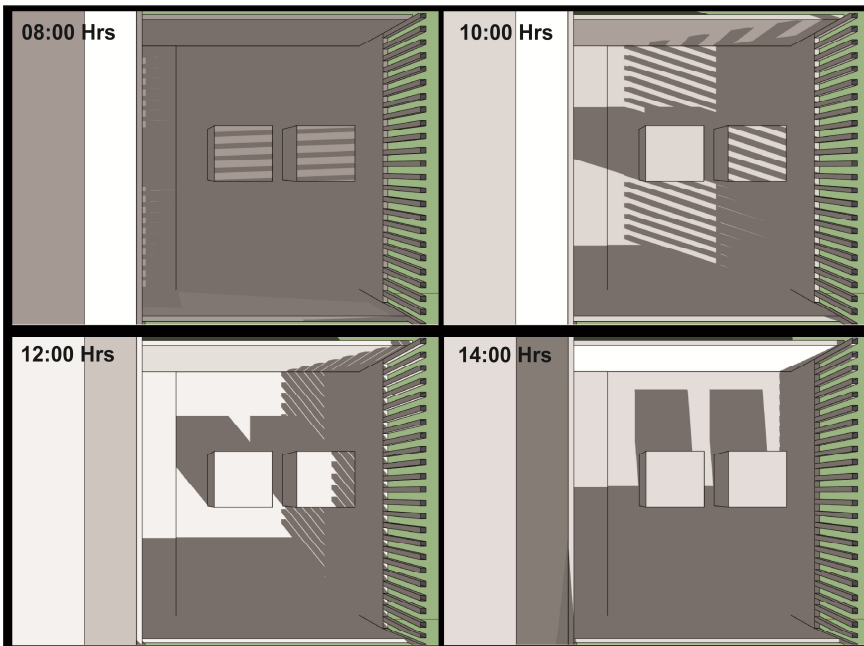


Fig. Análisis solar módulos de estudio, Fecha 21 Diciembre.



CÁLCULO TÉRMICO

TABLAS DE CÁLCULO

Lugar	Culiacan		Rango Comodidad	27.279								
País	México											
Latitud	24°47'31N											
Longitud	107°23'53''											
Altitud	60 MSNM											
Ventilación	1.94 m/s Norte											
Temperatura Media	30.9											
Temperatura				SOL								
Temperatura Julio				Sol	Muro Oeste	Muro Este	Muro Sur	Muro Norte				
Horas	Temperatura	H Relativa	Temp Interior	Radiación solar	Altura	Azimet	Altura	Azimet	Altura	Azimet	Altura	Azimet
00:00	27.04	82.12	26.3	0								
01:00	26.21	84.17	26.1	0								
02:00	25.50	85.90	24.5	0								
03:00	24.92	87.33	24.2	0								
04:00	24.44	88.50	24	0								
05:00	24.05	89.45	23.9	0								
06:00	22.70	92.76	23.8	71.27524			5°35	79°18			5°35	79°18
07:00	23.82	90.02	25.3	204.5791			14°39	74°1			14°39	74°1
08:00	26.30	83.95	29	340.7124			26°41	78°39			26°41	78°39
09:00	29.56	75.93	29.1	463.0454			38°55	91°42				
10:00	32.89	67.79	30	559.4018			51°16	87°54				
11:00	35.70	60.89	28.9	620.8848			63°40	93°57				
12:00	37.69	56.01	28.7	642	75°53	105°23	75°53	105°23	75°53	105°23		
13:00	38.77	53.35	28.5	620.8848	85°30	169°39	85°30	169°39	85°30	169°39		
14:00	39.02	52.75	28.3	559.4018								
15:00	38.57	53.85	28.1	463.0454								
16:00	37.62	56.19	27.9	340.7124								
17:00	36.33	59.35	27.7	204.5791								
18:00	34.86	62.95	27.5	71.27524								
19:00	33.33	66.70	27.3	0								
20:00	31.84	70.37	27.1	0								
21:00	30.43	73.81	26.9	0								
22:00	29.16	76.94	26.7	0								
23:00	28.02	79.71	26.5	0								
	TBS	REL		0								



1. Cálculo coeficiente de Convección + Coeficiente de Radiación/ ho=hw+hir					2. Cálculo de Diferencias de Radiación De Onda Corta Y Larga			
Hora	Tem Ext	Ho	Hw	hir	Hora	Tem Ext	Dr	Tsky
00:00	300.19	29.58	25.00	4.58	00:00	300.19	-74.27	287.10
01:00	299.36	29.58	25.00	4.58	01:00	299.36	-75.54	285.90
02:00	298.65	29.58	25.00	4.58	02:00	298.65	-76.58	284.90
03:00	298.07	29.58	25.00	4.58	03:00	298.07	-77.41	284.06
04:00	297.59	29.58	25.00	4.58	04:00	297.59	-78.08	283.38
05:00	297.20	29.58	25.00	4.58	05:00	297.20	-78.61	282.82
06:00	295.85	32.34	25.00	7.33	06:00	295.85	-80.38	280.90
07:00	296.97	32.52	25.00	7.52	07:00	296.97	-78.92	282.49
08:00	299.45	32.96	25.00	7.96	08:00	299.45	-75.41	286.03
09:00	302.71	33.21	25.00	8.20	09:00	302.71	-70.16	290.73
10:00	306.04	33.56	25.00	8.55	10:00	306.04	-64.07	295.53
11:00	308.85	33.66	25.00	8.65	11:00	308.85	-58.28	299.61
12:00	310.84	33.79	25.00	8.79	12:00	310.84	-53.81	302.51
13:00	311.92	33.86	25.00	8.86	13:00	311.92	-51.24	304.10
14:00	312.17	33.87	25.00	8.86	14:00	312.17	-50.65	304.45
15:00	311.72	33.82	25.00	8.81	15:00	311.72	-51.73	303.80
16:00	310.77	33.73	25.00	8.72	16:00	310.77	-53.98	302.40
17:00	309.48	33.61	25.00	8.61	17:00	309.48	-56.90	300.53
18:00	308.01	33.48	25.00	8.48	18:00	308.01	-60.07	298.39
19:00	306.48	33.35	25.00	8.35	19:00	306.48	-63.20	296.17
20:00	304.99	29.58	25.00	4.58	20:00	304.99	-66.09	294.01
21:00	303.58	29.58	25.00	4.58	21:00	303.58	-68.65	291.98
22:00	302.31	29.58	25.00	4.58	22:00	302.31	-70.86	290.14
23:00	301.17	29.58	25.00	4.58	23:00	301.17	-72.73	288.51

Tabla. 1. Cálculo coeficiente de convección+ Coeficiente de Radiación

Tabla. 2. Cálculo de diferencias de radiación de onda corta y larga

3. Cálculo Temperatura Sol Aire							
Absortancia de Muro= 0.8							
Hora	Tem Ext	Ht Muro Este	Ht Muro Norte	Ht Muro Oeste	Ht. Ventana	Ht. Techo	HO
00:00	300.19	0	0	0	0	0	1
01:00	299.36	0	0	0	0	0	1
02:00	298.65	0	0	0	0	0	1
03:00	298.07	0	0	0	0	0	1
04:00	297.59	0	0	0	0	0	1
05:00	297.20	0	0	0	0	0	1
06:00	295.85	25.68	25.68	0	0	71.27524	24.1026786
07:00	296.97	147.20	147.20	0	0	204.5791	24.3113584
08:00	299.45	222.74	222.74	0	0	340.7124	24.7915975
09:00	302.71	212.58	0	0	0	463.0454	25.0354334
10:00	306.04	134.94	0	0	0	559.4018	25.3070072
11:00	308.85	46.31	0	0	0	620.8848	25.375816
12:00	310.84	74.48	0	0	0	642	25.4372885
13:00	311.92	0	0	41.635	0	620.8848	25.4372885
14:00	312.17	0	0	124.57	0	559.4018	25.3988341
15:00	311.72	0	0	205.56	0	559.4018	25.3222663
16:00	310.77	0	0	218.27	0	463.0454	25.223406
17:00	309.48	0	0	147.2	0	340.7124	25.1102849
18:00	308.01	0	0	25.68	0	204.5791	24.9981759
19:00	306.48	0	0	0	0	71.27524	24.9981759
20:00	304.99	0	0	0	0	0	1
21:00	303.58	0	0	0	0	0	1
22:00	302.31	0	0	0	0	0	1
23:00	301.17	0	0	0	0	0	1

Tabla.3. Cálculo de temperatura sol-aire.



3.1 Cálculo Temperatura Sol						
Hora	Muro Este	Muro Norte	Muro Oeste	Muro Sur	Ventana	Techo
00:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
02:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
03:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
04:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
05:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
06:00	296.70	296.70	0.00	0.00	0.00	298.22
07:00	301.81	301.81	0.00	0.00	0.00	303.70
08:00	306.63	306.63	0.00	0.00	0.00	310.44
09:00	309.51	0.00	0.00	0.00	0.00	317.51
10:00	310.30	0.00	0.00	0.00	0.00	323.72
11:00	310.31	0.00	0.00	0.00	0.00	328.42
12:00	313.18	313.18	0.00	313.18	0.00	331.03
13:00	313.23	313.23	0.00	313.23	0.00	331.45
14:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	329.79
15:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	329.79
16:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	325.45
17:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla.3.1. Calculo de temperatura sol

4. CONDUCCIÓN FLUJO DE CALOR POR CONDUCCIÓN: U						
Hora	Muro Este	Muro Norte	Muro Oeste	Muro Sur	Ventana	Techo
00:00	0.88	0.88	0.49	0.88	0.00	0.26
01:00	0.13	0.13	0.07	0.13	0.00	-106.41
02:00	1.19	1.19	0.66	1.19	0.00	0.36
03:00	0.85	0.85	0.47	0.00	0.00	0.26
04:00	0.52	0.52	0.29	0.00	0.00	0.16
05:00	0.18	0.18	0.10	0.00	0.00	0.05
06:00	-0.29	-0.29	0.00	0.00	-0.13	0.45
07:00	5.29	5.29	0.00	2.35	5.29	1.59
08:00	5.31	5.29	0.00	0.00	0.00	2.95
09:00	8.60	8.60	0.00	0.00	0.00	5.43
10:00	8.47	0.00	0.00	0.00	8.47	7.31
11:00	9.78	0.00	0.00	0.00	9.78	9.38
12:00	7.46	0.00	0.00	7.46	0.00	10.38
13:00	7.63	0.00	0.00	7.63	0.00	10.60
14:00	7.06	0.00	0.00	7.06	0.00	10.08
15:00	0.00	0.00	0.00	6.90	0.00	3.72
16:00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.40	3.45
17:00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.68	3.07
18:00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.85	2.62
19:00	7.14	7.14	3.97	3.97	0.00	2.14
20:00	5.61	5.61	3.12	5.61	0.00	1.68
21:00	4.18	4.18	2.33	0.00	0.00	1.26
22:00	2.91	2.91	1.62	0.00	0.00	0.87
23:00	1.81	1.81	1.00	0.00	0.00	0.54

Tabla.4. Tabla Flujo de Calor por Conducción.



5 GANANCIA SOLAR POR RADIACIÓN DIRECTA		
Area Ventana: 0.6		
Hora	Watts	HT Ventana
00:00	0.00	0.00
01:00	0.00	0.00
02:00	0.00	0.00
03:00	0.00	0.00
04:00	0.00	0.00
05:00	0.00	0.00
06:00	12.33	25.68
07:00	70.66	147.20
08:00	106.92	222.74
09:00	102.04	212.58
10:00	64.77	134.94
11:00	22.23	46.31
12:00	35.75	74.48
13:00	19.98	41.64
14:00	59.79	124.57
15:00	98.67	205.56
16:00	10476.96	21827.00
17:00	70.66	147.20
18:00	12.33	25.68
19:00	0.00	0.00
20:00	0.00	0.00
21:00	0.00	0.00
22:00	0.00	0.00
23:00	0.00	0.00

Tabla.5. Ganancia solar por radiación directa

6. INFILTRACIÓN QINFLs				
Hora	Tem Ext	Tem Int.	Subtotal	Total
00:00	300.19	299.45	0.74	0.37
01:00	299.36	299.25	0.11	3.30
02:00	298.65	297.65	1.00	31.23
03:00	298.07	297.35	0.72	22.40
04:00	297.59	297.15	0.44	13.72
05:00	297.20	297.05	0.15	4.72
06:00	295.85	296.95	-1.10	-34.21
07:00	296.97	298.45	-1.48	-46.07
08:00	299.45	302.15	-2.70	-84.20
09:00	302.71	302.25	0.46	14.48
10:00	306.04	303.16	2.88	89.62
11:00	308.85	302.05	6.80	211.77
12:00	310.84	301.85	8.99	280.01
13:00	311.92	301.65	10.27	320.02
14:00	312.17	301.45	10.72	333.86
15:00	311.72	301.25	10.47	326.20
16:00	310.77	301.05	9.72	302.66
17:00	309.48	300.85	8.63	268.75
18:00	308.01	300.65	7.36	229.23
19:00	306.48	300.45	6.03	187.89
20:00	304.99	300.45	4.54	141.30
21:00	303.58	300.25	3.33	103.78
22:00	302.31	299.85	2.46	76.48
23:00	301.17	299.65	1.52	47.48

Tabla.6. Tabla Infiltración Sensible.



6. 1 INFILTRACIÓN QINFLI				
Hora	Hum. Ext	Hum. Int.	Subtotal	Total
00:00	0.02	0.012	0.006	3.09289234
01:00	0.02	0.017	0.0019	0.97941591
02:00	0.02	0.08	-0.061	-31.4444054
03:00	0.02	0.018	0.001	0.51548206
04:00	0.02	0.018	0.00185	0.9536418
05:00	0.02	0.019	0.001	0.51548206
06:00	0.03	0.02	0.007	3.60837439
07:00	0.02	0.011	0.008	4.12385645
08:00	0.02	0.016	0.00155	0.79899719
09:00	0.02	0.017	-0.002	-1.03096411
10:00	0.01	0.019	-0.006	-3.09289234
11:00	0.01	0.02	-0.009	-4.6393385
12:00	0.01	0.021	-0.01	-5.15482056
13:00	0.01	0.019	-0.009	-4.6393385
14:00	0.01	0.0185	-0.0075	-3.86611542
15:00	0.01	0.017	-0.006	-3.09289234
16:00	0.01	0.015	-0.003	-1.54644617
17:00	0.01	0.015	-0.002	-1.03096411
18:00	0.01	0.014	0	0
19:00	0.02	0.013	0.002	1.03096411
20:00	0.02	0.0135	0.0015	0.77322308
21:00	0.02	0.012	0.004	2.06192822
22:00	0.02	0.012	0.005	2.57741028
23:00	0.02	0.018	0	0

Tabla.6.1 Tabla Infiltración Latente.

7. FLUJO DE CALOR POR VENTILACIÓN QVENTs				
Hora	Tem Ext	Tem Int.	Subtotal	Total
00:00	300.19	299.45	0.74	419.43
01:00	299.36	299.25	0.11	59.80
02:00	298.65	297.65	1.00	566.07
03:00	298.07	297.35	0.72	406.00
04:00	297.59	297.15	0.44	248.63
05:00	297.20	297.05	0.15	85.49
06:00	295.85	296.95	-1.10	-619.95
07:00	296.97	298.45	-1.48	-835.03
08:00	299.45	302.15	-2.70	-1526.10
09:00	302.71	302.25	0.46	262.45
10:00	306.04	303.16	2.88	1624.35
11:00	308.85	302.05	6.80	3838.08
12:00	310.84	301.85	8.99	5074.90
13:00	311.92	301.65	10.27	5800.01
14:00	312.17	301.45	10.72	6050.85
15:00	311.72	301.25	10.47	5912.02
16:00	310.77	301.05	9.72	5485.46
17:00	309.48	300.85	8.63	4870.79
18:00	308.01	300.65	7.36	4154.49
19:00	306.48	300.45	6.03	3405.31
20:00	304.99	300.45	4.54	2560.84
21:00	303.58	300.25	3.33	1880.98
22:00	302.31	299.85	2.46	1386.21
23:00	301.17	299.65	1.52	860.61

Tabla.7. Flujo de Calor por ventilación sensible.



7.1. FLUJO DE CALOR POR VENTILACIÓN QVENTI				
Hora	Hum. Ext	Hum. Int.	Subtotal	Total
00:00	0.02	0.012	0.006	8.31
01:00	0.02	0.017	0.0019	2.63
02:00	0.02	0.08	-0.061	-84.45
03:00	0.02	0.018	0.001	1.38
04:00	0.02	0.018	0.00185	2.56
05:00	0.02	0.019	0.001	1.38
06:00	0.03	0.02	0.007	9.69
07:00	0.02	0.011	0.008	11.08
08:00	0.02	0.016	0.00155	2.15
09:00	0.02	0.017	-0.002	-2.77
10:00	0.01	0.019	-0.006	-8.31
11:00	0.01	0.02	-0.009	-12.46
12:00	0.01	0.021	-0.01	-13.84
13:00	0.01	0.019	-0.009	-12.46
14:00	0.01	0.0185	-0.0075	-10.38
15:00	0.01	0.017	-0.006	-8.31
16:00	0.01	0.015	-0.003	-4.15
17:00	0.01	0.015	-0.002	-2.77
18:00	0.01	0.014	0	0.00
19:00	0.02	0.013	0.002	2.77
20:00	0.02	0.0135	0.0015	2.08
21:00	0.02	0.012	0.004	5.54
22:00	0.02	0.012	0.005	6.92
23:00	0.02	0.018	0	0.00

Tabla.7. Flujo de Calor por ventilación latente.

RESULTADOS					
Hora	Tem Int.	C. Almacenam	Subtotal	Temp Int	Temp Exte
00:00	26.3	1552.28	0.279970839	26.58	27.04
01:00	26.1	1552.28	-0.02528519	26.07	26.21
02:00	24.5	1552.28	0.313077709	24.81	25.5
03:00	24.2	1552.28	0.278774406	24.48	24.92
04:00	24	1552.28	0.172231125	24.17	24.44
05:00	23.9	1552.28	0.059669048	23.96	24.05
06:00	23.8	1552.28	-0.40507788	23.39	22.7
07:00	25.3	1552.28	-0.4995578	24.8	23.82
08:00	29	1552.28	-0.95786546	28.04	26.3
09:00	29.1	1552.28	0.256260237	29.36	29.56
10:00	30	1552.28	1.15417278	31.15	32.89
11:00	28.9	1552.28	2.630910981	31.53	35.7
12:00	28.7	1552.28	3.481607512	32.18	37.69
13:00	28.5	1552.28	3.961121092	32.46	38.77
14:00	28.3	1552.28	4.158039525	32.46	39.02
15:00	28.1	1552.28	4.081808101	32.18	38.57
16:00	27.9	1552.28	3.792661355	31.69	37.62
17:00	27.7	1552.28	3.359665267	31.06	36.33
18:00	27.5	1552.28	2.835113586	30.34	34.86
19:00	27.3	1552.28	2.328338968	29.63	33.33
20:00	27.1	1552.28	1.756522994	28.86	31.84
21:00	26.9	1552.28	1.291207151	28.19	30.43
22:00	26.7	1552.28	0.953755258	27.65	29.16
23:00	26.5	1552.28	0	26.5	28.02

Tabla.Resultados.



Capacidad de Almacenamiento						
	Volumen	Peso Volumetrico	Masa	Calor Especifico	Capacitancia	Material
Muros	1	1550	1550	0.8	1240	Block
	0	850	0	1.083	0	Muro Tabla Roca
	0	850	0	1.083	0	Muro Tabla Roca
	0	2500	0	0.8	0	Vidrio Cocina
	0	2500	0	0.8	0	Vidrio Conjunto
	0.1296	2400	311.04	1.004	312.28416	Losa Azotea
	0	1500	0	0.16	0	Repellado de Yeso
	0	1500	0	0.44	0	Yeso Pulido
Subtotal					1552.28416	
Total					0	

Tabla. Capacidad de Almacenamiento

Cálculo de Ganancias de Calor Interiores				
Personas				
Qmets			0	1
QmetsI			0	1
Total				0

Cálculo de Ganancias de Calor Por Equipo Eléctrico				
Qlight				
Nevera		0	200	0
Estufa		0	700	0
Licuadaora		0	400	0
Lavadora		0	2000	0
Lamparas Cocina		0	100	0
Lamparas Resto de la Casa		0	60	0
Subtotal				0
Total1				0
Total2				0
Total3				0

Tabla. Ganancia de calor interiores y equipos eléctricos.