

PARA EL MEDIO FÍSICO-AMBIENTAL DE CUENCA

Vanessa Nicole Cárdenas Arias Julio 2019



DISEÑO
ARQUITECTURA
Y ARTE
FACULTAD



## COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE ENVOLVENTES MULTICAPA BASADOS EN LADRILLO

PARA EL MEDIO FÍSICO-AMBIENTAL DE CUENCA

Vanessa Nicole Cárdenas Arias





Este camino de mi formación profesional y personal no hubiese sido posible sin el apoyo incondicional de mis padres y mis hermanos, quienes han estado conmigo en todo momento, ya sean felicidades o penurias, logros y fracasos.

A mi padre, Marco Cárdenas, quien siempre me ha brindado los más sabios consejos y un hombro compañero. Ha sido mi ejemplo de perseverancia y esfuerzo, mostrándome que nunca hay un sueño demasiado grande ni una meta imposible.

A mi madre, Sandra Arias, quien ha sido y siempre será mi mejor amiga. Gracias por estar siempre para mí, incentivarme a ser mejor persona cada día y a luchar por mis metas y sueños, dándome siempre ese empujoncito extra que necesito.

Los amo mucho.





A toda mi familia, por su apoyo y motivación a lo largo de este duro camino recorrido y por recorrer. Graduarme de arquitectura es solo el primer paso para cumplir mis sueños, espero poder celebrar muchos más logros junto a las personas que amo.

A mi novio, Pedro Sánchez, quien ha estado a mi lado en los mejores y peores momentos. Agradezco su paciencia y amor, siempre con el anhelo de verme crecer y hacer grandes cosas. Eres mi inspiración diaria de ser una mejor versión de mí misma.

A todos mis compañeros y amigos, por todos esos momentos vividos y por vivir. Siempre recordaré las amanecidas y lamentos, que a la final daban resultados reconfortantes. Sé que todos llegaremos lejos y recordaremos estos días de Universidad con cariño.

A mi tutor de tesis, Pablo Ochoa, a quien admiro tanto profesional como personalmente. Gracias por la formación académica que me ha brindado, siempre compartiendo su experiencia y carisma con todos sus alumnos, atento de verlos crecer y surgir.





CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	29
1.1 Arquitectura bioclimática	31
1.1.1 Confort térmico	32
1.1.1.1 El síndrome del edificio enfermo	
1.2 Comportamiento térmico de los materiales	33
1.2.1 Conducción	33
1.2.2 Convección	33
1.2.3 Radiación	33
1.2.4 Inercia térmica	33
1.2.4.1 Amortiguación	33
1.2.4.2 Retardo térmico	33
1.3 Envolventes térmicos	34
1.3.1 Tipos de envolventes térmicos	35
1.3.1.1 Muros colectores	35
1.3.1.2 Invernadero adosado	35
1.3.1.3 Envolventes multicapa	
1.3.2 Aislamiento térmico	35
1.3.3 Puente térmico en los envolventes	36
1.3.4 La porosidad en los materiales	36
1.3.5 Condensación en los envolventes	37
1.3.5.1 Condensación superficial	
1.3.5.2 Condensación intersticial	37

1.4 Resistencia térmica y transmitancia térmica	38
1.4.1 Conductividad térmica (\lambda)	38
1.4.2 Resistencia térmica (R)	38
1.4.3 Transmitancia térmica (U)	39
1.4.4 Cálculo de la transmitancia térmica	39
1.4.5 Cámaras de aire	40
1.4.5.1 Cámara de aire sin ventilar	40
1.4.5.2 Cámara de aire ligeramente ventilada	40
1.4.5.3 Cámara de aire muy ventilada	40
1.5 Metodologías de medición	41
1.5.1 Método de la placa caliente	
1.5.2 Método del hilo caliente	42
1.5.3 Método de la caja caliente con guarda	43
1.5.4 Método de celdas experimentales	44
1.5.5 Construcciones completas	45
1.5.6 El software como herramienta de diseño	45
CAPÍTULO 2. CASO DE ESTUDIO	47
2.1 Normativa en el Ecuador	49
2.1.1 Zonas climáticas	50
2.1.2 Zona climática 3	51
2.1.3 Confort térmico	52
2.1.4 Optimización de radiación solar	53

2.1.6 Ganancia y protección solar	53
2 Factores climáticos de la ciudad de Cuenca	54
3 El ladrillo	56
2.3.1 El ladrillo en Cuenca	56
2.3.2 Tipos de ladrillo	57
2.3.3 Fabricación del ladrillo a utilizar	58
2.3.3.1 Obtención de materia prima	59
2.3.3.2 Maduración	59
2.3.3.3 Tratamiento mecánico previo	59
2.3.3.4 Moldeado	60
2.3.3.5 Secado	60
2.3.3.6 Cocción	61
2.3.3.7 Almacenaje	61
APÍTULO 3. METODOLOGÍA APLICADA	63
1 Tipologías de envolventes	65
3.1.1 Análisis previo para elección de las tipologías	65
3.1.2 Sistemas constructivos	66
3.1.2.1 Tipología A	67
3.1.2.2 Tipología B	67
3.1.2.3 Tipología C	67

2.1.5 Orientación de la edificación ...



	3.1.3 Aislante utilizado (EPS)	68
	3.1.4 Cálculo de transmitancia térmica	70
	3.1.5 Cálculo de peso	72
	3.1.6 Cálculo de precio	74
3.2 M	étodo de celda experimental	76
	3.2.1 Opciones previas	76
	3.2.1.1 Primera opción	77
	3.2.1.2 Segunda opción	77
	3.2.1.3 Tercera opción	77
	3.2.2 Opción final	78
	3.2.2.1 Proceso constructivo de celda experimental	79
3.3 Sis	stema electrónico	80
	3.3.1 Sensores interiores de las celdas	80
	3.3.1.1 Termistor NTC 10K 3950	80
	3.3.1.2 Sensor DHT11 de temperatura y humedad	80
	3.3.1.3 Ubicación de termistores NTC	81
	3.3.1.4 Ubicación de sensores DHT11	81
	3.3.2 Placa matriz de recolección de datos interiores	82
	3.3.2.1 Módulo Reloj RTC 25042	83
	3.3.2.2 Adaptador de Micro SD Arduino AA-115	83
	3.3.2.3 Módulo Arduino Mega 2560-R3	84

	3.3.4 Sensores climáticos exteriores	8
	3.3.4.1 Estación meteorológica WS-GP2 DELTA-T	8
	3.3.4.2 Pluviómetro Pronamic	8
APÍTUL	LO 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS	8
.1 Prod	oceso de experimentación	9
	4.1.1 Fabricación de celdas experimentales	9
	4.1.2 Sistema trípode para izado de materiales	9
	4.1.3 Izado de materiales hasta la terraza	9
	4.1.4 Construcción, día 1	9
	4.1.5 Construcción, día 2	9
	4.1.6 Construcción, día 3	9
	4.1.7 Construcción, día 4	9
1.2 Da	atos de clima en los días del experimento	9
	4.2.1 Temperatura exterior	9
	4.2.2 Radiación solar	9
	4.2.3 Humedad exterior	10
	4.2.4 Precipitación anual. INAMHI	10
	4.2.5 Precipitación en el período de experimentación	10
	4.2.6 Velocidad del viento	10
	4.2.7 Dirección del viento	10

3.3.3 Software Arduino ....

4.3 Comportamiento térmico de las tipologías en los días de experimentación	103
4.3.1 Temperatura del espacio cúbico al interior de las celdas	103
4.3.2 Temperatura promedio de las tipologías	104
4.3.3 Temperatura de la cara interior de las tipologías	105
4.4 Humedad en los días de experimentación	
4.4.1 Humedad interior de las celdas	
4.4.2 Humedad de las celdas según la presión barométrica y lluvia	107
4.5 Comportamiento térmico de los materiales	108
4.5.1 Ladrillos: celdas A, B y C	108
4.5.2 EPS: celdas A, B y C	109
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	111
5.1 Comparación entre tipologías	113
5.1.1 Comportamiento térmico de las tipologías	113
5.1.2 Retardo térmico de las tipologías	115
5.1.3 Relación entre temperatura y humedad	116
5.2 Influencia del clima en las tipologías	118
5.2.1 Influencia de la radiación en las tipologías	118
5.2.2 Influencia del viento en las tipologías	119
5.2.3 Influencia de la precipitación en las tipologías	120
5.3 Comparación de determinantes entre tipologías	122

5.3.2 Tiempo de ejecución	12
5.3.3 Factor U	
5.3.4 Peso	
5.3.5 Consumo de agua	
0.0.0 Consome do agoa	12
.4 Implementación de las tipologías en Cuenca según profesionales de la construcción	12
CONCLUSIONES	12
ECOMENDACIONES	12
CRÉDITOS	13
IBLIOGRAFÍA	13
NEXOS	13
Anexo 1: Permisos obtenidos para la experimentación	13
Anexo 2: Análisis de precios unitarios (APU)	14
Anexo 3: Presupuesto para la construcción de la celda experimental	14
Anexo 4: Código de programación de sensores	14
Anexo 5: Períodos de temperatura exterior fuera del rango de confort	15
Anexo 6: Picos máximos de radiación	15
Anexo 7: Período de humedad exterior fuera del rango de confort	15
Anexo 8: Picos máximos de viento	15
Anexo 9: Tiempo de ejecución de las tipologías	15
Anexo 10: Consumo de agua para construir las tipologías	15
Apoyo 11: Traducción del Pesumon (Abstract) regizado por la Unidad de Idiomas de la Universidad del Azua	, 15

5.3.1 Precio .....







En la ciudad de Cuenca se construye principalmente en ladrillo, Brick is a raw material extracted from the area used for construcfórmulas y construcción de prototipos, se compararon tres tipologías de envolventes: A, B y C.

ductividad térmica.

con materia prima extraída de la zona. Sin embargo, este mation in the city of Cuenca. However, this material alone does not terial por sí solo no cumple con un correcto aislamiento térmico comply with a correct thermal insulation for the physical-environpara el medio físico-ambiental de Cuenca; es así que, esta tesis mental habitat of Cuenca. This thesis explores different types of explora diferentes tipos de envolventes multicapa basados en la-multilayer brick-based envelopes that comply with a correct isodrillo que cumplan un correcto aislamiento y retención térmica lation and thermal retention based on the U-factor. Research was basándose en el factor U. Se planteó una investigación con enfoque experimental-cuantitativo, donde por medio de diseño por means of formula design and prototype construction they were

Palabras clave: factor U, envolventes térmicos, ladrillo, envolventes multicapa, transmitancia térmica, resistencia térmica, con-pes, thermal transmittance, thermal resistance, thermal conductivity.



La bioclimática es un tema muy importante a tratar en el campo La transmitancia térmica es una característica específica de un con el medio ambiente; y por lo tanto entre las personas y su bien- de cada elemento. Se utiliza para determinar las pérdidas de calor trucción.

A partir de las tablas de Mahoney, en 1988 el genetista y bioquímito to tiene menor pérdida de calor. co británico John Martin Evans dio a conocer una nueva técnica gráfica para el diseño bioclimático, conocido como triángulos de Se han realizado varios análisis de funcionamiento térmico en disen gran medida el confort espacial de una persona.

La construcción en la ciudad de Cuenca es mayormente a base los envolventes a proponer. de ladrillo (INEC, 2017); sin embargo este por si solo no cumple con el factor U, que es el símbolo utilizado en la construcción para la transmitancia térmica. De acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-11), para el cálculo del factor U en envolventes en contacto con el terreno se tomará en cuenta el procedimiento enunciado en la norma EN ISO 13370:1999. En envolventes en contacto con espacios no habitables se tomará el procedimiento enunciado en la norma EN ISO 13789:2007.

arquitectónico, ya que la construcción tiene una estrecha relación elemento constructivo, y depende de la conductividad térmica estar habitacional. Es así que, un buen manejo de los materiales de una construcción a través de los elementos que componen el influye directamente sobre el confort de quienes habitan una consde aislamiento térmico del elemento es menor; y por el contrario, cuando esta sea menor, la aislación térmica es mayor y el elemen-

confort. La importancia de este método es incorporar la variable tintas casas de Cuenca, que muestra una falta de un correcto aisde la oscilación térmica diaria como un indicador para definir cier- lamiento térmico y por consecuencia, el rápido enfriamiento de tos límites de comodidad y bienestar. Es así que un correcto aisla- las construcciones. La presente tesis de titulación busca plantear miento térmico formado por un conjunto de materiales aumenta diferentes tipos de envolventes que sean aplicables al medio de Cuenca y cumplan el factor U; esto es viable mediante la revisión bibliográfica y experimentación del comportamiento térmico de

## PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN



¿Qué tipo de envolventes se deben plantear en Cuenca para que estos cumplan un adecuado aislamiento y retención térmica basádose en el factor U?





Al unir diferentes capas de materiales se logra envolventes con un adecuado aislamiento y retención térmica basándose en el factor U.





#### Objetivo General

 Explorar diferentes tipos de envolventes multicapa basados en ladrillo que cumplan un correcto aislamiento térmico para el medio físico-ambiental de Cuenca.

#### Objetivos Específicos

- Analizar documentos donde se estudie la transmitancia térmica de los materiales.
- Determinar las mejores opciones de envolventes basándose en el factor U y otros aspectos.
- Comparar durante un período de tiempo el comportamiento térmico de los envolventes multicapa propuestos frente a un envolvente de ladrillo comunmente usado en Cuenca.
- Obtener conclusiones y recomendaciones de los resultados obtenidos mediante experimentación.





La investigación se plantea con un enfoque experimental-cuantitaivo la cual se desarrollará en la ciudad de Cuenca; esta según quince días a la intemperie, y monitorear su comportamiento mela NEC-2018 se encuentra dentro de la zona climática 3, la cual se diante sensores de temperatura y humedad. La metodología utiliconsidera de clima continental lluvioso y comprende temperaturas zada es mediante celdas experimentales a base de EPS, las cuales entre los 10 a 18°C. Conocer el clima en donde se llevará a cabo la tienen unas dimensiones de 1,22 x 1,28m. Este método consiste en investigación es de vital importancia para el análisis del comporta- una celda cúbica de 5 caras construidas con EPS, donde se insermiento térmico de las propuestas generadas.

Se plantean tres tipologías a base de un análisis de transmitancia mejores resultados. térmica por fórmulas, y el cumplimiento de otros aspectos como precio y peso. El primer prototipo (A) se enfoca en el método La toma de datos se realiza programando los sensores desde el constructivo más utilizado en la construcción de envolventes en software Arduino. La información es almacenada en una memola ciudad de Cuenca (INEC, 2017) el cual consiste en paredes de ria micro SD, de donde se descargan los datos a la computadora ladrillo panelón y un acabado exterior e interior de enlucido. El secada 3 días. Posteriormente se procesa la información mediante gundo prototipo (B) propone una mampostería de ladrillo tochana Microsoft Excel y se crean las tablas y gráficos necesarios para el con aislamiento de EPS, comúnmente conocido como espuma análisis. Esta toma de datos se realiza por un período de quince flex; este se coloca en la cara interior de la tipología. Y el tercer días entre el 17 de Abril al 1 de Mayo; época considerada como la prototipo (C) consiste igualmente en una mampostería de ladrillo más lluviosa del año (INAMHI, 2017). tochana pero en este caso el aislamiento de EPS se coloca en la cara exterior.

ta en la cara faltante la tipología a analizar. Se realizan diseños previos tanto de las celdas como de las tipologías para llegar a los



CAPÍTULO 1

arco teórico y Estado del arte

## 1.1 Arquitectura bioclimática



La bioclimática es un tema muy importante a tratar en el campo arquitectónico, ya que la construcción tiene una estrecha relación con el medio ambiente y con la vinculación entre las personas y su bienestar habitacional. Gili (2010) indica que la arquitectura ecológica separada de su carácter esencialista, actualmente se ha convertido en una obligación por parte de los arquitectos, con un nivel similar al que tuvo para la modernidad el considerar las responsabilidades sociales, culturales y hasta el cambio humano que las vanguardias del movimiento moderno otorgaron a la arquitectura. La responsabilidad ecológica en la construcción hace un llamado a un mayor aprovechamiento del entorno inmediato y recursos naturales biodegradables, que otorguen beneficio tanto a los usuarios como al medio ambiente, ya que con un correcto uso de los recursos se puede lograr una mayor garantía en el bienestar de las futuras generaciones.

La arquitectura bioclimática es un campo relativamente nuevo, que tiene como objetivo reducir sustancialmente el impacto medioambiental de los edificios y al mismo tiempo proporcionar un entorno saludable a sus ocupantes (Ching y Shapiro, 2014). Los edificios consumen una gran cantidad de energía tanto al momento de su construcción como al mantenerse en funcionamiento; la investigación de Biswas et al. (2018) indica que actualmente los edificios representan el 40% del consumo mundial de energía y ge-

nera más del 30% de la emisión de dióxido de carbono, porcentaje del cual una gran fracción de energía consumida es utilizada para mantener la comodidad térmica interior de las edificaciones. Estos datos representan un claro llamado a la investigación y desarrollo de métodos de construcción que proporcionen una reducción de consumo energético, así como la implementación de los mismos en la construcción cotidiana.

Los conceptos bioclimáticos puestos en práctica comenzaron con la primera "casa pasiva" construida en Alemania en 1992, entendiendo el término como una edificación de muy bajo consumo de energía (Kocí, Bazantová, y CernY, 2014). El objetivo era cumplir con una carga térmica inferior a 15kW/m2 por año mediante tecnologías y materiales de construcción estandar para esa época. Desde entonces la arquitectura bioclimática se ha mantenido en un continuo avance, buscando mejores soluciones constructivas e incentivando cada vez más a la construcción ecológica, con eventos mundiales como el Solar Decathlon (Solarkit, 2010), que abarca no solo la competición sino también el desarrollo del diseño del proyecto, la construcción y el control de las sucesivas fases necesarias para participar en la competición. La práctica de la bioclimática denota la importancia de integrar y generar conocimiento sobre la construcción sostenible, atendiendo la calidad y el confort de la vivienda del futuro.

#### 1.1.1 Confort térmico

Si bien el ser humano siempre ha buscado refugio, este ha ido evolucionando con el paso del tiempo; a finales de la edad media la idea de lo doméstico comenzó a formular el concepto de lo privado, y a partir de ahí las características de una vivienda fueron tomando diferentes consideraciones. No es hasta el siglo XVIII cuando la palabra confort comenzó a utilizarse tal y como la conocemos hoy, como un bienestar; y posteriormente es el movimiento moderno el que introduce en la arquitectura una preocupación por el confort (Muñoz, 2012). Actualmente, el confort térmico se define en la Norma ISO 7730 como "esa condición de la mente en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico", en la cual el ser humano califica un ambiente confortable si no existe ningun tipo de incomodidad térmica, es decir no se siente demasiado caluroso ni demasiado frío.

Este tema ha sido estudiado ampliamente por varios científicos como el genetista y bioquímico británico John Martin Evans que en 1988 a partir de las tablas de Mahoney dio a conocer una nueva técnica gráfica útil para el diseño bioclimático conocida como los triángulos de confort, donde en comparación a métodos previos de confort espacial, incorpora a la variable de la oscilación térmica como un indicador importante para definir los límites de comodidad. El estudio de Muñoz (2012) describe ampliamente el confort térmico adaptativo donde detalla antecedentes, conceptos, cálculos y aplicaciones sobre el tema; también analiza varios

casos de estudio donde determina estándares de confort térmico interior en las edificaciones, y afirma que entender el modo en que las personas se relacionan con el ambiente es fundamental para poder desarrollar modelos que permitan predecir la manera en la que los ocupantes percibirán un espacio.

El cuerpo humano produce calor constantemente debido a los procesos bioquímicos naturales. Es así, que constantemente se encuentra intercambiando energía con su entorno y son varios los factores que pueden influir en su confort. Dentro del confort humano se deben tomar en consideración los siguientes: térmico, lumínico, acústico, olfativo y psicológico (Fuentes, 2009). Sin embargo esta tesis se centra en el tema térmico, considerando su estrecha relación con la elección de los sistemas constructivos y materiales.

1.1.1.1 El síndrome del edificio enfermo.- Se hace referencia a este síndrome cuando los individuos que habitan una edificación presentan un conjunto de síntomas negativos, como consecuencia de condiciones desfavorables al interior de la edificación (Berenguer, 2002). Son muchos los factores que influyen en este síndrome, entre ellos se puede recalcar agentes contaminantes, mala iluminación, ruido, humedad, mala ventilación y mal ambiente térmico.

EFECTOS NEGATIVOS DE LA TEMPERATURA EN EL SER HUMANO Expresados en términos de tensión, dolor y enfermedad					
°C	Senso	ación	Fisiología	Salud	
45		e de ancia	Falla en regulaciones	Colapso circulatorio	
40	Muy caliente Muy incorfor- table		Incremento de estrés por sudor y circulación de la sangre	Peligro choque térmico, problemas cardiovasculares	
35	Caliente	Inconfor- table			
30	Un poco caliente			Regulación norma del sudor y los cambios vasculares	
25	Neutral	Confor- table		Salud normal	
20	Fresco		Incremento de pérdida calor		
15	Frío	Inconfor- table	Vasoconstricción en manos y pies, temblor del cuerpo	Incremento daño mucosa seca y piel, dolor muscular, circulación periférica baja	

Cuadro 1.1 Efectos negativos de la temperatura en el ser humano

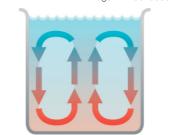


Imagen 1.2 Convección



Imagen 1.3 Radiación

#### 1.2.1 Conducción

Es el método de transmisión de calor en los cuerpos sólidos mediante el intercambio de energía cinética entre moléculas contiguas, por lo tanto es necesario que para que se produzca la conducción exista continuidad física de la materia, se puede dar por el contacto entre diferentes materiales o a través de un mismo material cuando sus extremos se encuentran a distintas temperaturas. Un ejemplo de conducción se da al calentar una plancha de metal; en donde en el punto donde se aplica el calor, las moléculas aumentan su vibración y chocan con las moléculas contiguas compartiendo su energía cinética con ellas, hasta que finalmente se alcanza todos los extremos de la plancha.

#### 1.2.2 Convección

Es el mecanismo de transmisión de calor que se da en los fluidos (liquido o gaseoso). La energía se transporta por el desplazamiento de la materia entre zonas con diferentes temperaturas. Existen dos tipos de convección: provocada y forzada. Un ejemplo de convección provocada es aquella que se produce en un líquido cuando entra en ebullición, y uno de convección forzada el enfriamiento del aire dentro de una habitación por un ventilador.

#### 1.2.3 Radiación

Es la transmisión de calor por medio de ondas electromagnéticas, no requiere de la presencia de materia para su transporte como

en el caso de la conducción. Un ejemplo de radiación se aprecia al colocar un cuerpo frente a los rayos de sol. La energía radiante que incide sobre un cuerpo se pierde en parte, esto depende de las características del material receptor, como su capacidad absorbente, reflexiva y de transmisión. Todos estos conceptos son obtenidos del estudio de Neila y Bedova, 2001.

#### 1.2.4 Inercia térmica

Es la capacidad que tiene cierto material para conservar la energía témica recibida y liberarla progresivamente. La inercia térmica de un material depende de su masa, densidad y calor específico, debido que a mayor inercia térmica mayor estabilidad térmica (Construpedia, 2014). La inercia térmica conlleva dos fenómenos:

1.2.4.1 Amortiguación. - Debe tenerse en cuenta cuando las condiciones del exterior son cíclicas, produciendo cambios en la temperatura externa. Esto provoca que parte del calor acumulado por el muro sea expulsado al exterior cuando baja la temperatura.

1.2.4.2 Retardo térmico. - Cuando la superficie exterior se calienta por radiación solar, inicia un proceso de calentamiento progresivo por conducción hasta la cara interior. El tiempo que tarda la onda térmica en atravesar el muro depende de la conductividad térmica del material, su densidad, espesor y calor específico.

### 1.3 Envolventes térmicos



El proceso perceptivo que experimenta el ser humano por medio del cual capta las energías del medio ambiente para informar acerca de las condiciones del entorno es un tema básico para el diseño arquitectónico (Ordóñez y Zarie, 2015), sin embargo estas condiciones no son modificables totalmente por lo que a lo largo del tiempo el ser humano ha intentado modificarlo a través de diferentes técnicas de adaptación como la vestimenta, el fuego, el refugio, etc. En este caso de estudio al centrarse en la construcción, se hace énfasis en la influencia que tiene el maneio de los materiales en el confort de quienes habitan una construcción; al entender el refugio como un mecanismo de adaptabilidad del ser humano dentro de un entorno, el correcto uso de los materiales en los envolventes permite o restringe el paso de las energías del medio ambiente hacia el interior de la construcción.

En el siglo VII a.C. los griegos propusieron por primera vez los muros de doble hoja; este emplecton griego y por consiguiente el romano, constaba de dos paramentos exteriores mayormente en piedra trabajados estéticamente entre los cuales se insertaban mampuestos bastos y mortero como relleno. Los romanos tenían una clara ventaja con el descubrimiento del cemento hidráulico, formado de arena puzolánica, cal y agua, con el cual lograban una mejor resistencia e impermeabilización de los muros. La pared hueca surgió a finales del siglo XIX, donde se descubrió que el aire funciona

como un gran aislante térmico-acústico; sin embargo, otros inconvenientes comenzaron a surgir cuando la humedad y la condensación se daba en esta cámara de aire debido a la diferencia de temperaturas interior y exterior (Valen, 2008). La solución a estos problemas apareció con el surgimiento de los aislantes, el corcho en primera instancia y posteriormente toda la gama de poliuteranos, polietilenos, poliestilenos, etc.

Actualmente se ubica a los envolventes térmicos dentro de los sistemas pasivos de climatización (Domínguez y García, 2009), ya que éstos no generan calor o frío por si solos, si no crean una barrera que reduce el tiempo de igualación entre la temperatura del ambiente exterior y la temperatura del ambiente interior de una edificación bajo la ley 0 de la termodinámica. Como sugiere el estudio de Orzechowski y Orzechowski (2017) la mejor respuesta para la termorregulación de una edificación es el uso mixto entre sistemas pasivos y sistemas activos de calefacción, los cuales se entienden como el almacenamiento y redistribución de energía calorífica mediante sistemas artificiales. En el contexto del uso de estos sistemas mixtos, los envolventes térmicos funcionan además como herramienta de ahorro energético, al impedir la liberación de la climatización artificial hacia el exterior, reducen el consumo de energía de calefacción en un 10 a 27% dependiendo del tipo de construcción (Biswas et al., 2018).

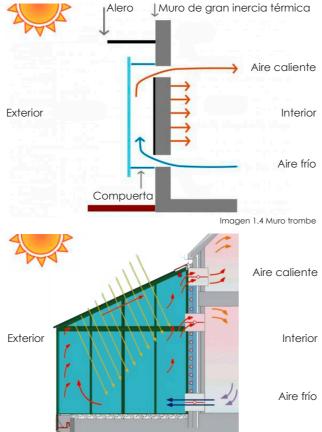


Imagen 1.5 Invernadero adosado

#### 1.3.1 Tipos de envolventes térmicos

**1.3.1.1 Muros colectores.-** Estos muros permiten captar la radiación solar, almacenarla v restituir el calor además de controlar el ruido y la humedad (Matute, 2014). La cantidad de absorción del muro depende del material y del color, por ejemplo si un muro de hormigón es revestido con una capa de pintura negra, la absorción aumentará en un 10%. El muro debe ser macizo y de alta densidad, esto disminuye la pérdida de calor.

- Muro trombe: Es un sistema de captación solar pasivo que no contiene partes móviles y necesita poco mantenimiento. Se sitúa en una zona exterior del espacio que se desea climatizar, ya que este actúa como colector de la energía solar. Su funcionamiento está basado en recolectar el calor por medio de una superficie transparente hacia una cámara de aire interior. El calor se concentra en esta cámara de aire y se libera progresivamente hacia el interior de la edificación (Imagen 1.4).
- Muro de agua: este sistema utiliza un estrategia de diseño para amortiguar la variación térmica interior respecto de la exterior; esto quiere decir que recolecta el calor y lo libera al interior cuando la temperatura del exterior baja. Este sistema es similar al muro trombe, la diferencia consiste en que en lugar del muro, se colocan tanques metálicos llenos de agua.

1.3.1.2 Invernadero adosado.- Son habitaciones pequeñas acristaladas construidas en la fachada del edificio (Imagen 1.5). Su utilidad es precalentar el aire que ingresa hacia la edificación. La diferencia con el muro trombe, es que un invernadero se puede utilizar como un área útil (siembra de plantas, sala auxiliar, etc). La temperatura en el interior del invernadero varía entre el día v la noche, por esta razón no es útil como habitación de estancia prolongada. Para mejorar su funcionamiento debe usarse persianas entre el invernadero y la zona interior de la vivienda para el manera: período nocturno y ventiladores que impulsen el aire caliente de día hacia el interior de la vivienda.

1.3.1.3 Envolventes multicapa.- La ventaja del uso de envolventes multicapa es que estos son muros que se pueden utilizar en todas las fachadas y no solamente en una zona determinada, como en el caso del muro trombe, muro de agua o invernadero adosado. Este sistema consiste en muros construidos con varias y distintas capas de materiales que unidos entre sí cumplen diferentes funciones de soporte y aislamiento

#### 1.3.2 Aislamiento térmico

El aislamiento térmico dificulta el paso de calor por conducción del interior al exterior de la vivienda, y viceversa; el calor ganado por medio de la energía solar queda retenido en el interior y no se pierde, así mismo en zonas calurosas mantiene el interior más fresco (Matute, 2014). Para que un material se considere aislante, su coeficiente de conductividad térmica λ debe ser inferior a 0,035kcal/ hr m °C que es igual a 0,0407W/mK (NEC-2011 cap 14, pág 25). Según su resistencia térmica los materiales se clasifican de la siguiente

- Resistencia baja: Los metales tienen una resistencia muy escasa, por lo que se consideran buenos conductores, y por ende malos aislantes térmicos.
- Resistencia media: Son los materiales de construcción más comunes para levantar paredes, techos y pisos. Entre estos se encuentran los yesos, ladrillos, morteros, etc.
- Resistencia alta: Los materiales que brindan una resistencia alta son considerados aislantes térmicos. Entre ellos se puede encontrar las lanas minerales (lana de roca o vidrio), espumas plásticas (poliestireno expandido, polietileno expandido, poliuretano expandido), y aislantes celulósicos de origen vegetal (paja, virutas de madera, fardos de pasto)

#### 1.3.3 Puente térmico en los envolventes

Un puente térmico es la interrupción de la capa de aislamiento térmico por el cual el calor puede traspasar de un espacio interior acondicionado al entorno exterior (Neila y Bedoya, 2001). Un ejemplo de puente térmico más habitual se da cuando el aislante se ve interrumpido por la estructura que soporta un envolvente; se ha demostrado que los puentes térmicos pueden reducir la resistencia térmica en un 10% en el caso de entramados de madera y hasta un 55% en entramados metálicos. Otro ejemplo de puente térmico se observa en los dinteles de las ventanas, juntas con vigas y losas, perfiles de montaje, y diversas uniones presentes entre cambios de materiales. Un factor que influye igualmente en la aparición de puentes térmicos es el paso del tiempo y la falta de mantenimiento, especialmente en elementos móviles como puertas o ventanas, donde los materiales ceden, los sellantes se secan o agrietan y las bisagras se aflojan por el continuo movimiento. (Ching y Shapiro, 2014)

Es importante asegurar que el aislamiento sea continuo, sin embargo en muchos lugares la continuidad del aislamiento térmico supone un desafío. El material aislante no suele tener resistencia mecánica, por lo que no transmite ni resiste cargas, así que necesita una estructura que soporte el envolvente. Se encuentra como solución teórica colocar el aislamiento por la parte exterior de la un mismo material. estructura, para controlar la humedad y ubicar la masa térmica del edificio al interior del envolvente térmico (Arias y Bonbadilla, 2017).

Sin embargo, al colocarlo en la parte exterior, el aislamiento carece de protección frente a los agentes del entorno y presentaría un reto el hecho de forrar exteriormente todo el edificio. Por esto, colocar la capa de aislamiento entre un revestimiento exterior y la estructura principal del edificio resulta ser la solución más favorable para evitar los indeseables puentes térmicos en los envolventes (Ching y Shapiro, 2014). El CTE (código técnico de la edificación) detalla los puentes térmicos en su apartado DA-DB-HE/3.

#### 1.3.4 La porosidad en los materiales

El vacío cumple una alternativa eficaz para el aislamiento térmico, como lo demuestra los estudios de Sigh y Limbachiva (2011) mencionados y analizados en el estudio de (Biswas et al., 2018), que consiste en un material de celdas abiertas y núcleo poroso que se sella dentro de un envolvente impermeable para mantener la calidad requerida del vacío, con materiales de aislamiento convencionales como la lana mineral, fibra de vidrio o espumas orgánicas. La presencia de poros resulta en una significatica mejora térmica, las resistencias térmicas son de cinco a diez veces mejor que el aislamiento convencional. Este concepto es aplicable tanto en el uso del vacío presente como un espacio de aire entre dos materiales distintos, y el vacío presente como porosidad o agujeros dentro de

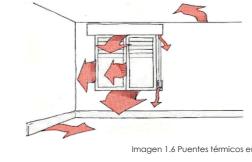
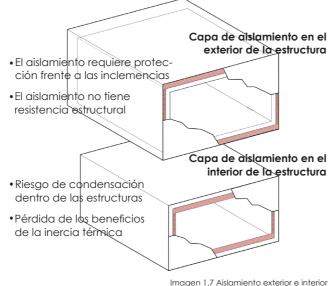


Imagen 1.6 Puentes térmicos en uniones



#### 1.3.5 Condensación en los envolventes



Imagen 1.8 Condensación superficial



Imagen 1.9 Condensación intersticial

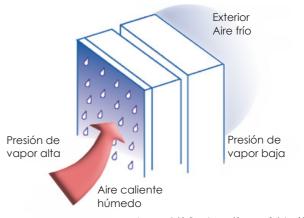


Imagen 1.10 Condensación superficial gráfico

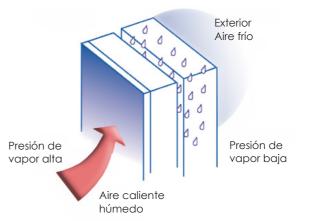


Imagen 1.11 Condensación intersticial gráfico

La condensación en los envolventes se produce por la diferencia de presión de vapor de agua en el aire provocado por el comportamiento del agua frente a diferentes temperaturas. En el estudio de Megchún, Martínez, Macías y Osorio (2013) se establece que mientras mayor es el contenido de humedad en un material, mayor es el tiempo que tarda el sistema en estabilizarse y mantener temperaturas constantes. Existe dos tipos de condensación: las superficiales y las intersticiales (Neila y Bedoya, 2001):

1.3.5.1 Condensación superficial.- Se producen por el efecto conjunto de la temperatura de rocío y de la temperatura superficial interior. Para solucionar la condensación superficial, se debe reducir el coeficiente de transmisión térmica, incorporando nuevos materiales o aumentando su espesor.

1.3.5.2 Condensación intersticial.- Son provocadas por la acción simultánea de las condiciones ambientales interiores y exteriores y la diferencia de presión de vapor de agua que genera condensación al interior de la mampostería, entre sus materiales. Para evitar este tipo de condensación se debe usar materiales con un grado de porosidad, que permita el paso de vapor de agua y mantenga seco el envolvente, ya que además la presencia de humedad reduce sustancialmente la resistencia térmica (Kocí et al., 2014) El CTE (código técnico de la edificación) detalla el cálculo de las condensaciones superficiales e intersticiales de los envolventes en su apartado DA-DB-HE/2

## 1.4 Resistencia térmica y transmitancia térmica



El equilibrio energético de un edificio depende en gran medida del correcto aislamiento térmico en su envolvente, tomando en cuenta que estos juegan un papel fundamental en el intercambio de calor entre el exterior y el interior de la construcción, ya que un correcto aislamiento permite un comportamiento térmico interior más confortable, un caso explicativo para comprender mejor este concepto seria el siguiente: si en el día el sol genera mucho calor exterior, el ambiente interior se mantiene fresco mientras que el envolvente almacena esta energía radiante para liberarla durante la noche, donde la temperatura exterior baja y se logra obtener un ambiente interior más cálido. (Cordero y Guillén, 2012)

La resistencia térmica (R) y la transmitancia térmica (U) de los materiales son recíprocas una con otra y se derivan de la conductividad térmica (λ) y el grosor de los materiales. Para entender el comportamiento térmico de un envolvente es necesario conocer los conceptos de conductividad, resistencia y transmitancia térmi-

#### 1.4.1 Conductividad térmica (λ)

 $\lambda = (W/mK)$  representado por la letra griega lambda, cuya unidad de medida es watt sobre metro por kelvin. La conductividad térmica es el tiempo que emplea el flujo de calor en atravesar una térmica es la diferencia de temperatura entre dos superficies defiunidad de área de un material homogéneo, por una unidad de temperatura en una dirección perpendicular a la unidad de área.

$$\lambda = q \frac{L}{\Delta T}$$
 En donde, (1)

grosor del material (m) diferencial de temperatura T1-T2 (°K) velocidad del flujo de calor (W/m2)

#### \*Ley de Fourier:

La ley de Fourier establece que el calor es transmitido en una sola dirección proporcional al área perpendicular al flujo de calor, a la conductividad térmica del material y a la diferencia de tempertaura, y es inversamente proporcional al espesor. Esta fórmula permite obtener la conductividad térmica por medio de datos obtenidos en la experimentación.

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{\lambda}{e} A(\Delta T)$$
 (2)

En donde,

ΔQ calor transmitido por unidad de tiempo diferencial de temperatura T1-T2 (k) lambda, conductividad térmica

espesor (m) área (m²)

#### 1.4.2 Resistencia térmica (R)

R = (m<sup>2</sup>K/W) representado por la letra R mayúscula, cuya unidad de medida es metro cuadrado por kelvin sobre watt. La resistencia nidas de un envolvente que induce una unidad de velocidad de flujo de calor al atravesar una unidad de área.

$$a = \frac{\Delta T}{q}$$
 (3)

La resistencia térmica de una capa de material homogéneo está definido por la fórmula:

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

En donde,

espesor del material (m) conductividad térmica del material (dato proveniente de la ficha técnica de cada material, o declarado en la norma UNE-EN 10456:2012)

#### 1.4.3 Transmitancia térmica (U)

U = (W/m<sup>2</sup>K) representado por la letra U, o mejor conocido como factor U, cuva unidad de medida es watt sobre metro cuadrado por kelvin. La transmitancia térmica es el tiempo que emplea el flujo de calor en atravesar una unidad de área de un conjunto de través del envolvente. materiales unidos, por una unidad de diferencia de temperatura entre las superficies del envolvente.

#### 1.4.4 Cálculo de la transmitancia térmica

La transmitancia térmica depende directamente de la conductividad térmica y la geometría de los materiales que lo componen. A diferencia de la conductividad térmica que es un dato específico de un material individual, el factor U mide la transmitancia térmica de un envolvente compuesto por un conjunto de diferentes materiales cada uno con características propias.



= alta aislación térmica = baja aislación térmica = alta pérdida de calor = poca pérdida de calor





Interior 20°C

Factor U bajo

Cuadro 1.2 Factor U

Cuando mayor sea la transmitancia térmica, menor es el efecto de aislamiento térmico del envolvente; cuanto menor sea el factor U, mejor es la aislación térmica y menor es la pérdida de calor a

\*En el caso de la resistencia térmica, por ser la inversa, mientras mayor sea su resistencia, mejor aislante es.

El CTE (código técnico de la edificación) detalla el cálculo de la transmitancia térmica en su apartado DA-DB-HE/1

$$U = \frac{1}{R_{T}} \tag{5}$$

En donde.

resistencia térmica total del componente constructivo (m<sup>2</sup>K/W)

La resistencia térmica total R, de un componente constituido por capas heterogéneas se detalla en el apartado 3 del DA-DB-HE/1 donde se utiliza un método de seccionamiento del material y promedio entre el límite superior de resistencia térmica y el límite inferior de la resistencia térmica obtenida. Este método de cálculo se utiliza para envolventes cuya superficie no sea homogénea y presente varios cambios de espesor, densidad, porcentajes de materiales, etc.

La resistencia térmica total R, de un componente constituido por capas homogéneas se calcula mediante la expresión:

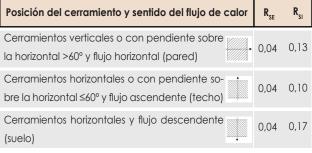
$$R_{T} = R_{SI} + R_{(1)} + R_{(2)} \dots R_{(n)} + R_{SE}$$

En donde.

 $R_{(1)}, R_{(2)} \dots R_{(n)}$ 

 $R_{SI}$ ,  $R_{SE}$ 

resistencias térmicas de cada mate rial especificado en la fórmula (4) resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior respectivamente, (cuadro 1.3) dependiendo del flujo de ca lor v su situación en la edificación.



Cuadro 1.3 Resistencias térmicas superficiales de envolventes en contacto cor

## 1.5 Metodologías de medición

luar situaciones térmicas mediante softwares.



#### 1.4.5 Cámaras de aire

Según su resistencia térmica se clasifican en:

1.4.5.1 Cámara de aire sin ventilar.- Es aquella en la que no existe ningún sistema para el flujo de aire a través de ella. Se pueden considerar cámara de aire sin ventilar también a aquellas que no tengan aislamiento entre el exterior y la cámara e incluso tengan pequeñas aberturas hacia el exterior, pero solamente si no exceden de:

- 500 mm² por m de longitud horizontal para cámaras de aire verticales
- 500 mm<sup>2</sup> por m<sup>2</sup> de superficie para cámaras de aire horizontales

Condiciones de una cámara de aire sin ventilar:

- Que esté limitada por dos superficies paralelas entre sí y perpendiculares a la dirección del flujo de calor
- Que tengan un espesor menor a 0,1 veces cada una de las otras dos dimensiones y no mayor a 0,3m
- Que no tenga intercambio de aire con el ambiente interior

1.4.5.2 Cámara de aire ligeramente ventilada.- Es aquella en la que no existe gran ventilación hacia el ambiente exterior con aberturas dentro de los siguiente rangos:

•	$500 \text{ mm}^2 < S_{\text{aberturas}} \le 1500 \text{ mm}^2 \text{ por m de longitud horizonta}$
	para cámaras de aire verticales

cámaras de aire horizontales

La resistencia térmica de una cámara de aire ligeramente ventilada es la mitad de los valores en el cuadro 1.4.

1.4.5.3 Cámara de aire muy ventilada. - Es aquella donde los valores de las aberturas exceden:

- 1500 mm² por m de longitud horizontal para cámaras de aire verticales
- 1500 mm<sup>2</sup> por m<sup>2</sup> de superficie para cámaras de aire ho-

Para cámaras de aire muy ventiladas, la resistencia térmica total del envolvente se obtiene depreciando la resistencia térmica de la cámara de aire y de las capas entre la cámara de aire y el ambiente exterior. Posteriormente se calcula la resistencia térmica del resto del envolvente tomando el dato del flujo de aire de la cámara como  $R_{s_1}$  y ya no como  $R_{s_E}$ 

e (cm)	horizontal (m²K/W)	vertical (m²K/W)
1	0,15	0,15
2	0,16	0,17
3	0,16	0,18

Cuadro 1.4 Resistencias térmicas de cámaras de aire en m<sup>2</sup>K/W

• 500 mm² < \$\square\text{s\_photous}\$ ≤ 1500 mm² por m² de superficie para \*Los valores intermedios se pueden obtener por interpolación lineal

#### 1.5.1 Método de la placa caliente



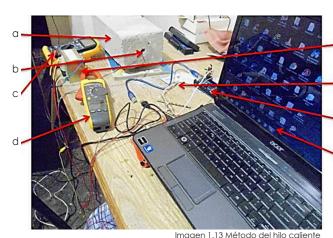
Imagen1.12 Método de la placa caliente

Esta metodología permite conocer la conductividad térmica de un elemento mediante la ley de Fourier. Se realiza en laboratorio, bajo el concepto de conducción de los materiales (apartado 1.4.1); se lleva a cabo mediante una placa caliente metálica al centro y dos placas metálicas frias ubicadas al exterior, entre las cuales se colocan dos muestras del elemento a analizar. Los detalles y normativas de esta metodología de experimentación se pueden encontrar en la norma ASTM-C-177 o ISO 8202. El propósito de esta experimentación es determinar la diferencia térmica entre las placas metálicas en un tiempo específico para conocer el comportamiento del elemento en medio como conductor térmico.

En la experimentación llevada a cabo por Cuitiño, Esteves, Maldonado y Rotondaro (2015), realizada en Buenos Aires-Argentina, se utiliza esta metodología ya que se analiza principalmente el comportamiento de la quincha, al ser este un material heterogé neo es mas preciso obtener resultados mediante experimentación que por fórmulas. En un apartado del experimento se compara la quincha con el ladrillo y el adobe, bajo las mismas condiciones experimentales para obtener datos comparables. Se determina que un muro de auincha de 7.5cm de espesor tiene una transmitancia térmica de 5.17 W/m2K, en un muro de ladrillo encementado en ambas caras de un espesor de 20cm el valor es de 4,13 W/m2K, v en un muro de adobe de 30cm de espesor es de 2.73 W/m2K. Se concluye que todos ellos tienen una respuesta térmica similar. Existen artículos que detallan la construcción doméstica del equipo de placa caliente como Martina, Aeberhard, Aeberhard y Corace (2003), para este tipo de casos se debe tener extremo cuidado en aislar correctamente el equipo, y los resultados pueden ser no tan precisos debido a la calidad de la construcción del equipo.



#### 1.5.2 Método del hilo caliente



a. muestra

b. calentador

c. multímetro para medir voltaje

d. multímetro para medir intensidad

e. fuente de alimentación

f. termopar tipo k

g. tarjeta de adquisición de datos

h. ordenador

42 Vanessa Nicole Cárdenas Arias

Este método consiste en medir la conductividad térmica de un con PET (tereftalato de polietileno), más conocido como plástico, y material en específico mediante el uso de un alambre metálico quiere conocer la resistencia térmica de un envolvente multicapa porcentaje en papel. se suman los valores de acuerdo a la fórmula (6).

El estudio de Alba, Marrero, Leiva, Montes y Vilches (2012) presenta dos nuevas tipologías de paneles para fachadas a base de ceniza de orujillo con sistemas constructivos basados en el CTE (código técnico de la construcción) para la zona climática de Sevilla-España, donde se lleva a cabo esta investigación. Estos paneles son puestos a prueba en sus características físicas y mecánicas, resistencia al fuego y transmitancias térmicas. Se concluye que la transmitancia térmica de las nuevas soluciones constructivas son ligeramente superiores a la solución típica de paneles de yeso. Sin embargo, ambos resultados se encuentran dentro de los límites establecidos en el CTE para esa zona climática. La investigación experimental de Robles, Vejar, Lozano y Gutierrez (2016) realizada en Zacatecas-México, utiliza este mismo método para la determinación de la resistencia térmica de bloques de concreto adicionados

también papel como materiales de reciclaje. Los resultados muessometido a calor mediante una fuente eléctrica y controlado por tran que la conductividad térmica disminuye proporcionalmente un multimetro. Este alambre se introduce en el elemento de estudio y se analiza en cuanto tiempo el calor se transmite a través que, así como su densidad. Los bloques con un agregado del 75% del material. Los detalles de esta metodología se establecen en la de PET aumentó su resistencia térmica en 3.24 veces con respecto normativa ASTM-C-1113 o UNE-EN 993-15:2005. Posteriormente si se al bloque tradicional, y 4.35 veces al usar la mezcla con este mismo

#### 1.5.3 Método de la caja caliente con guarda



Imagen 1.14 Método de la caja caliente con guarda

a. cámara climática

b. contenedor de la muestra

c. contenedor de la muestra con aislamiento

d. cámara medidora

e. cámara de guarda

Las pruebas se realizan en un medidor de flujo de calor (HFM) Otros estudios han realizado experimentaciones con esta misma que funciona de acuerdo a la norma ASTM C518. Esta caja mide las propiedades de transmisión térmica en estado estable de los lizan el comportamiento del hormigón armado, material predomimateriales. Consiste en dos placas que emparedan la muestra, la temperatura de cada placa se controla independientemente, equipada con un transductor de flujo de calor. Al medir la diferencia entre las placas asumiendo un flujo de calor unidimensional, se determina la conductividad mediante la ley de Fourier, formula (2). El método de la caja caliente con guarda se especifica en la normativa ASTM-C-236.

La experimentación de Biswas et al. (2018) realizada en el laboratorio nacional Oak Ridge en EEUU, presenta el desarrollo y la caracterización térmica de paneles de aislamiento de espuma compuesta que contiene núcleos de aislamiento de vacío de bajo costo. Los paneles de aislamiento de espuma y vacío compuestos se crearon a base de una nueva tecnología llamada aislamiento de atmósfera modificada. Este proceso de producción es mucho más simple que la fabricación tradicional de aislamiento por vacío y conlleva menos costo y el mismo rendimiento térmico. Las pruebas compararon esta nueva espuma con la tradicional espuma rígida utilizada actualmente en los envolventes de los edificios. Se demostró que la resistencia térmica total del panel de aislamiento compuesto es al menos el doble.

metodología como Arias y Bonbadilla (2017), Chile, donde ananante en la edificación en altura de ese país.

#### 1.5.4 Método de celdas experimentales



Imagen 1.15 Método de celda experimental



Imagen 1.16 Método de celda experimental 2

Este método consiste en la construcción de celdas de prueba. En el caso de Guerrero, Sendra, Fernández y Oteiza (2017) su expeesto cual cambia los parámetros a analizar si se desea conocer por este método la conductividad térmica mediante la ley de Fourier, por lo que se necesita un piranómetro, el cual mide la radiación del medio ambiente. Sin embargo si se desea analizar el comportamiento térmico al interior de las celdas, únicamente se necesitan sensores térmicos que acumulen datos de temperatura a lo largo de un período de análisis, se recomienda para estos casos establecer muestras de por lo menos dos semanas.

El estudio de Caruana, Yousif, Bacher, Buhagiar y Grima (2017) construye dos celdas completas de bloque de concreto, donde utiliza sensores de calor conectados directamente a la pared utilizando pasta térmica de intermediario conductor entre la pared y el sensor (Imagen 1.15). Mediante imágenes térmicas captadas por una cámara de infrarrojos FLIR T640, se determinan los puntos de ubicación de los sensores donde el flujo de calor es representativo para toda la pared. Este estudio propone un nuevo bloque de hormigón que cumpla con una adecuada transmitancia térmica para su medio en Malta, al cambiar solamente su mezcla y composición, y no su resistencia a compresión o manufactura.

Se puede construir toda la celda con el envolvente de estudio, o rimentación se lleva a cabo en celdas de 3x3m aisladas con caras crear una caja aislada que contenga solo una cara del material a de 51cm de espesor a base de poliuretano con una transmitancia analizar. En este tipo de experimentación realizada en campo, el de 0,072 W/m2K, minimizando al máximo la transferencia de calor calor influyente proviene del sol, el cual se transmite por radiación; a través de ellas; donde se construye solo una cara con el material a analizar por donde pasará o se liberará el calor (Imagen 1.16). Se ponen a prueba tres prototipos multicapa basados en ladrillo en dos períodos de un mes y medio para verano e invierno. El primer prototipo (M1) está compuesto por una doble capa de ladrillo y un espacio de vacío no ventilado de 5cm, el segundo prototipo (M2) tiene la misma composición pero en fachada ventilada (VF), y el prototipo (M3) tiene un sistema de aislamiento externo compuesto (ETICS). El comportamiento térmico de M2 y M3 fueron claramente

mejores a M1, sin embargo la mejor solución resultó ser M3.

#### 1.5.5 Construcciones completas

Los análisis de comportamiento térmico también se los realiza en edificaciones ya construidas. La investigación de Vidal y Vásquez (2011) busca retroalimentar las bases conceptuales de una vivienda bioclimática por medio de un experimento donde se determina que sistema constructivo es más apto para distintas condiciones climáticas que se presentan en El Salvador. Así también se han realizado varios prototipos de viviendas considerando el comportamiento térmico de sus envolventes en eventos mundiales como el Solar Decathlon (Terrados, Baco y Moreno, 2015).

En la ciudad de Cuenca se han realizado algunos trabajos de investigación similares al tema. En la tesis de investigación realizada por Hidalgo (2018), se analiza el comportamiento térmico y el consumo energético de la casa tipo MIDUVI implantada en Ecuador, cuya materialidad no responde adecuadamente a las condiciones climáticas del sitio, se concluye que mediante la implementación de materiales con una adecuada transmitancia térmica, se inclementa hasta 5°C la temperatura interior, llegando de 15 a 18°C, además de un incremento del 51% en la relación con la temperatura exterior. En la tesis realizada por Ordóñez y Zarie (2015), se busca diseñar una vivienda de interés social en la ciudad de Cuenca que mejore el nivel de confort espacial, térmico y lumínico que la diseñada convencionalmente; realiza también un levantamiento de datos de algunas casas en Cuenca para diagnosticar su comportamiento térmico y lumínico.

#### 1.5.6 El software como herramienta de diseño

En la actualidad existen muchas herramientas para el diseño bioclimático. Si bien la experimentación da resultados fiables y se analiza de mejor manera el comportamiento real de los materiales, un utilitario que no se debería descartar son los softwares. El software "Design Builder" es usado como herramienta certificada official en muchos paises europeos, que mediante una interfaz gráfica determina el factor U de toda una edificación y su consumo energético (Kocí et al., 2014). En Ecuador el software "ECOTECT 3D" es muy utilizado para simulaciones y comportamiento bioclimático (Barragán y Ochoa 2014); así como el software "Tas" (Arias y Bonbadilla, 2017).



CAPÍTULO 2

Caso de estudio

## 2.1 Normativa en el Ecuador



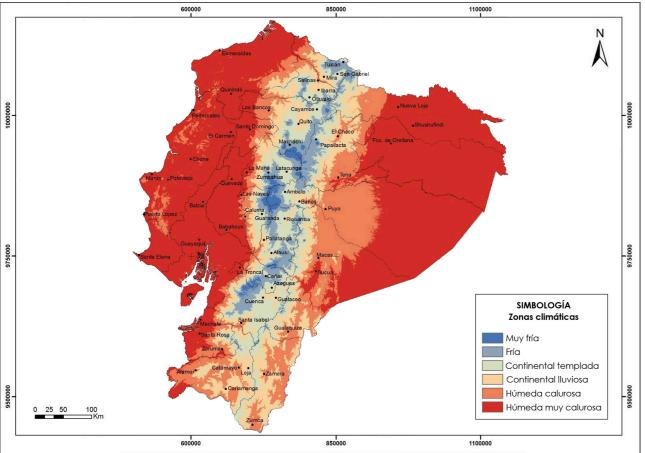
Se utilizará en complemento las últimas dos normativas del Ecuador: NEC-2011 y NEC-2018; ya que la normativa del año 2018 no abarca temas importantes tratados en la del 2011. Como se revisó en el capítulo 1, los envolventes térmicos son sistemas pasivos de climatización, y como lo afirma Johra, Heiselberg y Dréau (2019), deberían tratarse a la par con estrategias activas de climatización para obtener los más óptimos resultados. Por esto se decide utilizar dos capítulos de la NEC-11 pertinentes al tema:

- Capítulo 13, NEC-11 "Eficiencia Energética en la Construcción en Ecuador": Se establecen criterios para el confort térmico y construcción térmica pasiva. Este capítulo es el que brinda mayor información ya que trata más sobre temas de climatización pasiva, los cuales no consumen energía eléctrica para su funcionamiento.
- Capítulo 14, NEC-11 "Energías Renovables": Este capítulo Indica estrategias activas de acondicionamiento térmico en la edificación; tema que, puesto en obra, debería tratarse a la par con la estrategia pasiva.

La última actualización de la Normativa Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2018) se organiza en tres ejes principales: NEC-SE (Seguridad Estructural), NEC-HS (Habitabilidad y Salud) y NEC-SB (Servicios Básicos). A partir de estos ejes se subdividen otros capítulos pertinentes a temas más específicos. El capítulo que trata sobre el tema de esta tesis es el NEC-HS-EE (eficiencia energética).

> • Capítulo NEC-HS-EE "Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales": Establece criterios y requisitos mínimos para el diseño y construcción de edificaciones residenciales, con el fin de optimizar el consumo energético asegurando el confort térmico interno para los usuarios en función del clima donde el proyecto sea emplazado.

#### 2.1.1 Zonas climáticas del Ecuador



Cuadro 2.1 Mapa de zonas climáticas del Ecuador

Las zonas climáticas establecidas en la NEC-2018 son una aproximación del entorno natural que encontrará el proyectista en el diseño de una edificación. Con datos climatológicos del INAMHI se desarrolló un mapa de isotermas del país que es recogido por esta normativa; por medio de la cual, se divide el país en seis zonas según su características climáticas.

> • La ciudad de Cuenca se ubica en la zona climática 3, con un clima continental lluvioso, una temperatura que oscila entre los 10 y 18°C y una radiación solar global promedio de 4350 Wh/m2/día, según la clasificación del INAMHI.

#### 2.1.2 Zona climática 3

Los envolventes térmicos que se desarrollan en esta tesis, entran dentro de la categoría "paredes, sobre el nivel del terreno" (cuadro 2.2). Aquí se encuentran valores dirigidos al factor U y a la Resistencia térmica; se toman los datos de factor U, dando como rangos para ambientes habitables climatizados de 0,592 W/m²K, y no climatizado de 2,350 W/m<sup>2</sup>K.

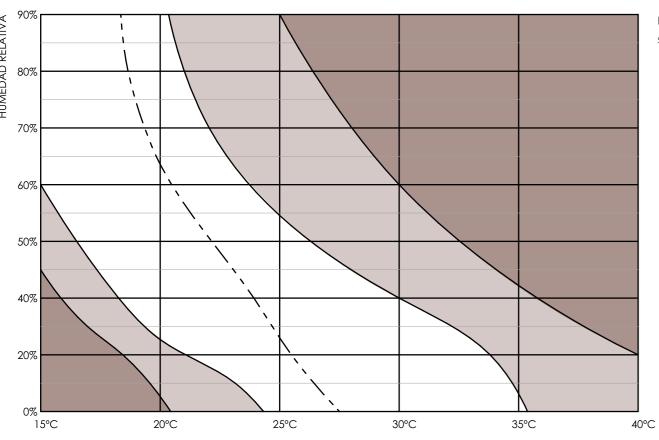
Un ambiente climatizado es un ambiente cerrado dentro de una edificación que es calentado por un sistema de calefacción. La diferencia de transmitancia térmica entre un espacio climatizado y no climatizado se debe a que, para mantener el calor emitido desde el interior se necesita un mejor aislamiento; ya que según la ley 0 de la termodinámica, el calor fluye en dirección del menor calor, y en este caso tiende a liberarse hacia el exterior. Por el contrario, aislar un ambiente no climatizado requiere de menos contención de calor.

Para esta tesis se proyecta cumplir una transmitancia térmica menor a la planteada en la normativa, tanto para un ambiente no climatizado como climatizado. Para asegurar un buen funcionamiento en cualquier caso, se debe diseñar los sistemas pasivos pensando siempre en un complemento con los sistemas activos de climatización; ya que en el caso de necesitar calefacción interior, el envolvente debe funcionar de manera óptima.

	Habitable				No habitable	
Elementos	Climatizado		No climatizado			
opacos	Montaje máximo	Valor mínimo R de aislamiento	Montaje máximo	Valor mínimo R de aislamiento	Montaje máximo	Valor mínimo R de aislamiento
Techos	U - 0,273	R - 3,5	U - 2,9	R - 0,89	U - 4,7	R - 0,21
Paredes, sobre el nivel del terreno	U - 0,592	R - 1,7	U - 2,35	R - 0,36	U - 5,46	NA
Paredes, bajo el nivel del terreno	C - 6,473	NA	C - 6,473	NA	C - 6,473	NA
Pisos	U - 0,496	R - 1,5	U - 3,2	R - 0,31	U - 3,4	NA
Puertas opacas	U - 2,839	NA	U - 2,6			
Ventanas	Transmitancia máxima	Montaje máximo SHGC	Transmitancia máxima	Montaje máximo SHGC	Transmitancia máxima	Montaje máximo SHGC
Área translúcida vertical ≥ 45°	U - 3,69	SHGC - 0,25	U - 5,78	SHGC - 0,82	U - 6,81	NA
Área translúcida horizontal < 45°	U - 6,64	SHGC - 0,36	U - 6,64	SHGC - 0,36	U - 11,24	NA
				Consider O.O.D.		

Cuadro 2.2 Requisitos para envolvente en la zona climática 3

#### 2.1.3 Confort térmico



Para que exista confort térmico, las edificaciones deben mantenerse dentro de los siguientes rangos según la NEC-2011

- Temperatura del aire ambiente entre 18°C y 26°C
- Temperatura radiante media de superficies del local entre 18 y 26°C
- Velocidad del aire entre 0,05 y 0,15 m/s
- Humedad relativa entre 40 y 65%

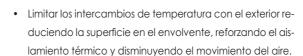
#### TEMPERATURA Cuadro 2.3 Curvas de confort temperatura-humedad

#### 2.1.4 Optimización de radiación solar

La NEC-2011 sugiere algunos parámetros para optimizar y aprovechar mejor la radiación solar, y en ciertos casos, evitarla. Estas decisiones dependen de la zona donde esté ubicada la edificación, a continuación se distinguen dos grandes grupos:

Zonas frías: éstas comprenden las zonas con temperaturas menores a 18°C, y por lo general están ubicadas en la Sierra ecuatoriana. Se sugiere lo siguiente:

• Almacenar la radiación solar en elementos macizos como hormigón, piedra, arcilla, etc., cuya inercia permita la acumulación de calor en la fachada o muros interiores. Este calor se restituye paulatinamente por convección y radiación en las horas nocturnas.



Zonas cálidas: éstas comprenden las zonas con temperaturas mayores a 18°C, se encuentran más entre llanuras bajas como Costa y Oriente ecuatorianos. Se sugiere lo siguiente:

 Controlar la radiación directa mediante elementos constructivos de protección solar como aleros, persianas, pérgolas, etc.

Disipar el calor con ventilación natural.

#### 2.1.5 Orientación de la edificación

La orientación de las fachadas que funcionarán como receptoras de calor en una edificación, tienen gran importancia para lograr minimizar las necesidades energéticas de climatización en el interior de la construcción. De acuerdo a la NEC-2011, para efectos óptimos en aprovechamiento solar, se recomienda que las fachadas principales o con mayor área receptora tengan orientaciones Este-Oeste; ésto maximiza la ganancia solar directa durante la mañana o durante la tarde. Para las zonas térmicas demasiado calurosas en cambio, se recomienda evitar la exposición directa a los rayos solares, ubicando la edificación con orientación Norte-Sur.

#### 2.1.6 Ganancia y protección solar

La ganancia solar depende de la dirección de las superficies receptoras y el porcentaje entre las superficies ciegas (paredes) y ventanas. Es importante tener en cuenta que los materiales de alta inercia calorífica deberían conformar el mayor porcentaje de área en las fachadas que se designarán como receptoras de calor solar; sin embargo, cuando se requiere la utilización de ventanas por varias razones somo iluminación o ventilación, la relación de superficie de ventanas respecto de la superficie total de la fachada no debe superar el porcentaje señalado en los cuadros 2.4 y 2.5 dependiendo del tipo de vidrio usado; si el vidrio usado es monolítico y tiene una transmitancia térmica menor a 5,4 W/m<sup>2</sup>K o 3,8 W/m<sup>2</sup>K, se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

Relación de superficie de ventana y superficie total de envolvente con vidrio monolítico (SGCH<0,85; U<5,4)

	Orientación			
Zona Climática	Norte - Sur	Noroeste - Suroeste Noreste - Sureste	Este - Oeste	
3	40%	35%	30%	

Cuadro 2.4 Porcentaje máximo de ventanas según la orientación y uso de vidrio con U<5,4W/m2K

Relación de superficie de ventana y superficie total de envolvente con vidrio monolítico (SGCH<0,85; U<3,8)

		Orientación		
Zona Climática	Norte - Sur	Noroeste - Suroeste Noreste - Sureste	Este - Oeste	
3	60%	50%	40%	

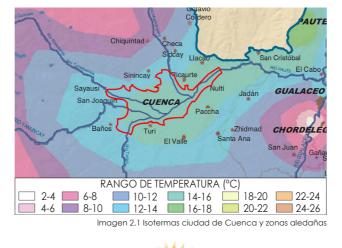
Cuadro 2.5 Porcentaje máximo de ventanas según la orientación y uso de vidrio con U<3,8W/m2K

## 2.2 Factores climáticos de la ciudad de Cuenca



Los siguientes datos son tomados de un monitoreo de 5 años en la estación meteorológica del Centro de Estudios Ambientales de la Universidad de Cuenca, de la estación climatológica del aeropuerto Mariscal Lamar y del IERSE Universidad del Azuay (Barragán y Ochoa, 2014; Cordero y Guillén, 2012)

- Latitud: Es la distancia angular desde cualquier punto sobre la superficie terrestre hasta la línea Ecuatorial. Su análisis es importante ya que determina los procesos térmicos como la incidencia solar y el movimiento de rotación de la Tierra. La ciudad de Cuenca tiene una latitud de 2°52'2'' S.
- Longitud: Proporciona la localización de un lugar en dirección Este-Oeste considerando el meridiano 0º (meridiano de Greenwich), La ciudad de Cuenca presenta una longitud de 79º0'16.3'' O.
- Altitud: Es la distancia vertical de un plano horizontal hasta el nivel del mar; se mide en metros sobre el nivel del mar y su importancia es determinar el clima del lugar, pues en términos generales, se sabe que la temperatura reduce cuando la altitud aumenta.
   El 50% de la superficie de la ciudad de Cuenca corresponde a un rango de altitud entre 2500 a 3000 msnm en sus bordes.
- Temperatura (°C): Es la cualidad atmosférica que indica la cantidad de energía solar retenida por el aire en un momento dado. Se puede afirmar que la temperatura depende principalmente de la radiación, por ello durante el día las temperaturas son más elevadas que durante la noche, aunque otros factores como el viento y la precipitaciones influyen en las variaciones térmicas de determinado momento. En la ciudad de Cuenca como se puede observar en la imagen 2.1, en relación a la provincia se encuentra en un rango de temperaturas intermedio, las cuales varían entre 14 y 16°C incrementándose hacia la zona Este, en donde puede llegar hasta los 18°C. Cuenca está ubicada en la zona montañosa sur de la cordillera de los Andes ecuatorianos, y según la escala de Köppen tiene un clima Mesotérmico semi-húmedo. Los meses de octubre y febrero la temperatura promedio es más alta, mientras que los meses más fríos son entre de junio y septiembre.
- Humedad relativa (%): Indica la cantidad de vapor de agua presente en el aire. La humedad relativa en la ciudad de Cuenca presenta valores que van desde 53% a 77%. Aunque el promedio en esta ciudad es de 62%, es bastante irregular. Los mayores





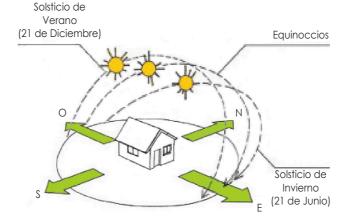


Imagen 2.3 Trayectoria solar respecto de la superficie horizontal terrestre

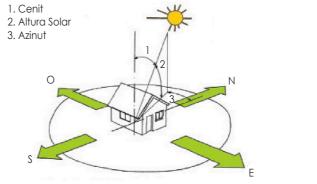


Imagen 2.4 Ángulos de posición del sol

valores de humedad relativa se dan en el mes de Abril, y los valores mínimos se presentan por lo general entre los últimos meses del año, entre Agosto, Septiembre, Noviembre y Diciembre.

- Precipitación (mm días lluvia): Es la cantidad de agua que cae en la superficie terrestre procedente de la atmósfera. La forma más común de medir la precipitación es en milímetros en un período de tiempo, donde un milímetro es un litro por metro cuadrado. La ciudad de Cuenca presenta precipitaciones anuales entre los 700 y 1000 mm en la zona Sur y Este, mientras que hacia la parte Norte y Oeste este rango aumenta siendo igual a 1000 y 1250 mm. La temporada lluviosa se encuentra entre octubre y mayo, distinguiendo dos períodos: el primero entre marzo y abril donde se encuentran la mayor cantidad de precipitaciones, y la segunda entre octubre y noviembre en menor medida. La temporada seca se encuentra entre junio y septiembre, teniendo así mismo dos períodos donde los meses más secos son julio y agosto.
- Viento (m/seg km/h): Es un movimiento horizontal del aire de una zona de alta presión (masa de aire frío) a una zona de baja presión (masa de aire caliente) y es considerado como un gran recurso para la ventilación. La velocidad del viento promedio en la ciudad de Cuenca oscila entre los 6 y 7 km/h.
- Nubosidad (octas): Es la cantidad de vapor suspendida en la tropósfera y que se hacen visibles por un estado de condensación más o menos considerable. Los meses con mayores valores de nubosidad son febrero hasta mayo, agosto, octubre y noviembre.
- Radiación solar (Wh/m2): Se conoce por radiación a la energía proveniente del sol en forma de ondas electromagnéticas distribuidas desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. Se puede distinguir distintos tipos de radiación (Imagen 2.2) dependiendo de varios factores entre ellos la nubosidad. En la ciudad de Cuenca la radiación solar global promedio de 4350 Wh/m2/día.
- Asoleamiento: Hace referencia a la trayectoria solar y las coordenadas del sol para un aía establecido. Para lograr una buena orientación del edificio, es necesario conocer la geometría solar. Como se observa en la imagen 2.3 la trayectoria del sol depende de la época del año, variando su ángulo en 23°. Los elementos de posición del sol en un día determinado son los detallados en la imagen 2.4.

## 2.3 El ladrillo



"Señoras y señores. ¿Saben lo que es un ladrillo? Es un pequeño y ordinario objeto sin valor que cuesta 11 centavos, pero tiene una cualidad maravillosa. Denme un ladrillo y pasará a valer su peso en oro". (Frank Lloyd Wright)

Según la investigación realizada por Campbell y Pryce (2014) en su libro "Ladrillo. Historia Universal", el ladrillo más antiguo data del año 8300 a.C con dimensiones de 26 x 10 x 10 centímetros; éste ladrillo era realizado de una manera empírica y manual, y posteriormente dejado al sol para su secado. No es hasta el año 3000 a.C cuando aparece el ladrillo cocido en hornos, que mejora con el tiempo hasta la actualidad, logrando una mayor resistencia. El molde para el ladrillo aparece por primera vez en el antiguo Egipto siendo una innovación para la época y obteniendo piezas más regulares para la construcción (Gómez, 2013). Por último, el mortero es descubierto por los romanos en el siglo II d.C, mezclando cal y arena puzolánica; así, se tiene como resultado muros de ladrillo unidos entre sí con la tipología conocida actualmente.

En la actualidad se puede entender el concepto de ladrillo como "un elemento de construcción en forma de paralelepípedo, con un tamaño adecuado para ser levantado con una sola mano, que permite levantar muros y otras estructuras" (Pérez y Gardey, 2011).

Su composición se basa en arcilla que combina silicatos, hidratos de alúmina, illita, caolín y otros minerales. Para ser puesto en obra, el ladrillo debe pasar un proceso compuesto por varias fases, entre ellas la de cocción a altas temperaturas, donde se logra que la arcilla se vuelva resistente e inerte, libre de organismos bióticos que puedan generar posteriores molestias en la obra construida, como en el caso del adobe, que utiliza tierra cruda.

#### 2.3.1 El ladrillo en Cuenca

En la ciudad de Cuenca el ladrillo también forma parte de su historia, ya que gran cantidad de viviendas y edificios están realizados con este material. Se visitaron algunas ladrilleras y se decidió utilizar un ladrillo proveniente de una fábrica semi-industrializada ubicada en el cantón Cuenca, en Sigcho - Sinincay. De aquí se ha recopilado la información de producción y tipos de ladrillos disponibles en el medio.

Tipos de ladrilleras en la ciudad de Cuenca		
Tipo	Cantidad	
Ladrilleras artesanales	499	
Ladrilleras semi-industriales	40	
Ladrilleras industriales	5	
Hornos	53	
Secaderos	4	
Total	601	

#### Imagen 2.6 Tipos de ladrilleras en Cuenca

#### 2.3.2 Tipos de ladrillo

En la ciudad de Cuenca se construye mayormente en ladrillo; según estadísticas realizadas por el INAMHI en el año 2017, el 67,48% de viviendas construye sus paredes exteriores con ladrillo.

,----,

Debido a que los datos del INAMHI brinda datos del ladrillo en general, se realiza una visita a varias ladrillera de Cuenca para consultar que ladrillos eran los más vendidos para paredes exteriores, teniendo como resultado el ladrillo panelón.

Es así que, se determina a la pared de ladrillo panelón como la tipología más utilizada en el medio, y se proponen dos tipologías multicapa a base de ladrillo tochana para ser comparadas en el capítulo 3 "metodología".

`.\_\_\_\_\_

La fábrica de donde se obtienen los ladrillos para la experimentación de esta tesis dispone de una gran variedad de ejemplares, éstos se encuentran en la mayoría de ladrilleras del sector, y pueden variar mínimamente en sus dimensiones por varias razones como molde, longitud de cortado de la pieza o tiempo y forma de horneado. Los siguientes ladrillos son los más comunes y utilizados en el medio:

# Ladrillo panelón del enlucido.

costo: 27 ctvs

## Ladrillo tochana 4 huecos Cocido en horno

de gas y amoldado

por la extrusora. Tie-

ne una resistencia

mecánica por tener

menor porcentaje

de perforación.

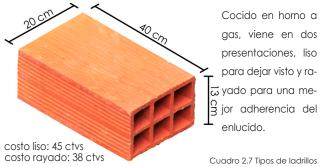
costo: 35 ctvs



de gas, se usa principalmente como ladrillo visto por su acabado liso, puede venir vidriado o no vidriado.

Cocido en horno

#### Ladrillo tochana 6 huecos



gas, viene en dos presentaciones, liso para dejar visto y ra-ご vado para una me-≒ jor adherencia del enlucido.

Cuadro 2.7 Tipos de ladrillos

#### JNIVERSIDAD DEL AZUAY

#### 2.3.3 Fabricación del ladrillo a utilizar

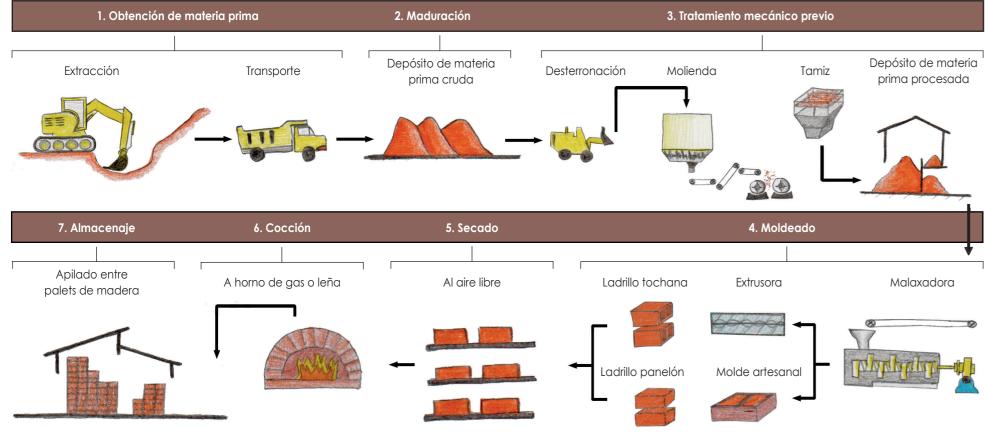






Imagen 2.5 Ladrillera semi-industrial Sigcho



Imagen 2.6 Tratamiento mecánico previo

2.3.3.1 Obtención de materia prima. La tierra se extrae y transporta desde Cumbe y Sigcho – Sinincay, de esto se obtiene una mezcla de material llevado a la ladrillera ubicada en el mismo sector de Sigcho. Esta arcilla cruda es traída en camiones y descargado en cúmulos directamente sobre el suelo a la intemperie.

2.3.3.2 Maduración.- Antes de incorporar la arcilla al ciclo de producción, se debe someterla a ciertos tratamientos de trituración, homogeneización y reposo en acopio, con el objetivo de obtener una mejor consistencia. El reposo a la intemperie tiene la finalidad de facilitar el desmenuzamiento de los terrones y la disolución de los nódulos. La exposición a la acción atmosférica como el aire, lluvia, sol, etc., favorece la descomposición de la materia orgánica.

**2.3.3.3 Tratamiento mecánico previo.-** Posterior a la maduración se debe llevar a cabo la fase de pre-elaboración, que consiste en purificar y refinar la materia prima. En este proceso se compone de tres fases:

- Primero se debe realizar una desterronación con la ayuda de maquinaria liviana, con el objetivo de reducir la cantidad de nódulos y terrones grandes antes de llevar el material a los molinos.
- Una vez se haya desterronado a máquina la mayor cantidad posible, se procede a colocar la tierra sobre las cintas transportadoras, donde manualmente también se separan algunos terrones más pequeños que hayan podido quedar. Las cintas transportan el material a los molinos y finalmente al tamiz.
- La tierra molida reposa en cúmulos sobre el suelo en un lugar techado, donde el material se homogeneiza tanto en apariencia como en características físico químicas.

2.3.3.4 Moldeado.- Antes de llegar al proceso de moldeo, la arcilla debe ser humedecida, esto se realiza en la malaxadora, la cual mezcla la tierra con la cantidad adecuada de agua y la convierte en una masa homogénea. Posteriormente la masa es llevada a moldes dependiendo de que tipo de ladrillo se desee obtener:

- En el caso de los ladrillos panelón, la masa es llevada a moldes artesanales intercambiables, donde debe permanecer 1 hora antes de retirar el molde para evitar deformación de las piezas por la manipulación manual.
- En el caso de los ladrillos tochana, la masa pasa por la extrusora, donde los moldes son metálicos e intercambiables dependiendo del tipo de ladrillo que se desee realizar. La extrusora permite controlar la forma de una cara del ladrillo, y extrae la masa en una masa continua que debe ser cortada por medio de alambre liso del tamaño requerido para cada pieza.

2.3.3.5 Secado.- El secado puede llegar a ser una de las fases más delicadas del proceso de producción del ladrillo. De esta etapa depende en gran medida un buen resultado y calidad del material, sobre todo lo que respecta a la ausencia de fisuras en el bloque de ladrillo. El secado tiene como objetivo eliminar el agua agregada en la fase de moldeado para de esta manera poder pasar a la fase de cocción. En la ladrillera visitada los ladrillos se ubicaban sobre tubos metálicos soldados en forma de parrillas apiladas de forma vertical con unos 30 centímetros entre ellas para que ingrese cualquier tipo de ladrillo. El secado se debe realizar al aire libre pero en un lugar techado, que proteja del sol y la lluvia.

El ladrillo panelón que será cocido en horno a leña debe reposar al aire libre por aproximadamente dos semana antes de ingresar a cocción. El ladrillo tochana que será cocido en el horno a gas debe secarse al aire libre por la mitad de tiempo, aproximadamente una semana.





Imagen 2.8 Secado del ladrillo



Imagen 2.9 Horno a gas



Imagen 2.10 Horno a leña

#### 2.3.3.6 Cocción

- La cocción artesanal para el ladrillo panelón, se realiza en hornos de túnel de ladrillo, puede llegar a medir hasta 120 metros de longitud, en el caso de la ladrillera visitada, mide 30 metros. Se cuece el ladrillo a temperaturas entre 900 y 1000°C durante 25 horas. En el interior del horno la temperatura varía de forma continua y uniforme, el ladrillo previamente secado al aire libre, se coloca en carros especiales. Durante la cocción se produce la sintetización, por lo que esta fase de la fabricación resulta crucial para la resistencia final del ladrillo. Debido a que la cocción artesanal se realiza en horno de leña, el fuego ubicado en la parte inferior, quema más el ladrillo de la base, medianamente el del centro y poco el ladrillo ubicado en la parte superior; dando como resultado que el mejor ladrillo a utilizar es el ubicado en el centro.
- La cocción del ladrillo tochana se realiza en horno a gas, éste se encuentra a una temperatura controlada de 100°C durante 24 horas. Este tipo de cocción permite mayor homogeneidad en las características mecánicas de las piezas de ladrillo, ya que todas se queman bajo las mismas condiciones sin importar su ubicación dentro del horno.
- 2.3.3.7 Almacenaje.- Una vez terminado el proceso de fabricación del ladrillo, se procede a almacenar las piezas hasta su venta. Para esto se coloca sobre el suelo palets de madera y sobre ellas varias filas de ladrillos, arriba de ellos se vuelve a colocar palets y otra capa de ladrillos; esto permite un fácil movimiento de los ladrillos. Para el transporte de los ladrillos a su destino en obra, se debe envolver los paquetes con cintas de plástico o metal para evitar movimientos bruscos entre las piezas y trizado de los ladrillos.



CAPÍTULO 3

Metodología aplicada

## 3.1 Tipologías de envolventes



#### 3.1.1 Análisis previo para elección de las tipologías

Se realiza una comparación térmica entre el sistema de envolvente más usado en el medio (A) (apartado 2.3.2) basado en ladrillo panelón versus dos propuestas de envolventes térmicos (B y C) elegidos tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- Su factor U debe estar por debajo del establecido por la NEC-2018 para la zona 3, donde se ubica la ciudad de Cuenca, el cual es de U = 0,592 W/m2K. Esta primera fase se determina únicamente por fórmulas, al tener λ de cada material y sus espesores correspondientes.
- Su peso debe ser inferior a la tipología A. Es importante tener en cuenta el peso de los materiales a usar en una construcción ya que de esto depende las cargas muertas por la estructura; por consecuencia, si los envolventes pesan menos, las estructuras calculadas pueden llegar a ser de menor dimensión y repercutir en costos no solo en envolventes si no también en estructura, especialmente en obras de varios pisos.
- Su precio debe ser inferior o similar a la tipología de envolvente A, para obtener un resultado viable y aceptado para el uso comercial en el medio. Para esto se realiza un análisis detallado de precios unitarios de las tres tipologías A, B y C.

La fase experimental de esta tesis, después de la elección mediante fórmulas de las tipologías que cumplan con un factor U adecuado para Cuenca, pretende comparar mediante sensores de temperatura y humedad, su comportamiento térmico enfrentado a la intemperie y los cambios climáticos. La experimentación se lleva a cabo mediante la construcción de tres celdas en la terraza del edificio de posgrados de arquitectura de la Universidad de Cuenca; la viabilidad de su colocación en este sitio se da gracias a permisos obtenidos en la Universidad y a las dimensiones de la terraza de aproximadamente 14 x 14 metros libres y sin sombras de otras edificaciones, además su acceso restringido de personal protege las celdas de posibles daños; sin embargo, la razón principal de la elección de este sitio para la colocación de las celdas es la existencia de la estación meteorológica situada en esta terraza, la cual está a cargo del laboratorio PROMAS, de la facultad de arquitectura y urbanismo. Mediante esta estación meteorológica se obtienen datos exactos del clima como temperatura, humedad relativa, viento, precipitación y radiación, elementos que posteriormente serán de total importancia para determinar las razones de los diferentes comportamientos al interior de las celdas (Oficios de permiso en Anexo 1). Al ubicar las celdas en el mismo sitio donde se encuentra la estación meteorológica, se obtiene precisión en la recolección de datos interiores en las celdas, ya que no se debe pasar por cálculos de corrección por la ubicación de las mismas con respecto al lugar de toma de datos climáticos.





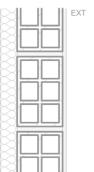


Imagen 3.2 tipología B

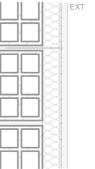


Imagen 3.3 tipología C

# UNIVERSIDAD DEL AZUAY

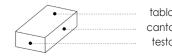


Imagen 3.7 Caras de un ladrillo

#### 3.1.2 Sistemas constructivos

TIPOLOGÍA A

TIPOLOGÍA B

TIPOLOGÍA C

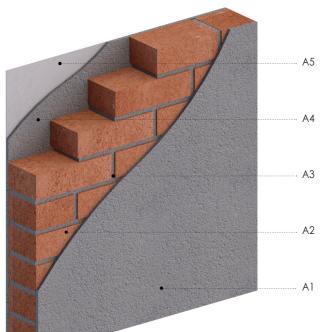


Imagen 3.4 Sistema constructivo de tipología A Imagen 3.5 Sistema constructivo de tipología B

C4 C3 - C2

Imagen 3.6 Sistema constructivo de tipología C

#### Listado de materiales

A1	Enlucido exterior 1cm
A2	Ladrillo panelón 8x13x28cm
A3	Junta de mortero cemento:arena 1:3
A4	Enlucido interior 1cm
A5	Empastado 2mm
B1	Enlucido exterior 1cm
B2	Ladrillo tochana 6 huecos 13x20x40cm
В3	Junta de mortero cemento:arena 1:3
B4	EPS 15kg/m3 5cm
B5	Gypsum 12,7mm
C1	Enlucido exterior 2cm con malla nervometal
C2	EPS 15kg/m3 5cm
C3	Ladrillo tochana 6 huecos 13x20x40cm
C4	Junta de mortero cemento:arena 1:3
C5	Enlucido interior 1cm
C4	Empastado 2mm

Los sistemas constructivos de las tipologías A y B son de fuente propia, por medio del dibujo de secciones y análisis de uniones y anclajes, con referencia a otras fuentes. Para la tipología B las último se coloca el empaste interior con la ayuda de una pala meprincipales referencias son Vilches (2014), y el CTE (Código Técnico de la Construcción), donde se utiliza los sistema sánduche entre materiales. Para la tipología C se toma como referencia el CTE y obras realizadas por Salazar (2015) en Cuenca.

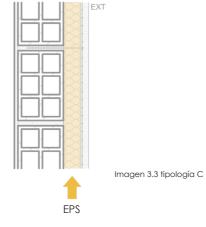
3.1.2.1 Tipología A.- Este envolvente es el más utilizado en la zona urbana de Cuenca. Es un muro de ladrillo panelón en aparejo a soga, es decir que se coloca sobre la cara llamada tabla (Imagen 3.7). Para la construcción del muro se coloca una primera capa de mortero cemento:arena 1:3 de 1,5 cm sobre la losa con la ayuda de un vailejo y una llana metálica y se procede a distribuir la autoroscantes de 4" y se finaliza empastando la superficie. primera fila de ladrillos sobre la mezcla. Para la siguiente fila se coloca encima del ladrillo la junta de mortero horizontal de 1,5cm y 3.1.2.3 Tipología C.- El ladrillo utilizado es tochana de seis huecos en entre cada ladrillo una junta vertical de 1,5cm traslapada hasta la mitad del ladrillo inferior. Todo el muro debe ser levantado correctamente aplomado, nivelada cada fila y fijado cada 60cm a la estructura con varillas metálicas de 8mm. Una vez el mortero de las juntas se encuentre lo suficientemente fraguado como para ejercer presión (aproximadamente dos días) se procede a realizar el enlucido de 1cm tanto en la cara interior como en la exterior del muro; éste se compone por mortero cemento:arena 1:3, y se la malla nervometal se amarra a los 3mm de varilla sobresaliente coloca con la ayuda de una llana dentada, un vailejo y un codo con la ayuda de alambre de amarre y realiza un enlucido de 2cm

metálico. Posteriormente se alisa la superficie con una pulidora de madera y se deja secar por aproximadamente dos semanas. Por tálica y se lija para el terminado final.

3.1.2.2. Tipología B.- Se realiza el mismo procedimiento para el alzado del muro, con diferencia que para este caso se utiliza ladrillo tochana de seis huecos y aparejo a panderete, es decir se coloca los ladrillos sobre la cara llamada canto (Imagen 3.7). El enlucido se coloca solamente en la cara exterior, bajo el mismo procedimiento de la tipología A; en la cara interior se coloca planchas de EPS de 5cm pegado con mortero adhesivo al muro de ladrillo y posteriormente se fija las planchas de yeso cartón (gypsum) con pernos

aparejo a soga, mientras que el enlucido y empaste se colocan en este caso en la cara interior y en la cara exterior la capa de EPS. Para el enlucido exterior se coloca una malla nervometal, fijado a varillas metálicas de 8mm que deben ser colocadas, el momento que el muro de ladrillo está siendo levantado, entre las juntas de mortero; éstas deben quedar sobresalidas 5,3cm del muro hacia el exterior y atravesar las planchas de EPS de 5cm, de esta manera

# Imagen 3.2 tipología B EPS



#### 3.1.3 Aislante utilizado (EPS)

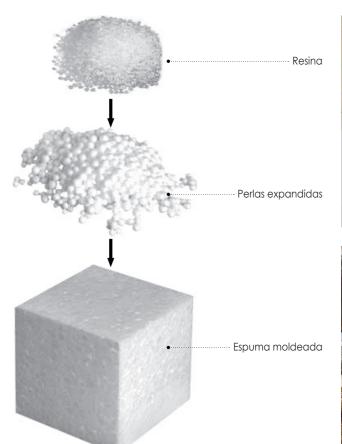


Imagen 3.8 Producción EPS



Imagen 3.9 Aislamiento de paredes con EPS

Imagen 3.10 Aislamiento de pisos con EPS







Imagen 3.12 Cimentación con EPS

"Una capa de 200 mm de espesor de EPS con una densidad de 20kg/m³ representa la misma cantidad de energía que una capa de 17 mm de espesor de madera de pino. ¿Pero quién pone en duda el uso de una capa de madera de pino de 17mm como superficie desprotegida en un techo o una pared?" (EUMEPS)

El EPS o comúnmente conocido como espuma flex, es un poliestireno expansible. Se obtiene mediante un proceso de polimerización del monoestireno con adición de pentano. Se considera un plástico celular que posee una estructura formada por millones de finas células rellenas de aire (BASF Plastics).

3.1.3.1 Fabricación del EPS.- Esta materia prima derivada del petróleo se presenta en forma de pequeñas perlas de poliestireno que contiene en su interior un agente expansible, el cual reacciona al pentano en una concentración del 4-6%, éstas perlas se expanden y llenan sus moléculas con aire (debido a la presencia de aire en sus partículas, el EPS es un material ligero de gran aislamiento térmico y acústico). Las perlas expandidas son sometidas a máquinas de presión, que con ayuda de vapor de agua a temperaturas controladas, forma finalmente los bloques de EPS que posteriormente pueden ser cortados en planchas. (Imagen 3.8)

3.1.3.2 Propiedades físicas.- Tanto la resistencia térmica como mecánica dependen de la densidad del EPS, mientras mayor es su densidad, mayores son estas resistencias. La industria IMSALE en la ciudad de Cuenca, ubicada en el parque industrial, fabrica EPS principalmente en densidades de 12kg/m³ (0,045 W/mK); 15kg/m³ (0,040 W/m<sup>2</sup>K); 28kg/m<sup>3</sup> (0,035 W/m<sup>2</sup>K); y 32kg/m<sup>3</sup> (0,034 W/m<sup>2</sup>K) (Neila, 2004).

\*\*La NEC-2011 cap. 14, pág. 25, especifica que los aislantes deben tener una conductividad entre 0,016 y 0,047 W/mK y un espesor no menor a 3cm y preferentemente de 5cm o más. Esta información se analizó junto a los precios y transmitancias térmicas calculadas en los apartados 3.1.6 y 3.1.4 respectivamente, para obtener como mejor resultado la utilización de planchas de EPS de 5cm de espesor y de 15 kg/m³ de densidad (Imágenes 3.2 y 3.3)

3.1.3.3 Resistencia frente a sustancias químicas.- Debido al reducido espesor de la pared celular del EPS, éste presenta una alta reacción a la mayoría de ácidos y pegamentos fuertes, produciendo una fundición del material; por esta razón, se recomienda que antes de poner en contacto el EPS con sustancias de composición desconocida, se verifique la reacción del material. El pegante más compatible para la fijación entre piezas de EPS es la espuma de poliuretano; mientras que para la fijación entre EPS y un muro de ladrillo, bloque o concreto, se recomienda utilizar mortero adhesivo.

del, el cual es inflamable, éste se descompone en forma de dióxido de carbono al poco tiempo después de su utilización como agente expansor de las perlas de poliestireno. El método de ensayo ISO 5660, llevado a cabo en los laboratorios de la fábrica EUMEPS, demuestra mediante la quema de probetas de EPS, que este material frente a la presencia de fuego tiende a fundirse y encogerse; no se observa ninguna generación de llama hasta superado el flujo de calor de 20kW/m<sup>2</sup>. Bajo este comportamiento al fuego, se recomienda proteger el EPS con un recubrimiento sólido o encapsularlo totalmente. Los ensayos muestran también que en cuanto a niveles de toxicidad en caso de incendio, el EPS alcanza cantidades significativas de monóxido de carbono y estireno monómero, sin embargo a pesar de su olor característico, las concentraciones de estas sustancias bajo temperaturas de incendio, no llegan a ser tóxicas para el ser humano.

3.1.3.4 Comportamiento frente al fuego.- A pesar de la presencia

3.1.3.5 Aplicaciones en la construcción.- Sus principales usos en el campo de la construcción son: aislamiento térmico y acústico de paredes, techos y pisos (Imagen 3.9 y 3.10); casetones para losas de hormigón armado (Imagen 3.11); y en altas densidades como cimentación para obras de no mas de dos pisos y rellenos de terreno (Imagen 3.12).





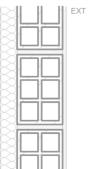
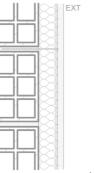


Imagen 3.2 tipología B



#### Imagen 3.3 tipología C

#### 3.1.4 Cálculo de transmitancia térmica

TIPOLOGÍA A Cálculo de transmitancia térmica U (W/m²K)			
Material	Espesor (m)	λ (W/mK)	R (m $^2$ K/W) R=E/ $\lambda$
Enlucido cemento:arena 1:3	0,010	1,400	0,007
Mampostería de ladrillo panelón 8x13x28cm	0,130	0,870	0,149 (1)
Enlucido cemento:arena 1:3	0,010	1,400	0,007
Empaste de pared interior	0,002	0,116	0,017
Espesor total	0,152		
Resistencia total FACTOR U (1/R)			0,351 2,849 W/m <sup>2</sup> K

Cuadro 3.2 Cálculo de transmitancia térmica tipología A

• • • • • • • • • • • • • • • • • • •			
Material	Espesor (m)	λ (W/mK)	R (m $^2$ K/W) R=E/ $\lambda$
Enlucido cemento:arena 1:3	0,010	1,400	0,007
Mampostería de ladrillo tochana 13x20x40cm	0,130	0,490	0,265 (2)
Pared de EPS de 5cm d=15kg/m³	0,050	0,040	1,250
Pared de gypsum 12,7mm empastada	0,013	1,400	0,009
Espesor total	0,203		
Resistencia total			1,702
FACTOR U (1/R)			0,588 W/m <sup>2</sup> K
	Cuadro 3.3 Cálculo de transmitancia térmica tipología B		

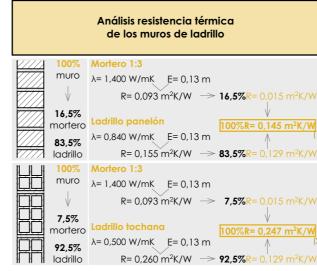
TIPOLOGÍA B

Cálculo de transmitancia térmica U (W/m²K)

TIPOLOGÍA C Cálculo de transmitancia térmica U (W/m²K)			
Material	Espesor (m)	λ (W/mK)	R (m $^2$ K/W) R=E/ $\lambda$
Enlucido cemento:arena 1:3 con malla nervometal	0,020	1,400	0,014
Pared de EPS de 5cm d=15kg/m³	0,050	0,040	1,250
Mampostería de ladrillo tochana 13x20x40cm con varillas 8mm	0,130	0,490	0,265
Enlucido cemento:arena 1:3	0,010	1,400	0,007
Empaste de pared interior	0,002	0,116	0,017
Espesor total	0,212		
Resistencia total			1,724
FACTOR U (1/R)			0,580 W/m <sup>2</sup> K

Comparación: Factor U entre tipologías (<Factor U = mejor aislante) 2,849 W/m<sup>2</sup>K 0,588 W/m<sup>2</sup>K **▼** 79% T3 0,580 W/m<sup>2</sup>K ▼ 80%

Cuadro 3.5 Comparación factor U entre tipologías



Cuadro 3.6 Análisis de la resistencia térmica de los muros de ladrillo

Ésta comprende la primera etapa de experimentación de la tesis, donde se busca las mejores opciones de tipologías para envolventes. El análisis se realiza simultáneamente entre cálculo de transmitancias, pesos y precios; ya que de no cumplir estos tres requisitos, la tipología sería replanteada. Sin embargo, el tema más relevante es ciertamente el de las transmitancias térmicas o Factor U.

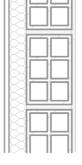
Para cada tipología se realizan los cálculos de resistencia térmica multiplicando la conductividad térmica y espesor de cada material, posteriormente se suman todas las resistencias y se obtiene una resistencia total, dato que, a la inversa da la transmitancia térmica (Cuadros 3.2, 3.3 y 3.4). Los datos de conductividad térmica se obtuvieron principalmente del libro "Arquitectura Bioclimática" (Neila, 2004), fichas técnicas de "LP Building Products", y el CTE (código técnico de la edificación).

Para comprobar las resistencias obtenidas en tablas de los muros de ladrillo panelón y tochana, teniendo conocimiento que éstos son elementos compuestos y las resistencias térmicas se obtienen de materiales homogéneos en su sección, se realiza el cálculo representado en la el Cuadro 3.6. Se puede observar que las resistencias (1) (2) dadas en los Cuadros 3.2 y 3.3 son muy similares a los obtenidos por cálculo de porcentajes de materiales por separado, lo que permite asegurar que la presencia de mortero en una sección de muro de ladrillo no es relevante para el cálculo.

Recapitulando, en la ciudad de Cuenca ubicada en la ZT3, el Factor U máximo debería ser de 1,80 W/m²K, por lo que las tipologías B y C deben ser menores. La tipología A, comprendida principalmente por ladrillo panelón, tiene un Factor U de 2,847 W/m²K, donde se encontró la brecha de investigación, ya que es el tipo de envolvente más utilizado en la ciudad. Las tipologías B y C según cálculo por fórmulas tienen transmitancias de 0,588 y 0,580 W/m²K respectivamente, lo que bebería dar como resultado aislamientos muy similares; ésto se analiza en la fase de experimentación posterior.

DEL AZUAY





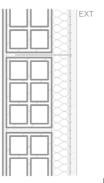


Imagen 3.1 tipología A

Imagen 3.2 tipología B

Imagen 3.3 tipología C

### 3.1.5 Cálculo de peso

TIPOLOGÍA A Cálculo de peso por m² (kg)					
Material	Densidad (kg/m³)	Vol (m³) V=esp*1m²	Peso (kg) P=D*V		
Enlucido cemento:arena 1:3	2000	0,010	20,00		
Mampostería de ladrillo panelón 8x13x28cm	1800	0,130	234,00		
Enlucido cemento:arena 1:3	2000	0,010	20,00		
Empaste de pared interior	200	0,002	0,40		
PESO POR M <sup>2</sup>			274,40 kg		

Cuadro 3.7 Cálculo de peso tipología A

TIPOLOGÍA B Cálculo de peso por m² (kg)					
Material	Densidad (kg/m³)	Vol (m³) V=esp*1m²	Peso (kg) P=D*V		
Enlucido cemento:arena 1:3	2000	0,010	20,00		
Mampostería de ladrillo tochana 13x20x40cm	1500	0,130	195,00		
Pared de EPS de 5cm d=15kg/m <sup>3</sup>	12	0,050	0,60		
Pared de gypsum 12,7mm empastada	2000	0,013	25,40		
PESO POR M <sup>2</sup>			241,00 kg		

TIPOLOGÍA C Cálculo de peso por m² (kg)					
Material	Densidad (kg/m³)	Vol (m³) V=esp*1m²	Peso (kg) P=D*V		
Enlucido cemento:arena 1:3 con malla nervometal	2000	0,020	40,00		
Pared de EPS de 5cm d=15kg/m <sup>3</sup>	12	0,050	0,60		
Mampostería de ladrillo tochana 13x20x40cm con varillas 8mm	1500	0,130	195,00		
Enlucido cemento:arena 1:3	2000	0,010	20,00		
Empaste de pared interior	200	0,002	0,40		
PESO POR M <sup>2</sup>			256,00 kg		

Cuadro 3.8 Cálculo de peso tipología B

Cuadro 3.9 Cálculo de peso tipología C



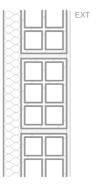
las tipologías. La importancia del peso de los envolventes recae directamente sobre los precios de construcción, como en la estructura soportante, ya que la estructura de una edificación se calcula por cargas vivas (usuarios), cargas muertas (materiales de construcción) y cargas sísmicas; la suma de todos estos elementos dan como resultado las fuerzas totales y pesos que debe resistir. Al tomar en cuenta este aspecto, se tiene claro que en caso de obtener tipologías más pesadas a la tipología A, afectaría directamente sobre los sistemas de construcción actual, al requerir mayor mano de obra para transportar los materiales, estructuras más grandes y por ende costos más elevados en la construcción en general.

Esta fase comprende la comparación de los pesos totales entre

El objetivo propuesto en esta fase se logra al obtener un peso de 241kg por m² para la tipología B y 256kg por m² en la tipología C. Estos pesos se logran gracias a la utilización de ladrillo hueco, aislante ligero (EPS) y acabados finos de enlucido. En el caso de la tipología C el peso es mayor ya que las dos caras del envolvente se encuentran enlucidos y la cara exterior tiene el doble de espesor por la presencia de la malla de enlucido para lograr su fijación sobre el EPS; mientras que en la tipología B solo en la cara exterior se coloca enlucido fino y en la cara interior se fijan planchas de yeso cartón (gypsum).

UNIVERSIDAD DEL AZUAY





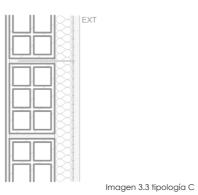


Imagen 3.1 tipología A

Imagen 3.2 tipología B

### 3.1.6 Cálculo de precio

TIPOLOGÍA A Cálculo de precio por m² (\$)					
Material	APU (código)	Espesor (m)	Precio (\$)		
Enlucido cemento:arena 1:3	A104	0,010	1,21		
Mampostería de ladrillo panelón 8x13x28cm	A101	0,130	19,28		
Enlucido cemento:arena 1:3	A104	0,010	1,21		
Empaste de pared interior	A108	0,002	4,73		
PRECIO POR M <sup>2</sup>			\$ 26,42		

Cuadro 3.11 Cálculo de precio tipología A

TIPOLOGÍA B Cálculo de precio por m² (\$)				
Material	APU (código)	Espesor (m)	Precio (\$)	
Enlucido cemento:arena 1:3	A104	0,010	1,21	
Mampostería de ladrillo tochana 13x20x40cm	A102	0,130	9,01	
Pared de EPS de 5cm d=15kg/m <sup>3</sup>	A107	0,050	6,23	
Pared de gypsum 12,7mm empastada	A106	0,013	7,34	
PRECIO POR M <sup>2</sup>			\$ 23,78	

Cálculo de precio por m² (\$)				
Material	APU (código)	Espesor (m)	Precio (\$)	
Enlucido cemento:arena 1:3 con malla nervometal	A105	0,020	4,14	
Pared de EPS de 5cm d=15kg/m³	A107	0,050	6,23	
Mampostería de ladrillo tochana 13x20x40cm con varillas 8mm	A103	0,130	11,14	
Enlucido cemento:arena 1:3	A104	0,010	1,21	
Empaste de pared interior	A108	0,002	4,73	
PRECIO POR M <sup>2</sup>			\$ 27,44	
	Cuadro	3 13 Cálculo de r	orecio tinología (	

TIPOLOGÍA C

Cuadro 3.12 Cálculo de precio tipología B Cuadro 3.13 Cálculo de precio tipología C

Comparación: Precio entre tipologías
(\$ por m²)

T1 \$ 26,42

T2 \$ 23,78 ₹ 10%

T3 \$ 28,51 ♣ 8%

Cuadro 3.14 Comparación precio entre tipologías

	<b>Listado de APU</b> (Análisis de Precios Unitarios)
A101	Muro de ladrillo panelón 8x13x28cm
A102	Muro de ladrillo tochana 13x20x40cm
A103	Muro de ladr. toch. 13x20x40cm con var. 8mm
A104	Mortero cemento:arena 1:3
A105	Mortero cemento:arena 1:3 con malla nervo.
A106	Pared de gypsum 12,7mm empastada
A107	Pared de EPS densidad=15kg/m³
A108	Empaste de pared 2mm

Se realiza un cálculo y comparación de precios unitarios (APU) entre las tipologías (Cuadro 3.15-Resolución detallada en el **Anexo 2**). Todos los precios están calculados multiplicando el espesor por el valor dado del APU en m² (Cuadros 3.11, 3.12 y 3.13); solamente los morteros (A104 y A105 - Cuadro 3.15) cuyos APU anexos se encuentran en m³ deben ser multiplicados por el área y por el espesor; sin embargo, al tener como objetivo calcular el precio por 1m² resulta de igual manera el multiplicar solamente por su espesor.

En esta fase de comparación, la tipología C resulta ser la más costosa ya que el enlucido exterior de 2cm con malla nervometal, requiere mayor tiempo de construcción, por ende mayor costo por mano de obra. Sin embargo, se ha logrado mantener una gran cercanía al precio de la tipología A, superando a ésta en solo \$2,09 por m².

Se logra reducir sustancialmente los precios en las tipologías B y C gracias al uso de ladrillo tochana de 13x20x40cm. Este ladrillo, por su tamaño, favorece tanto una rápida construcción del muro como menos cantidad de mortero al tener menos juntas por m² en comparación a la tipología A (Cuadro 3.6). Otro aspecto favorable para la reducción de costos es la sencillez en la colocación del aislante EPS, su ligereza y trabajabilidad al ser de fácil cortado.

recio tipología C Cuadro 3.15 Listado de APU

74 Vanessa Nicole Cárdenas Arias

DEL AZUAY

# 3.2 Método de celda experimental



### 3.2.1 Opciones previas

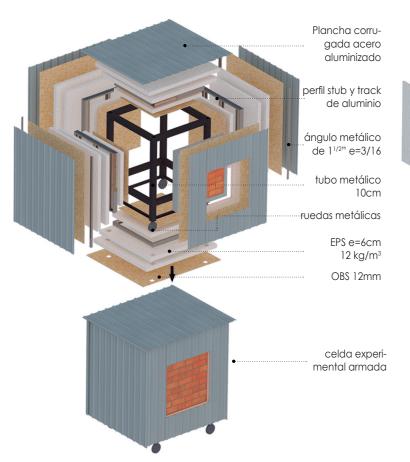


Imagen 3.13 Primera opción de celda experimental

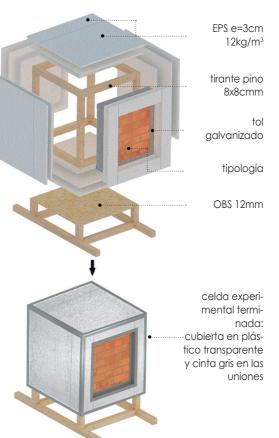


Imagen 3.14 Segunda opción de celda experimental

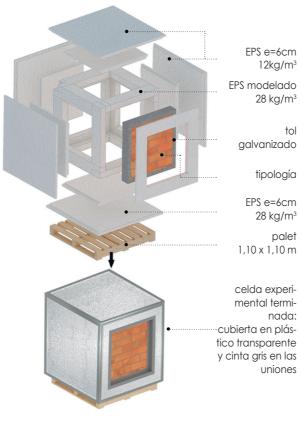


Imagen 3.15 Tercera opción de celda experimental

tudio de Guerrero, Sendra, Fernández y Oteiza (2017). La estructura es de tubos metálicos cuadrados de 10cm, dentro de la cual se coloca una subestructura de perfiles de aluminio comercialmente conocidos como stub y track; éstos permiten el atornillado de las planchas de OSB cuya función es sostener las planchas de EPS y poder atornillarlas a la estructura de aluminio. Para proteger la caja de la intemperie se propone una capa exterior a base de aluminio galvanizado, comercialmente conocido como supertecho; la cara superior sobresale de los bordes exteriores para hacer una función de goterón y proteger a la celda de la filtración de agua; además se utilizan perfiles metálicos en ángulo de 11/2" e=3/16 para atornillar las esquinas exteriores de las planchas de aluminio y sellarlas. Se piensa en una posible necesidad de mover la caja, por lo que se propone la colocación de ruedas metálicas fijadas a la estructura.

### ¿Porque se descarta?

La celda tiene costos muy elevados de construcción (aproximadamente \$850); además de un gran tamaño, lo cual dificulta su transporte, por lo que al momento no se tenía claro aún el sitio donde se emplazaría el experimento para esta tesis. Se observa también, que el acabado aluminizado (Guerrero, et al., 2017) puede ocasionar un sobrecalentamiento de la celda, y además se prevé un posible puente térmico en la base ya que la estructura metálica atraviesa las planchas de EPS y OSB y sobresale hacia al exterior.

3.2.1.1 Primera opción (Imagen 3.13).- Ésta celda se basa en el eslos costos, se decide realizar un diseño con estructura de madera. además de separarla en dos partes para evitar el puente térmico en la base; ésta se diseña con soportes de mayor longitud horizontal para evitar el volcamiento de la celda. Se descarta el uso de una subestructura de aluminio y planchas de OSB, ya que se observa la posibilidad de fijar las planchas de EPS a la estructura de madera con la utilización de pegamento. Las medidas de la celda se rigen a las medidas comerciales de los tirantes de madera. También se opta por un recubrimiento exterior de plástico transparente en lugar de aluminio galvanizado, reduciendo la posibilidad de sobrecalentamiento. En cuanto a las planchas de EPS disponibles al momento, éstas se obtienen de CORAL HIPERMERCADOS, con unas dimensiones máximas de 1x2m y densidad de 12kg/m<sup>3</sup>. Al tener esta disponibilidad de material, se realiza un diseño de piezas de EPS formadas por la unión de varias planchas de 3cm, y traslapadas entre sí (Imagen 3.16). De esta manera se logra evitar puentes térmicos en las uniones y esquinas.



¿Porque se descarta?

El precio de la celda con estructura de madera continúa siendo elevado (aproximadamente \$600); además existe una posibilidad de deformación de los tirantes de madera con el paso del tiempo.

3.1.2.3 Tercera opción (Imagen 3.15).- Se visita por primera vez la fábrica IMSALE, donde se obtiene el conocimiento de la existencia de piezas de EPS en diferentes densidades y dimensiones. La fábrica produce bloques de EPS de 1,22x0,60m, de los cuales se obtienen planchas de diferentes dimensiones; se utiliza una máquina de cortado con alambre caliente, que permite un moldeado de piezas digital. A partir de esto, se diseña una pieza de EPS de 32kg/ m³, que sirve como viga y columna; y planchas de EPS de 6cm completos y destajes en los bordes (Imagen 3.17). Es así que, se modifican las dimensiones de la celda regidas al tamaño máximo de las planchas de EPS de 1,22x1,22m.

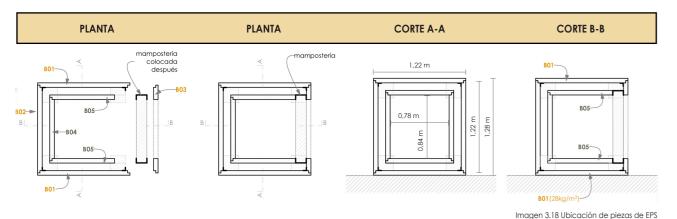


Como base de la celda, se decide utilizar un palet de madera de 1,10x1,10m ya que se analiza que por el espesor, dimensiones y peso propio del muro de ladrillo, éste evita por sí mismo la posibilidad de volcamiento.

### ¿Porque se descarta?

Este diseño de celda es el más cercano a la opción final; sin embargo se concluye bajo ensayos a escala, que si bien las piezas de EPS de 32kg/m³ resisten el peso del muro de ladrillo, las uniones esquineras de las piezas, que se adhieren con espuma de poliuretano son muy frágiles. Su costo ronda los \$250, al igual que la opción final.

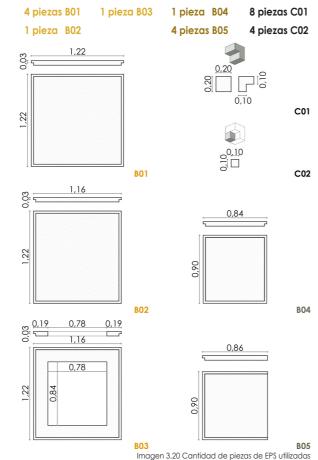
### 3.2.2 Opción final

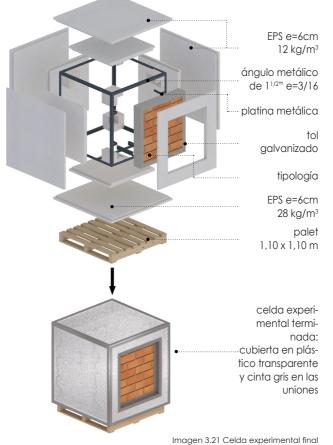


ETAPA 1 ETAPA 2 ETAPA 3 ETAPA 4



Imagen 3.19 Proceso constructivo de celda experimental





Se diseña la celda a partir de sus medidas exteriores, debido a que las planchas disponibles en IMSALE tienen una dimensión máxima de 1,22x1,22m. Se obtiene unas medidas exteriores totales de 1,22x1,28m (Corte A-A Imagen 3.18) conformado por una primera capa exterior de EPS de 12kg/m³ de 6cm, una cámara de aire de 10cm, una capa interior de EPS de 12kg/m³ de 6cm y finalmente un espacio cúbico interior de 78x84cm. Con todas estas capas de aislamiento la transmitancia térmica de la celda es de <u>0,139 W/m<sup>2</sup>K</u> calculado a partir del espesor y conductividad de cada material.

Todas las capas de EPS tienen una densidad de 12 kg/m³, excepto la cara inferior que es de 28 kg/m³; ésta soporta sin deformarse el peso de una persona, por lo tanto permite el ingreso a la celda cuando la cara interior del muro de ladrillo está siendo construido. Una vez terminado el muro, se procede a unir y sellar completamente las caras de EPS con espuma de poliuretano.

La estructura se construye con ángulos metálicos de 11/2" y e=3/16 cm; ésta se coloca junto a la cara interior de las planchas exteriores de EPS (piezas B01 y B02). Para obtener el espacio de la cámara de aire se utilizan las piezas C01 por dentro de la estructura metálica. Toda la celda se asienta sobre un palet de madera de 1,10 x 1,10 metros ya que debe estar separada del suelo, evitando así agua y temperatura influenciadas por el contacto directo con el piso. El presupuesto para la construcción se detalla en el **Anexo 3.** 

### 3.2.2.1 Proceso constructivo de celda experimental (Imagen 3.19):

Etapa 1: Se coloca el palet de madera sobre la superficie de la terraza, con una cara recta en orientación este-oeste. Sobre el palet se apoya la plancha de EPS de 28kg/m3 (B01) y seguidamente la estructura metálica. Ver partes en Imagen 3.20.

**Etapa 2:** El marco de tol galvanizado es atornillado a las platinas metálicas que se encuentran previamente soldadas a la estructura; con ayuda de un taladro se realiza primero los agujeros, y posteriormente se colocan los tornillos manualmente, junto con arandela y tuerca para asegurar su sujeción. Se procede a construir el muro siguiendo las instrucciones constructivas de cada caso detalladas en el apartado 3.1.2.

Etapa 3: Se colocan los módulos esquineros de EPS (CO2) y las planchas interiores (BO4 y BO5), las cuales tienen destajes en sus bordes que aseguran una buena unión entre ellas sin puentes térmicos, además se pegan entre si con espuma de poliuretano y se asegura con cinta gris inmediatamente para evitar la separación de las planchas por la expansión de la espuma.

Etapa 4: Se colocan las planchas exteriores de EPS siguiendo el mismo proceso anterior y se termina sellando toda la celda con plástico transparente para protegerla de la lluvia.

# 3.3 Sistema electrónico



### 3.3.1 Sensores interiores de las celdas

3.3.1.1 Termistor NTC 10K 3950.- Se ubica estos sensores según el apartado 3.3.1.3. Es un termistor de precisión recubierto con epoxi que lo protege contra humedad y permite el paso del calor del ambiente o de la superficie junto al sensor. Para obtener datos precisos es recomendable que el sensor esté sumergido o introducido dentro del material a sensar. Es un sensor con salida analógica (electronilab.co).

### Especificaciones técnicas:

Resistencia a 25°C: 10K ± 1%

Constante de tiempo térmica <= 15 segundos</li>

• Rango de medición de temperatura: -55 a 125 °C

Alambre 28 AWG PVC

Diámetro: 1,3 mm

Longitud: 457 mm

3.3.1.2 Sensor DHT11 de temperatura y humedad.- Se ubica estos sensores según el apartado 3.3.1.4. El DHT11 es un sensor digital de temperatura y humedad relativa que integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire cincundante. Muestra datos mediante una señal digital, es decir no posee salida analógica (naylampmechatronics.com).

### Especificaciones técnicas:

Voltaje de operación: 3V - 5V DC

• Rango de medición de temperatura: 0 a 50 °C

• Precisión de medición de temperatura: ±2.0 °C

• Rango de medición de humedad: 20% a 90% RH

Resolución de humedad: 1% RH

Tiempo mínimo de sensado: 1 seg

• Dimensiones: 16x12x5 mm

Peso: 1gr



Imagen 3.23 Termistor NTC 10K 3950



Imagen 3.22 Sensor DHT11 de temperatura y humedad

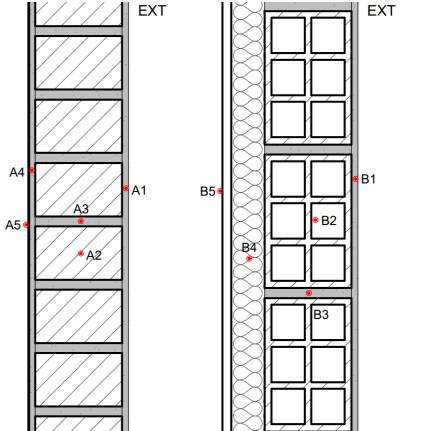


Imagen 3.24 Sensores de temperatura en tipología A

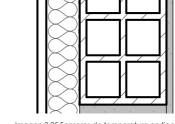


Imagen 3.25 Sensores de temperatura en tipología B

Imagen 3.26 Sensores de temperatura en tipología C

3.3.1.3 Ubicación de termistores NTC.- Los termistores NTC se colocan en cada material de las tipologías (Cuadros 3.24, 3.25 y 3.26). La nomenclatura utilizada para cada sensor es la misma que se utiliza para nombrar a cada capa de material (Cuadro 3.1). 3.3.1.4 Ubicación de sensores DHT11.- Estos sensores se encuentran ubicados en la parte central interior de cada celda (uno por celda) desde donde se obtienen datos de temperatura y humedad del espacio interior.



Imagen 3.27 Vista posterior de celdas antes de cerrarlas

### 3.3.2 Placa matriz de recolección de datos interiores





Imagen 3.29 Etiquetado de sensores



Imagen 3.28 Placa matriz de recolección de datos interiores





Imagen 3.31 Módulo Reloj RTC 25042



Imagen 3.32 Adaptador de Micro SD Arduino AA-115

3.3.2.1 Módulo Reloj RTC 25042.- Permite programar la fecha y hora del registro de datos. Contiene una pila en la parte posterior que se activa en caso de que la alimentación eléctrica brindad por el módulo Arduino principal (apartado 3.3.2.3) se desconecte. De esta manera se garantiza una continuidad en el tiempo así se reinicie el módulo. Así mismo, mediante ese módulo se programa cada cuanto tiempo se deben guardar los datos en la Micro SD (profetolocka.com.ar).

3.3.2.2 Adaptador de Micro SD Arduino AA-115.- Permite insertar una memoria Micro SD, a donde se envían todos los datos que se requiera guardar (naylampmechatronics.com). Su alimentación eléctrica es proporcionada directamente por módulo Arduino principal (apartado 3.3.2.3). La memoria de la micro SD utilizada para esta tesis es de 8GB, lo cual permite un gran almacenamiento de datos txt, formato en el cual se envían los datos obtenidos desde los sensores.

3.3.2.3 Módulo Arduino Mega 2560-R3.- Es el módulo principal encargado los datos enviados desde el módulo reloj y los sensores térmicos y de humedad, para procesarlos y enviarlos a la tarjeta Micro SD (mantech.co.za).

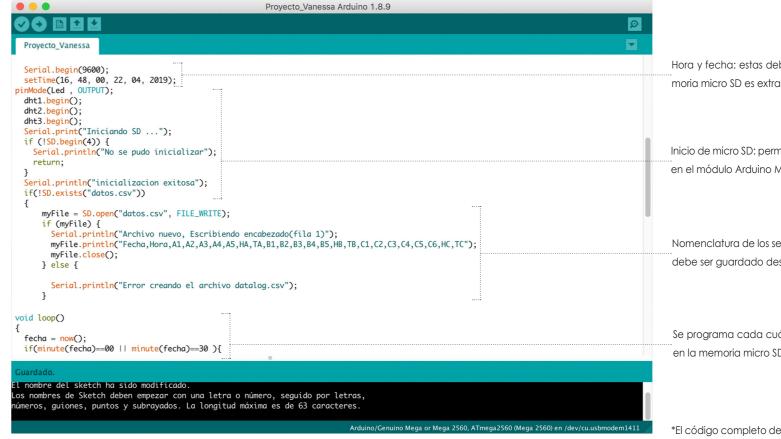
- Los sensores analógicos emiten información en voltaje, por lo que es necesario la colocación de una resistencia como partidor de tensión, esto permite que el voltaje varíe y el módulo Arduino Mega pueda leer y transformar esta información a datos de temperatura en °C mediante su programación en el software Arduino (apartado 3.3.4).
- Los sensores digitales emiten la información directamente en datos legibles, ya que contienen una resistencia y programación inteligente dentro del mismo sensor.



Imagen 3.33 Módulo Arduino Mega 2560-R3

# DEL AZUAY

### 3.3.4 Software Arduino



Hora y fecha: estas deben ser programadas cada vez que la memoria micro SD es extraída del adaptador.

Inicio de micro SD: permite el reconocimiento de la tarjeta micro SD en el módulo Arduino Mega.

Nomenclatura de los sensores: indica el nombre de cada dato que debe ser guardado desde el módulo Arduino Mega.

Se programa cada cuánto tiempo los datos deben ser guardados en la memoria micro SD, a los 00 y 30 minutos de cada hora.

\*El código completo de programación se encuentra en el **Anexo 4**.

Imagen 3.34 Captura de pantalla de software Arduino

### 3.3.4 Sensores climáticos exteriores

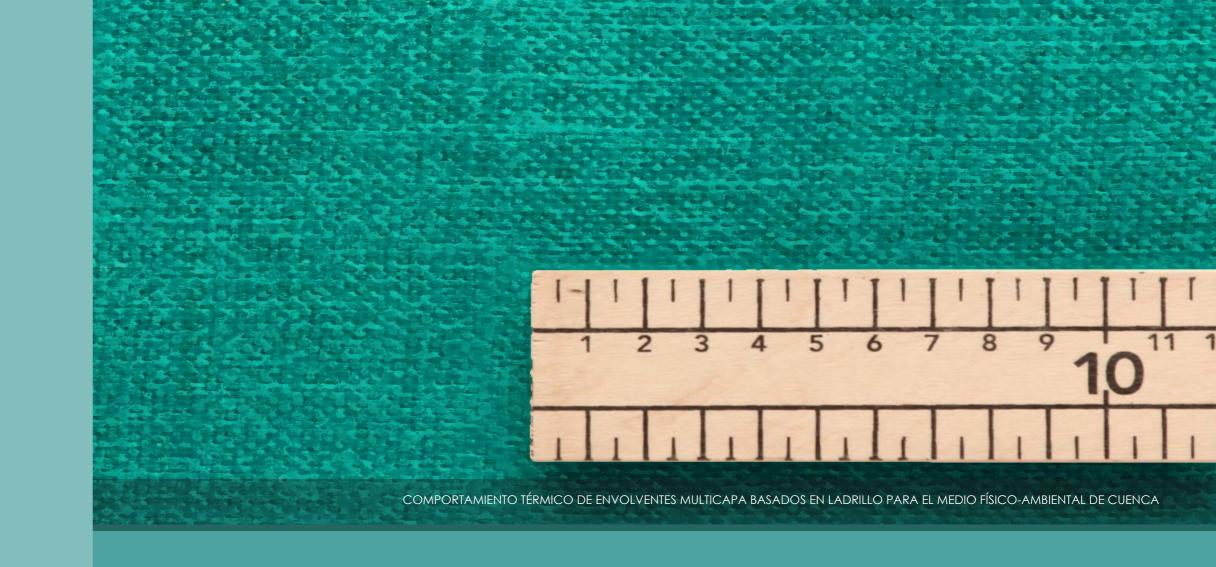


**3.3.4.1 Estación meteorológica WS-GP2 DELTA-T.-** Mide datos climáticos de temperatura, humedad relativa, radiación, velocidad del viento, dirección del viento y presión barométrica. Los datos se pueden recoger por un ordenador portátil vía USB o remotamente usando las opciones del módem de GPRS. El software de DeltaLINK hace fácil poner intervalos de registración y transferir los datos almacenados. La alimentación de esta estación meteorológica es eléctrica, directamente conectado a una fuente de 110V (agriexpo.online).

Esta estación meteorológica se encuentra ubicada en la terraza del edificio de posgrados de arquitectura de la Universidad de Cuenca, sitio en el cual se colocan las celdas experimentales para esta tesis. La cercanía de los sensores interiores en las celdas y de la estación meteorológica, permite la comparación precisa entre estos datos.

**3.3.4.2 Pluviómetro Pronamic.-** Permite medir la cantidad de precipitacion (Iluvia) por segundo. El envase tiene un sistema de auto-vaciado, de fácil colocación y calibración. Tiene un rango de exactitud de ± 2%. Sus datos son enviados al controlador GP2 de la estación meteorológica (alphaomega-electronics.com).

Imagen 3.35 Estación meteorológica WS-GP2 DELTA-T y pluviómetro Pronamic



CAPÍTULO 4

Experimentación y Resultados

# 4.1 Proceso de experimentación



### 4.1.1 Fabricación de celdas experimentales

El proceso comienza con el ar mado de la estructura principal hecha con ángulos metálicos de 11/2" e=3/16, y el perfil de tol galvanizado que sirve como soporte del muro. Una vez terminadas, las estructuras metálicas son llevadas a la fábrica de EPS en el parque industrial llamada IMSALE, donde se fabrican todas las piezas previamente diseñadas (Imagen 3.20).









Imagen 4.2 Transporte de celda

Imagen 4.3 Fabricación de piezas de EPS en IMSALE

### 4.1.2 Sistema trípode para izado de materiales

Se construye un sistema a base de trípodes de madera con seis pingos de 4 metros y uno de 7 metros (Imagen 4.6). Las uniones de los trípodes se encuentran amarradas con sogas y aseguradas con clavos de 1,5". En un extremo se sujeta una polea, por medio de la cual se iza los materiales necesarios para la construcción de las celdas, hasta la terraza del edificio.





Imagen 4.5 Izado de pingos de madera de 4 m



Imagen 4.6 Sistema de izado a base de trípodes de madera

### 4.1.3 Izado de materiales hasta la terraza



Imagen 4.7 Izado de celda con piezas de EPS interiores

Cada pieza y material necesarios para la construcción de las celdas son subidos por partes. Se tira de la soga manualmente, ésta pasa por la polea y se amarra a cada elemento para su izado.





Imagen 4.9 Izado de ladrillos

Imagen 4.10 Izado de EPS exteriores

### 4.1.4 Construcción, día 1

El primer día se construye el sistema de izado y se suben los materiales y piezas de la celda A; las otras dos celdas se encuentran en fabricación en ese momento. El muro de ladrillo es levantado, sin embargo la lluvia interrumpe la construcción; el mortero pierde sus cualidades constructivas, por lo que ya no se puede realizar el enlucido, y las planchas de EPS mojadas ya no permiten una adhesión de la espuma de poliuretano para unirlas entre sí. Es así que se protege improvisadamente la celda usando los trípodes y una lona y se regresa otro día a realizar los enlucidos exterior e interior; se coloca un aditivo acelerante en las proporciones indicadas por el productor para disminuir el tiempo de fraguado del enlucido, ya que se tienen solo dos semanas para la construcción de las celdas.



Imagen 4.11 Celda A protegida de la Iluvia



Imagen 4.12 Primera etapa de construcción de la celda A

### 4.1.5 Construcción, día 2



Imagen 4.13 Enlucido de muro de celda A



Imagen 4.14 Colocación de piezas internas de EPS de celda A

Se realiza el enlucido y se colocan las piezas de EPS sellando sus uniones con espuma de poliuretano. Se debe utilizar guantes para la utilización de la espuma y tener cuidado de la vestimenta ya que ésta no es lavable. La espuma de poliuretano tiene la ventaja que, una vez seca, puede ser cortada fácilmente con una cuchilla en caso de necesi-





Imagen 4.16 Sellado de juntas con espuma de poliuretano

### 4.1.6 Construcción, día 3

A la semana se reciben las celdas B y C, éstas son transportadas (Imagen 4.2) hasta el campus de la Universidad para su armado. Los sensores se colocan mientro los muros se van construyendo, al igual que las demás capas de materiales presentes en los envolventes. Se dejan las caras posteriores destapadas (Imagen 4.17) hasta realizar las conexiones de los sensores a la placa matriz.





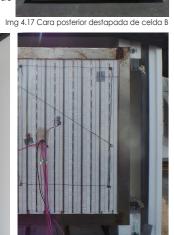




Imagen 4.20 Celdas A, B y C protegidas de la Iluvia

### 4.1.7 Construcción, día 4



Imagen 4.21 Celdas A, B y C terminadas y emplasticadas

Se deja secar los muros por una semana más. Una vez instalados los sensores (apartado 3.3.2) se procede a sellar las celdas completamente y forrarlas con plástico transparente, fijando todas las esquinas con alambre de amarre cortado en forma de grapa. El plástico utilizado mide 4x3m y se coloca sin cortes, en una sola pieza doblada por celda.

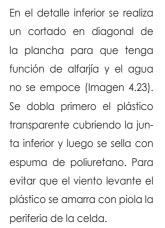




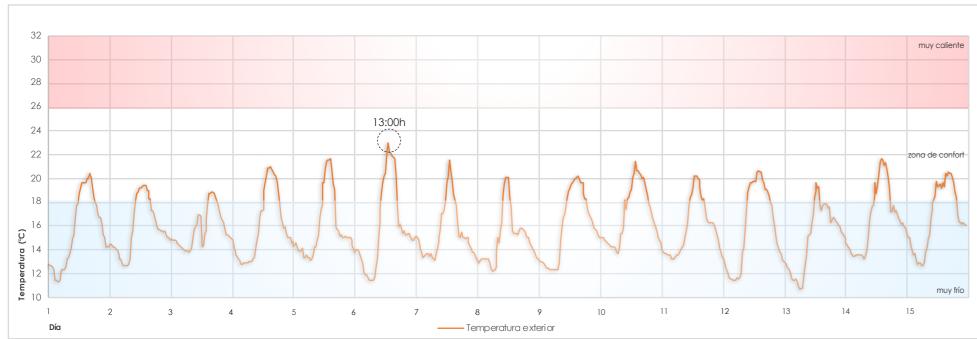
Imagen 4.22 Detalle superior sellado



Imagen 4.23 Detalle inferior sellado

# 4.2 Datos del clima en los días de experimentación

### 4.2.1 Temperatura exterior



Cuadro 4.1 Temperatura exterior de los 15 días de experimentación

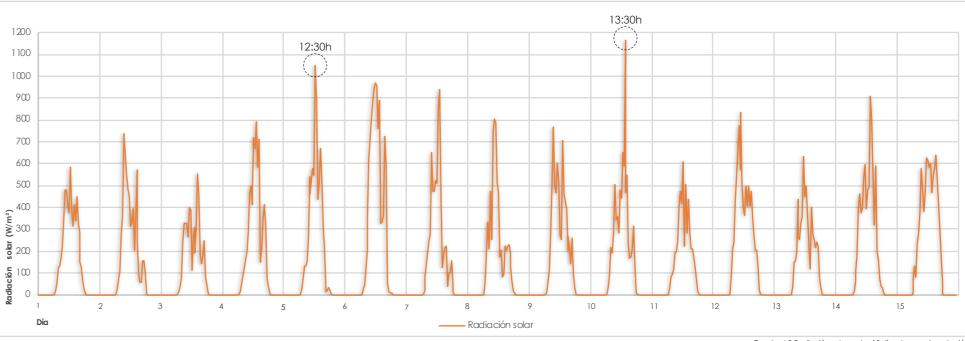
Una vez finalizada la construcción de las celdas y la programación Abril del 2019 y 1 de Mayo del 2019.

La temperatura exterior, tanto como los demás datos climáticos los 18 y 26°C.

externos son tomados de la estación meteorológica cada media fort térmico determinado por la NEC-2011 el cual debe estar entre go de confort se detallan en el Anexo 5)

El rango de temperatura exterior por debajo de los 18°C se encuende los sensores (apartado 3.3.2), se procede a recolectar los datos hora. Se observa que el promedio de temperatura exterior ronda tra en promedio entre las 16:30 y 10:00, esto representa el 68,33% de experimentación durante quince días, entre las fechas: 17 de los 16°C (cuadro 4.1), encontrándose por debajo del nivel de con-

### 4.2.2 Radiación solar

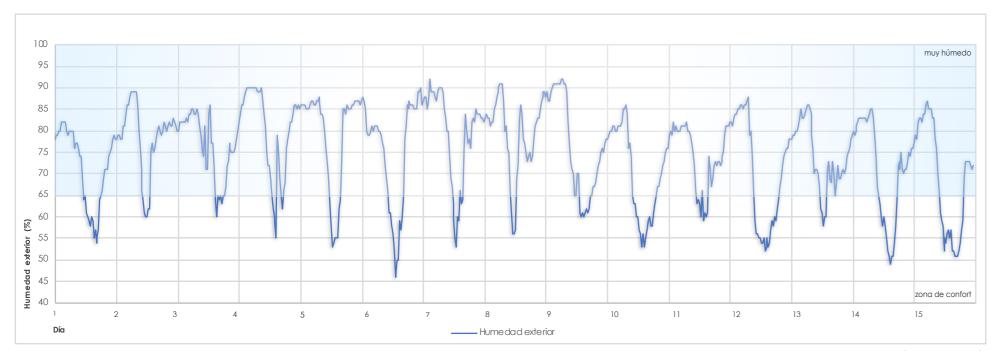


Cuadro 4.2 Radiación solar en los 15 días de experimentación

\*\*Todos los gráficos de resultados se encuentran en relación al período en días de la experimentación; es así que, cada número en el eje horizontal, representa las 0:00 horas de un nuevo día.

Se toma la radiación solar desde la estación meteorológica; se observa que los picos de mayor radiación se encuentran en promedio entre las 9:30 y 14:30. Se comienza a emitir radiación entre las 6:00 y 6:30, y reduce a cero entre las 18:30 y 19:00; datos que coinciden con la salida y puesta del sol respectivamente

### 4.2.3 Humedad exterior



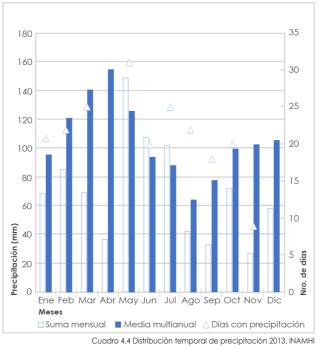
Cuadro 4.3 Humedad exterior de los 15 días de experimentación

tra entre una humedad de 40 y 65%.

Durante el período de experimentación, la humedad promedio es el Anexo 7). de 75%; y las horas promedio fuera del rango del confort, es decir por encima del 65%, se encuentran desde las 14:00 hasta las 11:00;

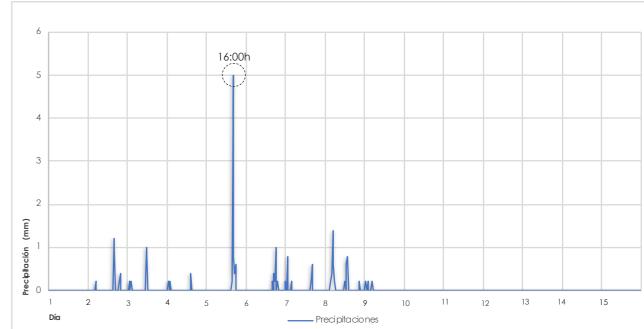
Según la NEC-2011 (apartado 2.1.3) el rango de confort se encuenesto representa el 73,6% de todo el período de experimentación. (El detalle de rangos fuera de la zona de confort se encuentran en

### 4.2.4 Precipitación anual. INAMHI



El mes de Abril es el más lluvioso del año (INAMHI, 2017, p.62), afirmación que se corrobora en este período de experimentación. Para calcular el porcentaje de días lluviosos en estos 15 días, se El pluviómetro registra datos cuando existe un aumento o dismi-

### 4.2.5 Precipitación en el período de experimentación



Cuadro 4.5 Precipitaciones en los 15 días de experimentación

dio de 0,71 mm/h.

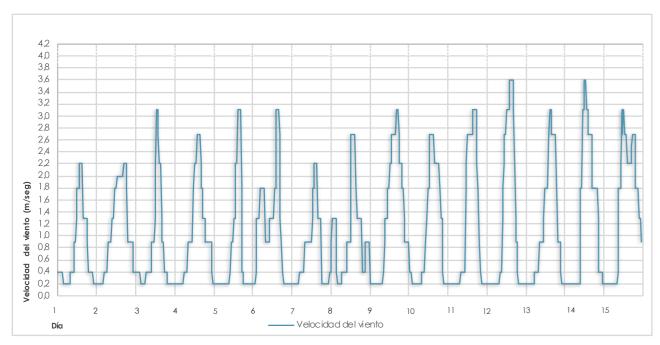
consideran los días en los cuales haya existido precipitaciones, sin nución de 2mm de lluvia, por lo que la información obtenida se importar su duración. Es así que, el porcentaje de días lluviosos es encuentra en base de la variación de los mm; para generar el cua-

de 53,33%, teniendo ocho días con precipitaciones; con un promedro 4.4 basado en el período temporal del experimento, se realiza una acumulación de datos cada media hora.

# 4.3 Comportamiento térmico de las tipologías en los días del experimento

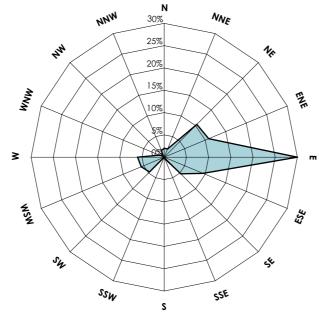


### 4.2.6 Velocidad del viento



Se observa que los picos con mayor presencia de viento se encuentran entre las 12:00 del medio día hasta las 16:30, con un promedio de 2,95 m/seg. (Todos los picos de viento se encuentran detallados en el **Anexo 8**).

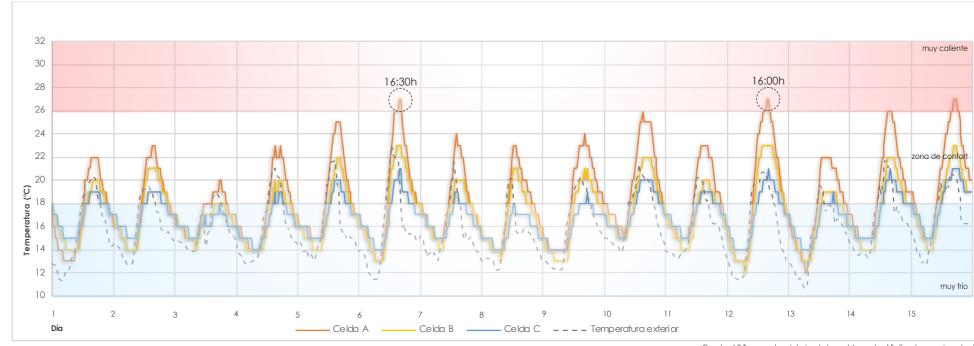
### 4.2.7 Dirección porcentual del viento



Cuadro 4.6 Velocidad del viento de los 15 días de experimentación Cuadro 4.7 Rosa de viento, dirección del viento de los 15 días de experimentación

Se observa que la dirección del viento se encuentra la mayor cantidad de tiempo hacia el Este. Dado que las celdas se encuentran ubicadas con su cara frontal hacia el Este, el viento golpea de frente sobre ellas; es así que, las tres celdas se encuentran bajo las mismas condiciones de recepción de viento.

### 4.3.1 Temperatura del espacio cúbico al interior de las celdas



Se obtienen tres tipos de gráficos con respecto al comportamiento térmico de las tipologías en los 15 días de experimentación. El primero (cuadro 4.8) indica los valores obtenidos del sensor DHT11 (apartado 3.3.1.2) ubicado en el espacio interior de cada celda; esta variación de temperatura no es relevante al tema de investi-

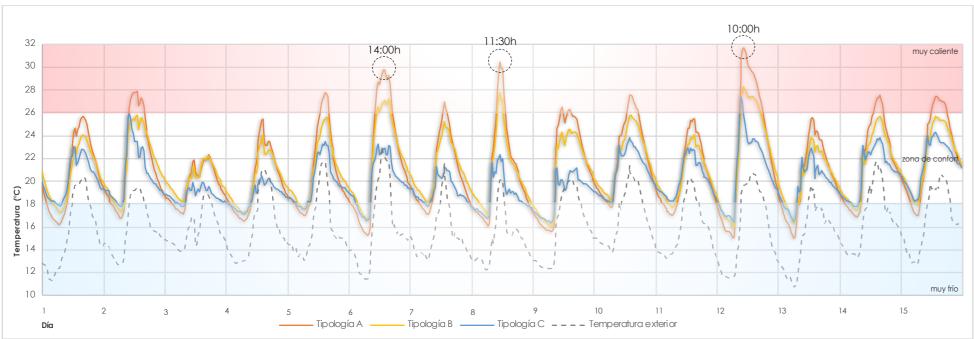
gación, ya que la función de la celda es aislar lo más posible a las tipologías; sin embargo se crea este cuadro informativo para observar que a pesar de que las tres celdas se encuentran construidas de igual manera, las tipologías producen una diferenciación en el comportamiento térmico interno, demostrando así que la imple-

Cuadro 4.8 Temperatura interior de las celdas en los 15 días de experimentación mentación de diferentes envolventes en construcciones reales, in-

fluye directamente sobre la temperatura interna de la edificación.

# UNIVERSIDAD DEL AZUAY

### 4.3.2 Temperatura promedio de las tipologías

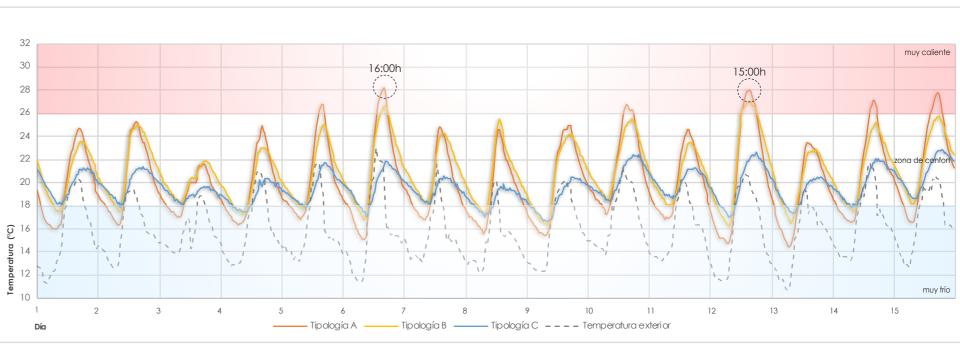


Cuadro 4.9 Temperatura promedio de las celdas en los 15 días de experimentación

El segundo cuadro (4.9) se basa en un promedio de los datos obtenidos de los termistores NTC (apartado 3.3.1.1), los cuales se ubican en cada material de las tipologías. Este promedio permite conocer el comportamiento térmico ponderado de los muros, y de ser necesario, analizar los materiales por separado.

104 Vanessa Nicole Cárdenas Arias

### 4.3.3 Temperatura de la superficie interior de las tipologías



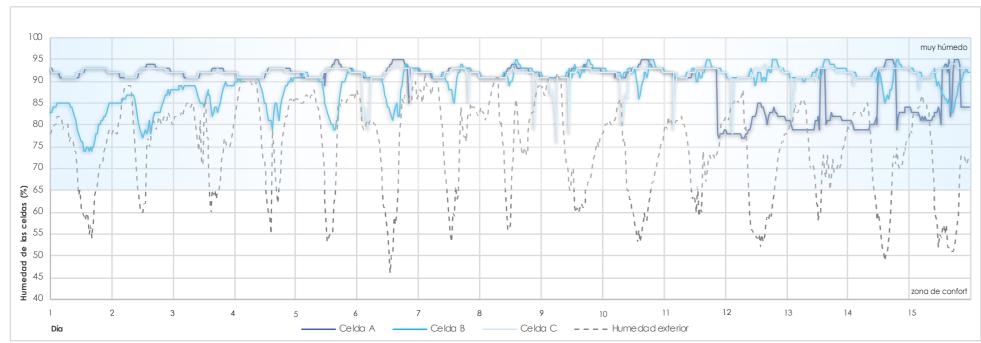
Cuadro 4.10 Temperatura de la cara interior de las tipologías en los 15 días de experimentación

El tercer cuadro (4.10) indica los datos obtenidos de los termistores NTC ubicados en la superficie interior de cada tipología; esta información es la más relevante al tema de investigación, ya que indica la cantidad de calor que atravesó por todo el muro, desde el exterior hacia el interior en un determinado tiempo.

# 4.4 Humedad en los días de experimentación

# DEL AZUAY

### 4.4.1 Humedad interior de las celdas



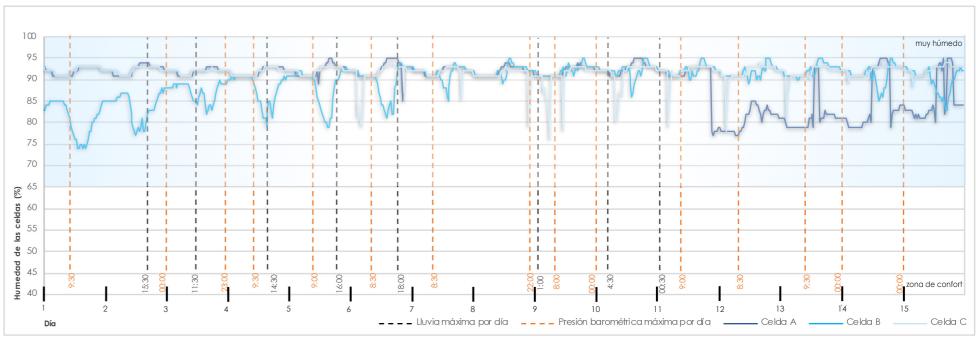
Los datos de humedad son obtenidos del sensor DHT11 (apartado 3.3.1.2) ubicado en el centro interior de cada celda. La información hace referencia a la humedad interna, mas no a la humedad de cada material; se decidió hacer esto para unicamente conocer cuanta humedad atravesaba en total a las tipologías. Dado gías A y C brindan mayor humedad hacia el interior (cuadro 4.14),

que las celdas se encuentran bien selladas y cubiertas de plástico transparente, la única superficie porosa es la cara donde se encuentran construidas las tipologías.

Al observar que en los primeros días de experimentación, las tipolo-

Cuadro 4.11 Humedad de las celdas en los 15 días de experimentación se presume que ésto sucede debido al fraguado incompleto de los enlucidos interiores. Sin embargo a partir del día 12 mientras que la tipología A disminuye drásticamente su humedad, la tipología B ha tenido un aumento progresivo de humedad.

### 4.4.2 Humedad de las celdas según la presión barométrica y lluvia



Se realiza una comparación entre los datos climatológicos de precipitaciones y presión barométrica, con la humedad presente al interior de las celdas. Se toman los picos máximos y se proyectan lineas con sus respectivas horas.

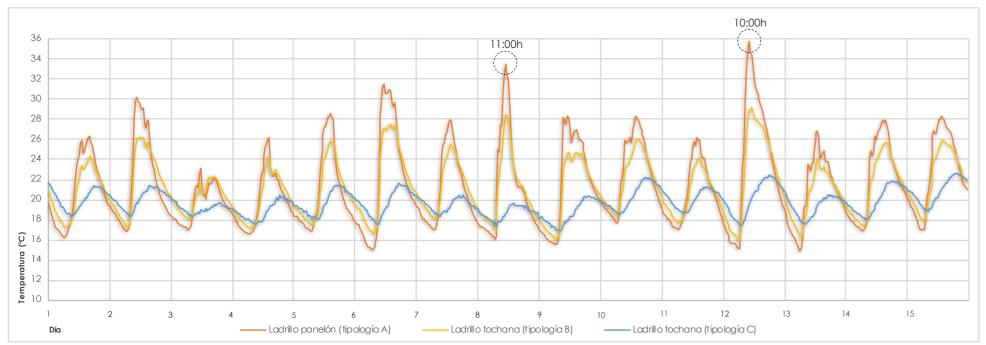
La presión barométrica comprende la presión ejercida por la at-

mósfera de la Tierra en un punto dado; se toma en cuenta este dato ya que a partir de los cambios bruscos de presión, se presume que existe una relación con las precipitaciones. Sin embargo el cuadro 4.14 a simple vista, muestra que los picos de presión máxima para la latitud en Cuenca, no es determinante.

Cuadro 4.12 Humedad de las celdas según la presión barométrica y lluvia Se encuentra una relación directa con las precipitaciones y un aumento en la humedad interna de las celdas.

# 4.5 Comportamiento térmico de los materiales

### 4.5.1 Ladrillos: celdas A, B y C

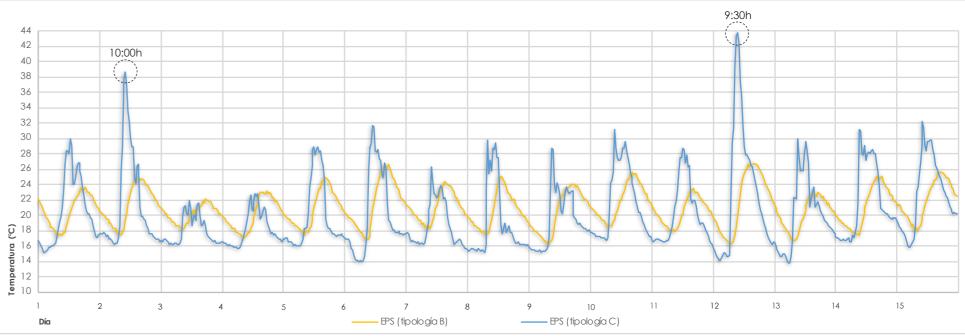


Cuadro 4.13 Comportamiento térmico de los ladrillos durante los 15 días de experimentación

Se realiza una comparación entre los ladrillos utilizados en las difelogía A como el ladrillo tochana de la tipología B se encuentran en su interior. influenciados por el clima exterior bajo las mismas condiciones, ya El ladrillo tochana utilizado en la tipología C, se encuentra proteque ambos tienen solamente un enlucido de 1cm que separa al gido de la intemperie con una capa de EPS de 5cm de espesor;

ladrillo de la intemperie; sin embargo, se corrobora que el ladrillo esto produce como resultado una temperatura menos fluctuante. rentes tipologías (cuadro 4.13). Tanto el ladrillo panelón de la tipo-

### 4.5.2 EPS: celdas B y C

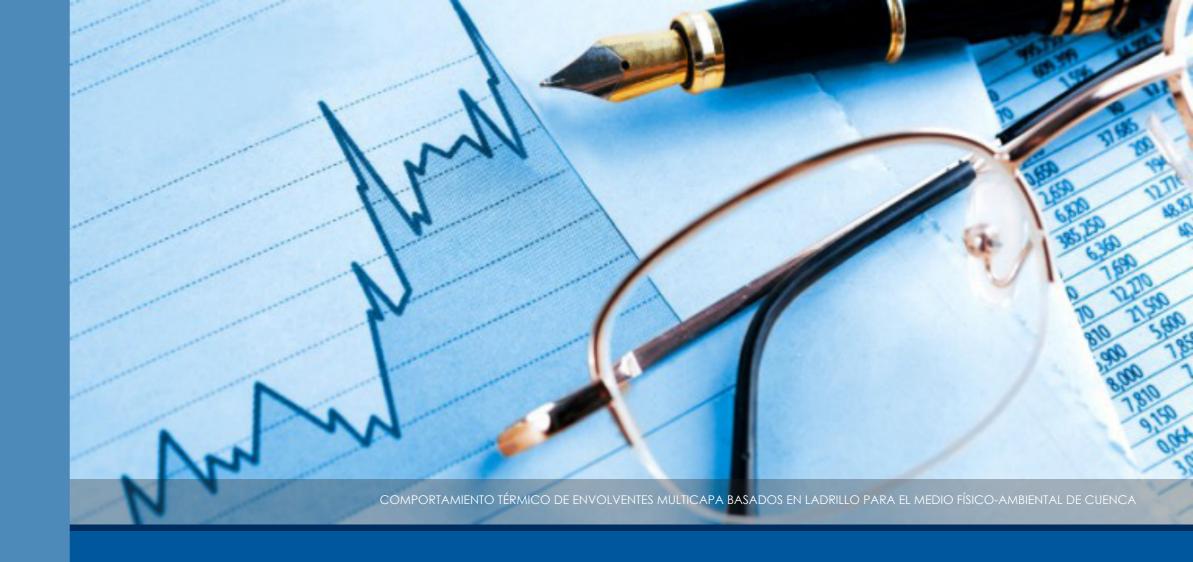


Cuadro 4.14 Comportamiento térmico de los aislantes de EPS en los 15 días de experimentación

En la tipología B el aislante se encuentra hacia el interior del ladrillo, mientras que en la C, éste se coloca hacia el exterior del ladrillo. Se observa que el EPS de la tipología B tiene una temperatura más estable, ésto se debe a que el ladrillo que cubre al aislante

Basándose en el concepto de un aislante, donde es éste el que debe absorber los cambios térmicos, se analiza que lo correcto es la colocación del EPS por fuera del ladrillo, como es el caso de la tipología C. Esta afirmación se confirma al comparar los cuadros en este caso absorbe directamente los cambios de temperatura. 4.13 y 4.14, donde se observa que la curva del ladrillo tochana

C tiene menos fluctuación que la curva del EPS de la tipología B, demostrando que al colocar el aislante por fuera, el paso de la temperatura hacia el interior es más controlado.



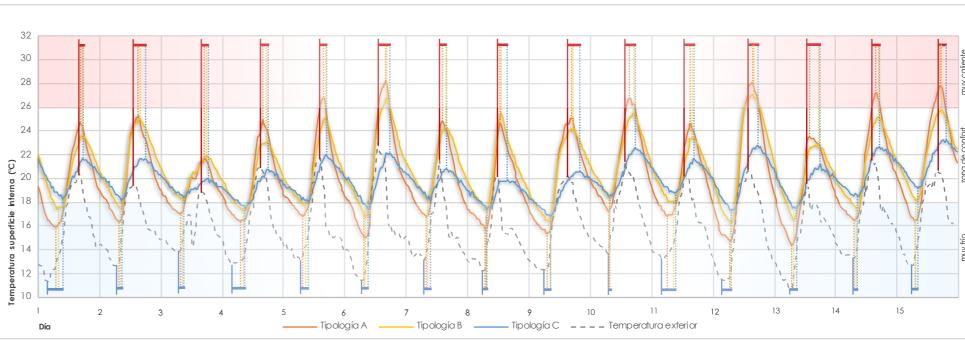
CAPÍTULO 5

Discusión y Conclusiones

# UNIVERSIDAD DEL AZUAY

# 5.1 Comparación entre tipologías

### 5.1.1 Comportamiento térmico de las tipologías



precisión lo que significa la transmitancia térmica puesta a prueba los 18°C y por debajo de los 26°C. La variación térmica de la tipo-

Para este análisis se toma como referencia el cuadro 4.10, ya que Es así que, se obtiene el cuadro 5.1 donde se amplía y analiza a que mantiene su temperatura más estable; si bien la opción B y C como se indicó previamente, muestra el calor que pasa a través de mayor detalle el comportamiento térmico de las tipologías. En este diseñadas en fórmulas tenían transmitancias térmicas similares de los materiales desde el exterior hasta el interior y se alberga en la cuadro, se observa que la tipología C es la única que mantiene su 0,558 y 0,580 W/m²K respectivamente, a diferencia de la opción A superficie interior de las tipologías. Estas curvas indican con mayor temperatura dentro del rango de confort, es decir, por encima de con 2,849 W/m²K, claramente la tipología C aisla mejor; se presume que esto sucede debido al sistema constructivo utilizado, ya que logía C es también menor a las tipologías A y B, esto quiere decir el acabado en seco de la tipología B con planchas de gypsum

en la experimentación.

112 Vanessa Nicole Cárdenas Arias

Se observa que bajo la existencia de cambios bruscos de temperatura como en el día 3 desde las 10:30 a 14:00, las tipologías no tienen una variación significativa, sin embargo la opción A se ve más afectada en proporción con la opción B y C. Así mismo, en los días 5,6 y 7 cuando la temperatura comienza a descender más lentamente a partir de las 18:00, las tipologías mantienen su descenso térmico en una velocidad similar a las horas anteriores, esto indica que ninguna de ellas se ve influenciado al 100% por el ritmo de variación térmica exterior. De esta manera se corrobora que todas las tipologías tiene cierto nivel de aislamiento térmico, y es ya cuando los cambios climáticos son bruscos o los picos más altos y bajos, que realmente se observa la diferencia entre las tres tipologías.

La hipótesis planteada a un comienzo de esta tesis, establece como respuesta a la pregunta de investigación que: al unir diferentes capas de materiales se logra envolventes con un adecuado aislamiento y retención térmica basándose en el factor U. A partir del experimento llevado a cabo durante quince días, se recopilan los datos necesarios para validar esta hipótesis, ya que al analizar el factor U de los materiales y unirlos entre sí, se llega a envolventes aislantes de origen animal o fibroso, con espesores que presenten con un adecuado aislamiento y retención térmica. Sin embargo, después de la investigación, se toma conciencia de otros factores se obtendría un similar comportamiento térmico puesto en obra. importantes como el precio, peso, tiempo de ejecución en obra y gasto de agua, ya que en una construcción se deben tomar en cuenta muchos más aspectos y no solo un correcto aislamiento.

El tener un correcto aislamiento térmico en los envolventes de una construcción permite un mayor confort interior, disminución en gastos de calefacción y prevención de daños en la salud debido al síndrome del edificio enfermo (Berenguer, 2002). Esta tesis se centra en crear prototipos de envolventes basados en ladrillo para el medio físico-ambiental de la ciudad de Cuenca; la razón para haber elegido el ladrillo como material base radica en que es un elemento altamente utilizado en la construcción en este medio. Utilizar material del sitio es beneficioso tanto para la industria de la producción cuencana como para la huella ecológica.

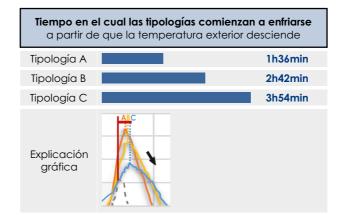
El aislante escogido para esta tesis fue el EPS, por su ligereza y fácil manipulación, además de bajo costo y versatilidad; a diferencia de otros aislantes que se encontraban disponibles en el mercado solamente en rollos a partir de 15m de longitud y algunos de ellos altamente inflamables. Sin embargo, los sistemas constructivos planteados son versátiles y se adaptan a la utilización de distintos ti-

igual conductividad térmica, y en los mismo sistemas constructivos,

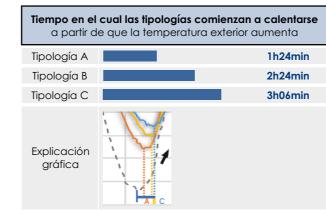
Si se regresa a la sección 2.1.6 ganancia y protección solar, donde se indica la proporción recomendada para vanos y llenos en una fachada según su orientación, se analiza la importancia de una futura investigación sobre ventanería con aislamiento térmico así mismo, para el medio-físico ambiental de Cuenca. Si bien esta tesis se basa en el estudio de envolventes verticales basados en ladrillo, se tiene presente que éstos puestos en obra nunca funcionarán por sí solos, ya que deben estar correctamente complementados con vanos, uniones con pisos aislados y techos aislados, abriendo otra brecha más de investigación sobre envolventes horizontales.

En la experimentación realizada se presentaron algunas dificultades que se mencionan a continuación para tener en cuenta en futuros proyectos de este tipo. Se debió recurrir a instrumentos de otra universidad, ya que no se disponía de los equipos necesarios como la estación meteorológica. Al momento de construir las celdas experimentales, no estuvo prevista la posible presencia de lluvia, para lo cual se pudo haber preparado una cubierta previamente y evitar algunos contratiempos. Y por último la colocación de elementos de seguridad como líneas de vida al borde de la pos de aislantes; aunque aquí se formula una incógnita, si al utilizar terraza, razón por la cual se recibió un llamado de atención.

### 5.1.2 Retardo térmico de las tipologías



Cuadro 5.2 Retardo térmico a calor de las tipologías



Cuadro 5.3 Retardo térmico a frío de las tipologías

A partir del cuadro 5.1 se obtienen también los retardos térmicos de las tres tipologías al proyectar líneas de referencia desde los picos máximos y mínimos de temperatura exterior, es decir cuando existió más calor y más frío en cada día. A partir de estas líneas de proyección del clima, se mide el tiempo en que la superficie interior de cada tipología alcanza su máxima y mínima temperatura; de esta manera se mide cuanto tiempo las tipologías mantienen el calor desde el momento que el exterior comienza a descender su temperatura, y cuanto tiempo las tipologías mantienen fresco el interior antes de comenzar a calentarse. (Cuadros 5.2 y 5.3)

Según los retardos térmicos obtenidos, se considera otro factor para corroborar que la tipología C es la que tiene menor transmitancia térmica ya que, claramente es la que más se demora en calentar y enfriar. Esto muestra que, cuando en el exterior el clima se encuentra caliente, y hasta sobrepasa los límites de confort, esta tipología mantiene fresco el interior sin llegar en ningún momento a calentarse lo suficiente como para sobrepasar el límite de confort; así mismo, cuando en el exterior el clima se encuentra frío, por debajo de los límites de confort, esta tipología mantiene el calor y no se enfría por debajo de el límite confortable.

Cabe recalcar que si bien los datos obtenidos de la temperatura de la superficie interior de las tipologías, muestra cuánto calor pasa a través de los materiales, no sería la misma temperatura al interior

de la edificación, ya que esto depende de muchos otros factores como ventilación de las habitaciones, uniones con las demás superficies y los envolventes horizontales (pisos y techos); pudiendo dar como resultado un mejor control de la temperatura interior en caso de utilizar correctamente las demás superficies, o un empeoramiento de no ser este el caso.

Si bien la tipología C es la que mayor retardo térmico tiene, y ese es el resultado más importante en este apartado; se realiza un cruce de datos para conocer en que hora promedio las tipologías A y B sobrepasan a la línea de temperatura C. Es así que, teniendo el gráfico 5.1 se observan las horas en donde existe un cruce de las líneas en proceso de enfriamiento y calentamiento, y se obtienen los siguientes resultados:



La tipología A supera la temperatura de la tipología C entre las 10h42min.



La tipología A disminuye la temperatura con respecto a la tipología C entre las 21h54min

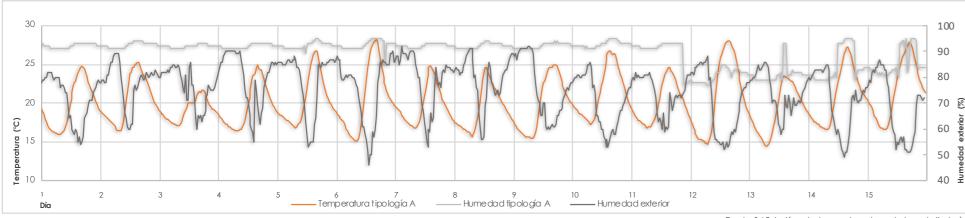


La tipología B supera la temperatura de la tipología C entre las 10h12min.

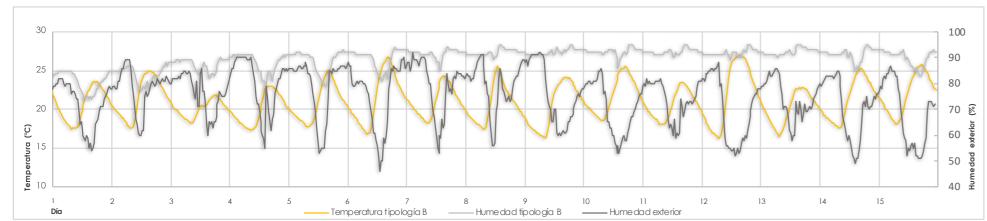


La tipología B disminuye la temperatura con respecto a la tipología C entre las 4h42min.

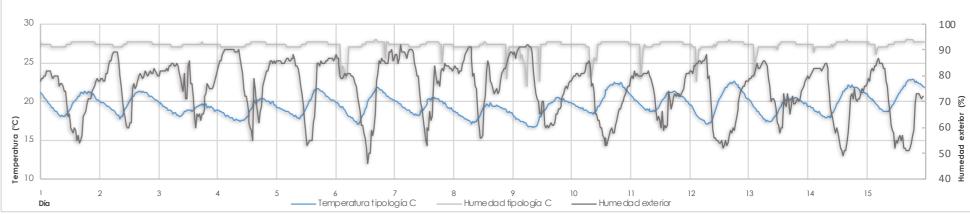
### 5.1.3 Relación entre temperatura y humedad



Cuadro 5.4 Relación entre temperatura y humedad para la tipología A



Cuadro 5.5 Relación entre temperatura y humedad para la tipología B



Cuadro 5.6 Relación entre temperatura y humedad para la tipología C

dad exterior y temperatura de la superficie interior de las tipologías, temperatura asciende la humedad desciende, y viceversa. Esto se podría explicar porque a mayor temperatura del aire, éste puede contener mayor cantidad de vapor de agua, lo que aumenta el rango de la cantidad de agua que representa el 100% de humedad relativa. Por lo tanto, cuando existe mayor temperatura, lo que significa mayor capacidad de contención de agua en el aire, el porcentaje de humedad relativa se ve disminuido (Croiset, 1976).

cua muestra un buen control de humedad; sin embargo, al analies inversamente proporcional; esto quiere decir que, cuando la zar su comportamiento se observa una relación diferente entre la existe mayor evaporación en el proceso de fraguado del enlucido humedad interior y la temperatura de la superficie interior de las tipologías. En el capítulo 4 - experimentación y resultados se indica presentes en el interior, y hacen que el porcentaje de humedad la posibilidad de que los enlucidos no se encontrasen totalmente relativa aumente. fraguados al momento de sellar las celdas; es así que, la tipología B la cual tiene un acabado en seco (gypsum) mantiene una relación humedad-temperatura inversamente proporcional, mientras que en las celdas A y B se observa que este comportamiento cambia, siendo directamente proporcional, es decir, cuando la temperatura sube la humedad también aumenta y viceversa

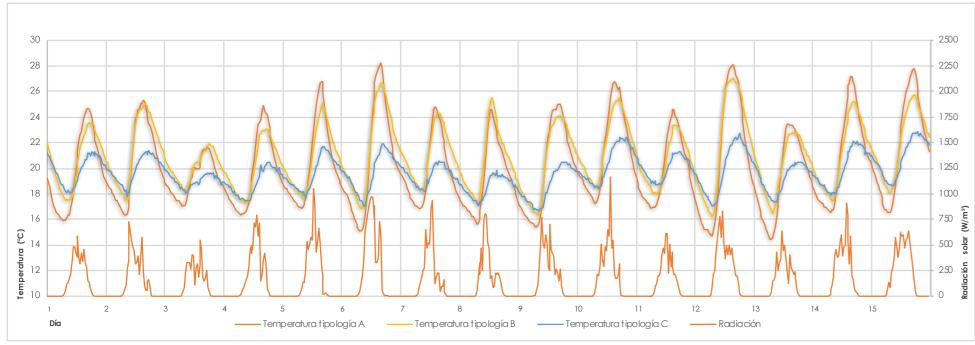
Se observa en los cuadros 5.4, 5.5 y 5.6, que la relación entre hume
La humedad al interior de las celdas tiene menor fluctuación, lo

Esta relación entre temperatura-humedad interior de las tipologías A y C se podría explicar ya que a un aumento de temperatura interior, lo cual satura en mayor cantidad a las moléculas de aire

# 5.2 Influencia del clima en las tipologías

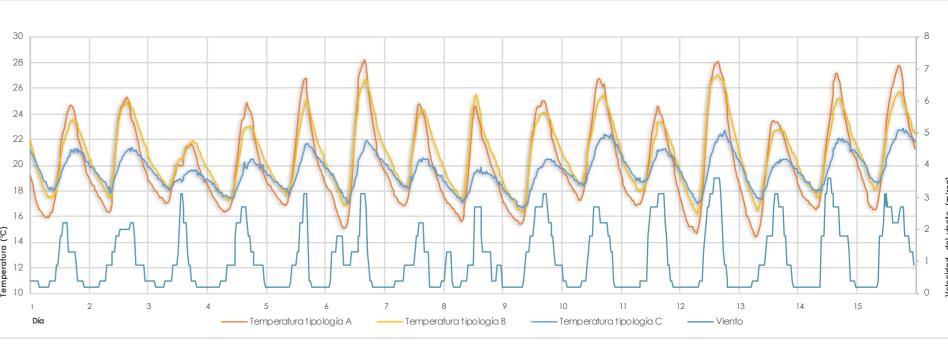


### 5.2.1 Influencia de la radiación en las tipologías



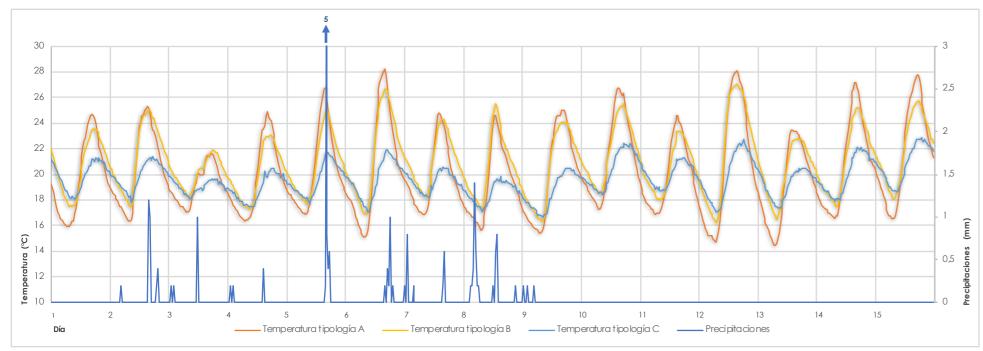
### Cuadro 5.7 Influencia de la radiación en las tipologías

### 5.2.2 Influencia del viento en las tipologías



Cuadro 5.8 Influencia del viento en las tipologías

### 5.2.3 Influencia de las precipitaciones en las tipologías



Cuadro 5.9 Influencia de la precipitación en las tipologías

Para esta fase de análisis, primero se debe tener una breve idea de como se relacionan los agentes climáticos entre sí. Por ejemplo, para tener como resultado cierta temperatura ambiental, influyen factores como radiación, viento y precipitaciones; es así que, si vamos al cuadro 4.1 de temperatura exterior y al cuadro 4.2 de radiación podemos observar que no necesariamente los picos de radiación coinciden con los picos de temperatura, como en el día 10 donde se encuentra el mayor pico de radiación, sin embargo también en ese momento existe gran cantidad de viento (cuadro 4.6) por lo que la temperatura ambiental disminuye; también podrían influir otros factores como la nubosidad.

Otro caso de correlación entre agentes climáticos se puede observar entre el cuadro 4.3 de humedad exterior y el cuadro 4.5 de precipitaciones diarias. En el día 5 cuando existe la mayor cantidad de precipitación, no existe un pico significativo en la humedad exterior. Esto se puede explicar debido a que, cuando existe precipitaciones el agua aún se encuentra en estado líquido, por lo que para que la humedad ambiental presente cambios primero debe pasar por un proceso de evaporación de agua y evapotranspiración de las plantas (Dawes, Walker y Zhang, 2001); es así que, mas bien los días posteriores se observa un aumento en la humedad ambiental.

Este análisis previo muestra que la relación entre los agentes climáticos no siempre son directamente proporcionales; así como,

cuando existe una variación brusca o pico en alguno de ellos, las consecuencias no necesariamente son instantáneas en los otros agentes climáticos. Es así que, en el análisis a continuación se debe considerar la existencia de estas divergencias, ya que los gráficos muestran a todos los agentes climáticos dentro de una misma línea temporal y como si funcionaran al mismo tiempo.

La experimentación de esta tesis tiene como objetivo analizar el comportamiento térmico de las tipologías frente a los agentes climáticos; es así que, para observar la influencia que éstos tienen sobre los envolventes propuestos, se realiza un cruce de datos entre la temperatura de la superficie interior de las tipologías con: la radiación (cuadro 5.7), el viento (cuadro 5.8) y las precipitaciones (cuadro 5.9). No se toma en consideración la presión barométrica ya que se considera que ésta no tiene mayor influencia.

Sin duda la radiación es uno de los principales factores que determinan la temperatura exterior; aunque los picos máximos de temperatura exterior pueden mostrar una variación en cuanto a los picos máximos de radiación, las variaciones en las curvas son bastante similares. Es así que, para el cuadro 5.7 donde se cruza la radiación con la temperatura de la superficie interior de las tipologías, se puede considerar un análisis similar que el del cuadro 5.1, ya que el calor brindado por la radiación atraviesa las tipologías y se manifiesta con sus determinadas temperaturas interiores.

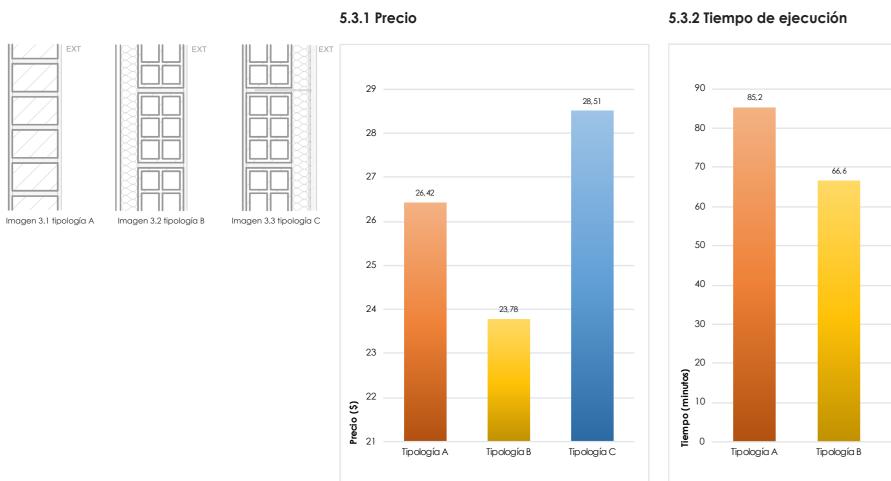
Es interesante observar que los picos máximos de viento están muy cercanos a los picos máximos de radiación, dando como resultado un balance climático natural; así mismo, las tipologías bajan su temperatura paulatinamente a partir de estos picos de viento, que la mayor parte del tiempo se encuentran en dirección este (cuadro 4.27). Cuando existen picos de viento que no sobrepasan los 2 m/ seg de velocidad, la temperatura de las tipologías no se ve afectada, como es el caso del primer pico del día 6, y el primero y tercero del día 8; a partir de los 2m/seg de viento la temperatura varía.

En cuanto al cuadro 5.9 donde se relacionan las precipitaciones con la temperatura de la superficie interior de las tipologías, se observa que cuando la lluvia es menor a 1 mm no existe mayor influencia en el comportamiento térmico. Sin embargo, cuando apenas se sobrepasa el 1 mm, ya existe una variación; por ejemplo en el tercer pico del día 3, las curvas de temperatura que se encontraban en una dirección ascendente, comienzan a descende hasta que la lluvia cesa.

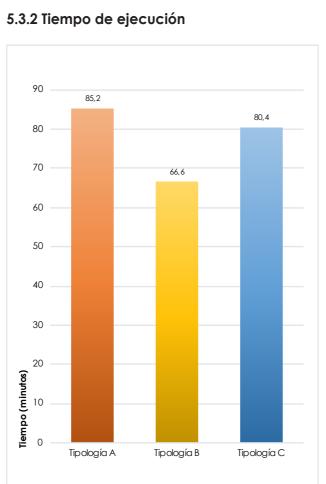
En el día 5 del experimento, cuando las precipitaciones alcanzan su mayor pico de 5mm, se observa un inmediato descenso en la temperatura de las tres tipologías, sin mucha diferencia entre una y otra; lo que lleva a suponer que, frente a una fuerte lluvia el descenso de temperatura se produce casi inmediatamente en las tres tipologías.

# 5.3 Comparación de determinantes entre tipologías

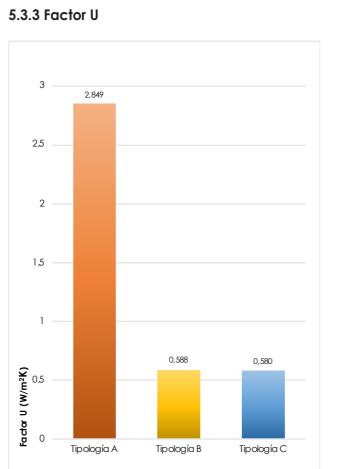




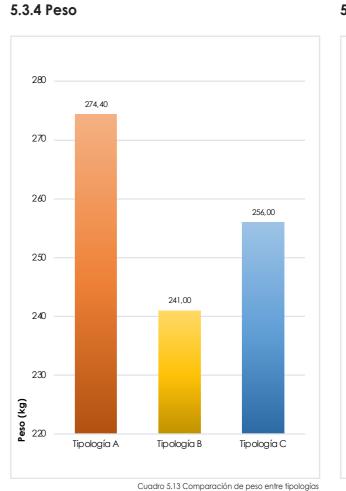
Cuadro 5.10 Comparación de precio entre tipologías

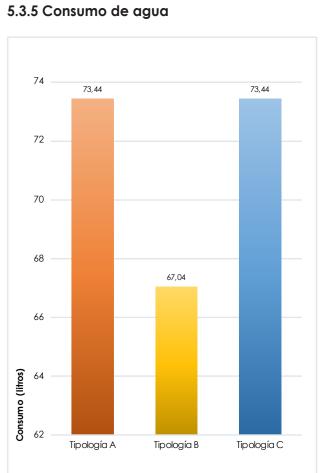


Cuadro 5.11 Comparación de tiempo de ejecución entre tipologías



Cuadro 5.12 Comparación de factor U entre tipologías





Cuadro 5.14 Comparación de consumo de agua entre tipologías

# 5.4 Implementación de las tipologías en el medio de Cuenca según profesionales de la construcción



Como objetivo general esta tesis se plantea "Explorar diferentes tipos de envolventes multicapa basados en ladrillo que cumplan un correcto aislamiento térmico para el medio físico-ambiental de Cuenca". Es así que, después de la fase de experimentación, se puede concluir que la tipología con mejor comportamiento térmico es la C. Sin embargo, en este apartado se explora la importancia de otros aspectos relevantes para la construcción e implantación de las tipologías en la ciudad de Cuenca.

Se toman los datos de precio, tiempo de ejecución, factor U, peso y consumo de agua previamente existentes desde la fase metodológica; el tiempo de ejecución y el consumo de agua se obtienen a partir de los APUS realizados para obtener los precios, sin embargo al final de esta tesis de encuentran las tablas detalladas de esta información (Anexos 9 y 10). A partir de estos datos se obtiene una representación gráfica que compara las tres tipologías (cuadros 5.10, 5,11, 5.12, 5.13 y 5.14).

Si se regresa a la teoría en el capítulo 1 - apartado 1.2.1, donde Arias y Bondabilla (2017), aseguran que el aislamiento debe ser continuo y una solución sería colocarlo por el exterior del envolvente para que éste cubra tanto los muros como la estructura, resulta lógico pensar que la mejor tipología sería la C, además de tener el mejor comportamiento térmico por su terminado homogéneo y sin puentes térmicos a diferencia de la tipología B. Sin embargo,

ya que el material aislante no tiene resistencia mecánica propia y carece de protección contra la intemperie, es necesario un sistema de soporte y protección, siendo en el caso de la tipología C el enlucido con malla nervometal sujetada con varillas de 8mm desde las juntas de mortero del muro de ladrillo. No obstante, una vez solucionado este aspecto, surge un aumento de precio y tiempo de ejecución para la tipología C.

Si bien a simple vista la tipología B parece ser la poseedora de los aspectos más favorables, a largo plazo pudieran surgir dificultades como puentes térmicos por las juntas entre las planchas de yeso-cartón (gypsum) y la discontinuidad de su aislamiento, cuestionando así cuál sería la razón de construir con envolventes térmicos disfuncionales. Aunque por otro lado, no se desea desfavorecer totalmente a la tipología B, la cuál podría solucionar sus puentes térmicos al mejorar la homogeneidad de su acabado interior usando otro material y analizando nuevos detalles constructivos para dar continuidad a su aislamiento a través de la estructura.

Un aspecto interesante a ser analizado después de desmontar las celdas, es la resistencia mecánica total de los envolventes. Se demolieron las tipologías con la ayuda de un mazo metálico; en este proceso se observó que mientras que la tipología más fácil de destruir fue la B, la más resistente fue la A, por ser totalmente maciza. Esto lleva a una reflexión de la posible razón por la cual

se prefiera el uso de ladrillo macizo para fachadas; sin embargo, se observó que la tipología C obtuvo más resistencia que la B por la presencia de malla nervometal, aunque se piensa en la posibilidad de reforzar aun más la capa exterior del envolvente utilizando por ejemplo malla electrosoldada. Se abre aguí una nueva brecha de investigación, en la cual se analice la resistencia mecánica de envolventes térmicos, llegando a una solución aún más completa.

Cabe recalcar, que los envolventes analizados en esta tesis no son estructurales, por lo que al hablar de su resistencia mecánica, se hace referencia únicamente a su dureza por impacto; esto en la vida cotidiana puede referirse a posibles vandalismos, choques de vehículos, desastres naturales, etc., que atenten contra la seguridad de la construcción.

Hasta el momento, los aspectos de las tipologías habían sido comparados bajo una misma importancia. Sin embargo, para conocer de mejor manera el peso que tendría cada aspecto para la implantación de las tipologías en el medio de Cuenca, se realizó una consulta a profesionales de la construcción; esta consiste en ordenar según su criterio, de menor a mayor importancia con una calificación del 1 al 5; siendo 1 menos importante y 5 más importante.

Claramente, el aspecto más importante es el precio, lo cual lleva a pensar que la tipología C tendría ciertas dificultades en implantarse en el medio, al ser la opción más costosa. El precio obtiene una calificación promedio de 4,53/5 lo que denota la gran importancia de este aspecto. El item que le sigue en importancia al precio es el tiempo de ejecución con una calificación de 3,20/5; que si se analiza bien, estos dos aspectos tienen directa influencia sobre el costo-beneficio final de la obra.

Si bien el factor U obtiene una calificación menor al tiempo de eiecución, se observa que hay más profesionales que le dieron la calificación máxima, aunque el promedio total desciende por la existencia de calificaciones de hasta 1. Esta divergencia de opiniones lleva a pensar que puede existir una falta de conocimiento en el medio sobre el aislamiento térmico, remarcando que la arquitectura bioclimática es un el tema que aún debe establecerse.

CONSULTA A PROFESIONALES calificación en orden de importancia (1-5)					
Profesional consultado	Precio	Tiempo de ejecución	Factor U	Peso	Consumo de agua
1. Profesional A	5	4	3	1	2
2. Profesional B	5	3	4	2	1
3. Profesional C	4	2	5	1	3
4. Profesional D	5	4	3	2	1
5. Profesional E	5	2	4	3	1
6. Profesional F	5	4	2	3	1
7. Profesional G	3	2	4	5	1.
8. Profesional H	3	4	5	2	1.
9. Profesional I	5	4	1	3	2
10. Profesional J	4	5	1	3	2
11. Profesional K	5	1	2	4	3
12. Profesional L	5	2	3	4	1
13. Profesional M	5	4	2	3	1
14. Profesional N	4	3	5	2	1
15. Profesional Ñ	5	4	2	3	1
PROMEDIO DE PUNTAJE /5	4,53	3,20	3,07	2,73	1,47
CANTIDAD PUNTUACIONES MAX /15	10	1	3	1	0

Cuadro 5.11 Consulta a profesionale:

### CONCLUSIONES



- Se eligió utilizar la temperatura de la superficie interior de las tipologías para realizar los análisis en toda esta tesis ya que estos datos son los que muestran cuanto calor ingresó a través de todos los materiales de la tipología hasta llegar al interior en un tiempo determinado. Si bien se utiliza esta temperatura superficial, se debe tener en cuenta que ésta no indica la temperatura de las zonas interiores de la edificación, ya que este dato dependería de muchos otros factores como ventilación en las habitaciones, uniones con las demás superficies, el nivel de aislamiento de los envolventes horizontales, etc.
- Al comparar finalmente las tres tipologías, se encuentra a la opción C con un mejor comportamiento térmico. Es la única que mantiene su temperatura dentro del rango de confort todo el tiempo, es decir mayor a 18°C y menor a 26°C. Su retardo térmico también es el mejor, con un promedio de 3h54min para comenzar a enfriarse a partir de que la temperatura exterior desciende de su pico de temperatura máxima, y con 3h06min para comenzar a calentarse a partir de que la temperatura exterior aumenta. En promedio, las tipologías A y B aumentan la temperatura y sobrepasan a la tipología C a las 10:30; sin embargo, al enfriarse la tipología B es la que más se demora en alcanzar a la C ya que lo hace en promedio a las 4:42, mientras que la opción A lo hace a las 21:54. Se puede concluir que, la tipología B tiene una mejor retención de calor que la tipología A.
- Después de realizar la experimentación, donde se lleva la teoría a la práctica, se comprueba que si bien las tipologías B y C mediante diseño por fórmulas tenían transmitancias térmicas similares, puestas en obra su comportamiento térmico es totalmente diferente. Se concluye que la razón, se debe a que los sistemas constructivos son diferentes: mientras la tipología C tiene las superficies interior y exterior homogéneas gracias a la presencia de enlucido, la tipología B tiene su acabado interior a base de gypsum (yeso-cartón) por lo que la presencia de puentes térmicos es más posible. Es así que, un mejor comportamiento térmico se logra al colocar un aislamiento continuo y con un acabado homogéneo.
- Se observa que la relación entre temperatura y humedad por naturaleza es inversamente proporcional; es decir, cuando la temperatura aumenta la humedad relativa disminuye. Sin embargo las tipologías A y C muestran un comportamiento diferente, ya que al aumentar la temperatura también aumenta la humedad, esto indica que las superficies interiores de las tipologías aún no se encontraban totalmente fraguadas, y al mayor temperatura existía una más rápida evaporación del agua en la superficie.

- Un correcto aislamiento térmico da mayor confort, un ahorro en consumo de energía eléctrica por calefacción entre un 10 a 27% (Biswas et al., 2018), y prevención de daños en la salud por el síndrome del edificio enfermo (Berenguer, 2002).
- La relación entre los agentes climáticos no son directamente proporcionales unos entre otros ni de respuesta instantánea, es así que bajo la existencia de precipitaciones la humedad relativa ambiental no aumenta directamente, si no a partir de la evaporación posterior. Se debe tener en cuenta esta relación para poder analizar la influencia del clima en las tipologías.
- El viento enfría a las tipologías solamente a partir de los 2 m/seg de velocidad. La radiación indice directamente sobre el comportamiento térmico de las tipologías, aunque es un conjunto de factores ambientales los que dan como consecuencia la temperatura ambiental; entre ellos radiación, viento, lluvia. Las precipitaciones influyen en el descenso de la temperatura de las tipologías a partir del 1mm. Se observa que solo frente a fuertes lluvias (5mm) las tres tipologías disminuyen su temperatura casi al mismo ritmo e instantáneamente.
- Si bien esta tesis se centra en el análisis del comportamiento térmico de las tipologías, se observa que existen otros factores que influyen en la aceptación de estas en el medio. Entre ellos se tiene el precio, peso, tiempo de ejecución y gasto de agua. Después de realizar una consulta a profesionales de la construcción en la ciudad de Cuenca, se determinó que el aspecto más importante para la implantación de una nueva tipología es el precio y en segundo nivel de importancia se encuentra el tiempo de ejecución, los dos aspectos tienen directa influencia sobre el costo-beneficio final de la obra. Sin embargo, el factor U, que se encuentra en tercer lugar, obtiene más cantidad de calificaciones máximas (3 veces) con respecto al tiempo de ejecución (1 vez); aunque su promedio final disminuye debido a la presencia de calificaciones de hasta 1 y por esta razón se encuentra en tercer lugar. Se observa que, el factor U obtiene calificaciones muy diversas, que van desde 5 hasta 1; lo que lleva a pensar que los profesionales del medio no están en concordancia con la importancia de este aspecto como por ejemplo con el precio, donde las calificaciones no bajan de 3 puntos. Esta discrepancia se puede dar por la falta de conocimiento en el medio sobre el aislamiento térmico, remarcando que el tema de la arquitectura bioclimática es un asunto relativamente nuevo y aun falta que se establezca su importancia.

# RECOMENDACIONES



- Se deberían realizar investigaciones sobre aislantes del medio que no sean inflamables y que estén disponibles en formatos versátiles, ya que para esta tesis no se encontró gran cantidad de opciones fiables.
- Se deberían realizar investigaciones sobre envolventes horizontales como techos y pisos, además de ventanas y paredes; de esta forma se obtendría un análisis completo de los elementos que conforman el total de envolventes de una edificación.
- Muchas veces los puentes térmicos en los envolventes se dan por la mala unión con las ventanerías y entre superficies verticales, por lo que fuese importante resolver bien estas uniones y evitar filtraciones. También se recomienda utilizar acabados homogéneos en las superficies interior y exterior para evitar puentes térmicos a través de las superficies.
- La tipología B podría mejorar su comportamiento térmico al solucionar sus puentes térmicos; se debería dar un acabado interior homogéneo y analizar nuevos detalles constructivos para dar continuidad al aislamiento en la unión con otras superficies.
- La tipología C podría mejorar su resistencia mecánica superficial al colocar malla electrosoldada de refuerzo aparte de la malla nervometal de enlucido Aunque, al estudiar a fondo la resistencia de los envolventes, se obtendría una solución aún más completa.
- Se realizó una encuesta a profesionales de la construcción de diversas edades, sin embargo entre sus opiniones sobre la importancia del factor U existe gran divergencia. Se recomienda dar a conocer más sobre la bioclimática desde las instituciones académicas. Después de la realización de esta tesis, se denota la importancia del confort térmico en las edificaciones.





### CAPÍTULO 1

\*Todas las imágenes y cuadros que no están registrados con cita fuente son de autoría propia

### **PORTADAS**

Imagen de portada general y final de cada capítulo. Sketch esquemático de envolventes. Fuente: istockphoto.com
Imagen de capítulo 1. Pila de libros. Fuente: lacapitalmadp.com
Imagen de capítulo 2. Catedral de Cuenca-Ecuador. Fuente:
ecuavisa.com

Imagen de capítulo 3. Termómetro y cielo. Fuente: es.123rf.com Imagen de capítulo 4. Regla con fondo texturado. Fuente propia Imagen de capítulo 5. Lentes y gráficas. Fuente: es.123rf.com

Imagen 1.1 Conducción. Fuente: impaparicio.com

Imagen 1.2 Convección. Fuente: impaparicio.com

Imagen 1.3 Radiación. Fuente: impaparicio.com

Imagen 1.4 Muro trombre. Fuente: i.pinimg.com

Imagen 1.5 Invernadero adosado. Fuente: viking-house.ie

Imagen 1.6 Puentes térmicos en uniones. Fuente: certificadosenergeticos. com

Imagen 1.7 Aislamiento exterior e interior. Fuente: Ching y Shapiro, 2014

Imagen 1.8 Condensación superficial. Fuente: imapaparicio.com

Imagen 1.9 Condensación intersticial. Fuente: Reformacoruna.com

Imagen 1.10 Condensación superficial gráfico. Fuente: imapaparicio.com

Imagen 1.11 Condensación intersticial gráfico. Fuente: Reformacoruna.com

Imagen 1.12 Método de la placa caliente. Fuente: Cuitiño, Esteves, Maldonado y Rotondaro, 2015

Imagen 1.13 Método del hilo caliente. Fuente: Robles, Vejar, Lozano y Gutierrez, 2016

Imagen 1.14 Método de la caja con guarda. Fuente: Biswas, Desjarlais, Smith, Letts, Yao y Jiang, 2018

Imagen 1.15 Método de celda experimental 1. Fuente: Caruana, Yousif, Bacher, Buhagiar y Grima, 2017

Imagen 1.16 Método de celda experimental 2. Fuente: Guerrero, Sendra, Fernández y Oteiza, 2017

Cuadro 1.1 Efectos negativos de la temperatura en el ser humano. Fuente: Cuadro 1.2 Neila y Bedoya, 2001

Cuadro 1.3 Resistencias térmicas superficiales de envolventes en contacto con el aire exterior en m2K/W. Fuente: NEC-2011 cap 13 pág 25

Cuadro 1.4 Resistencias térmicas de cámaras de aire en m2K/W. Fuente: Código técnico de la edificación

130 Vanessa Nicole Cárdenas Arias



### CAPÍTULO 2

Imagen 2.1 Isotermas ciudad de Cuenca y zonas aledañas. Fuente: www.geointercambio.com

Imagen 2.2 Tipos de radiación solar. Fuente: www.geointercambio.com

Imagen 2.3 Trayectoria solar respecto de la superficie horizontal terrestre. Fuente: Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social, Waldo Bustamante.

Imagen 2.4 Ángulos de posición del sol. Fuente: Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social, Waldo Bustamante.

Cuadro 2.1 Mapa de zonas climáticas del Ecuador. Fuente: Registros meteorológicos INAMHI

Cuadro 2.2 Requisitos para envolvente para la zona climática 3. Fuente: NEC-2018-HS-EE, pág 15

Cuadro 2.3 Curvas de confort temperatura-humedad – NEC-2011 cap 13, pág 39

Cuadro 2.4 Porcentaje máximo de ventanas según la orientación y uso de vidrio con U<5,4W/m2K – NEC-2011. cap 13, pág 21

Cuadro 2.5 Porcentaje máximo de ventanas según la orientación y uso de vidrio con U<3,8W/m2K – NEC-2011. cap 13, pág 21

Cuadro 2.6 Tipos de ladrilleras en Cuenca. Fuente: Gómez, 2013

### CAPÍTULO 3

Imagen 3.8 Producción EPS. Fuente Fábrica EUMEPS

Imagen 3.9 Aislamiento de paredes con EPS. Fuente "Informaciones Técnicas Styropor"

Imagen 3.10 Aislamiento de pisos con EPS. Fuente "Informaciones Técnicas Styropor"

Imagen 3.11 Casetones de EPS. Fuente "Informaciones Técnicas Styropor"

Imagen 3.12 Cimentación con EPS. Fuente "Informaciones Técnicas Styropor"

Imagen 3.22 Sensor DHT11 de temperatura y humedad. Fuente naylampmechatronics.com

Imagen 3.23 Termistor NTC 10K 3950. Fuente electronilab.co

Imagen 3.31 Módulo Reloj RTC 25042. Fuente profetolocka.com.ar

Imagen 3.32 Adaptador de Micro SD Arduino AA-115. Fuente naylampmechatronics.com

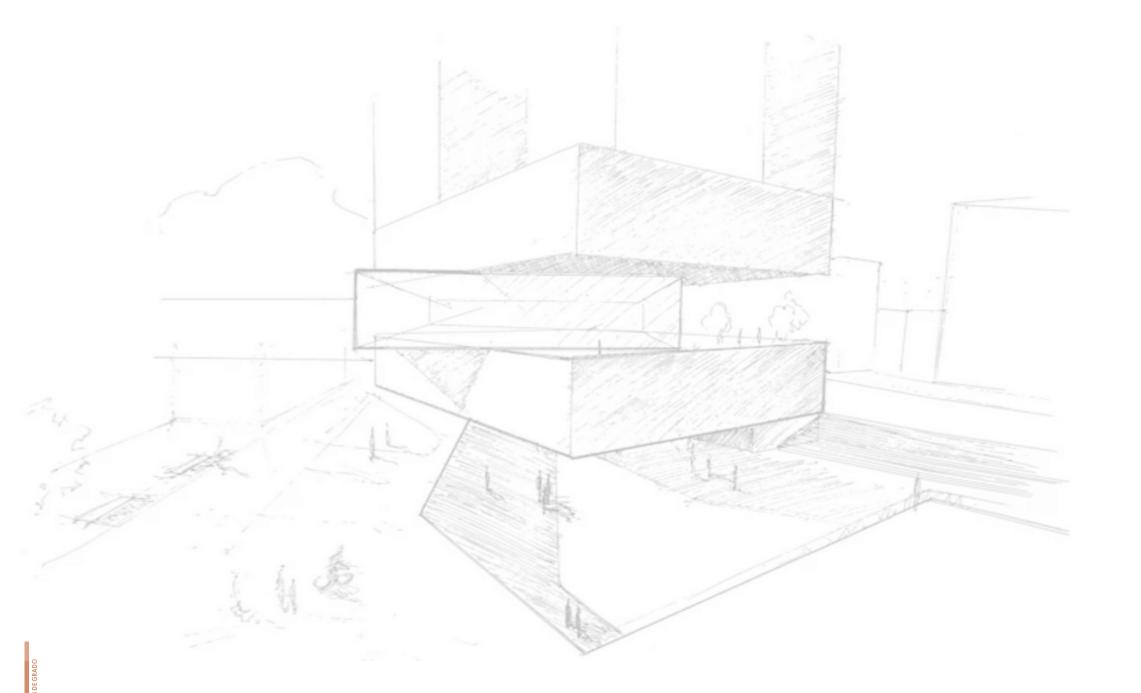
Imagen 3.33 Módulo Arduino Mega 2560-R3. Fuente mantech.co.za

### CAPÍTULO 4

Cuadro 4.4 Distribución temporal de precipitación. Redibujo. Fuente INAMHI, 2017, p.62







- Alba, M. D., Marrero, M., Leiva, C., Montes, M. V., & Vilches, L. (2012). Empleo de paneles compuestos por subproductos de centrales térmicas en fachadas trasdosadas. Informes de la Construcción. https://doi.org/10.3989/ic.10.042
- Arias, N., & Bonbadilla, A. (2017). Evaluación experimental y análisis de la mejora con aislamiento para el caso del puente termico en el frente de forjado. Informes de la Construcción. https://doi.org/10.3989/ic.15.151
- Barragán, A. E., & Ochoa, P. E. (2014). Estudio de caso: Diseño de viviendas ambientales de bajo costo, Cuenca (Ecuador). Maskana. BASF Plastics. Informaciones Técnicas Stypor. Plásticos celulares. Ludwigshafen, Alemania.
- Berenguer, J. (2002) Síndrome del edificio enfermo: factores de riesgo. Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo. Ministerio de trabajo y asuntos sociales España.
- Biswas, K., Desjarlais, A., Smith, D., Letts, J., Yao, J., & Jiang, T. (2018). Development and thermal performance verification of composite insulation boards containing foam-encapsulated vacuum insulation panels. Elsevier.
- Campbell, J., y Pryce, W (2014) Ladrillo. Historia Universal
- Caruana, C., Yousif, C., Bacher, P., Buhagiar, S., & Grima, C. (2017). Determination of thermal characteristics of standard and improved hollow concrete blocks using different measurement techniques. ElSevier. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.09.005
- Catálogo de Elementos Constructivos del CTE (Código Técnico de la Edificación) v1.2. Mi- nisterio de Vivienda, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, CSIC, Madrid, 2010.
- Ching, F., Shapiro, I. (2014). Arquitectura ecológica. Un manual ilustrado.
- Croiset, M (1976) Humedad y temperatura en los edificios. Condensaciones y confort térmico de veradno y de invierno. Barcelona-España. Construpedia (2014) La enciclopedia de la construcción. www.construmática.com/construpedia
- Construpedia (2014) La enciclopedia de la construcción. www.construttica.com/construpedia
- Cordero, A., y Guillén, V. (2012). Criterios bioclimáticos para el diseño de viviendas unifamiliares en la ciudad de Cuenca. Universidad de Cuenca.
- Cuitiño, G., Esteves, A., Maldonado, G., & Rotondaro, R. (2015). Análisis de transmitancia térmica y resistencia al impacto de los muros de quincha. Informes de la Construccion.
- Dawes, R. Walker, Ry Zhang, W. (2001) Respuesta de evapotranspiración media anual a los cambios de captación de la vegetación. [Respuesto ponse of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale]. Water resources research, vol 37.



Domínguez, M., & García, C. (2009). Aprovechamiento de los materiales de cambio de fase (PCM) en la climatización.

EUMEPS. European Manufacturers of EPS [Manufactores europeos de EPS] Comportamiento del EPS en caso de incendio.

Fuentes, Víctor. (2009) Arquitectura Bioclimática. Azcapotzalco, México. http://arq-bioclimatica.com>.

Gili, G. (2010). Un Vitruvio ecológico: principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible. Libro de Arquitectura y Diseño ecológico.

Gómez, P (2013) Estudio y análisis de nuevas tipologías del ladrillo introducidas en Cuenca para la aplicación en la autoconstrucción.

Guerrero, J., Sendra, J., Fernández, J., & Oteiza, I. (2017). Test cell data-based predictive modelling to determine HVAC energy consumption for three facade solutions in Madrid. Informes de la Construcción. https://doi.org/10.3989/id.54794

Hidalgo, C. E. (2018). Arquitectura bioclimática en el páramo andino de Ecuador: mejora térmica-energética de materiales como envolvente en la vivienda social. Universidad de Cuenca.

INAMHI (2017). Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Anuario meteorológico Nº 53-2013.

INEC. Instituto Nacional de Estadística y Censo (2017). Encuesta de edificaciones. Fuente: www.ecuadorencifras.gob.ec/edificaciones

Johra, H., Heiselberg, P., & Dréau, J. Le. (2019). Influence of envelope, structural thermal mass and indoor content on the building heating energy flexibility. ElSevier, https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.11.012 INAMHI. (2017) Edificaciones tabulados. Fuente: http:// www.ecuadorencifras.gob.ec/edificaciones/

Kocí, V., Bazantová, Z., & Cerny, R. (2014). Computational analysis of thermal performance of a passive family house built of hollow clay bricks. ElSevier.

LP Building Products. Ficha técnica, propiedades físicas de los materiales LP. Propiedades mecánicas de los materiales LP.

Martina, P. E., Aeberhard, A. F., Aeberhard, M. R., & Corace, J. J. (2003). Fabricación de un equipo de placa caliente para determinación de la conductividad térmica de materiales. Uso en investigación y docencia. Universidad Nacional del Nordeste Argentina, 1-4.

Matute, M (2014) Tecnología sostenible y eficiencia energética aplicada al diseño de una vivienda. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad de Cuenca.

Megchún, J., Martínez, F., Macías, M., & Osorio, A. (2013). Determinación de la conductividad térmica de materiales para biosecado mediante el método de placa caliente. Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias.

Muñoz, A. G. (2012). El confort térmico adaptativo. Master en sostenibilidad, Universidad politécnica de Cataluña.

NEC-2011 Norma ecuatoriana de la construcción. Capítulo 13: Eficiencia energética en la construcción en Ecuador.

NEC-2011 Norma ecuatoriana de la construcción. Capítulo 14: Energías renovables.

NEC-2018 Norma ecuatoriana de la construcción. Capítulo NEC-HS-EE: Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales.

Neila, F. (2004) Arquitectura Bioclimática en un entorno sostenible. Editorial Murilla-Lería. Madrid, España

Neila, J., Bedoya, C. (2001) Técnicas arquitectónicas y constructivas de acondicionamiento ambiental. Segunda Edición. Madrid, España: Munillalería.

Ordóñez, K., & Zarie, J. (2015). Diseño de vivienda sostenible de interés social para la ciudad de Cuenca en base a principios bioclimáticos.

Orzechowski, T., & Orzechowski, M. (2017). Optimal thickness of various insulation materials for different temperature conditions and heat sources in terms of economic aspect. Building Physics.

Pérez, J., y Gardey, A (2011) Definición de ladrillo. Recuperado de: https://definicion.de/ladrillo

Robles, M., Vejar, S., Lozano, D., & Gutierrez, C. (2016). Aplicación del método de hilo caliente en la determinación de la resistencia térmica de bloques de concreto-material reciclado. Revista de Energía Química y Físcica Universidad Politécnica de Zacatecas.

Salazar, L (2015). Obras realizadas en la ciudad de Cuenca y Yunguilla a base de EPS para envolventes térmicos y acústicos, con enlucido exterior.

Solarkit. (2010). Una vivienda desmontable y energéticamente autosuficiente.

Terrados, F., Baco, L., & Moreno, D. (2015). Vivienda prefabricada, sostenible, autosuficiente y enérgicamente eficiente. Participación en la competición Solar Decathlon Europe 2012, 67(538).

Valen, J. (2008). Fachadas con mucha historia. Gremios. Periódico de la construcción, vol. 73.

Vidal, A. C., & Vásquez, G. F. (2011). Diseño de un modelo de vivienda bioclimática y sostenible. Fase II. Universidad Tecnológica de El Salvador, Recuperado de http://biblioteca.utec.edu.sv/siab/virtual/entorno/56256,pdf

Vilches, T (2014) Análisis de soluciones innovadoras para rehabilitación de fachada en vivienda social con Documentos de Idoneidad Técnica (DIT, DITE/ETE, ditplus). Paper presented at the 1st Congreso Internacional sobre Investigación en Construcción y Tecnología Arquitectónicas, Madrid.



### ANEXO 1: PERMISOS OBTENIDOS PARA LA EXPERIMENTACIÓN

Arq. Enrique Flores Juca DECANO DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO Universidad de Cuenca

Permiso de acceso

De mi consideración,

Por medio de la presente, yo Vanessa Nicole Cárdenas Arias con C.I 0107398612 solicito se me brinde permiso de acceso a la terraza del edificio de posgrados de arquitectura, para la colocación de prototipos constructivos en forma de caja, mismos que deben ser colocados a lado de la estación meteorológica ubicada en este sitio. El experimento se llevará a cabo dentro del período comprendido entre el 1 de Marzo hasta el 30 de Abril del presente año, para mi tesis titulada "Comportamiento térmico de envolventes multicapa basados en ladrillo para el medio físico-ambiental de Cuenca".

Firma de autorización:

Arq. Enrique Flores Juca

Ing. Felipe Cisneros PhD. DIRECTOR DEL PROMAS Universidad de Cuenca

Solicitud de obtención de datos de la estación meteorológica

De mi consideración,

Por medio de la presente, yo Vanessa Nicole Cárdenas Arias con C.I 0107398612 solicito se me brinden los datos de temperatura, humedad, viento, presión barométrica y lluvia de la estación meteorológica de la Universidad de Cuenca dentro del período comprendido entre el 1 de Marzo al 30 de Abril del presente año. Los datos serán utilizados para la realización de mi tesis de pregrado de arquitectura de la Universidad del Azuay titulada "Comportamiento térmico de envolventes multicapa basados en ladrillo para el medio físico-ambiental de Cuenca".

Atentamente,

Firma de autorización:

Ing. Felipe Cisneros PhD.



# ANEXO 2: ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APU)

Código: A101

Nombre: Muro de ladrillo panelón 8x13x28cm

Unidad= m2

omada- mz				
1. MATERIALES				
	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
Mortero 1:3	m3	0,022	93,42	2,06
Ladrillo panelón 8x13x28	U	39	0,27	10,53
		Tot	al materiales	12,59
2. MANO DE OBRA				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
Peón (ESTRUC. OCUP. E2)	Hora	0,80	3,58	2,86
Albañil (ESTRUC. OCUP. D2)	Hora	0,80	3,62	2,90
Maestro de obra (ESTRUC. OCUP. C1)	Hora	0,15	4,01	0,59
		Total n	nano de obra	6,35
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
Andamio	Hora	0,8	0,06	0,03
Herramientas			5%	0,32
	Total equipo, m	aquinaria y	herramientas	0,35

19,28

Código: A102

Nombre: Muro de ladrillo tochana 13x20x40cm

Unidad= m2

1. MATERIALES				
	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo tot
Mortero 1:3	m3	0,012	93,42	1,
		10	0.00	4

Nortero 1:3	m3	0,012	93,42	2 1,12
adrillo tochana 6 huecos liso 13x20x40cm	U	12	0,38	3 4,50
		Tota	l materiales	5,68
. MANO DE OBRA				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Costo tota

Descripción	Unidad	Cantidad	productivo	Costo total
Peón (ESTRUC. OCUP. E2)	Hora	0,40	3,58	1,43
Albañil (ESTRUC. OCUP. D2)	Hora	0,40	3,62	1,45
Maestro de obra (ESTRUC. OCUP. C1)	Hora	0,07	3,93	0,28
		Total n	nano de obra	3,16

### 3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS

	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
Andamio		Hora	0,8	0,06	0,01
Herramientas				5%	0,16
		Total equipo, m	aquinaria y	herramientas	0,17

TOTAL SIN IVA	9,01

TOTAL SIN IVA



Código: A103

Nombre: Muro de ladrillo tochana 13x20x40cm con varillas de 8mm

Unidad= m2

omada mz				
1. MATERIALES				
	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo tota
Mortero 1:3	m3	0,017	93,42	1,59
Ladrillo tochana 6 huecos liso 13x20x40cm	U	12	0,38	4,5
Varilla de 8mm	m	0,67	2,48	1,6
		To	tal materiales	7,8
2. MANO DE OBRA				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo tota
Peón (ESTRUC. OCUP. E2)	Hora	0,50	3,58	1,79
Albañil (ESTRUC. OCUP. D2)	Hora	0,50	3,62	1,8
Maestro de obra (ESTRUC. OCUP. C1)	Hora	0,07	3,93	0,28
		Total n	nano de obra	3,88
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo tota
Andamio	Hora	8,0	0,06	0,0
Herramientas			5%	0,19
	Total equipo, n	naquinaria y	herramientas	0,2

11,89

Código: A104

Nombre: Mortero cemento:arena 1:3

Unidad= m3

### 1. MATERIALES

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
Cemento Fuerte Tipo GU Saco 50 Kg - Holcim DISENSA	saco	10,3	7,68	79,10
Arena	m3	1,04	13,5	14,04
Agua	m3	0,32	0,85	0,27
		To	tal materiales	93,42
2. MANO DE OBRA				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
Peón (ESTRUC. OCUP. E2)	Hora	6,00	3,58	21,48
Albañil (ESTRUC. OCUP. D2)	Hora	1,20	3,62	4,34
		Total n	nano de obra	25,82
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
Herramientas			5%	1,29
	Total equipo, n	naquinaria y	herramientas	1,29
TOTAL SIN IVA				120,53

TOTAL SIN IVA



Código: A105

Nombre: Mortero cemento:arena 1:3 con malla nervometal

Unidad= m3

Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
saco	10,3	7,68	79,10
m3	1,04	13,5	14,04
m3	0,32	0,85	0,27
m2	40	2,05	82,00
libra	5	0,87	4,35
	To	tal materiales	179,77
Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
Hora	9,00	3,58	32,22
Hora	2,40	3,62	8,69
	Total n	nano de obra	40,91
Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
		5%	2,05
Total equipo, n	naquinaria y	herramientas	2,05
			222,72
	saco m3 m3 m2 libra  Unidad  Hora Hora	saco 10,3 m3 1,04 m3 0,32 m2 40 libra 5 Total  Unidad Cantidad Hora 9,00 Hora 2,40 Total n	Unidad   Cantidad   productivo

Código: A106 Nombre: Pared de gypsum 12,7mm empastada Unidad = m2

1	M	ΔΤ	FR	ΙΔΙ	LES
١.	IAI	٦,	LI	1	LLJ

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo tota
Plancha de Gypsum Yeso Carton 1,22x2,44m e=12,	7mm unidad	0,33	8,1	2,67
Cinta para junta de papel	unidad	0,02	4,66	0,09
Masilla Romeral 30kg	saco	0,02	16,68	0,33
egamento Romeral	saco	0,07	12	0,8
		Tot	al materiales	3,94
. MANO DE OBRA				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo tota
eón (ESTRUC. OCUP. E2)	Hora	0,45	3,58	1,6
Albañil (ESTRUC. OCUP. D2)	Hora	0,45	3,62	1,63
		Total n	nano de obra	3,24
. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo tota
1erramientas			5%	0,16
	Total equipo, ı	maquinaria y	herramientas	0,10
OTAL SIN IVA				7,34



Código: A107

Nombre: Pared de EPS densidad = 15kg/m3

Unidad= m3

Poliestireno expandido 3cm 15	5kg/m3	m3	1	productivo 105	105,00
·	<u>o</u> .		To	tal materiales	105,00
2. MANO DE OBRA					
Descri	pción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
Peón (ESTRUC. OCUP. E2)		Hora	4,00	3,58	14,32
Albañil (ESTRUC. OCUP. D2)		Hora	1,20	3,62	4,34
			Total n	nano de obra	18,66
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HER	RAMIENTAS				
Descri	pción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
Herramientas				5%	0,93
		Total equipo, n	naquinaria y	herramientas	0,93

Código: A108

Nombre: Empaste de pared 2mm Unidad= m2

1. MATERIALES

Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
kg	2	0,95	1,90
	To	tal materiales	1,90
Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo tota
Hora	0,50	3,58	1,7
Hora	0,25	3,62	0,9
	Total n	nano de obra	2,7
Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo tota
		5%	0,1
Total equipo, r	maquinaria y	herramientas	0,1
			4,73
	Unidad Hora Hora	Vnidad Cantidad Hora 0,50 Hora 0,25 Total n	Unidad Cantidad productivo kg 2 0,95 Total materiales  Unidad Cantidad Precio productivo Hora 0,50 3,58 Hora 0,25 3,62 Total mano de obra  Unidad Cantidad Precio productivo

146 Vanessa Nicole Cárdenas Arias



### ANEXO 3: PRESUPUESTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CELDA EXPERIMENTAL = \$1067,70

I. SISTEMA PARA IZADO	medida	cant	\$ unit	\$
Tirante de madera de pino	2,50 m	6	4,00	24,00
Tirante de madera de pino	7,00 m	1	9,00	9,00
Firillas de madera de pino	3,00 m	5	1,20	6,00
Polea		1	10,00	10,00
Soga	30 m	1	12,00	12,00
Soga	7 m	1	2,80	2,80
Clavos	2"	30	0,03	0,90
Martillo		1		
TOTAL				64,70
2. CONSTRUCCION DE CELDAS ESTRUCTURA METÁLICA	medida	cant	\$ unit	\$
Materiales y mano de obra		3	70,00	210,00
TOTAL				210,00
3. CONSTRUCCION DE CELDAS PIEZAS DE EPS				
Material, piezas de EPS		3	75,00	225,00
Mano de obra, cortes		3	50,00	150,00
TOTAL				375,00
				•

4. CONSTRUCCION DE CELDAS	medida	cant	\$ unit	\$
RECUBRIMIENTO	1 10v1 10 m	2	2.00	0.00
Palet de madera	1,10x1,10 m		3,00	9,00
Plástico transparente	3x4 m	3	8,00	24,00
TOTAL				33,00
5. CONSTRUCCION DE CELDAS	medida	cant	\$ unit	\$
HERRAMIENTAS				
Cinta gris	rollo	5	4,80	24,00
Soga	7 m	3	2,80	8,40
Sicabum		2	8,60	17,20
Pistola dosificadora de Sicabum		1	5,40	5,40
Taladro		1		
TOTAL				55,00
				,
6. TRANSPORTE DE MATERIAL	medida	cant	\$ unit	\$
Camión mediano	viaje	2	10,00	20,00
TOTAL	·			75,00
				,
7. SISTEMA DE SENSORES	medida	cant	Sunit	\$
Extensión de electricidad	30 m	1	15,00	15.00
Programación de sensores		1	150,00	150,00
_			,	
Sensores y cables		1	90,00	90,00
TOTAL				255,00

### **ANEXO 4:** CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DE SENSORES

```
| #include <SD.h> //Libreria modulo Micro SD
                                                             dht1.begin();
#include "DHT.h" //Libreria Modulo sensor de temperatu-
                                                             dht2.begin();
ra y humedad
                                                             dht3.begin();
                                                              Serial.print("Iniciando SD ...");
#include <Wire.h>
#include "RTClib.h" // Libreria modulo de tiempo
                                                             if (!SD.begin(4)) {
#include <math.h>
                                                               Serial.println("No se pudo inicializar");
#include <Time.h>
                                                               return;
#include <TimeLib.h>
                                                              Serial.println("inicializacion exitosa");
#define DHT1 7 // sensor de caja A
                                                             if(!SD.exists("datos.csv"))
#define DHT2 8 // sensor de caja B
#define DHT3 9 // sensor de caja C
                                                               myFile = SD.open("datos.csv", FILE_WRITE);
                                                               if (myFile) {
#define DHTTYPE DHT11
                                                             do(fila 1)");
DHT dht1 (DHT1, DHTTYPE);
DHT dht2(DHT2, DHTTYPE);
                                                             B2,B3,B4,B5,HB,TB,C1,C2,C3,C4,C5,C6,HC,TC");
DHT dht3(DHT3, DHTTYPE);
                                                                 myFile.close();
const int Led= 13;
                                                                } else {
File myFile;
// Declaramos la variable del tipo time_t
time_t fecha;
double Thermister(int RawADC) {
double Temp;
Temp = log(((10240000/RawADC) - 10000));
Temp = 1 / (0.001129148 + (0.000234125 +
                                                             void loop()
(0.0000000876741 * Temp * Temp ))* Temp );
Temp = Temp - 273.15;// Convert Kelvin to Celcius
                                                              fecha = now();
return Temp;
                                                              if(minute(fecha)==00 | | minute(fecha)==30 ){
void setup()
 Serial.begin(9600);
 setTime(15, 30, 00, 17, 05, 2019);
                                                             archivo
pinMode(Led , OUTPUT);
```

```
if (myFile) {
                                                                Serial.println("Escribiendo SD: ");
                                                                myFile.print(day(fecha));
                                                                myFile.print("/");
                                                               myFile.print(month(fecha));
                                                               myFile.print("/");
                                                                myFile.print(year(fecha));
                                                                myFile.print(",");
                                                                myFile.print(hour(fecha));
                                                                myFile.print(":");
                                                                myFile.print(minute(fecha));
                                                                myFile.print(",");
                                                                myFile.print(Thermister(1055-analogRead(A0)));
  Serial.println("Archivo nuevo, Escribiendo encabeza-
                                                                myFile.print(",");
                                                                myFile.print(Thermister(1055-analogRead(A1)));
  myFile.println("Fecha,Hora,A1,A2,A3,A4,A5,HA,TA,B1,-
                                                                myFile.print(",");
                                                                myFile.print(Thermister(1055-analogRead(A2)));
                                                                myFile.print(",");
                                                                myFile.print(Thermister(1055-analogRead(A3)));
                                                                myFile.print(",");
  Serial.println("Error creando el archivo datalog.csv");
                                                                myFile.print(Thermister(1055-analogRead(A4)));
                                                                myFile.print(",");
                                                                myFile.print(h1);
                                                                myFile.print(",");
                                                                myFile.print(t1);
                                                                myFile.print(",");
                                                                myFile.print(Thermister(1055-analogRead(A5)));
                                                               myFile.print(",");
                                                                myFile.print(Thermister(1055-analogRead(A6)));
                                                                myFile.print(",");
                                                                myFile.print(Thermister(1055-analogRead(A7)));
int h1 = dht1.readHumidity();// Lee la humedad u
                                                                myFile.print(",");
int t1 = dht1.readTemperature();//Lee la temperatura
                                                                myFile.print(Thermister(1055-analogRead(A8)));
int h2 = dht2.readHumidity();// Lee la humedad u
                                                                myFile.print(",");
int t2 = dht2.readTemperature();//Lee la temperatura
                                                                myFile.print(Thermister(1055-analogRead(A9)));
int h3 = dht3.readHumidity();// Lee la humedad u
                                                                myFile.print(",");
int t3 = dht3.readTemperature();//Lee la temperatura
                                                                myFile.print(h2);
myFile = SD.open("datos.csv", FILE_WRITE);//abrimos el
                                                                myFile.print(",");
                                                                myFile.print(t2);
```

myFile.print(",");

myFile.print(","); myFile.print(Thermister(1055-analogRead(A11))); myFile.print(","); myFile.print(Thermister(1055-analogRead(A12))); myFile.print(","); myFile.print(Thermister(1055-analogRead(A13))); myFile.print(","); myFile.print(Thermister(1055-analogRead(A14))); myFile.print(","); myFile.print(Thermister(1055-analogRead(A15))); myFile.print(","); myFile.print(h3); myFile.print(","); myFile.println(t3); myFile.close(); //cerramos el archivo Serial.println("Datos guardados"); Serial.println("Error al abrir el archivo"); digitalWrite(Led, HIGH); delay(60000); digitalWrite(Led ,LOW);

myFile.print(Thermister(1055-analogRead(A10)));



ANEXO 5: PERÍODOS DE TEMPERATURA EXTERIOR FUERA DEL RANGO DE CONFORT

# ANEXO 6: PICOS MÁXIMOS DE RADIACIÓN

	TEMPE	RATURA E	XTERIOR	PICOS DE RADIACIÓN		
DÍA	PERÍC	ODO	CANTIDAD DE HORAS	DÍA	HORA	DATO
día 2	19:00	10:00	15h00min	día 1	12:30	586 W/m2
día 3	17:00	14:30	21h30min	día 2	09:30	735 W/m2
día 4	19:00	12:00	17h00min	día 3	14:30	551 W/m2
día 5	18:30	10:30	16h00min	día 4	13:30	793 W/m2
día 6	16:30	10:00	17h30min	día 5	12:30	1050 W/m2
día 7	16:30	11:00	18h30min	día 6	12:00	969 W/m2
día 8	15:30	10:00	18h30min	día 7	13:00	941W/m2
día 9	13:30	10:30	21h30min	día 8	10:30	804 W/m2
día 10	19:00	10:00	15h00min	día 9	09:30	765 W/m2
día 11	19:30	10:30	15h00min	día 10	13:30	1164W/m2
día 12	17:00	09:30	16h30min	día 11	12:00	610 W/m2
día 13	19:00	11:30	16h30min	día 12	11:00	835 W/m2
día 14	14:30	10:30	20h00min	día 13	11:30	634 W/m2
día 15	16:00	09:30	17h30min	día 14	13:30	910 W/m2
				día 15	15:30	640 W/m2

### ANEXO 7: PERÍODOS DE HUMEDAD EXTERIOR FUERA DEL RANGO DE CONFORT

# ANEXO 8: PICOS MÁXIMOS DE VIENTO

		IEDAD EX	TERIOR	PICOS DE VIENTO			
DÍA	PERÍO	ODO	CANTIDAD DE HORAS	DÍA	HORA	DATO	
día 2	18:00	10:30	16h30min	día 1	13:30	2,2 m/s	
día 3	13:30	14:30	25h00min	día 2	16:30	2,2 m/s	
día 4	18:00	12:00	18h00min	día 3	13:00	3,1 m/s	
día 5	16:00	11:30	19h30min	día 4	14:00	2,7 m/s	
día 6	15:30	10:00	18h30min	día 5	15:00	3,1 m/s	
día 7	16:00	11:30	19h30min	día 6	14:30	3,1 m/s	
día 8	15:00	10:00	19h00min	día 7	14:00	2,2 m/s	
día 9	12:30	11:30	23h00min	día 8	12:30	2,7 m/s	
día 10	18:00	10:00	16h00min	día 9	16:30	3,1 m/s	
día 11	19:00	11:30	16h30min	día 10	13:00	2,7 m/s	
día 12	15:30	09:30	18h00min	día 11	15:30	3,1 m/s	
día 13	19:00	11:30	16h30min	día 12	14:00	3,6 m/s	
día 14	14:00	10:00	20h00min	día 13	14:30	3,1 m/s	
día 15	15:00	10:00	19h00min	día 14	12:00	3,6 m/s	
				día 15	11:30	3,1 m/s	



# ANEXO 9: TIEMPO DE EJECUCIÓN DE LAS TIPOLOGÍAS

Tipología A	Tiempo (min)	Tipología B	Tiempo (min)	Tipología C	Tiempo (min)
enlucido 1:3 1cm	3,60	enlucido 1:3 1cm	3,60	enlucido 1:3 2cm con maya	10,80
mamposteria de ladrillo panelon 8x13x28	48,00	mamposteria de ladrillo tochana 13x20x40	24,00	EPS 5cm	12,00
enlucido 1:3 1cm	3,60	EPS 5cm	12,00	mamposteria de ladrillo tochana 13x20x40	24,00
empaste	30,00	gypsum y empaste	27,00	enlucido 1:3 1cm	3,60
				empaste	30,00
TOTAL	85,20	TOTAL	66,60	TOTAL	80,40

### ANEXO 10: CONSUMO DE AGUA PARA CONSTRUIR LAS TIPOLOGÍAS

Tipología A	Cantidad de agua (I)	Tipología B	Cantidad de agua (I)	Tipología C	Cantidad de agua (I
enlucido 1:3 1cm	3,20	enlucido 1:3 1cm	3,20	enlucido 1:3 2cm con maya	6,40
mamposteria de ladrillo panelon 8x13x28	7,04	mamposteria de ladrillo tochana 13x20x40	3,84	mamposteria de ladrillo tochana 13x20x40	3,84
enlucido 1:3 1cm	3,20	herramientas y mojar ladrillos	60,00	enlucido 1:3 1cm	3,20
herramientas y mojar ladrillos	60,00			herramientas y mojar ladrillos	60,00
TOTAL	73,44	TOTAL	67,04	TOTAL	73,44

Thermal behavior of multilayer brick-based envelopes for the physical-environmental

habitat of Cuenca

ABSTRACT

Brick is a raw material extracted from the area used for construction in the city of Cuenca.

However, this material alone does not comply with a correct thermal insulation for the physical-

environmental habitat of Cuenca. This thesis explores different types of multilayer brick-based

envelopes that comply with a correct isolation and thermal retention based on the U-factor.

Research was carried out with a quantitative experimental approach, where by means of formula

design and prototype construction they were compared three types of envelopes: A, B and C.

Keywords: U-factor, thermal envelopes, brick, multilayer envelopes, thermal transmittance,

thermal resistance, thermal conductivity

Student's Signature

Thesis Supervisor Signature Pablo Ochoa, Architect

Student's name: Vanesa Cárdenas

ZENT PROCE

Translated by: Andrew Smith