

Análisis DE AISLAMIENTO

EN TRES SISTEMAS DE MURO, COMO ENVOLVENTE ALTERNATIVO

PARA EL DESARROLLO DE LA VIVIENDA SOCIAL

Analysis of insulation in three wall systems, as an alternate skin for social housing development

GABRIELA ESPINOSA-GUERRERO*, DANIELA CORDERO-VALDÉZ**, ALEJANDRA RUIZ-SAUCEDO***, RUBÉN SALVADOR ROUX-GUTIÉRREZ****

Fecha de recibido:
17 diciembre 2015
Fecha de aceptado:
20 mayo 2016

* Universidad Autónoma
de Coahuila, México
gabriela.espinosa09@gmail.com

** Universidad Autónoma
de Coahuila, México
dannycordero60@hotmail.com

*** Universidad Autónoma
de Coahuila, México
ruizalejandrars@gmail.com

**** Universidad Autónoma
de Coahuila, México
rubenrouxgutierrez@uadec.edu.mx

RESUMEN. El presente artículo analiza la transmisión de calor en 3 sistemas de muros elaborados con material accesible, mercantil y económico. El análisis se hizo de tres maneras: una física en la que se aplicó calor de modo directo y se realizaron mediciones de temperatura en la capa interior y exterior de los tres sistemas mediante el uso del medidor de temperatura HOBO. La otra fue a través de la plataforma Ener-Habitat ingresando los espesores y características de cada capa de los sistemas para definir el comportamiento térmico de cada uno; y, por último, se realizó un modelo 3D de una vivienda de 43 m² en el software Revit y analizado por medio de Green Building Studio, para obtener el análisis energético de los tres sistemas (gastos por consumo de energía e impacto de las emisiones de CO₂). Los resultados de estos diferentes estudios permitieron definir que el sistema de muro con el mejor desempeño energético de los tres analizados es el conformado por block de concreto, panel de yeso y poliestireno de baja densidad, dado que tarda más en dejar pasar el calor del exterior al interior de la vivienda y tarda más tiempo en liberar la energía acumulada a lo largo del día, resultando en un ahorro energético por causas de enfriamiento y calefacción.

Palabras clave: aislamiento, sistemas de muros, viviendas.

ABSTRACT. This paper analyzes the heat transmission in three Wall systems elaborated with commercial and economically affordable materials. The analysis was made in three ways: a physic one, applying direct heat and measuring the temperature on the exterior and interior layers of the wall systems, using the HOBO temperature measurer; another one thru the platform Ener-Habitat by entering the thickness and features of each layer of the systems in order to define the thermal behavior of them; and, by last, a 3D model of a 43 m² housing was performed in the software Revit and analyzed in Green Building Studio, to get an energetic analysis of each system (cost per energy consumption and the impact of CO₂ emissions). The results of the different studies made possible to define that the system with a better energetic performance of the three analyzed was the one formed by concrete block, plasterboard and polystyrene, since it takes more time to pass de exterior heat to the interior of the house and it takes longer to release the stored energy during the day, resulting in an energy savings for cooling and heating causes.

Key words: insulation, wall systems, housing.

ctualmente vivimos en un ambiente que sufre las consecuencias del cambio climático ocasionado por el hombre, tanto por el agotamiento como por la cantidad de contaminantes que nuestra vida cotidiana genera (generación de desechos no biodegradables, emisiones de CO₂ debido a los automóviles y la generación de energía, deforestación, entre otros). Hay ciertas actividades que tienen mayor impacto que otras. En la industria de la construcción la generación de desechos y contaminación también es un tema relevante.

Gerardo Arista *et al.*, indican que “...la industria de la construcción constituye, una de las mayores generadoras de la crisis medio-ambiental actual, mediante el agotamiento de los recursos naturales. Según datos internacionales, la construcción consume cerca del 25% de los bosques y el 40% de rocas, gravas y arenas utilizadas anualmente en el planeta (Salas, 1997).

Analizando el tema específico de la vivienda, ésta no sólo genera un daño desde el punto de vista de su realización sino durante su mantenimiento (gastos energéticos de luz, gas natural o LP, agua potable, drenaje, etc.) y al terminar su vida útil al convertirse en escombros y por ende en desecho no biodegradable, acumulándose como basura.

La construcción de vivienda es una importante actividad económica, representa el 2.4 por ciento del Producto Interno Bruto nacional y tan sólo el año pasado generó un millón 300 empleos empero, esta industria es la que genera más emisiones contaminantes a la atmósfera. De acuerdo con Adrián Fernández, titular del Instituto Nacional de Ecología, en la actualidad las emisiones son del orden de tres toneladas, que se irán incrementando, ya que cada año al parque habitacional existente se suman tres cuartos de millón de casas (Hurtado, 2011).

A pesar de esto, se siguen utilizando los mismos métodos constructivos que carecen de beneficio térmico para los habitantes de las

viviendas, generando que los costos de mantenimiento aumenten al modificar el microclima que se genera al interior de las viviendas, lo que resulta un alto gasto de energía y un fuerte impacto ambiental.

En nuestro país, la generalización de dichos materiales, como el block de concreto ha surgido sobre todo por su practicidad y facilidad de manejo en obra, así como su adaptación a cualquier entorno sobre el que se encuentre, por lo que se ha convertido en la media estándar de la construcción, lo que permite que cualquiera pueda diseñar y construir bajo los parámetros en cualquier parte de la república, facilitando el control y la supervisión a un precio razonable. Sin embargo, estas afirmaciones no justifican la falta de confort que se ha generado en las viviendas de la mayor parte de la población del país las cuales son construidas bajo esos sistemas constructivos.

Actualmente, han surgido algunos proyectos que pretenden ser una solución a los problemas antes mencionados (de confort térmico y de impacto ambiental), pero dichas soluciones involucran una tecnología cara y/o extranjera, por lo que no siempre se tiene la facilidad de incorporarlo en los nuevos proyectos de vivienda. Estas soluciones aparecen con mayor frecuencia en sectores donde la capacidad económica les permite invertir en dicho sistema constructivo.

Por lo mismo son ejemplos aislados, que aun sumándolos no representan una gran diferencia en la disminución del impacto generado al medio ambiente, puesto que no representan ninguna mayoría y los sistemas que implementan no se pueden aplicar con facilidad a los edificios ya construidos.

Sin embargo, si se trasladara el uso de dichos sistemas constructivos a un mercado más grande como lo es el sector de vivienda media, en el caso de las nuevas tecnologías su producción aumentaría y el costo de inversión se reduciría, y en el caso de soluciones de energía pasiva, podrían adaptarse soluciones análogas,

pero regionalizándolas con materiales de fácil acceso en las localidades para que su implementación no aumente el costo de las viviendas y aun así cuenten con un confort térmico y puedan reducir los gastos energéticos de la vivienda.

Domínguez y Morillón (2002) estimaron que un correcto diseño bioclimático de las 2'310,000 viviendas que el Infonavit previó construir durante el periodo 2001-2010 hubiera conllevado un ahorro de 4'869,711 kWh eléctricos, para el año 2010. Asimismo, se habrían dejado de emitir 3,316.27 toneladas de CO₂ equivalentes totales (Solís, 2010).

Debido a lo anterior, lo que se busca con este estudio es definir un sistema de muro que permita proporcionar confort térmico a los usuarios, para reducir los gastos energéticos por calefacción o enfriamiento de la vivienda, así como la reutilización de algunos de los materiales involucrados en su realización para que puedan ser utilizados una vez que la vivienda haya terminado su vida útil.

Los materiales que se utilizaron para el presente estudio se pueden encontrar en el mercado, con el objetivo de demostrar cómo su uso correcto puede reducir en el gasto energético en una vivienda. Para lo anterior se analizaron las propiedades de conductividad (W) y resistencia térmica (R) de los materiales.

El objetivo de esta investigación es generar un sistema de muro que proporcione confort térmico en Saltillo, Coahuila a un precio accesible para el nivel de vivienda media.

La implementación del sistema de muro seleccionado podrá generar mejores condiciones de vivienda en términos de confort térmico y reducirá el gasto energético generado por el mantenimiento de las viviendas en la búsqueda de un microclima ideal.

METODOLOGÍA

Para la realización del análisis de los sistemas de muros se realizó la siguiente metodología.

MEDICIÓN DE TEMPERATURA

1. Se establecieron las propiedades físicas proporcionadas por los proveedores (espesor, factor R, etc.) de los diferentes materiales de construcción existentes en el mercado actual, así como su costo para definir cuáles son los más convenientes en cuanto a costo/aislamiento.

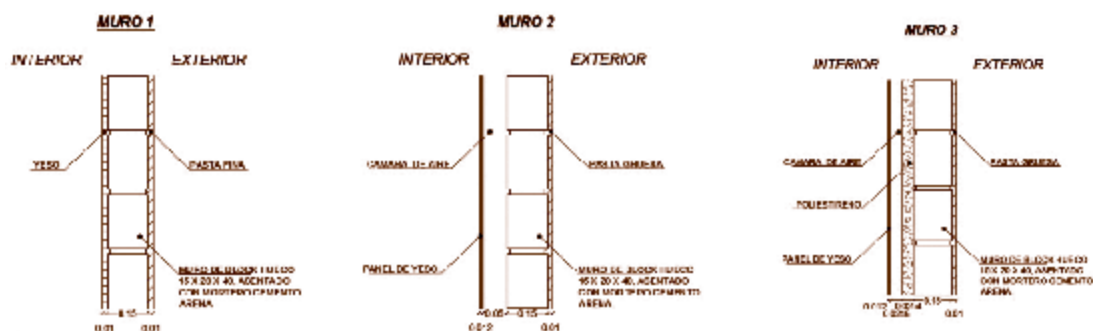


FIGURA 1. DETALLE CONSTRUCTIVO DE LOS 3 SISTEMAS DE MUROS.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

2. Se seleccionaron los materiales para realizar únicamente tres sistemas de muro con base en lo comentado en el punto anterior (ver figura 1).
3. Se realizaron modelos de los sistemas, escala 1:1, de 0.20 x 0.40 m, abarcado sólo una pieza de block de 15 cm de ancho para cada modelo.
4. Se aplicó calor de modo directo con un calentador de 1500 watts colocado debajo de los modelos durante 8 horas, y se midió la cantidad de calor que pasa en cada uno de ellos con el medidor de temperatura HOB0; después de ese lapso de tiempo se apagó el calentador y se midió por otras 8 horas el tiempo que tarde en enfriarse el modelo (ver figura 2).

Para el análisis de los sistemas de muro, se suministró la misma fuente de calor a cada uno de los materiales con el fin de simular la conductividad térmica de los materiales, colocando el calentador debajo del muro con una separación de 30 cm de la fuente de calor. El experimento se llevó a cabo dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma de Coahuila, campus Campo Redondo y se tomó como ejemplo el experimento realizado por Roux y Gallegos en 2015 en su artículo “Construcción sustentable, análisis de retraso térmico a bloques de tierra comprimido”.

La medición se realizó con el sistema HOB0ware, durante 16 horas cada uno, colocando un termopar conectado a la cara exterior y otro en la cara interior, se registraron mediciones a cada 15 minutos, iniciando el evento a las 08:30 horas y aplicando calor por un periodo de 8 horas, hasta las 16:30 horas. Después se dejaron los termopares conectados para ver cuánto tardaba en enfriarse el material, con el objetivo de analizar la pérdida de la energía calorífica. Estos datos efectivamente



FIGURA 2. MATERIALES UTILIZADOS, SISTEMA HOB0WARE.

FUENTE: FOTOGRAFÍA DE AUTORES.

La
IMPLEMENTACIÓN
del SISTEMA de
muro seleccionado
podrá **GENERAR**
MEJORES
CONDICIONES
DE VIVIENDA *en*
términos de confort
térmico y reducirá
el gasto energético



FIGURA 3. PROCESO DE EXPERIMENTACIÓN.

FUENTE: FOTOGRAFÍA DE AUTORES.

se realizaron
PRUEBAS
TÉCNICAS
simulando el
EFFECTO DEL SOL
SOBRE EL MURO,
se registraron las
temperaturas durante
las pruebas con
la **FINALIDAD**
DE MEDIR EL
RETRASO TÉRMICO

nos sirvieron para determinar cuál es el sistema más eficiente.

Para corroborar la investigación y análisis de sistema de muros para determinar cuál de estos ofrece un mejor confort térmico y así mismo producir un menor impacto ambiental se realizaron pruebas técnicas simulando el efecto del sol sobre el muro, se registraron las temperaturas durante las pruebas con la finalidad de medir el retraso térmico según el material a analizar (ver figura 3).

El resultado de las pruebas nos ayudó a determinar cuál es el material más óptimo para cumplir con los objetivos del proyecto.

PARA LA PÁGINA ENER HÁBITAT

- Se ingresaron los espesores y materiales de cada capa de los tres sistemas de muro a la página de Internet de Ener Hábitat y el programa generó las gráficas del comportamiento térmico de cada sistema.

PARA EL MODELO 3D EN REVIT Y GREEN BUILDING STUDIO

- Se aplicó cada uno de los sistemas de muro sobre el modelo en 3D de una vivienda tipo de 43 m² y el programa generó el reporte con la siguiente información:
 Algunos de los datos que nos da Green Building Studio en cuanto al análisis son:
 - Emisiones de carbono anuales
 - Uso/Costo de energía anual
 - Uso de energía: combustible
 - Uso de energía: electricidad
 - Grupos de temperatura anual
 - Medias meteorológicas diurnas
 - Humedad
- A partir de la información recabada se realizó un análisis donde se estableció cuál fue el sistema que ofrece un mejor rendimiento térmico, y qué probabilidades hay de implementar dicho sistema en la construcción de viviendas en la ciudad de Saltillo.

DESARROLLO DEL PROYECTO

Para elegir los materiales del sistema del muro más conveniente fue necesario analizarlos individualmente. Se presenta una tabla de los materiales de construcción encontrados en el mercado de la región, con las especificaciones proporcionadas por el proveedor. Es importante mencionar que los factores de conductividad de algunos de los materiales mostrados se encuentran en la norma “NOM-020-ENER-2011 Eficiencia energética en edificaciones. Envoltente de edificios para uso habitacional”, sin embargo, para un primer acercamiento al tema se proponen los datos proporcionados por las fichas técnicas de los fabricantes de los productos.

La tabla 1 posee información de materiales comerciales, posteriormente se realizará un análisis de materiales vernáculos, regionales fabricados empíricamente.

De los materiales anteriores se proponen en la tabla 2 los siguientes sistemas de muros.

Para la realización de la fase de experimentación se utilizó el sistema 1.003 Muro de block + Poliestireno + Tablaroca R1.14, puesto que ofrece un factor R alto sin tener un alto impacto en el precio.

FASE DE EXPERIMENTACIÓN

Se pretende el estudio de tres sistemas de muros para determinar cuál de éstos ofrece resistencia térmica y un costo accesible a las constructoras para que el factor económico no represente un obstáculo para su implementación.

Dichos muros consisten en uno de uso común para tener un punto de referencia, y dos con opciones de variaciones de material. Los sistemas son los siguientes:

1. Muro de Block de 15 x 20 x 40 cm, recubrimiento exterior de pasta fina 1 cm espesor, recubrimiento interior de yeso de 1 cm espesor. Espesor Total= 17 cm.
2. Muro de Block de 15 x 20 x 40 cm, recubrimiento exterior de pasta gruesa 1 cm espesor, recubrimiento interior de panel de yeso de 1.20 cm, espacio entre block y panel de yeso de 5.00 cm. Espesor Total= 22.20 cm.
3. Muro de Block de 15 x 20 x 40 cm, recubrimiento exterior de pasta gruesa 1 cm espesor y de recubrimiento interior material aislante de poli estireno de 2.54 cm espesor estándar, panel de yeso de 1.20 cm, espacio entre aislante y panel de yeso de 2.46 cm. Espesor Total= 22.20 cm.

El objetivo de la experimentación es analizar las propiedades térmicas de los tres sistemas de muro propuestos para determinar el retraso térmico que cada uno de ellos presenta, para esto se aplicó una fuente de calor controlada en el laboratorio de la facultad. De esta manera podemos apreciar la transmisión de calor de cada sistema con distintos materiales.

*Para **ELEGIR** los materiales del sistema del muro más conveniente fue necesario analizarlos individualmente.*

TABLA 1. ANÁLISIS DE FACTORES R, FACTORES DE CONDUCTIVIDAD Y PRECIOS DE MATERIALES COMERCIALES DE LA REGIÓN.

					Sistema métrico		
					Resistencia térmica	Conductividad	
Materiales	Medidas	Densidad (kg/m3)	Resistencia (kg/cm2)	Peso (kg / pza)	m²-k/W	W/m-k	
Block normal	40x20x15	1700	60	14	0.18	0.83	
Hebel	61x20x15	500	40.8	10.98	1.1538	0.13	
Tablaroca	2.44x1.22x1/2"				0.33	0.04	
Durock - Subcontrato	2.44x1.22x1/2"	661.46	52.7	25.01	0.08699	0.15	
Placa Hebel	62.5x20x05	560		3.5	0.53	0.0946	
Placa poliestireno	2.44x1.22x1"	15		1.13	0.63	0.040	
Placa termofoam	2.44x1.22x1"	32	0.02	2.42	0.99	0.0248	
Placa poliuretano	NA						
Malla gallinera	25x100 al 22			NA	NA	NA	
Foamular	2.44x1.22x1"	0.000033	25	0.00000249515	0.88	0.029	
Colchoneta de fibra de vidrio	1.20x30.48x2"				1.41	0.006	
Placa fibra vidrio	2.44x1.20x1"	44.85			0.80	0.032	
Yeso	1.5 cm	800			0.04	0.372	
Estuco	1.5 cm				0.04	0.372	
Madera de Pino	1"	663			0.16	0.162	
Ladrillo	28x14x7	2000			0.36	0.391	
Tabicón ligero	28x9x14			4.1			

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

TABLA 2. ANÁLISIS DE MATERIALES PROPUESTOS PARA LOS SISTEMAS DE MUROS.

Clave	Sistema de Muro	Factor R	Costo
1.001	Muro de Hebel R1.15	1.1538	\$ 436.56
1.002	Muro de Block + Foamular + Durock R1.15	1.15	\$ 657.96
1.003	Muro de Block + Poliestireno + Tablaroca R1.14	1.14	\$ 146.82
1.004	Muro de Block + Foamular + Malla Gallinera R1.06	1.06	\$ 399.03
1.005	Muro de Block + Placa Hebel R0.71	0.71	\$ 198.98
1.006	Muro de Block + Placa poliestireno + Malla Gallinera R0.81	0.81	\$ 133.21
1.007	Muro de Block + Durock R0.27	0.27	\$ 493.00
1.008	Muro de block N + Estuco + Yeso R0.26	0.26	\$ 170.00
1.01	Muro de ladrillo + Estuco + Yeso	0.44	\$ 210.00

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

	Sistema Inglés				
	Conductividad	Resistencia térmica			
	btu in / F ft2 h	F ft2 h / BTU	Precio x pieza	Pieza x m²	Precio neto x m²
	5.78	1.0	5	12.50	\$ 62.50
	0.90	6.6	53.26	8.20	\$ 436.56
	0.27	1.9	120	0.34	\$ 40.31
	1.01	0.5	NA	NA	\$ 493.00
	0.66	3.0	17.06	8.00	\$136.48
	0.28	3.6	131	0.34	\$ 44.01
	0.17	5.6	290	0.34	\$ 97.42
					\$ -
	NA	NA	267	0.10	\$ 26.70
	0.20	5	305	0.34	\$ 102.46
	0.05	8	1856	0.03	\$ 49.91
	0.22	4.5			
	2.58	0.23			
	2.58	0.23			
	1.12	0.89			
	2.70963	2.03	8.12	51.02	\$ 414.29
				39.70	

lo que se busca con este estudio es
DEFINIR UN SISTEMA DE MURO *que*
permita **PROPORCIONAR CONFORT**
TÉRMICO *a los usuarios, para* **REDUCIR**
LOS GASTOS ENERGÉTICOS *por*
calefacción o enfriamiento de la vivienda,
así como la **REUTILIZACIÓN DE**
ALGUNOS DE LOS MATERIALES
involucrados en su realización para que
puedan ser utilizados una vez que la
vivienda haya terminado su vida útil.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se puede observar la variación de temperaturas interiores y exteriores en cada sistema de muro, en las siguientes tablas y gráficas arrojadas por el sistema HOBOWare.

De dichas mediciones se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA 3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE TEMPERATURAS REALIZADO A LOS TRES SISTEMAS DE MURO CON EL SISTEMA HOBOWARE.

		Sistema de muro 1		Sistema de muro 2		Sistema de muro 3	
	Horas	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior
PERIODO DE CALENTAMIENTO - APLICACIÓN DE CALOR	08:30	25.574	11.88	14.697	15.031	52.167	21.413
	08:45	44.135	11.467	29.665	14.505	59.069	24.002
	09:00	54.338	11.419	41.972	15.318	63.786	25.258
	09:15	60.091	11.613	55.988	16.32	67.964	26.769
	09:30	64.693	11.734	62.807	17.034	71.538	27.456
	09:45	67.755	13.088	68.122	17.819	74.914	28.023
	10:00	69.792	15.342	71.944	19.341	76.46	29.09
	10:15	71.538	17.629	74.85	21.772	78.142	29.464
	10:30	73.369	19.96	77.056	24.05	79.474	29.941
	10:45	74.725	22.154	78.907	26.378	80.709	30.117
	11:00	76.197	24.557	80.196	27.924	81.987	31.077
	11:15	77.19	27.284	81.456	29.265	82.996	32.047
	11:30	77.527	29.464	82.295	30.748	84.034	31.408
	11:45	78.28	31.586	82.605	31.255	83.953	31.561
	12:00	78.907	33.443	83.392	32.15	85.354	31.919
	12:15	79.119	34.863	83.712	32.794	85.861	32.15
	12:30	79.403	34.783	84.115	33.287	86.55	32.562
	12:45	79.761	35.182	84.77	33.6	86.811	32.691
	13:00	80.415	35.422	85.186	34.176	86.463	32.742
	13:15	80.932	35.85	85.607	34.334	87.518	32.975
	13:30	81.607	36.119	85.861	34.598	88.148	33.183
	13:45	81.835	37.288	86.204	34.836	88.239	33.391
	14:00	81.987	37.921	86.55	34.995	88.975	33.574
	14:15	82.295	38.476	86.986	35.235	89.537	33.652
	14:30	82.683	39.008	87.518	35.85	89.631	33.914
	14:45	83.154	39.431	87.787	36.012	90.108	33.992
	15:00	83.472	39.829	87.967	35.985	90.3	34.229
	15:15	83.392	40.114	88.33	36.715	90.397	34.36
	15:30	83.472	40.429	88.605	36.851	90.883	34.413
	15:45	83.872	40.66	88.975	37.015	91.377	34.519
	16:00	84.115	40.862	89.442	38.06	91.476	34.704
	16:15	84.278	41.065	89.726	37.453	91.978	34.783
	16:30	84.441	41.21	66.42	36.417	69.408	33.391
	Horas	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior
PERIODO DE ENFRÍAMIENTO - SE RETIRA FUENTE DE CALOR	16:45	84.605	41.385	59.45	35.288	61.271	30.343
	17:00	62.168	41.473	54.526	34.124	56.106	28.742
	17:15	54.64	41.678	50.37	33.235	51.738	27.702
	17:30	49.107	41.825	46.899	32.175	48.073	26.867
	17:45	44.503	41.972	43.951	31.281	44.874	26.109
	18:00	40.573	41.414	41.356	30.343	42.179	25.428
	18:15	37.288	39.971	39.177	29.439	39.8	24.75
	18:30	34.519	38.087	37.233	28.667	37.755	24.171
	18:45	32.253	36.119	35.529	27.924	35.958	23.617
	19:00	30.318	34.071	34.045	27.161	34.36	23.04
	19:15	28.667	32.253	32.768	26.549	32.949	22.561
	19:30	27.235	30.52	31.612	25.914	31.714	22.154
	19:45	25.987	29.015	30.545	25.307	30.571	21.772
	20:00	24.919	27.653	29.54	24.774	29.515	21.39
	20:15	24.002	26.451	28.717	24.243	28.593	21.032
	20:30	23.184	25.404	27.875	23.785	27.751	20.698
	20:45	22.489	24.388	27.112	23.376	26.965	20.365
	21:00	21.867	23.593	26.426	22.992	26.256	20.079
	21:15	21.318	22.848	25.817	22.609	25.574	19.841
	21:30	20.817	22.178	25.258	22.274	24.992	19.603
	21:45	20.388	21.581	24.726	21.915	24.388	19.365
	22:00	20.007	21.079	24.243	21.604	23.881	19.151
	22:15	19.674	20.603	23.833	21.342	23.376	18.961
	22:30	19.365	20.174	23.448	21.056	22.92	18.747
	22:45	19.08	19.817	23.088	20.817	22.513	18.58
	23:00	18.818	19.484	22.753	20.579	22.13	18.438
	23:15	18.58	19.175	22.441	20.388	21.748	18.295
	23:30	18.39	18.889	22.154	20.174	21.413	18.152
	23:45	18.2	18.628	21.843	20.007	21.079	18.01
	00:00	18.033	18.39	21.581	19.817	20.793	17.843
	00:15	17.867	18.2	21.342	19.627	20.507	17.724
	00:30	17.724	18.01	21.103	19.46	20.269	17.605

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

De la tabla anterior se obtuvieron las gráficas 1 y 2.

En el comportamiento de las gráficas se observa que en las temperaturas exteriores, los sistemas 2 y 3 llegan antes que el sistema 1 a su máximo temperatura, sin embargo, en las temperaturas interiores en ambos sistemas, en especial el 3 permite el paso de una menor cantidad de calor al interior de la vivienda.

TABLA 4. RESUMEN DE LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS OBTENIDAS EN LOS SISTEMAS DE MURO.

	Temperatura máxima registrada en °C		Hora	Diferencia	Relación Calor Transmitido (I / E)
	Exterior (E)	Interior (I)			
Sistema muro 1	84.44°	41.21°	16:30	43.23°	49%
Sistema muro 2	84.11°	37.45°	16:15	46.66°	45%
Sistema muro 3	91.97°	34.78°	16:15	57.19°	38%

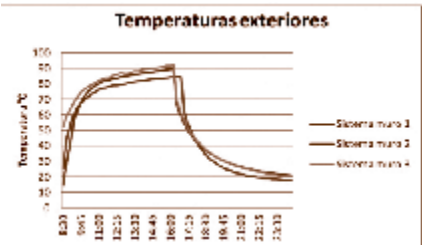
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

ENER HABITAT

Con base en las gráficas proporcionadas por la página de Ener Hábitat (Sistema de muro 1, gráfica 3; Sistema de muro 2, gráfica 4; Sistemas de muros 3, gráfica 5), se puede concluir que la mayor temperatura de los sistemas de muros analizados se presentará a las 18:00 horas, alrededor de 33 °C, al haber una temperatura ambiente de 22 °C aproximadamente, después de estar expuesto al sol aproximadamente 9 horas, tanto en el sistema 2 como en el 3. Ésta es una diferencia de alrededor de 11 °C entre el exterior y el interior de la vivienda. También podemos percibir que el sistema 3 pierde dicho calor de manera más lenta, lo cual es benéfico en época de invierno.

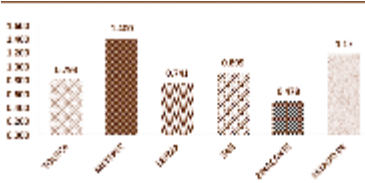
REVIT AUTODESK & GREEN BUILDIN STUDIO

Se ingresaron los datos y las características físicas de cada uno de los materiales utilizados en los sistemas de muros propuestos para generar un análisis a través del software antes mencionado que estime la cantidad de energía requerida para mantener el modelo de vivienda presentado. Los resultados indicaron que con el sistema de muro 3 se requiere una menor cantidad de energía para la refrigeración y el calentamiento del interior de la vivienda.



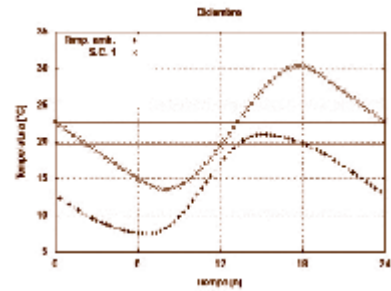
GRÁFICA 1. TEMPERATURAS EXTERIORES.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



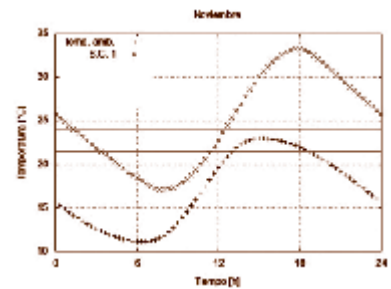
GRÁFICA 2. TEMPERATURAS INTERIORES.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



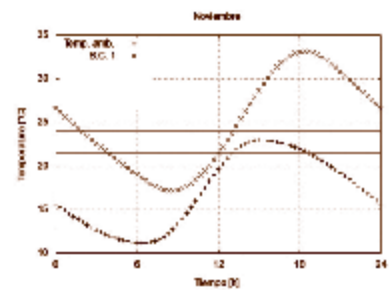
GRÁFICA 3. RESULTADOS DEL SISTEMA DE MUROS 1, ENER HABITAT.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



GRÁFICA 4. RESULTADOS DEL SISTEMA DE MUROS 2, ENER HABITAT.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



GRÁFICA 5. RESULTADOS DEL SISTEMA DE MUROS 3, ENER HABITAT.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



Building Performance Factors

Location:	25.5454502105713,-100.945236206055
Weather Station:	24588
Outdoor Temperature:	Max: 33°C/Min: -7°C
Floor Area:	43 m²
Exterior Wall Area:	72 m²
Average Lighting Power:	4.84 W / m²
People:	0 people
Exterior Window Ratio:	0.07
Electrical Cost:	\$0.10 / kWh
Fuel Cost:	\$3.12 / Therm

FIGURA 4. MODELO DE VIVIENDA EMPLEADO.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

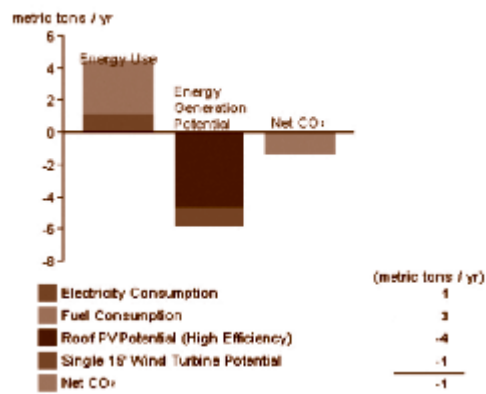
TABLA 5. RESULTADOS DE REVIT & GREEN BUILDING STUDIO (RESUMEN).

Indicadores	Sistema 1				Sistema 2				Sistema 3			
Toneladas de emisiones de carbono anuales (co ₂)			4	ton			3	ton			2	ton
Uso anual de energía	Eléctrica	22%	HVAC	72%	Eléctrica	23%	HVAC	69%	Eléctrica	25%	HVAC	64%
			Iluminación	14%			Iluminación	15%			Iluminación	17%
			Equipos Varios	14%			Equipos Varios	16%			Equipos Varios	19%
	Combustible	78%	HVAC	96%	Combustible	77%	HVAC	95%	Combustible	75%	HVAC	94%
			Agua caliente	4%			Agua caliente	5%			Agua caliente	6%
Consumo mensual de combustible (máximo)			10,000 MJ	Dic-Ene			9,500 MJ	Dic-Ene			7,000 MJ	Dic-Ene
Consumo mensual de electricidad (máximo)			500 kW/h	May-Ago			425 kW/h	May-Ago			375 kW/h	May-Ago
Temperatura más frecuente			15°C	2,100 h			15°C	2,100 h			15°C	2,100 h
Mayor temperatura interior			26°C	May-Jul			26°C	May-Jul			26°C	May-Jul
Humedad relativa máxima en la mañana			70%				70%				71%	
Humedad relativa mínima en la mañana			50%				50%				49%	
Humedad relativa máxima en la tarde			65%				67%				65%	
Humedad relativa mínima en la tarde			40%				40%				38%	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Gráficas del Sistema de Muro 1:

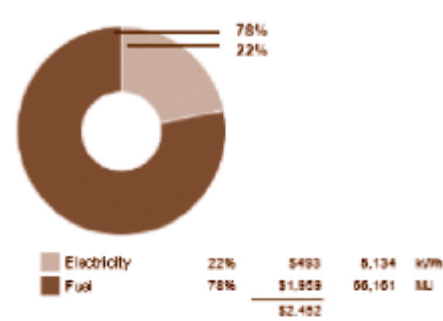
Annual Carbon Emissions



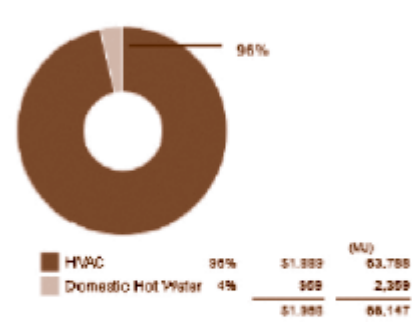
GRÁFICA 6. EMISIONES DE CARBÓN ANUAL. REVIT.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

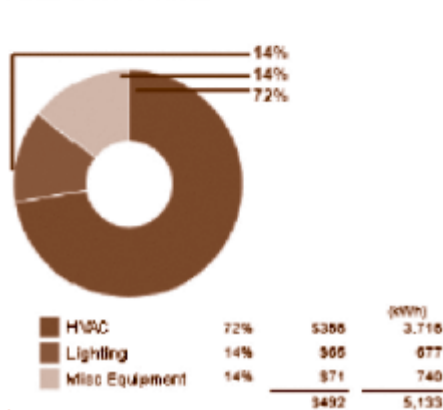
Annual Energy Use/Cost



Energy Use: Fuel



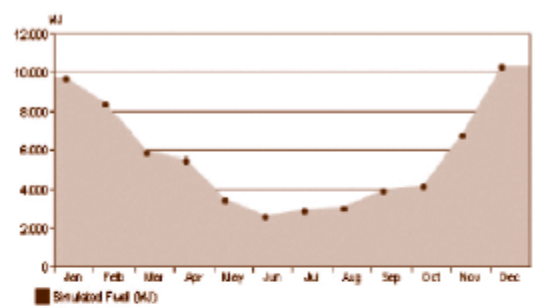
Energy Use: Electricity



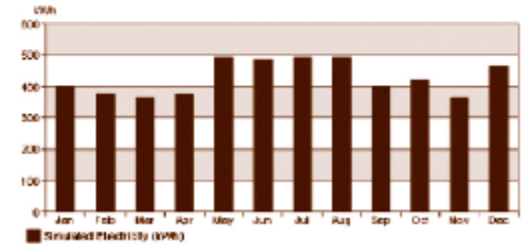
GRÁFICA 7. REVIT, USOS DE LA ENERGÍA. REVIT.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Monthly Fuel Consumption

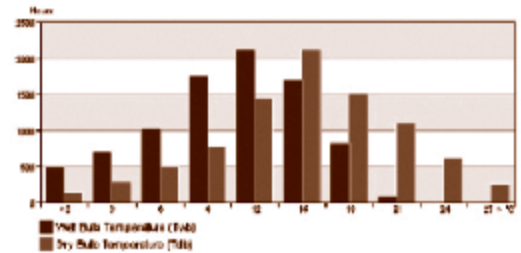


Monthly Electricity Consumption

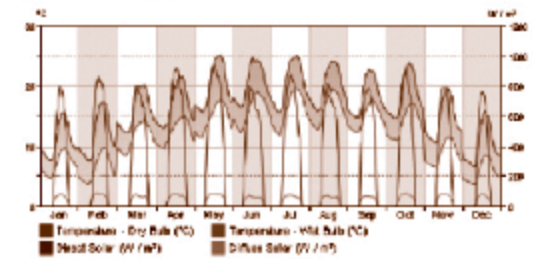


GRÁFICA 8. CONSUMOS MENSUALES DE COMBUSTIBLE Y ELECTRICIDAD. REVIT.

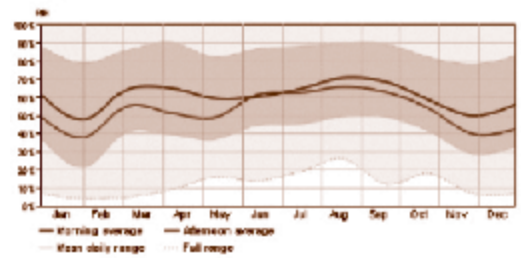
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



Journal Weather Averages



humidity

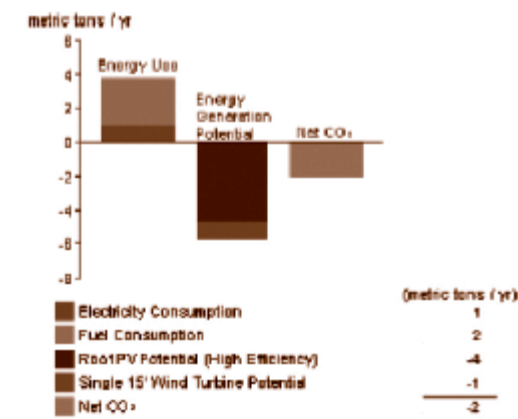


GRÁFICA 9. PROMEDIOS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD. REVIT.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Gráficas del Sistema de Muro 2:

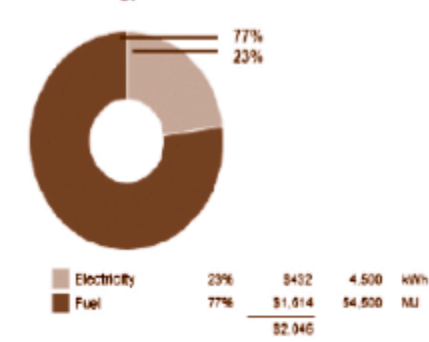
Annual Carbon Emissions



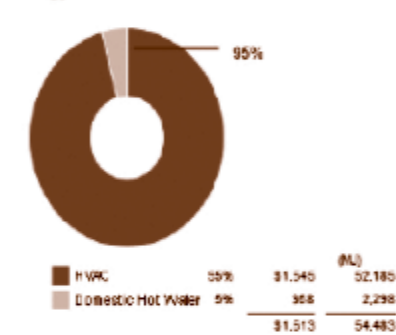
GRÁFICA 10. EMISIONES DE CARBÓN ANUAL. REVIT.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

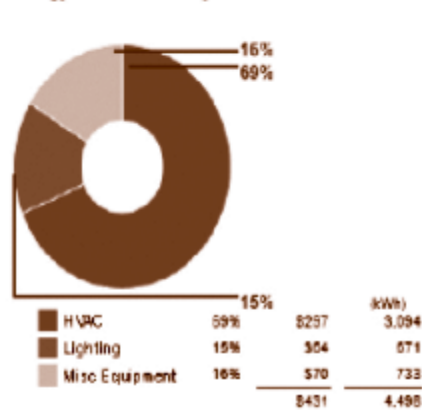
Annual Energy Use/Cost



Energy Use: Fuel



Energy Use: Electricity

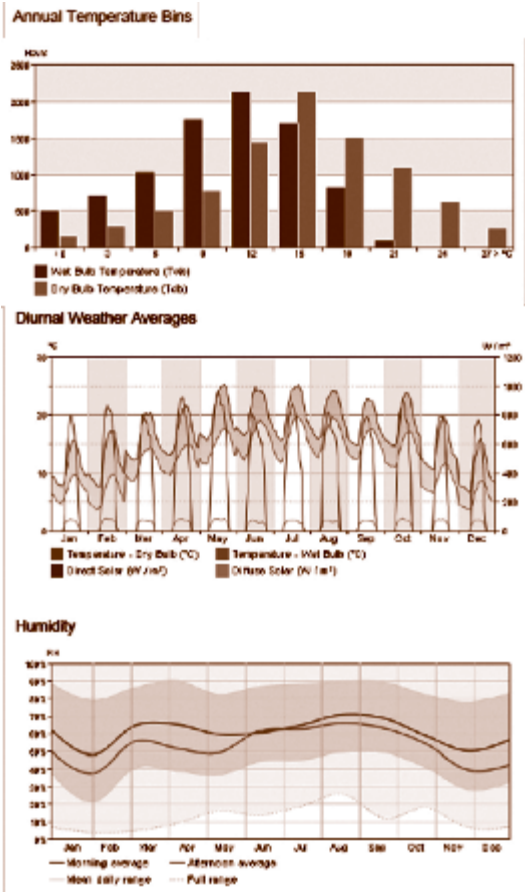


GRÁFICA 11. CONSUMOS MENSUALES DE COMBUSTIBLE.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

GRÁFICA 12. USOS DE LA ENERGÍA. REVIT.

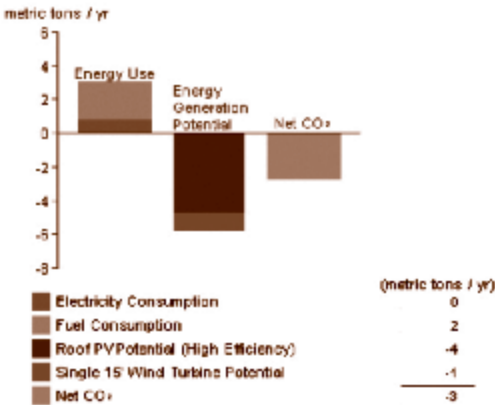
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



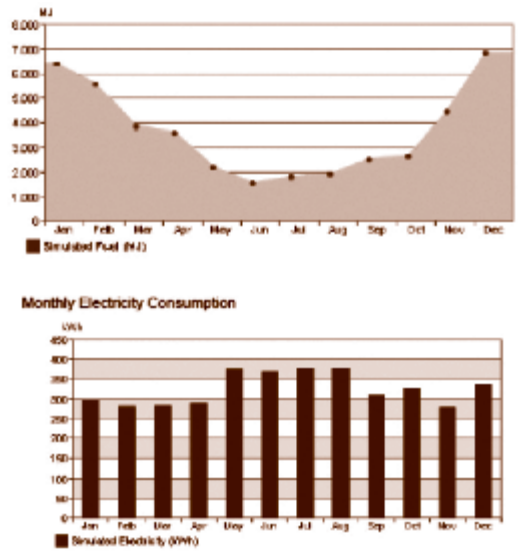
GRÁFICA 13. PROMEDIOS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD. REVIT.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Gráficas del Sistema de Muro 3:

Annual Carbon Emissions

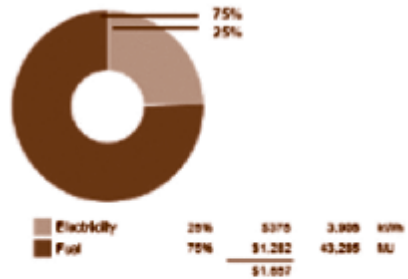


GRÁFICA 14. EMISIONES DE CARBÓN ANUAL. REVIT.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

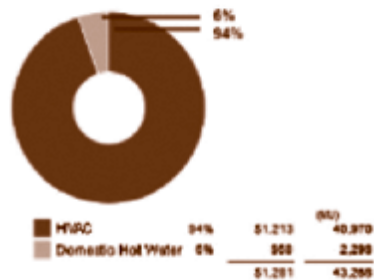


GRÁFICA 15. CONSUMOS MENSUALES DE COMBUSTIBLE.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

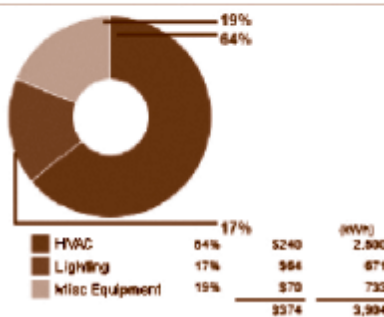
Annual Energy Use/Cost



Energy Use: Fuel

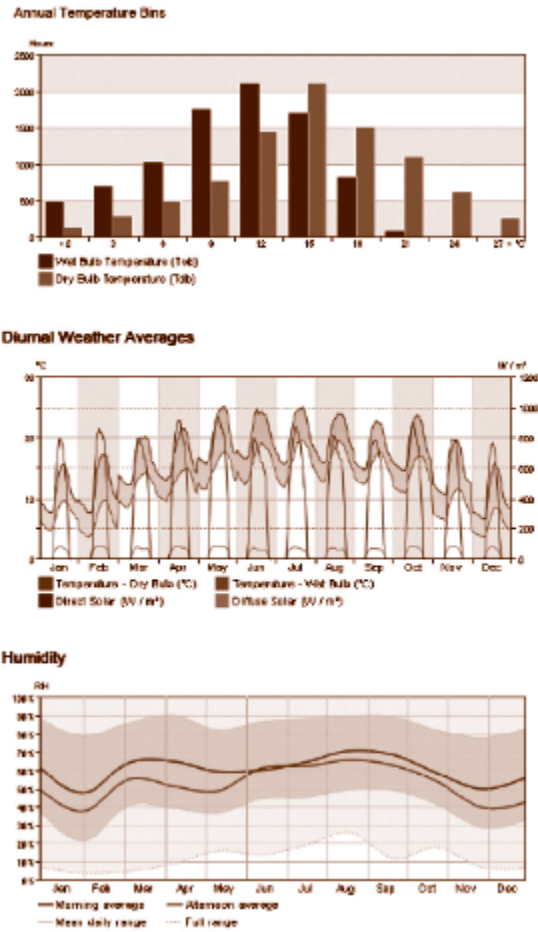


Energy Use: Electricity



GRÁFICA 16. USOS DE LA ENERGÍA. REVIT.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

CONCLUSIÓN



GRÁFICA 17. PROMEDIOS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD. REVIT.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

*es necesario
PROPONER
Y SEGUIR
ANALIZANDO
otros sistemas
alternativos
diferentes al
que se plantea en
el presente estudio*

De acuerdo con la experimentación realizada, se concluye que el sistema de muro 3 aparte de presentar mayor aislamiento térmico, es el que tarda más en liberar la energía absorbida de acuerdo con la gráfica 1 (análisis físico) y a la gráfica 4 (Ener Hábitat), y por otro lado, los resultados que arrojan el análisis energético de Revit Autodesk y Green Building Studio, indican que emite 2 toneladas de emisiones de carbono menos que el primer sistema de muro, al considerar requiere menor cantidad de generación de energía y combustible para el aire acondicionado, tanto para enfriamiento como para calentamiento del interior de la vivienda.

Según datos de la tabla 2, podemos definir que el precio del sistema de muro 3 es de \$146.82 MXN, dicho precio es únicamente de los materiales, a pesar de su alto costo para las constructoras ofrece una ventaja a la larga para los clientes, con materiales que podemos encontrar fácilmente en la localidad, y que no requiere de conocimientos especializados para su colocación.

Por lo tanto, se puede decir que es un sistema viable económicamente y que además ofrece la posibilidad de reutilización de materiales (panel de yeso y el poliestireno) con el mantenimiento adecuado, permitiendo que su ciclo de vida sea más largo, y por lo tanto supone un ahorro de energía a largo plazo.

No obstante, es necesario proponer y seguir analizando otros sistemas alternativos diferentes al que se plantea en el presente estudio, puesto que, a pesar de contar con cierto grado de aislamiento térmico, el espesor (22.20 cm) puede llegar a ser un inconveniente en el tipo de vivienda social, como la analizada en el presente documento, la cual al contar con sólo 43.00 m² de construcción pierde espacio al interior mientras más anchos sean sus muros.

Otro elemento de la envolvente arquitectónica que requiere especial atención en temas de eficiencia energética o rendimiento térmico es la losa, la cual capta grandes cantidades de energía calorífica, en ocasiones mayores a las de los muros, y que tampoco ha sufrido cambios en el sistema constructivo en los últimos años. Con lo anterior, solo cabe mencionar que para que un sistema de muro tenga un buen desempeño y sea eficiente energética-

mente debe trabajar en conjunto con el resto de los elementos que forman parte de la envolvente arquitectónica, ya que, a pesar de presentar mejoras, no funcionará adecuadamente si los otros elementos arquitectónicos (como la losa, puertas, ventanas, parasoles) permiten el paso del calor.

En cuanto a la cuestión económica, se le ha hecho énfasis con el propósito de que el precio del sistema de muro propuesto (en este caso el sistema de muro 3) no sea una limitante para su implementación y pueda llegar a proponerse en la construcción de nuevas viviendas o en la mejora de viviendas existentes, y que pueda generar un ahorro energético en beneficio tanto del medio ambiente como de las familias que habitan las viviendas.

para que un
SISTEMA DE MURO *tenga*
un BUEN
DESEMPEÑO
y sea eficiente
energéticamente
DEBE
TRABAJAR
EN
CONJUNTO
con el resto de
los elementos
que forman
parte de la
envolvente
arquitectónica.

FUENTES DE CONSULTA

Arista, G., González, Aguillón, J. & Narváez, L. (2013), "Aev comparativo entre insumos industrializados y artesanales vs. Materiales alternos para vivienda sustentable". 35 Congreso Internacional de Metalurgia y Materiales, 12.

Diario Oficial de la Federación (2011), "Eficiencia energética en edificaciones. Envolvente de edificios para uso habitacional", Diario Oficial de La Federación, 45.

Domínguez, D. y D. Morillón (2002), "Control solar en la vivienda como sistema de enfriamiento: beneficios energéticos y ambientales", *Memorias del Taller de Sistemas de Enfriamiento Aplicados a la Vivienda* (<http://www.riraas.net/documentos.htm>). Consultado el 15 de octubre de 2015.

Durock (2005), *Ficha técnica-Tablamiento marca Durock*.

Espumados de Estireno S A. (n.d.), *Ficha Técnica-Espumalit*.

Hurtado, G. (2011), *La vivienda sustentable en México (Metodología y Legislación)*, 216.

Salas Espíndola, Hermilo (1997), *El impacto del ser humano en el planeta*, Edamex, México.

Solís, D. (2010), Análisis térmico de una vivienda económica en clima cálido-seco bajo diferentes orientaciones y medidas de sombreado. Estudios Sobre Arquitectura Y Urbanismo del Desierto, III (3), 27. Recuperado de: <http://www.arq.uson.mx/esaud/PDF/ESAUD3-Cap2.pdf>, consultado el 10 de agosto de 2015.

Roux Gutiérrez, R. S., Gallegos Sánchez D.P. (2015), *Construcción sustentable, análisis de retraso térmico a bloques de tierra comprimido*. UA de C, UA de T.

Termofoam (n.d.), *Ficha técnica-Termofoam*.

USG (2010), Muros y plafones térmicos para cualquier tipo de edificación.

Xella Mexicana SA de CV. (2011), *Ficha técnica-Block Hebel*, 1.