

EVALUACION DEL COSTO MONETARIO Y EL COSTO ENERGETICO DE ELEMENTOS
EDIFICIOS PARA EDIFICIOS ENERGETICAMENTE EFICIENTES

Alfredo Esteves– e-mail: alfredoesteves@argentina.com

Universidad de Mendoza, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, www.um.edu.ar

INCIHUSA- CCT CONICET Mendoza, www.mendoza-conicet.gov.ar/lahv

Daniel Gelardi– e-mail: danielgelardi@gmail.com

Universidad de Mendoza, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, www.um.edu.ar

María Victoria Mercado, e-mail: mvmercado@mendoza-conicet.gov.ar

INCIHUSA-CCT CONICET Mendoza, www.mendoza-conicet.gov.ar/lahv

F5 - ENVOLTÓRIO DE EDIFICAÇÕES

Resumen. *Este trabajo se evalúan los costos económicos y energéticos de elementos edilicios: techos, muros, ventanas y aislantes térmicos posibles de utilizar en la zona del Centro-Oeste de Argentina. Se evalúa para cada uno de los elementos los costos económicos y los costos energéticos (embodied energy) de la tecnología constructiva más utilizada en la región. Se concluye con que los techos económicamente más rentables lo constituye el techo liviano de chapa por el exterior y machimbre por el interior. En el caso de cerramientos opacos, la construcción en seco, seguido de la mampostería de ladrillos macizos resulta lo más conveniente y el material de aluminio para el caso de ventanas. Sin embargo, desde el punto de vista ambiental, convendría construir los cerramientos verticales con bloques de hormigón, que conlleva la menor energía involucrada en el material. En cuanto al aislamiento térmico de elementos opacos como muros y techos, lo mejor es considerar la lana de vidrio, utilizando hormigón alivianado para las fundaciones.*

Palabras clave: *envolvente energéticamente eficiente, costo monetario, energía incluida en el material.*

1. INTRODUCCIÓN

La economía de los recursos utilizados es una estrategia que depende de las posibilidades que otorga la forma del edificio y la utilización de los mismos para evitar excesiva producción de desechos (ya sean sólidos, líquidos o gaseosos) durante la construcción y/o su operación.

Por otro lado, la economía en el costo monetario de los materiales utilizados es algo que está presente en toda construcción edilicia. Las decisiones arquitectónicas respecto a la economía de recursos materiales, la energía demandada durante la construcción (a través de los materiales utilizados) y su costo monetario, constituyen una combinación de factores que están presentes posteriormente durante toda la vida útil del edificio y son un conjunto de decisiones que deben tomarse durante la etapa de proyecto del mismo. La idea sustentada aquí es que tales conocimientos deben ser material para el proceso proyectual, de manera que el diseño del edificio resulte un diseño racional, controlado y estético (Esteves y Gelardi, 2007).

Edwards, 2008 indica las medidas para mejorar la eficiencia energética en viviendas existentes dado que el aumento del parque de viviendas aumenta, hablando del caso de Inglaterra, sólo a un ritmo del 2% anual y el objetivo marcado de reducir el 20% de las emisiones de CO₂ antes de 2020, sólo podría cumplirse si se logra un mayor conocimiento y conciencia respecto del reciclaje edilicio. Indica también que el reciclaje se debería orientar hacia una mayor conservación de energía, es decir, la colocación de aislantes en muros, refuerzo de aislamiento térmico en techos, instalación de ventanas con DVH o con vidrios de baja emisividad y la protección contra las infiltraciones de aire y todas estas medidas combinadas con sistemas de regulación para el sistema de calefacción, pueden en conjunto reducir hasta el 60% del consumo de energía. Esto siempre y cuando se tome en cuenta los climas templados.

Se han estudiado en primera instancia los costos relativos de los planos verticales, horizontales, instalaciones y otros costos y se los ha relacionado a la forma a través del FAEP - Factor de Area Envolvente Piso (Esteves et al., 1997). Este factor permite tomar en cuenta el alejamiento de la forma edilicia de la posibilidad más eficiente.

En el camino de reducir el impacto ambiental de los edificios y permitir el ahorro energético se debe invertir en sistemas tanto de conservación como sistemas pasivos por lo tanto, el estudio de los costos resulta fundamental para tomar en cuenta tanto la inversión económica como energética para conocer la solución que tienda al óptimo desde estos puntos de vista y que permita, a la vez, reducir el impacto ambiental. Como dice Diez, 2013 “Hay una economía de la sustentabilidad siempre y cuando sea posible medir los beneficios de mediano plazo en un plano social, cuando la

mejora de las infraestructuras urbanas redundan en una mejor salud de la población y por lo tanto, en menores costos de medicina paliativa". Pero estas cuestiones no se reflejan automáticamente en los indicadores económicos.

Se presenta sin embargo, las posibilidades que otorga las características morfológicas de los edificios para generar una reducción del costo adicional incurrido en otorgar conservación de energía a los edificios y además como resulta el costo energético invertido en la fabricación de los materiales de la construcción (embodied energy) para generar amortización de los mismos a través del ahorro energético anual.

2. COSTOS AMBIENTALES

El proyecto de un edificio en su conjunto no puede separarse fácilmente de la selección de los materiales y los componentes que lo integrarán. Su selección influye profundamente en el diseño y en el rendimiento del edificio. Los efectos de esa selección pueden considerarse desde dos puntos de vista. En primer lugar, hay impactos que se deben a la fabricación, el procesado, el transporte, la construcción, el mantenimiento, la demolición y el reciclaje o eliminación de los propios materiales. El segundo, se compone del rendimiento medioambiental del edificio en cuanto a su operación.

Calcular el primer tipo de impactos es cuestión de disponer de la información. Se han realizado estudios sobre el impacto medioambiental de los materiales en distintos países. Aquí en Argentina se cuenta con valores realizados por el INENCO, UNSa (Saravia y Lesino, 1985) respecto del contenido energético de los materiales. Goulding et al, 1994 y CNAB, 2001 (Centro Nazionale di Architettura Bioclimatica) también indica valores. Es muy importante conocer la escala relativa de los distintos impactos, porque sólo entonces será posible establecer prioridades entre las medidas para reducirlos. En general son proporcionales a la masa física del material en cuestión.

El impacto ambiental del uso del edificio, con vida media de 50 a 70 años resulta acumulativo (Esteves et al., 1995; The European Comisión, 2010). En la mayoría de los casos, el CO2 emitido como resultado del consumo de energía durante su uso, constituye su principal impacto ambiental. Por lo tanto, la primera medida resulta reducir el consumo continuado de energía. Una vez alcanzado este propósito, los materiales de bajo impacto cobran relevancia.

Debido a la enorme cantidad de materiales utilizados en la construcción, el impacto ambiental de su transporte también es una cuestión preocupante. La energía necesaria para transportar materiales en grandes cantidades depende normalmente de la distancia recorrida, el medio de transporte utilizado y la masa del material a transportar. La tabla 1 indica las emisiones totales y consumo de energía primaria de distintos medios de transporte de carga. Como se puede observar, el transporte de 100 t/km por camión, equivale a desplazar aproximadamente 500 t/km en tren, 700 t/km en barco y 17 t/km en avión para iguales consumos energéticos.

Tabla 1: emisiones y energía consumida en transporte. Fuente: Whitelegg, 1993 en European Comisión 2010.

Emisiones (g/t/km)	Barco	Tren	Camión	Avión
CO2	30	41	207	1206
Energía (kJ/t/km)	423	677	2890	15839

Los contenidos energéticos de los materiales de construcción más comunes se indican en la Tabla 2, la cual, es el resultado de varias fuentes, como se indica. Ahí se puede observar el costo energético en MJ/kg. En algunos casos se incorpora un rango de valores que son los encontrados en la bibliografía, estos se deben a la distinta tecnología de fabricación del material en los diferentes lugares donde se ha realizado la investigación.

Los residuos procedentes de la industria de la construcción constituyen una fracción importante de todos los residuos. En última instancia, la mayoría de los materiales de construcción se convierten en residuos, que se depositan en vertederos o se entierran después de la demolición del edificio o cuando se desechan los embalajes y materiales sobrantes. De cualquier manera, en Argentina, es mínima la cantidad de residuos que se reciclan.

Los residuos provenientes de la construcción son en gran medida materiales inertes como ladrillo, hormigón y piedra (alrededor de un 95% en peso), (European Comisión, 2010).

Tabla 2: Energía incorporada en la fabricación del material de construcción. Fuente: Saravia y Lesino, 1985; Centro Nazionale di Architettura Bioclimatica, 2001, Roaf, 2003.

Material	Rango medido [Mj/Kg]	Valor [Mj/Kg]
Mampuestos:		
Adobe común		0,0019
Adobe estabilizado con asfalto	0,2 - 0,7	0,2
Ladrillos macizos (artesanal)		5
Ladrillos en gran escala		2,14
Ladrillos macizos maquina		8
Ladrillos huecos		7,5
Bloques hormigon (escala artesanal) (g12)		0,46
Suelo-cemento		0,7
Aridos y cemento		
Cemento		3,8
Cal		8,8
Yeso	2,4 - 2,9	2,65
Arena y grava		0,12
Plasticos		
Vinilicos		30
Poliestireno	45 - 126	110
Poliuretano		182
Polietileno		44
P.V.C.	80-90	85
Metalicos		
Hierro y acero	34-46	40
Aluminio	177-260	200
Plomo		49
Cobre	78-100	78
Estaño		30
Bronce		60
Zinc		51
Varios		
Vidrio	12,7 - 25	25
Lana de vidrio		28
Madera	0,42 - 5,2	2
MDF (Medium density fibreboard)		11,3
Goma sintética		110
Pintura acrílica		61,5
Instalaciones		
Caños hierro galvanizado 3/4" (0.00006 m3/m)		40
Caños fibrocemento		110
Caños P.V.C. (0.00276 m3/m)		90
Caños electricidad 3/4" (0.00035 m3/6m)		40
Caños electricidad 1/2" (0.00023 m3/6m)		40

3. COSTOS ECONÓMICOS

Los costos de los elementos (piso, techo, ventanas, muros, etc) de edificios sustentables, normalmente son mayores que los costos de sus homónimos tradicionales. Esto es debido fundamentalmente a la incorporación de estrategias de conservación de energía por un lado y al aprovechamiento de energías renovables por otro, que incrementa los elementos incluidos en la construcción de muros y techos (aislamiento térmico con sus correspondientes capas de protección mecánica – Mercado et al (2004) y de ventanas (doble vidriado hermético o protecciones exteriores como postigones, persianas, pérgolas y/o burletes o contactos para disminuir los intercambios de calor por infiltración).

Este aumento de costos se encuentra en un porcentaje que oscila entre un 5 y un 10% adicional al costo del edificio tradicional dependiendo del nivel de terminaciones del mismo.

Tomando en cuenta los costos de materiales y mano de obra indicados en Revista Vivienda (2012) los muros y techos más usuales de la construcción local, tendrán un costo que se adjunta en la Tabla 3, utilizando la metodología de Chandías y Ramos, 2006, la cual, incluye los valores de muro y techo sin y con aislamiento térmico en espesores de 2", 3" y 4" ya que el espesor comercial de las aislaciones térmicas es la pulgada. Sin embargo, se podría conseguir espesores especiales en cuanto al poliestireno expandido y espuma de poliuretano.

3.1 Costos de los elementos de la envolvente

Costo de los techos: varían en función de los materiales utilizados. Los valores monetarios de los más comunes en el Centro-Oeste de Argentina, se incluyen en la Tabla 3, la cual, muestra también la energía incluida (E.I.) del elemento en cuestión en MJ/m².

- 1) Losa de viguetas y losetas: conformada por viguetas y losetas cerámicas huecas, con capa de compresión, película hidrófuga, aislamiento térmico y mortero alivianado para dar pendiente necesaria para evacuar el agua de lluvia y membrana con aluminio gofrado. Por debajo yeso aplicado.
- 2) Losa maciza de H° A°: losa llenada in situ, que reemplaza la losa alivianada, barrera de vapor, aislamiento térmico y mortero alivianado para dar pendiente necesaria para evacuar el agua de lluvia y membrana con aluminio gofrado. Por debajo yeso aplicado.
- 3) Techo liviano de chapa y machimbre: estructura de correas de madera, luego machimbre, barrera de vapor, aislamiento térmico con listones, mortero hormigón alivianado y chapa trapezoidal de acero.
- 4) Losa intermedia: de hormigón armado in situ, carpeta y piso cerámico por encima.

Tabla 3: valores monetarios (en \$Ar y U\$S) y energía incluida (E.I.) de elementos de construc-

Elemento	Material	Tipo	Valor [\$/m ²]	Valor [U\$S/m ²]	E.I. [MJ/m ²]
Techos	Losa de viguetas y losetas	s/a	451.8	98.2	490.0
		c/ 50 mm	485.2	105.5	561.5
		c/75 mm	495.2	107.6	597.3
		c/ 100 mm	505.2	109.8	633.0
	Losa maciza de H°A°	s/a	473.1	102.9	520.0
		c/ 50 mm	506.5	110.1	591.5
		c/75 mm	516.5	112.3	627.3
		c/ 100 mm	526.5	114.5	663.0
	Techo liviano de chapa y mach.	s/a	341.7	74.3	219.5
		c/ 50 mm	378.7	82.3	247.5
		c/75 mm	390.5	84.9	261.5
		c/ 100 mm	402.3	87.5	275.5
	Losa intermedia	s/a	473.1	102.8	520.0
Muros	Ladrillón con 2 rev.	s/a	203.8	44.3	800.0
		c/ 50 mm	271.9	59.1	919.5
		c/75 mm	300.4	65.3	972.8
		c/ 100 mm	329.0	71.5	1033.0
	Bloque H° con 2 rev.	s/a	283.1	61.5	109.8
		c/ 50 mm	351.2	76.3	339.0
		c/75 mm	379.7	82.5	392.3
		c/ 100 mm	408.2	88.7	452.5
	Constr. En seco: durlock y pl. cement.	s/a	187.6	40.8	195.0
		c/ 50 mm	255.7	55.6	418.0
		c/75 mm	284.2	61.8	432.0
		c/ 100 mm	312.8	68.0	446.0

Fuente: Valores de enero 2012, Rev. Vivienda. Latinográfica Impresos. Buenos Aires. Valores de energía incluida a partir de datos de Tabla 2.

El costo económico menor de los techos lo constituye el techo de machimbre interior y chapa exterior (\$ 341,7/m²), incluso al agregarle 4" de aislamiento térmico (\$ 402,3/m²). También resulta el menor energéticamente hablando 275.5 MJ/m² (menos de la mitad de la energía involucrada en el techo de losa alivianada o el de losa maciza), posiblemente a causa de la mayor cantidad de hierro de éstos respecto de la estructura del otro que tiene madera, la cual, si resulta de cultivos, cuenta con muy bajo impacto ambiental, pero en tal caso debería asegurarse de esta situación, dado que se podría estar generando desertificación o deforestación y de este modo ocultando un impacto ambiental importante.

Costo de los cerramientos verticales opacos: Se toma en cuenta la tecnología más ampliamente utilizada, entre la que se incluye los siguientes tipos de muros indicados en la Tabla 3.

- 1- Muro de ladrillón con dos revocos: mampostería de ladrillo macizo de mayor tamaño, con revocos a ambos lados. Cuando se incorpora aislación térmica, (se considera de poliestireno expandido) se la coloca antes del revoque exterior e incluye barrera de vapor y alfajías.
- 2- Muro de H° con dos revocos: mampostería de bloques de hormigón con dos revocos. Cuando se incorpora aislación térmica, (se considera de poliestireno expandido) se la coloca antes del revoque exterior e incluye barrera de vapor y alfajías.
- 3- Construcción en seco: tabique de placa de yeso interior y placa cementicia exterior con barrera de vapor y aislación térmica de lana de vidrio con papel kraft entre ambas placas.

Las paredes más comunes en edificaciones residenciales son ejecutadas con ladrillos macizos (tipo ladrillón y 2 revocos), dado su menor costo (\$ 203.8/m²), sin embargo, podemos tomar en cuenta otros cerramientos posibles en la zona, bloques de hormigón con 2 revocos (\$ 283,1/m²) y construcción en seco (\$ 187.6/m²).

Se puede observar en Tabla 4 el costo energético total (es decir, el necesario para construirlo y el costo operativo en calefacción durante un año), en el caso de dos tipos de muros: ladrillón y construcción seca de placa de yeso, cuando se sitúa en una vivienda ubicada en Mendoza, Argentina (Lat.: 32,85° S; Longitud: 68,82° O; altitud 715 msnm), con grados-día de calefacción igual a 1384 °C.día/año para temperatura base de 18°C. Se observa que en el caso del muro de ladrillón, la incorporación del aislamiento térmico se "amortiza" energéticamente en menos de un año (se gastan 1060 MJ/m² al no estar térmicamente aislado y 979,5 MJ/m² cuando le hemos incorporado el aislamiento térmico). En el caso del muro de placa de yeso la amortización ocurre poco tiempo después del año. Construir con ladrillón sin aislamiento térmico consume más energía en un año que el que posee 5 cm de poliestireno expandido. Igualmente ocurre con un muro de durlock.

Tabla 4: costo energético total de muros luego de un año de uso.

Material	Situación	Energía Incorporada [MJ/m ²]	Energía perdida en 1 año [MJ/m ²]	Total [MJ/m ²]
Ladrillón	sin aislamiento térmico	800	260	1060
	con 5 cm de poliestireno expandido	919,5	60	979,5
Placa de yeso	sin aislamiento térmico	195	260	455
	con 5 cm de poliestireno expandido	420	70	490

En el caso de muros el de mayor impacto ambiental lo constituye el muro de ladrillón, sin embargo, es el más económico, razón por la cual, sea el más frecuentemente elegido para la construcción en todo el centro-oeste de Argentina. El de menor impacto ambiental lo constituye el muro de bloques huecos de hormigón, tomando en cuenta que los mismos son construidos artesanalmente, lo que los hace apropiados para la autoconstrucción. Por lo tanto, en determinados sectores de la sociedad que sufren falta de recursos, el Estado podría propiciar la construcción con bloques realizados por autoconstrucción, lo que implica muy bajo consumo energético y monetario. Incluso aislarlos con 5 cm de poliestireno expandido es lo más económico energéticamente hablando, (339 MJ/m²) contra 919,5 MJ/m² del ladrillón o 418 MJ/m² de la placa de yeso.

Costo de cerramientos verticales transparentes: En el caso de las ventanas, la Tabla 5. indica los valores monetarios y energía incluida para cada caso en función del material del marco y si lleva Simple Vidrio (SV) o Doble Vidriado Hermético (DVH) en el caso de ventanas de abrir. En el caso de vidrio fijo, también se indican los valores cuando se utiliza simple vidrio (Vidrio fijo SV) o doble vidriado hermético (vidrio fijo DVH).

Tabla 5: valores monetarios y energía incluida para el caso de ventanas.

Material del marco	Tipo	Valor [\$/m ²]	Valor [U\$/m ²]	E.I. [MJ/m ²]
Aluminio	SV	824.3	179.2	1240
	DVH	1284.2	279.2	1410
	Vidrio fijo SV	905.7	196.9	870
	Vidrio fijo DVH	984.4	214.0	915
Madera	SV	973.2	211.6	294
	DVH	1433.2	311.6	464
	Vidrio fijo SV	905.7	196.9	397
	Vidrio fijo DVH	984.4	214.0	442
PVC	SV	1192.2	259.2	858
	DVH	1652.2	359.2	1028
	Vidrio fijo SV	905.7	196.9	679
	Vidrio fijo DVH	984.4	214.0	724

Nota: Valores monetarios de enero 2012, Rev. Vivienda. Latinográfica Impresos. Valores de energía incluida a partir de datos de Tabla 2.

Se puede observar que la carpintería más impactante resulta ambientalmente hablando la de aluminio, con un valor muy superior a la de madera (304%), e incluso a la de PVC (137,2%), sin embargo, la carpintería de aluminio es la más utilizada. Además la de madera es considerada como madera proveniente de cultivo (certificada), lo que implica solamente trabajo de conformación y transporte.

Tomando en cuenta la energía total (es decir, el necesario para construirla y el costo operativo insumido en calefacción durante un año para mantener 21°C interior), la Tabla 4 muestra el valor para el consumo energético total tomando en cuenta la energía que se debería consumir por m². Se puede observar que colocar DVH en ventanas, resulta más económico ambientalmente hablando luego de 1 año de uso. Esto implica la importancia a nivel de país, el generar normas que exijan la colocación del DVH para evitar el impacto ambiental excesivo del sector.

Tabla 4: costo total de ventanas luego de 1 año.

Material	Situación	Energía Incorporada [MJ/m ²]	Energía perdida en 1 año [MJ/m ²]	Total [MJ/m ²]
Aluminio	Simple Vidrio	1240	775	2015
	DVH	1410	510	1920
Madera	Simple Vidrio	294	595	889
	DVH	464	280	744

Costo de aislantes térmicos: Los aislantes térmicos utilizados en la construcción son de distinto tipo atendiendo al costo económico, la conductividad térmica, la temperatura máxima de trabajo, la higroscopicidad y la tecnología para su incorporación.

En el caso de techos se puede decir que existe tecnología ya suficientemente probada y casi no existe el armado de un techo que no incluya por lo menos 0.025 m (1") de algún material aislante térmico. En este caso la estrategia consiste en incorporar el espesor necesario de acuerdo a la rigurosidad climática. La figura 1 muestra los valores de resistencia térmica en función de los grados día de calefacción (T_b = 18°C) del lugar de implantación del edificio, adaptada a partir del trabajo de Mercado et al., 2004.

En el caso de muros, la situación es distinta. No existe un hábito constructivo que incluya las aislaciones térmicas en los mismos. Es así, que lo más antiguo que se ha realizado localmente, data del año 1978, cuando Enrico Tedeschi construye el prototipo solar en el Barrio Parque Sur, Godoy Cruz, Mendoza. Otros edificios lo han incorporado en años

sucesivos y esto ha permitido probar que la misma, cuando se encuentra bien protegida, prácticamente envejece con la mampostería del edificio.

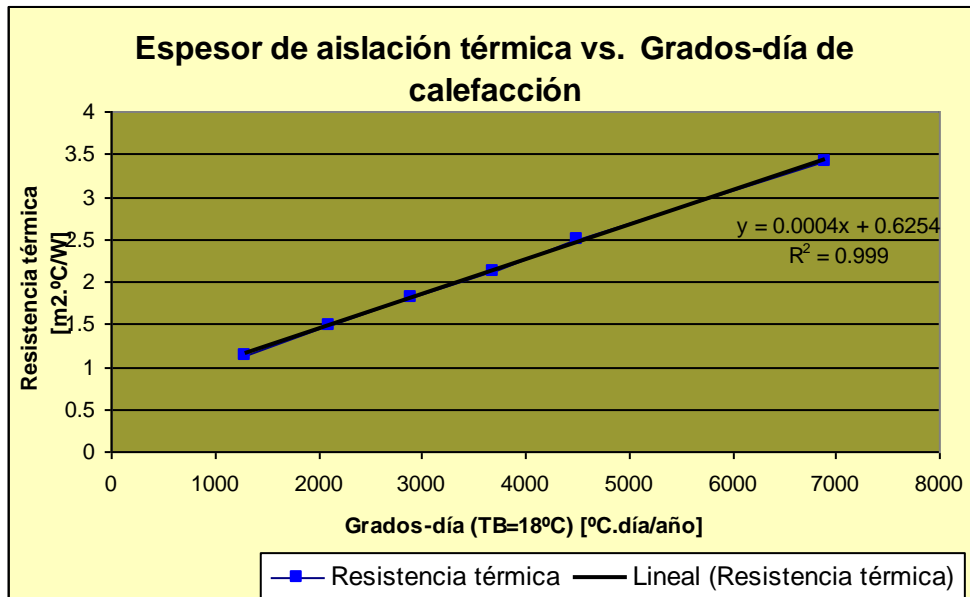


Figura 1: valores de espesor de poliestireno expandido para muros en función de la rigurosidad del clima a través de los grados-día de calefacción. Fuente: adaptación de Mercado et al., 2004.

La Figura 1 muestra la resistencia térmica recomendada para alcanzar niveles de aislamiento térmico suficientes con rigor práctico y que genera el mínimo costo total (costo fijo + costo variable) de acuerdo a lo indicado por Mercado (Mercado et al., 2004).

Trabajando en función de la conductividad térmica del mismo, del costo de adquisición y la energía incluida en el material y se ha obtenido la Figura 2. La misma muestra el impacto en valores de costo por unidad de resistencia térmica del aislante en $\$/(\text{m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W})$. Esta figura resulta muy interesante para mostrar que para cada unidad de resistencia térmica qué costo tiene el mismo. También se indica el costo energético de su fabricación para en cada unidad de resistencia térmica qué costo tiene el mismo en $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W})$.

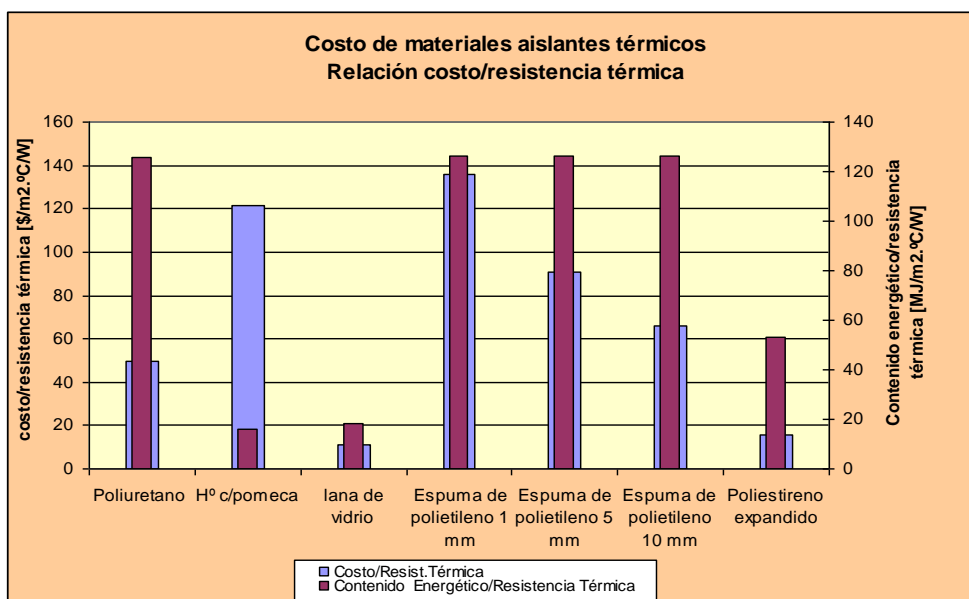


Figura 2: valor de costo/resistencia térmica y contenido energético para materiales aislantes térmicos usuales en la industria de la construcción.

Observando la Figura 2, se puede indicar lo siguiente:

- 1- El aislante térmico más conveniente desde el punto de vista del costo/RT, es la lana de vidrio, con un valor de \$ 11.4/(m² °C/W) y su fabricación insume el menor impacto 18.6 MJ/RT, es decir, energía (MJ) por cada unidad de resistencia térmica (m².°C/W).
- 2- El poliestireno expandido es también conveniente desde el punto de vista económico (\$ 16,0/m².°C/W). Sin embargo, tiene un impacto mayor en la fabricación del mismo (52.9 MJ/ m².°C/W).
- 3- Le sigue la espuma de poliuretano en valor monetario (\$ 49.9/ m².°C/W), pero es de tener en cuenta que el mismo insume un consumo de energía muy elevado (125 MJ/m².°C/W).
- 4- El hormigón alivianado, tiene un costo mucho mayor para otorgar una resistencia térmica importante (\$ 121.5). Además, su contenido energético resulta muy bajo (15.7 MJ/m².°C/W). Ahora bien, este resulta particularmente apropiado para su incorporación para aislar térmicamente las fundaciones por su buen comportamiento al ataque de hormigas.
- 5- El polietileno espumado o espuma de polietileno tiene un costo más elevado mientras menor es el espesor del mismo y su impacto resulta muy cercano a la espuma de poliuretano (126.3 MJ/m².°C/W).

4. CONCLUSIONES

Con respecto a los elementos opacos de la vivienda, los techos económicamente más rentables lo constituye el techo liviano de chapa por el exterior y machimbre por el interior. Este también resulta energéticamente el más conveniente.

Con respecto a los cerramientos verticales opacos, lo más conveniente desde el punto de vista económico, lo constituye la construcción en seco, seguido de la mampostería de ladrillos macizos. Sin embargo, desde el punto de vista ambiental, convendría hacer los cerramientos verticales con bloques de hormigón, que conlleva la menor energía involucrada en el material.

En cuanto al aislamiento térmico de elementos opacos como muros y techos, lo mejor es considerar la lana de vidrio, siempre y cuando no exista riesgo de condensación intersticial; luego el poliestireno expandido y luego el polietileno espumado, siempre que se pueda incorporar el aislante dentro de una cámara que no sufra aplastamiento.

Para el caso del aislamiento térmico de fundaciones, se podría utilizar un hormigón alivianado en el contrapiso y/o aislante térmico de poliuretano rígido en planchas en construcción nueva. En el caso de construcciones existentes, se podría agregar el aislante térmico por debajo de veredines exteriores, cuando la situación sea así propicia.

En el caso de ventanas, la diferencia está dada por el material del marco y hoja de las mismas. En el caso del Aluminio, resulta la más económica, sin embargo, resulta la que incorpora mayor energía en su fabricación. Es interesante notar que por ejemplo en Argentina, el aluminio lo fabrica la empresa Aluar S.A. y que luego lo distribuye a todo el país. En este caso la fuente energética utilizada es de base hidroeléctrica, por lo cual, la energía que se incorpora en la fabricación del mismo es de base renovable, con lo cual, se evitan las emisiones contaminantes. En el caso que no sea de ese modo, las ventanas de madera, son una buena opción, siempre y cuando se fabriquen con madera provenientes de bosques cultivados, para evitar la desertificación y/o deforestación.

Se concluye finalmente que sería necesario generar normas que exijan la aplicación de aislaciones térmicas en paramentos verticales y horizontales cuya amortización energética ocurre alrededor del año, luego de lo cual, se generan ahorros sustanciales de energía que permitirían mejorar la matriz energética actual y además mejorar la situación térmica de los usuarios.

5. REFERENCIAS

- Chandias M.E., Ramos J.M. 2006. Cómputos y Presupuestos – Manual para la construcción de edificios con computación aplicada. 21ª Ed. Librería Alsina. Buenos Aires.
- CNAB, 2001. Il Riciclaggio dei materiali edilizi. Centro Nazionale di Architettura Bioclimatica. Rev. Ecoenea – suplemento del L'Arca 158, abril 2001.
- DEFRA. 2011. Emission factors of GHG. Department of Environment, Food and Rural Affairs. UK.
- Diez, F. 2013. Holcim Forum, Mumbai 2013. Rev. Summa N° 131, pp. 62-65. Ed. Donn S.A.
- Edwards Brian. 2006. Guía de la Sustentabilidad. Ed. Gustavo Gili. Barcelona.
- Esteves A., de Rosa C. 1995. Vida útil de los edificios. Actas de la Reunión de ASADES. San Luis.

- Esteves A., Gelardi D. 2007. Relación entre los costos relativos de viviendas sustentables y su forma. IX Encontro Nacional y V Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construido. ENCAC 2007, pp. 657-665. Ouro Preto, Brasil.
- Esteves A., Gelardi D. 2010. Relación entre la ganancia solar y la calefacción auxiliar para dos tipos de envolvente formal edilicia. Rev. AVERMA. Vol. 14, Secc. 7, pp. 33-40. Argentina.
- European Comisión. 2010. Un vitruvio ecológico- principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible. Ed. Gustavo Gili. Barcelona.
- Goulding et al, 1994. Energy in Architecture". The Energy Research Group. School of Architecture. University of Dublin, IRL.
- IPCC, 2006. Cambio climático 2006. Informe de síntesis. Panel Intergubernamental para el Cambio Climático. OMM – PNUMA. Suiza.
- Kim Jong-Jin, Brenda Rigdon. 1998. Introduction to Sustainable Design. College of Architecture and Urban Planning. University of Michigan. *Published by* National Pollution Prevention Center for Higher Education.
- Mascaró Juan Luis. 1999. O Custo das Decisoes Arquitectónicas. Ed. Universidad Federal de Porto Alegre. Porto Alegre. Brasil.
- Mercado M.V., Esteves A. 2004. Arquitectura Sustentable. Estudio térmico y técnico económico de la incorporación de aislación térmica. Rev. ERMA. N° 15. Salta.
- Nandwani, S. 2004. Cocina-Horno Solar. 2da. Ed. Ed. Federación UMA. Universidad Nacional Heredia. Costa Rica.
- Puliafito E., Rojic G., Perez Gunella F. 2008. Emisiones de carbono para la ciudad de Buenos Aires. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 12, pp.07-01/08. Salta. Argentina.
- Revista Vivienda. 2012. Costos de la construcción. Revista N° 594 – Enero 2012. Latingrafica SRL. Buenos Aires.
- Roaf Susan, Fuentes Manuel, Thomas Stephanie. 2003. Ecohouse 2 - A Design Guide. Architectural Press, Amsterdam.
- Ruegg R.T., Sav G.T.1981. The Microeconomy of Solar Energy in Solar Energy Handbook, chapter 28. Mc. Graw Hill. N.Y.
- Saa C. Verstraete J.M., Vilapriño R. 2005. Perspectivas del ahorro energético debido a la solarización de viviendas sociales. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 9, pp. 07-19/07-24.
- Saravia L., Lesino G. 1985. Contenido energético de materiales de construcción. Actas de la 10ma. Reunión de Trabajo de Energía Solar, Neuquen, 1985, pp. 1-7.
- Suarez C. 1993. Impactos ambientales del sistema energético de América Latina, 1970-1990/1990-2010. OLADE. Ed. Fundación Bariloche.
- Turégano Romero J.A., Velasco Callay M.C., Martínez García A. 2009. Arquitectura Bioclimática y Urbanismo. Prentas Universitarias de Zaragoza. España.
- Zhang J., Smith K.R., Ma Y., Ye S., Jiang F., Qi W. 2000. Greenhouse gases and other airborne pollutants from household stoves in China: a database for emission factors. Atmospheric Environment 34. Pp. 4537 - 4549.

RELATIONSHIP BETWEEN THE MONETARY COST AND THE EMBODIED ENERGY OF BUILDING ELEMENTS FOR ENERGY EFFICIENT BUILDINGS

Abstract. *This paper include the economic and energy costs (embodied energy) of building elements: ceilings, walls, windows and thermal insulation materials that it is possible to use in Centre-West of Argentina. For each of the elements the economic costs and energy costs (embodied energy) of constructive technology most commonly used in the region has been evaluated. The conclusions indicates that: the economically more profitable roofing is lightweight sheet metal in outer and plywood for interior ceiling. In the case of walls, dry construction followed by the solid brick masonry construction are the better and aluminum for windows is the more convenient material. From the environmental point of view, however, it should be build vertical walls with concrete blocks and wood windows. In terms of thermal insulation of opaque as wall and roof elements, glass wool is the better material from the economical and environmental point of view, using concrete with crushed volcanic granules for foundations.*

Key words: energy-efficient envelope, monetary cost, embodied energy cost.