



Universidad Central de Venezuela
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción

**Climatización pasiva de edificaciones
como estrategia para una arquitectura
sostenible**

Trabajo para ascender en el escalafón universitario a la categoría de
profesor agregado

(Modalidad artículos arbitrados)

Prof. Ernesto Lorenzo Romero

Caracas, Mayo, 2015

RESUMEN

El concepto de sostenibilidad deriva de la necesidad de lograr en todas las actividades humanas un equilibrio a nivel social, ambiental y económico. En este sentido, las edificaciones adquieren gran importancia al ser responsables de cerca del 40% de la energía consumida en el mundo, siendo el equipamiento asociado a la climatización, el de mayor peso dentro del balance energético. Estudios recientes indican que esta tendencia podría agravarse aún más, en especial por el aumento del nivel de vida en países en vías de desarrollo, así como consecuencia del calentamiento global.

En este contexto, y a través de la compilación de cuatro (4) artículos desarrollados desde el 15 de Octubre de 2012 (Fecha del último ascenso), se presenta una síntesis de los resultados más relevantes respecto al desarrollo de estrategias y tecnologías de climatización pasiva de edificaciones en el contexto climático venezolano, entendiendo estas como una alternativa a los sistemas de climatización activos o tradicionales, capaz de disminuir el gasto energético, sin comprometer las condiciones de habitabilidad de los usuarios. Asimismo, se finaliza con una primera aproximación respecto a la necesidad de incorporar mecanismos de transferencia tecnológica que permitan vencer las dificultades en el área del desarrollo tecnológico de la construcción, explorando entre otras cosas, las nuevas tecnologías de información y documentación (NTIc).

Palabras Claves

Climatización pasiva, arquitectura sostenible, eficiencia energética, enfriamiento radiante, conductos enterrados, transferencia tecnológica, NTIc.

ÍNDICE

RESUMEN	II
ÍNDICE	III
INTRODUCCIÓN	1
CONTEXTO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN	3
ARTÍCULOS	18
ARTICULO N° 1: EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA PASIVO DE CLIMATIZACIÓN POR CONDUCTOS ENTERRADOS EN MARACAY, EDO. ARAGUA.....	21
ARTÍCULO N° 2: ESTUDIO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA PASIVO DE ENFRIAMIENTO RADIANTE POR TECHO ESTANQUE.	34
ARTICULO N° 3: SISTEMAS DE CONTROL SOLAR Y SUS IMPLICACIONES EN EDIFICIOS DE OFICINAS UBICADOS EN CLIMA TROPICAL-HÚMEDO.	55
ARTICULO N° 4: POTENCIALIDADES DE LOS SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN PASIVA Y EL RETO DE SU DIFUSIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EN VENEZUELA.	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86

INTRODUCCIÓN

Los textos seleccionados y presentados para el ascenso al escalafón como profesor agregado, son algunos de los productos obtenidos del proyecto de grupo *“Confort térmico en viviendas urbanas ubicadas en climas cálido-húmedo, mediante la aplicación de sistemas pasivos de climatización de bajo consumo energético en el marco de la gran misión vivienda Venezuela”*, del cual soy investigador responsable con financiamiento del FONACIT hasta abril de 2016; y el proyecto de grupo *“Cuantificación de la Potencia de enfriamiento vs consumo energético de sistemas pasivos de climatización en Venezuela”* del cual soy co-investigador con financiamiento del CDCH-UCV hasta enero 2016.

Estos proyectos se inscriben en una línea de investigación global de ahorro y eficiencia energética en edificaciones dentro del área de requerimientos de habitabilidad del Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC), siendo el campo de la climatización pasiva de edificaciones y su relación con la sostenibilidad, el ámbito de interés específico para ambos.

En este sentido, los artículos que se presentan tienen una clara afinidad y pertinencia temática que los relaciona entre sí, a la vez que son englobados por una misma problemática que los fundamenta y justifica, motivo por el que se consideró pertinente iniciar el trabajo con una síntesis del contexto general que abarca no solo los artículos presentados, sino también las investigaciones que los sustentan.

En total son cuatro artículos, siendo los dos primeros donde se presentan los resultados experimentales obtenidos hasta la fecha, a través del desarrollo de prototipos correspondientes a dos de las tecnologías pasivas de climatización con mayor potencial teórico de aplicación en el contexto climático venezolano.

En el tercer artículo se evalúa, entre otras cosas, las implicaciones asociadas a las cargas térmicas de una edificación ya construida y climatizada artificialmente, luego

del diseño e incorporación de una protección solar eficiente en fachadas acristaladas.

Se finaliza con un cuarto artículo donde se engloba el desarrollo alcanzado en ambos proyectos de investigación respecto a las distintas tecnologías de climatización alternativas propuestas, acompañado de una reflexión sobre la necesidad de incorporar mecanismos de transferencia tecnológica incluso desde la concepción de las investigaciones, con miras en vencer las dificultades obtenidas en trabajos de investigación previos, incursionando entre otras cosas, en las nuevas tecnologías de información y documentación (NTIc).

Cabe destacar que el conocimiento alcanzado a estimulado la participación creciente de estudiantes de pre y postgrado de la escuela de Arquitectura, Ingeniería Civil y Mecánica de la UCV, así como de otras universidades nacionales, contribuyendo no solo a su formación, sino al enriquecimiento de la línea de investigación, lo cual queda en evidencia a través de la participación de varios profesionales que no forman parte del grupo de profesores regulares del IDEC, en algunos de los artículos utilizados en el presente trabajo.

CONTEXTO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN

Las edificaciones son clave en el logro de un desarrollo sostenible, su construcción, uso y demolición genera beneficios sociales y económicos, sin embargo, también son responsables de impactos negativos de gran magnitud, en particular a nivel ambiental.

Más de la mitad de la población mundial vive en zonas urbanas, y más del 80% de la población vive en países en desarrollo (ONU, 2008). Debido al crecimiento de la población y el desarrollo económico, las edificaciones poseen cada vez mayor importancia.

En el año 2010 el sector de las edificaciones consumió 32% (24% uso residencial y el 8% uso comercial) de la energía primaria mundial (IEA, 2013). Asimismo, estudios llevados a cabo por la OECD en 2012, sugieren que los sectores residencial y comercial son responsables de alrededor del 37% de la energía primaria que se consume en los países de la OECD, y de 36% de la energía que se consume a nivel mundial (Figura N° 1).

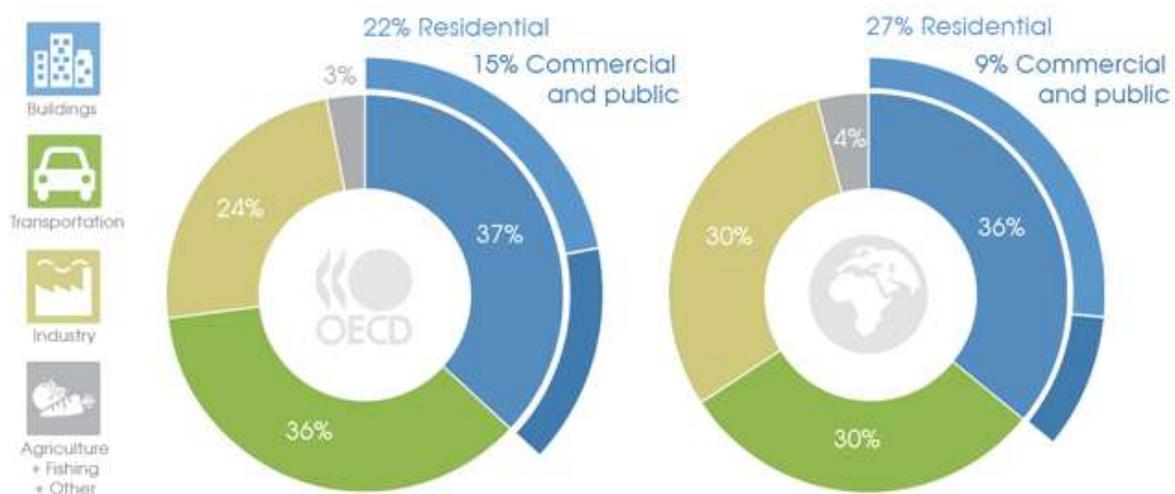


Figura N° 1.- Usos finales de la energía primaria por sectores, tanto en países de la OECD como a nivel mundial. Fuente: IEA, 2013.

Sin embargo, estos datos responden al promedio del total de países estudiados, por lo que si se revisan individualmente, se identifican variaciones importantes entre países y regiones. En este sentido, un estudio realizado por el World Resources Institute (Bradley et al, 2005), permite obtener una idea más cercana del consumo de energía asociado a las edificaciones en 8 regiones a nivel mundial, incluyendo igualmente, el comportamiento del grupo de países desarrollados, frente a los que se encuentran en vía de desarrollo (Figura N° 2).

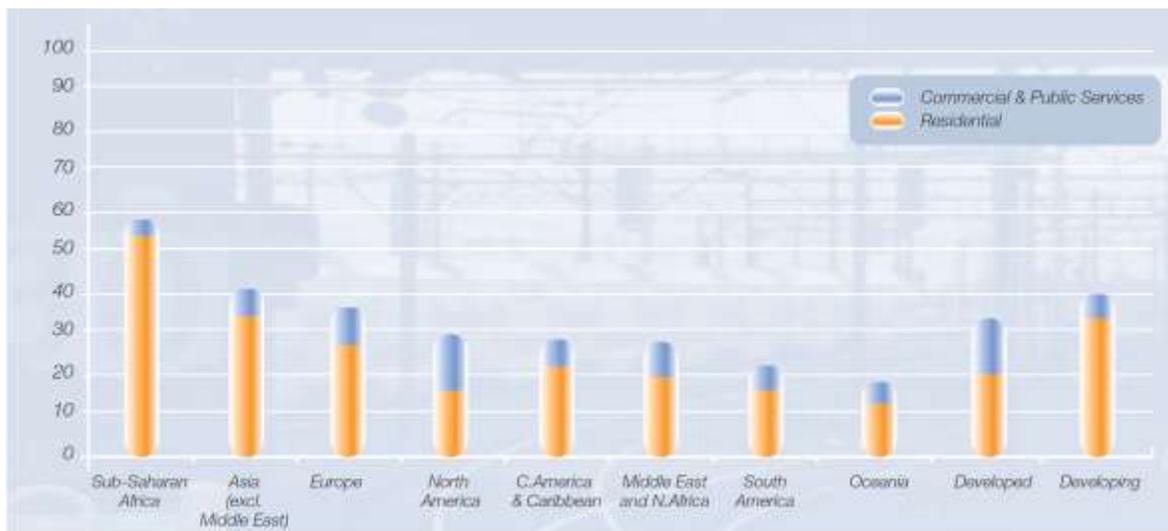


Figura N° 2.- Consumo de energía asociado a las edificaciones en distintas zonas a nivel mundial tanto para edificios comerciales como residenciales. Fuente: Bradley et al, 2005.

Se estima que el consumo mundial de energía en el sector de las edificaciones siga creciendo, en especial por el aumento de la demanda de viviendas y oficinas en los países en desarrollo (PNUD, 2009), Sin embargo (IEA, 2013) a través de un estudio del consumo de energía en edificaciones residenciales y comerciales en once regiones a nivel mundial, se concluye que a pesar de un aumento sostenido del consumo desde 1990, la mayoría de las regiones evaluadas registran crecimientos del consumo per cápita moderados, lo que sugiere la comprensión de la necesidad del uso eficiente de la energía en las edificaciones, con excepción de algunas regiones como la antigua unión soviética, el norte de África y Oriente Medio, quienes registraron un aumento significativo en el consumo de energía per cápita (Figura N° 3).

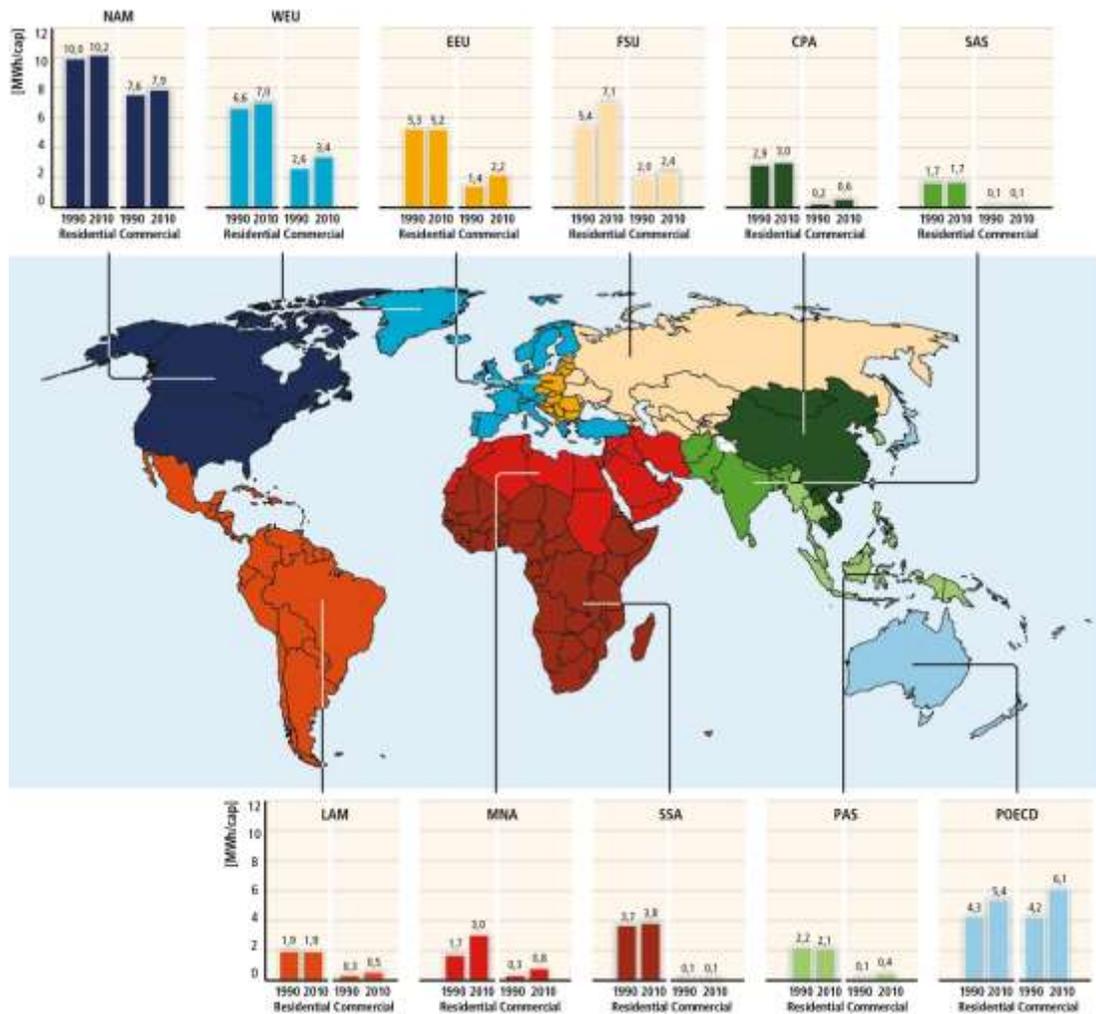


Figura N° 3.- Consumo de energía per cápita anual para edificios residenciales y comerciales en once regiones, años 1990 – 2010. Fuente: IEA, 2013.

En lo que respecta al sector de las edificaciones, los GEI se han duplicado desde 1970 hasta alcanzar $9,18 \text{ GtCO}_2 - eq$ en 2010 (Figura 4), lo cual representó el 19% del total de las emisiones globales de GEI para ese año.

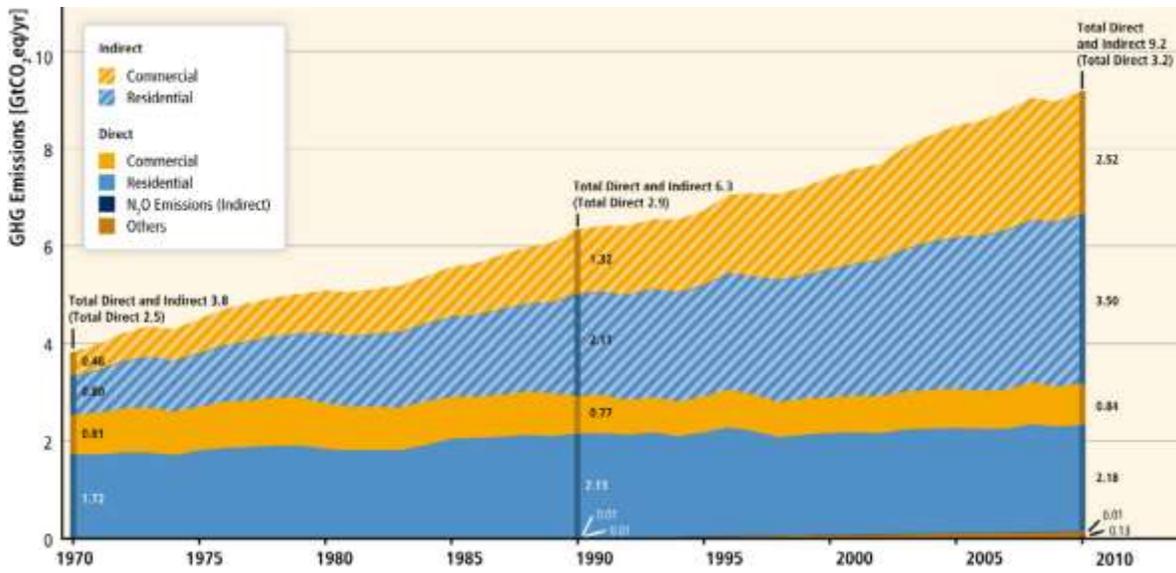


Figura N° 4.- Emisiones directas e indirectas (de producción de electricidad y calor) en el sector de las edificaciones. Fuente: IEA, 2012.

La mayor parte de las emisiones de GEI (6,02 Gt) son emisiones indirectas de CO₂ por el uso de la electricidad en los edificios, lo que demuestra un gran crecimiento de la demanda, en contraste con las emisiones directas que se han mantenido estables. Por ejemplo, las emisiones indirectas residenciales se quintuplicaron, mientras las comerciales se cuadruplicaron.

En la Figura N° 5 se muestra las tendencias regionales en las emisiones de CO₂ eq relacionadas a las edificaciones. Los países pertenecientes a la OECD registran las emisiones más altas, pero el crecimiento en esta región entre 1970 y 2010 ha sido moderado. Para los países menos desarrollados las emisiones son bajas y con poco crecimiento, mientras el mayor crecimiento ha tenido lugar en Asia, donde las emisiones en 1970 fueron similares a los de otras regiones en desarrollo, pero en la actualidad se están acercando a la de los países de la OECD.

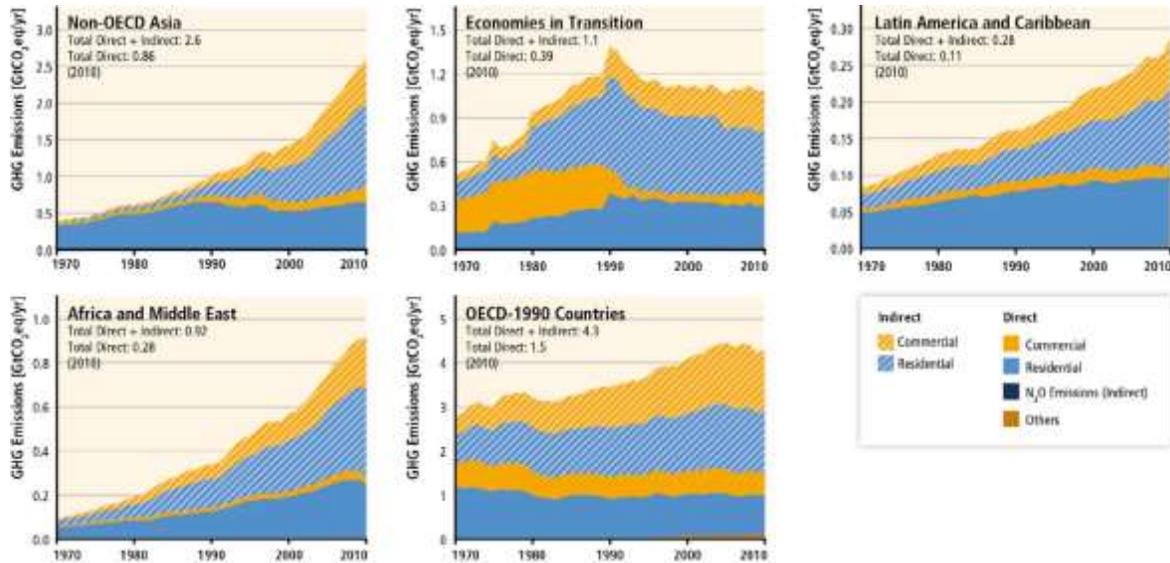


Figura N° 5.- Emisiones directas e indirectas (de producción de electricidad y calor) en el sector de las edificaciones a nivel de regiones. Fuente: IEA, 2012.

En las edificaciones, el mayor peso de las emisiones de CO_2 corresponde al uso de la energía eléctrica, tal y como se muestra en la Figura N° 6 (Columna izquierda), mientras que las emisiones asociadas a la combustión directa de combustibles fósiles (Columna derecha) son mucho menores.

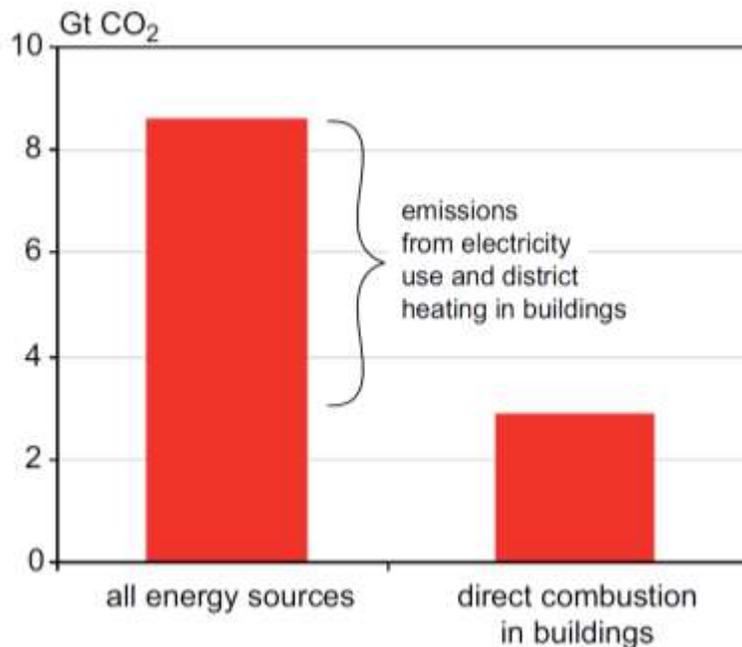


Figura N° 6.- Emisiones de CO_2 asociadas a la energía Fuente: Price et al. 2006.

De acuerdo con el Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2007), las emisiones de CO_2 relacionadas con las edificaciones (incluyendo el uso de la electricidad) podría aumentar de 8,6 mil millones de toneladas en 2004 hasta 11,4 mil millones de toneladas en 2030 en un escenario de bajo crecimiento, mientras, en un escenario de alto crecimiento esa cifra se ubicaría en 15,6 mil millones para el año 2030 (Levine et al. 2007). En ambos casos, se espera que el sector construcción tenga una contribución de al menos 30% en las emisiones de CO_2 totales a nivel mundial.

El aumento de las emisiones en su mayoría provendrá de los países en desarrollo. Asia, Oriente Medio, África del Norte y América Latina, por lo que se espera que todos tengan incrementos sustanciales en las emisiones de CO_2 en el campo de las edificaciones, tal y como se observa en la Figura N° 7, donde se representa el escenario de alto crecimiento estimado en el informe IPCC, 2007.

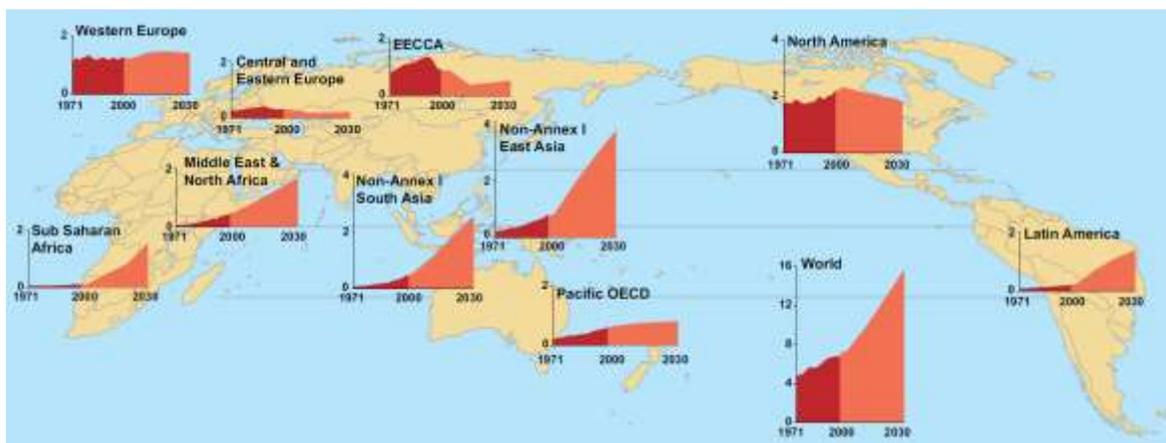


Figura N° 7.- Emisiones de CO_2 de las edificaciones (incluyendo el uso de la electricidad), con el escenario de alto crecimiento IPCC. Fuente: IPCC, 2007.

A pesar del panorama anterior, y con base en una investigación fundamentada en 80 estudios realizados a nivel mundial (Levine, et al. 2007), compilados en el cuarto informe de evaluación sobre cambio climático 2007 (IPCC, 2007), se demuestra la existencia de un potencial global para la reducción aproximada de 29% de las emisiones GEI asociadas a edificios residenciales y comerciales para el año 2020 y 31% para el año 2030, siendo estos no solo los porcentajes más altos de todos los

sectores estudiados, sino también los más factibles desde el punto de vista económico (Tabla N° 1).

Sector	Mitigation option ^{d)}	Region	Economic potential <100 US\$/tCO ₂ -eq ^{e)}		Economic potential in different cost categories ^{d), e)}			
			Cost cat. US\$/tCO ₂ -eq		<0	0-20	20-50	50-100
			Cost cat. US\$/tC-eq		<0	0-73	73-183	183-367
			Low	High	Gt CO ₂ -eq			
Energy supply ^{e)} (see also 4.4)	All options in energy supply excl. electricity savings in other sectors	OECD	0.90	1.7	0.9		0.50	0
		EIT	0.20	0.25	0.15		0.06	0
		Non-OECD/EIT	1.3	2.7	0.80		0.90	0.35
		Global	2.4	4.7	1.9		1.4	0.35
Transport ^{e), f), g)} (see also 5.6)	Total	OECD	0.50	0.55	0.25	0.25	0	0
		EIT	0.05	0.05	0.03	0	0	0.02
		Non-OECD/EIT	0.15	0.15	0.10	0.03	0.02	0
		Global ^{h)}	1.6	2.5	0.35	1.4	0.15	0.15
Buildings (see also 6.4) ^{f), h)}	Electricity savings	OECD	0.8	1.0	0.95	0.00	0	
		EIT	0.2	0.3	0.25	0	0	
		Non-OECD/EIT	2.0	2.5	2.1	0.05	0.05	
	Fuel savings	OECD	1.0	1.3	0.85	0.15	0.15	
		EIT	0.6	0.8	0.2	0.15	0.35	
		Non-OECD/EIT	0.7	0.8	0.65	0.10	0.01	
	Total	OECD	1.8	2.3	1.8	0.15	0.15	
		EIT	0.9	1.1	0.45	0.15	0.35	
		Non-OECD/EIT	2.7	3.3	2.7	0.15	0.10	
		Global	5.4	6.7	5.0	0.50	0.60	
Industry (see also 7.5)	Electricity savings	OECD	0.30		0.07		0.07	0.15
		EIT	0.08		0.02		0.02	0.040
		Non-OECD/EIT	0.45		0.10		0.10	0.25
	Other savings, including non-CO ₂ GHG	OECD	0.35	0.90	0.30		0.25	0.05
		EIT	0.20	0.45	0.08		0.25	0.02
		Non-OECD/EIT	1.2	3.3	0.50		1.7	0.08
Total	OECD	0.60	1.2	0.35		0.35	0.20	
EIT	0.25	0.55	0.10		0.25	0.06		
Non-OECD/EIT	1.6	3.8	0.60		1.8	0.30		
Global	2.5	5.5	1.1		2.4	0.55		
Agriculture (see also 8.4)	All options	OECD	0.45	1.3	0.30		0.20	0.30
		EIT	0.25	0.65	0.15		0.10	0.15
		Non-OECD/EIT	1.6	4.5	1.1		0.75	1.2
		Global	2.3	6.4	1.6		1.1	1.7
Forestry (see also 9.4)	All options	OECD	0.40	1.0	0.01	0.25	0.30	0.25
		EIT	0.09	0.20	0	0.05	0.05	0.05
		Non-OECD/EIT	0.75	3.0	0.15	0.90	0.55	0.35
		Global	1.3	4.2	0.15	1.1	0.90	0.65
Waste (see also 10.4)	All options	OECD	0.10	0.20	0.10	0.06	0.00	0.00
		EIT	0.10	0.10	0.05	0.05	0.00	0.00
		Non-OECD/EIT	0.20	0.70	0.25	0.07	0.10	0.04
		Global	0.40	1.0	0.40	0.18	0.10	0.04
All sectors ⁱ⁾	All options	OECD	4.9	7.4	2.2	2.1	1.3	1.1
		EIT	1.8	2.8	0.55	0.65	0.50	1.0
		Non-OECD/EIT	8.3	16.8	3.3	3.6	4.1	2.4
		Global	15.8	31.1	6.1	7.4	6.0	4.5

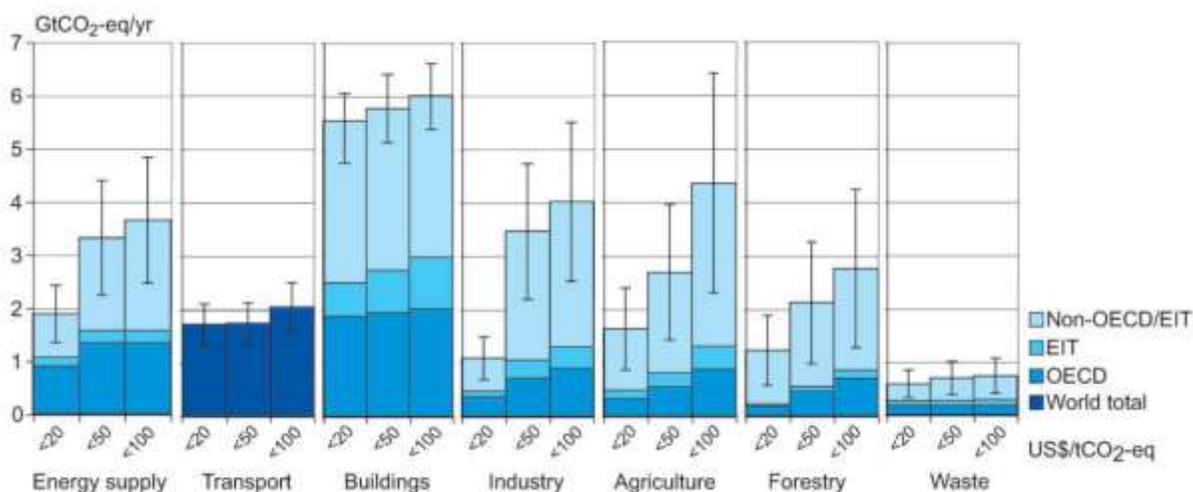
Notes:

- a) Several reduction options are not included due to limited literature sources. This underestimation could be about 10–15%; see below.
- b) For transport, the regional data by cost category do not add up to the global potential; regional (cost) distribution is available for LDV only. Due to the lack of international agreement about the regional allocation of aviation emissions, only global cost distributions are available for aviation. A lack of data means that only global figures are presented for biofuels, and not cost distribution.
- c) The ranges indicated by the potential are derived differently for each chapter. See underlying chapters for more information.
- d) The economic potential figures per cost category are mid-range numbers.
- e) The mitigation potential for the use of biomass is allocated to the transport and power sector. See the discussion on biomass energy in 11.3.1.4.
- f) For the buildings sector the literature mainly focuses on low-cost mitigation options, and the potential in high-cost categories may be underestimated. The zero may represent an underestimation of the emissions.
- g) The '0' means zero, 0.00 means a value below 5 Mton.
- h) The electricity savings in the end-use sectors Buildings and Industry are the high estimates. The electricity savings would be significantly lower if the order of measurement were to be reversed; the substitution potential in the energy sector would have been assessed before electricity savings (see Appendix 11.1).
- i) The tourism sector is included in the buildings and the transport sector.

Tabla N° 1.- Potencial Estimado para la mitigación de los GEI a nivel sectorial en 2030, por categorías y costos. Fuente: IPCC, 2007.

Entre otros aspectos, el estudio precisa que por concepto de ahorro energético en edificaciones, solo los países en vías de desarrollo tendrían un potencial de reducir 2,1 millones de toneladas de CO_2 sin costo para el año 2030, lo que representa casi el doble del potencial combinado de los países miembros OECD y los países con economías en transición (EIT). Así como un 42% del potencial total de ahorro de todo el sector.

Asimismo, incluyendo todo el ciclo de vida de la edificaciones en el estudio, éstas pudiesen ser responsables de disminuir para el año 2030, 5 millones de toneladas de CO_2 sin costo, con un adicional de 0,5 y 0,6 millones de toneladas de CO_2 a un costo menor de 20 y 100 US \$ / tonelada equivalente de CO_2 , respectivamente (Figura N° 8). Vale acotar que entre todos los sectores económicos evaluados, más del 80% de las posibilidades de reducciones alcanzables sin costo corresponden al sector de las edificaciones.



Note: The mitigation potentials under each cost category are cumulative.

Figura N° 8.- Potencial de reducción de emisiones de CO_2 en diferentes sectores para el año 2030 en función del costo asignado a las medidas de reducción (EE.UU. \$ / tonelada de CO_2 equivalente). Fuente: Metz, et al., 2007.

Ahora bien, al ser muchos los factores que interviene en el consumo energético de las edificaciones a lo largo de su ciclo de vida, se hace fundamental acotar las etapas más representativas, para así poder obtener una comprensión detallada del problema, a la vez de plantear soluciones más objetivas.

Según Jone (1998) a lo largo del ciclo de vida de las edificaciones se pueden identificar cinco fases fundamentales que permiten realizar una estimación más particularizada del consumo de energía en un edificio. La primera corresponde a la fabricación de materiales y componentes, y se denomina energía incorporada. Las segunda y tercera fases corresponden a la energía utilizada para el transporte de materiales desde las plantas de producción al lugar de construcción, junto a la energía utilizada en la propia construcción del edificio, conocidas como energía gris y energía inducida respectivamente. En cuarto lugar se encuentra la energía que se consume en la fase de funcionamiento del edificio (por lo general estimado en 60 años, aunque esta cifra varía de un país a otro). Y finalmente, la energía que se consume en los procesos de demolición y/o reciclaje cuando esto sea posible; Obteniendo finalmente un comportamiento como el que se representa en el gráfico de la Figura N° 9.

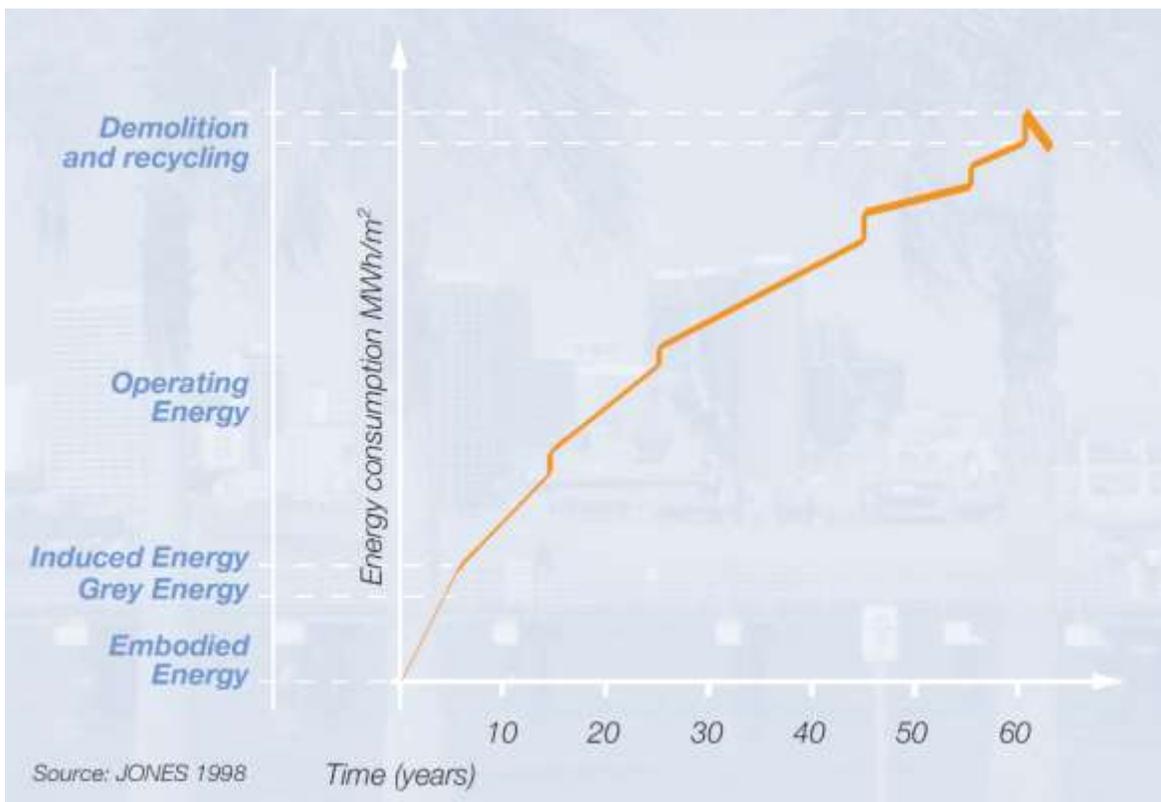


Figura N° 9.- Energía consumida en el ciclo de vida de un edificio, con un estimado de 60 años. Fuente: Jone, 1998.

Otros estudios e iniciativas también han utilizado las evaluaciones del ciclo de vida para medir los impactos del consumo de energía en los diferentes tipos de construcción de una manera cuantitativa. En el libro “Building and climate change” publicado por las naciones unidas en 2007, se compilaron tres experiencias en este sentido, logrando unificar los resultados de cada estudio en un gráfico comparativo de gran interés (Figura N° 10). Dichos estudios responden a: (Junnila, 2004), quien utiliza el método de valoración del ciclo de vida (LCA) para estudiar el impacto ambiental de cuatro edificios de oficinas (Uno en EEUU y tres en Finlandia). Otro de científicos japoneses con valores similares (Suzuki et al. 1998), y finalmente una investigación realizada en Suecia (Adalberth et al. 2001) centrada solo en edificios residenciales.

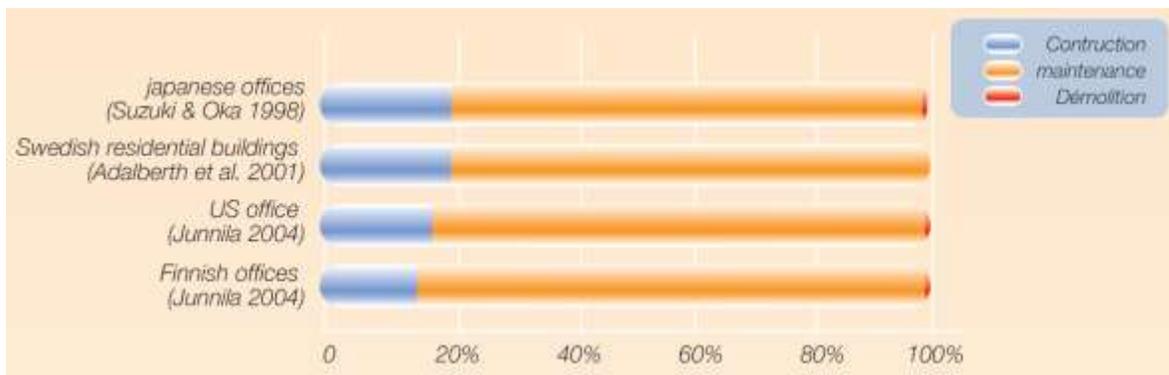


Figura N° 10.- Consumo de energía por fase del ciclo de vida en algunos edificios residenciales y comerciales. Fuente: PNUD, 2007.

En definitiva, como se puede observar tanto en la Figura N° 9 como en la Figura N° 10, el mayor consumo de energía en una edificación ocurre durante su funcionamiento. Sin embargo, el patrón de uso final de la energía en un edificio, se verá condicionado a distintos factores como el tipo de uso, la zona climática donde se ubica, el nivel de desarrollo económico de la región, los aspectos culturales y religiosos, etc.

En este sentido, un estudio realizado por (PNUD, 2007), que busca demostrar el uso final de la energía en edificios residenciales y comerciales en distintos países, concluyó que el mayor consumo registrado en casi la totalidad de los países

consultados corresponde a la climatización de los espacios construidos (calefacción, ventilación y aire acondicionado o (HVAC) por sus siglas en inglés) (Figura N° 11).

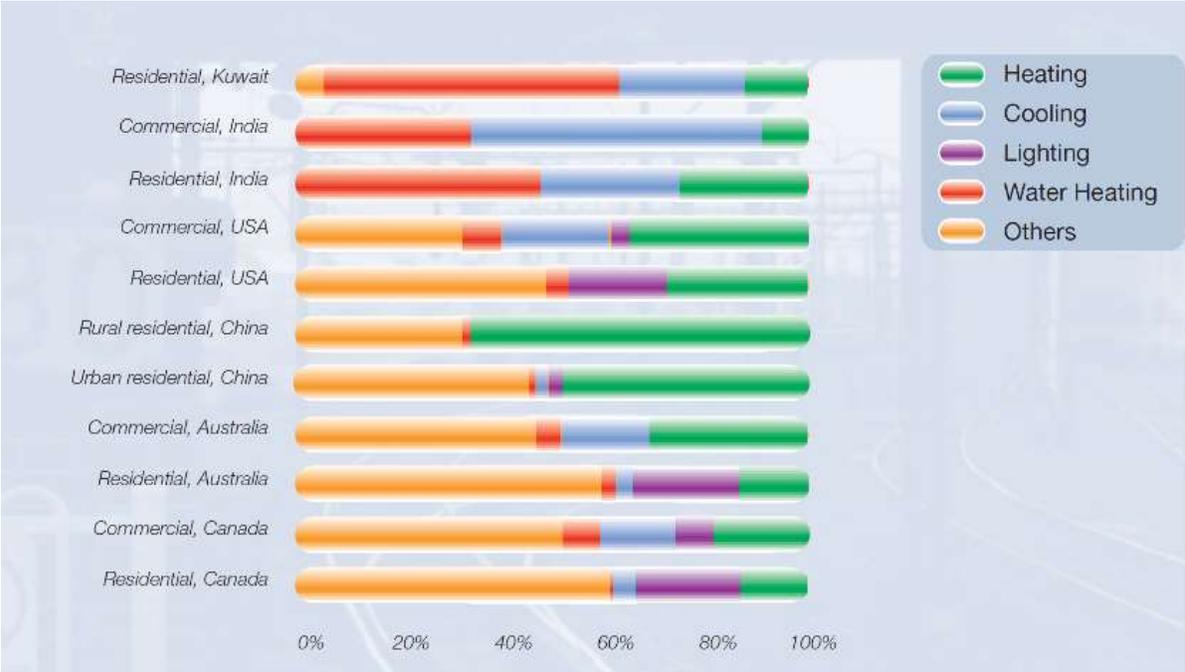


Figura N° 11.- Diferentes usos finales de la energía en los edificios residenciales y comerciales de algunos países. Fuente: PNUD, 2007.

El IEA por su parte, en su informe “World Energy Outlook 2013” (IEA, 2013) presenta una gráfica con los usos finales de la energía más representativos para edificaciones residenciales y comerciales con datos del año 2010, ubicándose igualmente la climatización como el rubro de mayor peso con un 34% y 40% respectivamente (Figura N° 12).

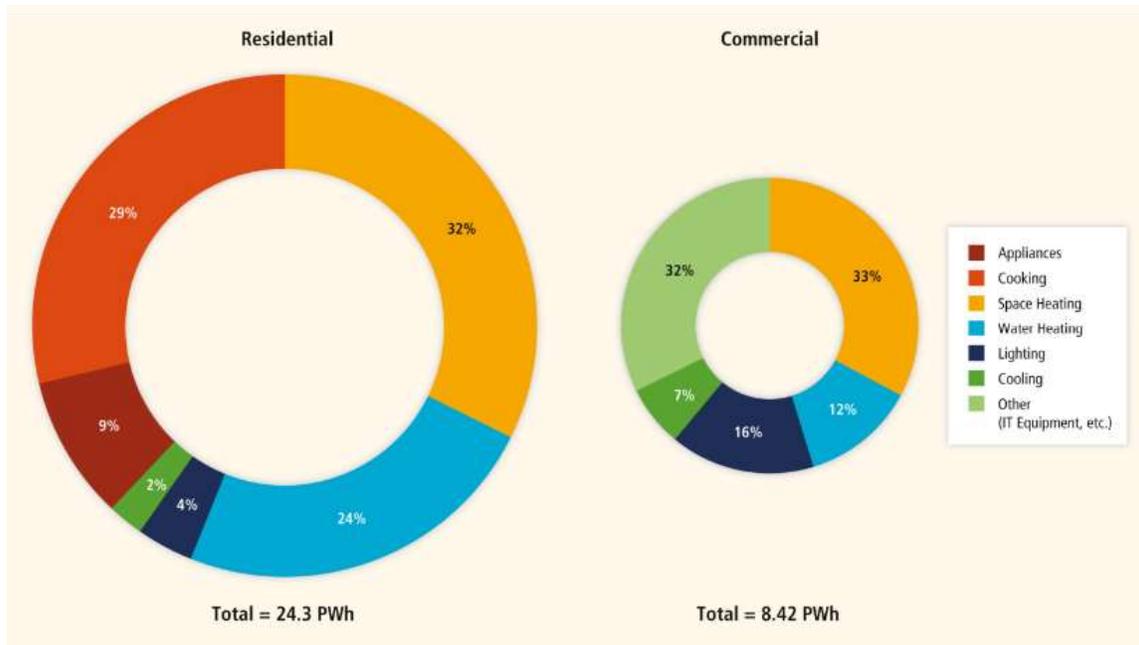


Figura N° 12.- Consumo por uso final de energía en edificaciones residenciales y comerciales a nivel mundial. Fuente: IEA, 2013.

Del mismo modo, en una investigación desarrollada por Pérez et al (2008), luego de la evaluación de los usos finales de la energía en edificios residenciales de España, EEUU, El Reino Unido y Europa en su conjunto, observa que la climatización ha desplazado aquellos usos que tradicionalmente eran mayores como la iluminación y el agua caliente (Tabla N° 2).

Energy consumption by end uses in the residential sector

End uses in the residential sector (%)	Spain	UE	USA	UK
Space conditioning	42	68	53	62
Domestic hot water (DHW)	26	14	17	22
Lighting and appliances	32	18	30	16

Tabla N° 2.- Consumo de energía por usos finales en el sector residencial. Fuente: Pérez et al., 2008

Lo mismo ocurre en edificios no residenciales, donde a pesar de su variedad de usos, la climatización obtiene el mayor peso en todas las tipologías arquitectónicas estudiadas (Pérez et al, 2008), (Figura N° 13).

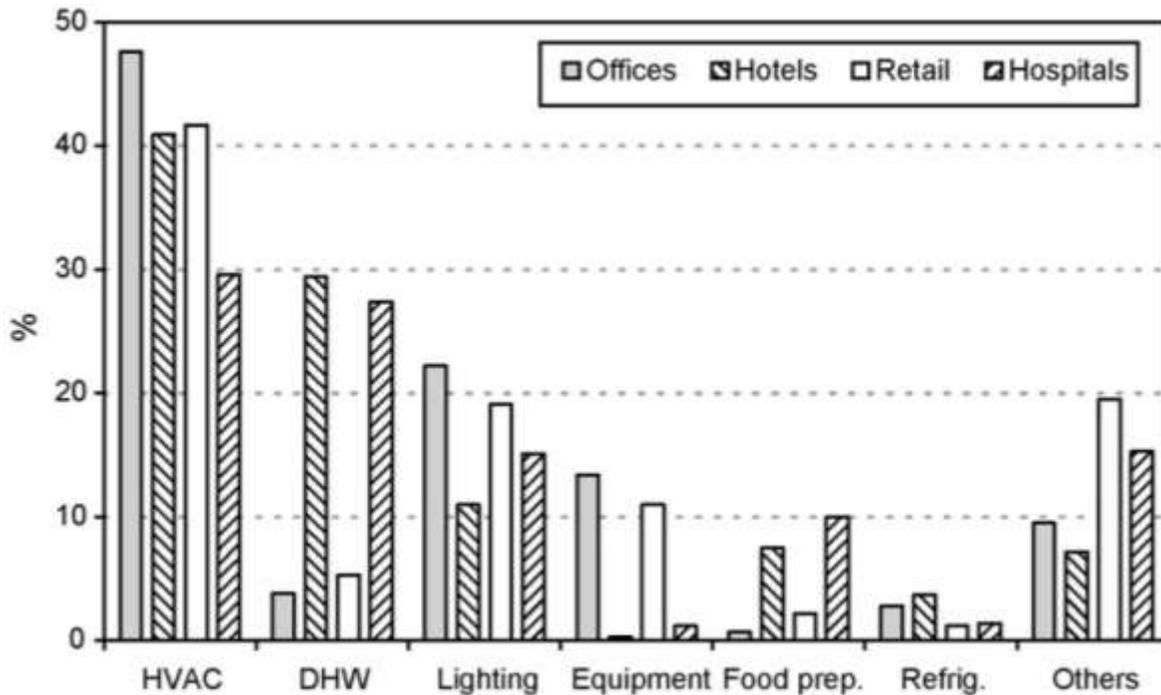


Figura N° 13.- Consumo final de energía en diferentes tipologías de edificios no residenciales. Fuente: Pérez et al., 2008

Sin embargo, a pesar de los estudios anteriores, la obtención de datos precisos respecto a la climatización de las edificaciones y sus implicaciones en la matriz energética nacional, regional o mundial son escasos, lo que dificulta ampliamente su planificación y actuación en pro de mitigar sus impactos. En todo caso, Pérez et al, (2008) sugiere que en las naciones desarrolladas la climatización representa la mitad de la energía consumida por los edificios, y entre la quinta y décima parte de la energía total. Además, en el informe “Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners” (Adnot et al, 2003) se estima un marcado crecimiento del consumo y la superficie climatizada, que para el caso de la Unión Europea pudiese representar un aumento del 50% en 15 años.

Respecto al crecimiento de la demanda mundial por concepto de climatización en las edificaciones, y la necesidad de predecir cuál va a ser su comportamiento futuro, Sivak, (2013) llevó a cabo un análisis en 170 países tomando en consideración su tipo de clima y población, para así estimar a través del índice de enfriamiento

grados-día, cuál sería la demanda de energía por aire acondicionado en cada país estudiado si éstos siguieran los patrones de consumo de los EEUU.

En una primera instancia los resultados arrojaron que de los 25 países con mayor requerimiento de enfriamiento, 14 de ellos se encuentran en Asia, 7 en África, 2 en Norte América y 2 en Sur América, mientras que 22 de ellos son países en vías de desarrollo.

Asimismo, se observó que 5 países pudiesen superar moderadamente el consumo actual de los EEUU por concepto de enfriamiento de edificaciones, mientras que la India, China e Indonesia podrían superarlo en una proporción de 14, 5,2, y 3,1 veces respectivamente (Figura N° 22).

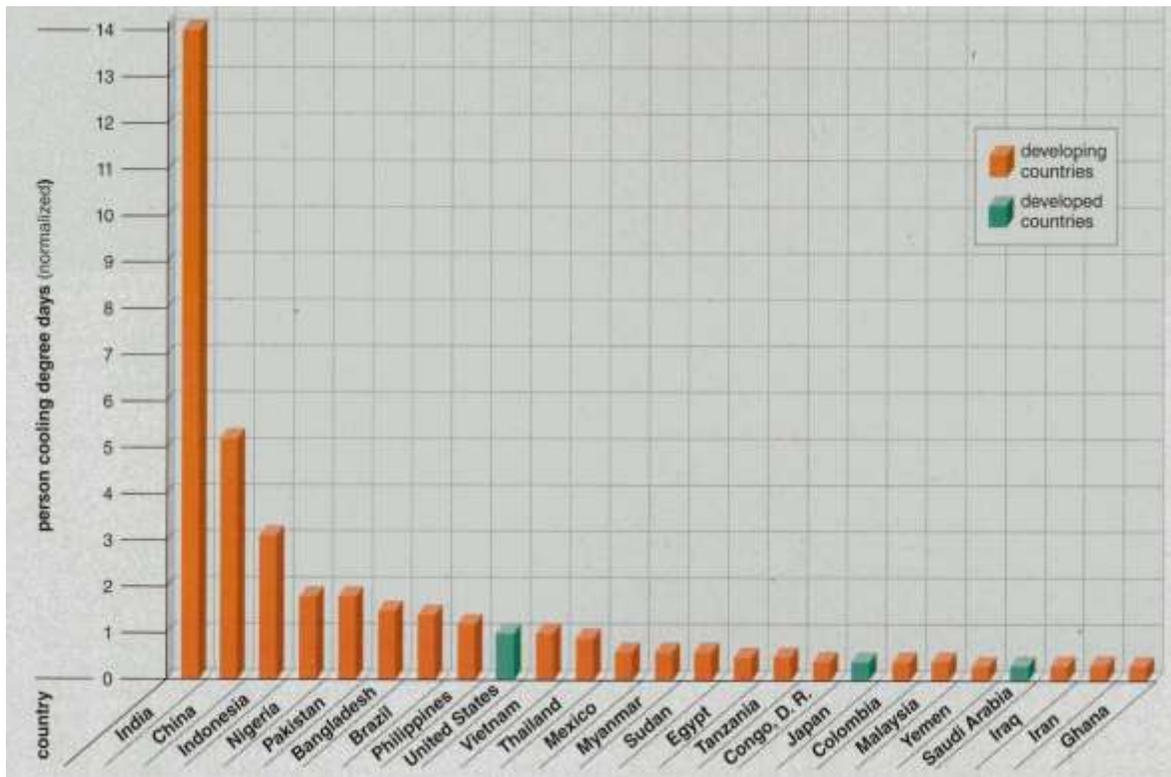


Figura N° 14.- Potencial de demanda de energía por índice de enfriamiento grados-día, por país. Fuente: Sivak, 2013.

El estudio finaliza acotando que se espera que los países en desarrollo, que además se encuentran en su mayoría en climas cálidos, accedan cada vez más al uso de equipos de aire acondicionado en respuesta al aumento generalizado de la calidad

de vida, lo que ocasionará un indiscutible aumento en la demanda por climatización a nivel mundial. Destaca igualmente el caso de la India y China, quienes en conjunto podrían superar 20 veces el consumo actual de EEUU por concepto de enfriamiento, siendo éste el mayor consumidor en la actualidad. Sin embargo, si se consideran los 169 países estudiados exceptuando a los EEUU, la demanda de energía sería 45 veces mayor a la de EEUU hoy día.

Al mismo tiempo, se espera que el cambio climático propicie el aumento en la demanda de energía por concepto de enfriamiento de edificaciones, mientras Nigel (2011) afirma que para el año 2100, solo por efecto del calentamiento global se prevé un aumento en la demanda por climatización en 72%.

En todo caso, la evidencia científica demuestra la necesidad presente y futura de profundizar en el área de la climatización de edificaciones como elemento fundamental en la disminución del consumo energético, con miras en el logro de una arquitectura sostenible. Motivo por el cual, el Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC) adscrito a la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU) de la UCV, desarrolla desde hace más de dos décadas una línea de investigación orientada al análisis y cumplimiento de los requerimientos de habitabilidad de las edificaciones, en especial a través del diseño de la envolvente y el desarrollo de procedimientos y técnicas de climatización denominadas pasivas por su bajo consumo energético y reducido impacto ambiental, destinadas éstas, a ser incorporadas de manera integral al diseño y construcción de edificaciones adaptadas al clima venezolano, sin comprometer las condiciones de confort de los usuarios, y con base en la sostenibilidad del medio construido.

En este sentido, los artículos presentados a continuación se inscriben en dicho contexto, a la vez que sirven como muestra sintetizada de los avances más significativos, que dentro esta línea de investigación, se han logrado desde el último ascenso en el escalafón universitario, realizado el 15 de Octubre de 2012.

El trabajo está conformado por cuatro (4) artículos realizados de manera colectiva desde el 15 de Octubre de 2012, fecha cuando presenté el último ascenso. Todos los textos fueron sometidos a un proceso de arbitraje por pares antes de su publicación. El primero (1) fue realizado en conjunto con el Arq. Reinaldo Ferraro, y fue presentado como ponencia en la Trienal de Investigación FAU 2014, y publicado in extenso en las memorias del evento. El segundo (2) fue realizado en conjunto con la Arq. Andys piñate y el profesor Ing. Luis Rosales y aceptado para su publicación en la revista Tecnología y Construcción del IDEC. El tercero (3) fue realizado con la Arq. Verónica Prado y publicado in extenso en las memorias de la Trienal de Investigación FAU 2014, al igual que el cuarto (4) el cual fue realizado junto a las profesoras Arq. Maryruth Jiménez y Arq. María Elena Hobaica.

Es importante destacar que el orden de presentación de los artículos no corresponde exactamente con sus fechas de publicación, ya que las mismas dependieron de factores externos no controlados por los autores, por lo tanto, se decidió organizarlos según su contenido y pertinencia dentro de la estructura conceptual de las investigaciones que los sustentan.

En cuanto a su contenido, el primer (1) artículo corresponde al desarrollo de un prototipo experimental de conductos enterrados en la ciudad de Maracay, Edo. Aragua, y se ubica como la segunda experiencia de este sistema en el país, luego de que en el año 2007, en ocasión de mi tesis de especialización, se construyera el primer prototipo en la planta experimental del IDEC en el Laurel, donde predomina un clima moderado – húmedo, demostrando, entre otras cosas, el potencial de enfriamiento del sistema en dicha zona climática.

El objetivo de esta nueva experimentación surge de la necesidad de evaluar su comportamiento en un clima menos favorable (cálido a caliente húmedo), obteniendo no solo su capacidad de enfriamiento, sino su factibilidad en el logro del confort térmico humano en esta región del país. Entre las conclusiones destaca que el sistema es capaz de reducir la temperatura del aire exterior hasta en 6 °C, sin

embargo, su potencial de uso se limita solo a la posibilidad de vencer los picos diarios que registra la temperatura del aire exterior, los cuales se presentan generalmente a partir de media mañana y hasta el final de la tarde, ya que una vez la temperatura del aire obtenida por el sistema de conductos enterrados es mayor a la temperatura exterior, es innecesario su uso.

El segundo (2) artículo presenta los resultados experimentales de un sistema de enfriamiento radiante por techo estanque, construido dentro del contexto climático de la ciudad de Caracas. El estudio parte de la necesidad de verificar si este sistema puede reducir la temperatura del aire en espacios con cargas térmicas internas, y en qué medida, por lo que se construyeron dos prototipos (experimental y control), ambos con aislamiento térmico diurno en techo, iguales condiciones climáticas y mismas cargas térmicas internas, cambiando solo el tipo de techo utilizado, siendo para el modulo experimental un techo estanque con agua y el de control un techo de concreto reforzado. Como parte de los resultados se realiza un análisis del comportamiento que obtuvieron ambos prototipos durante las mediciones, a la vez que se calculan los grado hora de malestar térmico en cada caso, demostrando un comportamiento satisfactorio del sistema de techo estanque, al lograr temperaturas de globo menores a las registradas en el módulo de control, con diferencias de hasta 4 °C en horas diurnas.

En el tercer (3) artículo, partiendo del entendido de que no todas las edificaciones pueden prescindir del uso de equipos de aire acondicionado, bien sea por su uso, diseño o ubicación, se presenta un estudio cuyo objetivo fue el de cuantificar el potencial real que poseen las protecciones solares en el trópico, como estrategia para la disminución de las cargas térmicas en los edificios y por consiguiente el consumo energético asociado a su climatización. En este sentido, a través de un edificio de oficinas ubicado en la ciudad de Caracas y utilizando el software de simulación ECOTECH, se diseña y analiza el comportamiento de un sistema de protecciones solares en fachadas acristaladas, con el fin de obtener, en ordenes de magnitud, la reducción promedio anual de la incidencia solar en fachadas (Wh/m^2), sin comprometer los niveles de iluminación en los espacios interiores.

Finalmente, el cuarto (4) artículo presentado comienza con la descripción de todo el basamento teórico que sustenta el funcionamiento de los distintos sistemas de climatización pasivos que se estiman evaluar a nivel experimental, a la vez que se indica los niveles de desarrollo alcanzado con cada tecnología hasta el momento de la publicación. Se concluye el artículo con una síntesis que engloba todas las consideraciones tomadas en cuenta a efectos de la difusión y transferencia de los resultados finales de las investigaciones, como eje estructurante y fundamental de las mismas, considerando las nuevas tecnologías de información y documentación (NTIc) como herramientas de apoyo fundamentales.

Vale acotar que los tres primeros artículos descritos anteriormente, además de estar inscritos en la línea de investigación que adelanta el IDEC respecto al ahorro y eficiencia energética en edificaciones, y ser parte de las investigaciones referenciadas al inicio del trabajo, han servido individualmente como insumo en las tesis de grado de cada uno de los profesionales que participaron en la elaboración de los artículos, y que hasta la fecha, aún se encuentran en desarrollo.

En todos los artículos es clara la intención de buscar alternativas que permitan la disminución del consumo energético asociado a la climatización de edificaciones dentro del contexto climático venezolano, sin embargo, destaca el hecho de que a pesar que mucho de los principios desarrollados deberían ser considerados como fundamentales en la práctica profesional, en su mayoría se desconocen, al igual que la existencia de estrategias y tecnologías que pudieran convertirse en alternativas factibles frente a muchos de los problemas comunes que enfrentan los arquitectos respecto a la climatización de edificaciones en países tropicales como el nuestro.

Por lo tanto, se hace fundamental comprender que el desarrollo tecnológico de la construcción, si bien es fundamental, debe ir acompañado de un proceso que permita la transferencia del conocimiento generado, por lo que se espera se entienda la necesidad lograr la transferencia tecnológica más allá de las universidades, incorporando a las empresas y comunidades como actores fundamentales.

A continuación se presentan los artículos in extenso según lo descrito.

ARTICULO N° 1: EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA PASIVO DE CLIMATIZACIÓN POR CONDUCTOS ENTERRADOS EN MARACAY, EDO. ARAGUA.



Caracas, 12 de Mayo de 2015.

A QUIEN PUEDA INTERESAR

Yo, **REINALDO RAFAEL FERRARO**, Arquitecto, estudiante del Postgrado en Desarrollo Tecnológico de la Construcción, hago constar que el profesor **ERNESTO LORENZO ROMERO**, es cuautor del artículo titulado: *"Evaluación del comportamiento de un sistema pasivo de climatización por conductos enterrados en Maracay, Edo. Aragua"*, el cual fue arbitrado y publicado in-extenso en las memorias de la Trienal de Investigación de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UCV en julio de 2014. Por lo tanto, en mi condición de autor principal lo **AUTORIZO** para que pueda utilizarlo como credencial para el ascenso en el escalafón universitario.

El citado artículo, es uno de los productos asociados al proyecto de investigación de grupo titulado "Confort térmico en viviendas urbanas ubicadas en climas cálido-húmedo, mediante la aplicación de sistemas pasivos de climatización de bajo consumo energético en el marco de la gran misión vivienda Venezuela", financiado por el FONACIT, cuyo investigador responsable es el profesor **ERNESTO LORENZO ROMERO**.

En Caracas, a los 12 días del mes de Mayo de 2015.


Arq. Reinaldo Rafael Ferraro
C.I: 18.176.337

ÁREAS TEMÁTICAS

AMBIENTE Y SOSTENIBILIDAD
CIUDAD Y SOCIEDAD
HISTORIA Y PATRIMONIO
TECNOLOGÍA CONSTRUCTIVA
INFORMÁTICA Y REPRESENTACIÓN GRÁFICA
TEORÍA Y PROYECCIÓN ARQUITECTÓNICA

TRIENAL DE INVESTIGACIÓN FAU 2014

DEL 30 DE JUNIO AL 4 DE JULIO DE 2014

IV JORNADAS DE INVESTIGACIÓN
DE LA ESCUELA DE ARQUITECTURA
CARLOS RAÚL VILLANUEVA

XXXII JORNADAS DE INVESTIGACIÓN
DEL INSTITUTO DE DESARROLLO
EXPERIMENTAL DE LA CONSTRUCCIÓN

JORNADAS DE
INVESTIGACIÓN DEL
INSTITUTO DE URBANISMO

MEMORIAS

Dirección General: Tel: +58(0201)47201820
ISBN: 978-990-00-2780-6
R.F.F.: 6-200000627



FAU
UCV

<http://trienal.fau.ucv.ve>

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA PASIVO
DE CLIMATIZACIÓN POR CONDUCTOS ENTERRADOS EN MARACAY,
ESTADO ARAGUA**

Reinaldo Rafael Ferraro

VI Especialización en Desarrollo Tecnológico
de la Construcción, IDEC-FAU-UCV
reinaldoferraro346@gmail.com

Ernesto Lorenzo Romero

Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción,
Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela
ernestolorenzor@gmail.com

RESUMEN

El trabajo presenta el diseño, construcción y puesta en funcionamiento de un prototipo del sistema de climatización pasiva por conductos enterrados en la ciudad de Maracay, estado Aragua, donde prevalece un clima cálido-húmedo durante todo el año, con el fin de realizar la evaluación de su comportamiento, a la vez de estimar su efectividad en el logro del confort térmico humano en dicha región del país. Esta técnica de climatización consiste en hacer circular un determinado caudal de aire proveniente del exterior a través de tuberías enterradas, para que se estimule un intercambio de calor con la tierra, y finalmente ingresarlo en un espacio construido, a una menor temperatura y un reducido gasto energético asociado. En este sentido, los resultados obtenidos no solo permitieron corroborar la efectividad de la técnica, sino que contribuyeron al desarrollo del basamento de una segunda etapa del trabajo, donde se prevé estimar el potencial real de enfriamiento del sistema de conductos enterrados frente a otros sistemas de climatización utilizados comúnmente para el logro de las condiciones térmicas requeridas en las edificaciones ubicadas en clima cálido húmedo.

Palabras clave: arquitectura sostenible, ahorro energético, climatización pasiva, confort térmico.

179

INTRODUCCIÓN

El desarrollo sostenible es un paradigma que se ha ido difundiendo en el panorama internacional como modelo de desarrollo que caracteriza a la sociedad moderna. Para su implementación se requiere atender distintas aristas como la económica, social y ambiental, buscando un equilibrio entre el hombre y la naturaleza. En el campo de la producción de edificaciones es fundamental migrar progresivamente hacia el logro de la sostenibilidad, ya que al ser las edificaciones el eje fundamental de las actividades humanas, su impacto es significativo no solo respecto al consumo de recursos no renovables, sino en la economía y sociedad en general.

En este sentido, el tema energético adquiere especial importancia, ya que entre sus repercusiones destaca el enorme impacto ambiental a causa de la combustión de combustibles fósiles para la generación de energía, en especial la creciente concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera terrestre, que conlleva el calentamiento global, considerado como la principal amenaza del planeta en la actualidad (IPCC, 2007). Si se analiza la matriz del consumo energético de los países tropicales, la climatización artificial en edificaciones comerciales y de vivienda suelen representar cerca del 50% de su consumo total durante su vida útil (UNEP, 2008), mientras en Venezuela no se publican cifras oficiales al respecto, a pesar de que representantes de Corpoelec, de manera extraoficial, afirman que la climatización artificial en el país equivale al 75% del consumo total del sector residencial.

Con base en lo anterior, se pone de manifiesto la importancia en desarrollar instrumentos que promuevan la producción de edificaciones térmicamente confortables a través del uso de técnicas de acondicionamiento pasivo adecuadas al clima, difundiendo su grado de aplicación a los profesionales de la arquitectura y la construcción, así como a los usuarios.

180

En dicho sentido, el IDEC ha sido pionero en el desarrollo de una línea de investigación en el área de habitabilidad y eficiencia energética en edificaciones, obteniendo avances importantes, gracias, entre otros, a los trabajos realizados por Allard et al. (1998) y Hobaica et al. (2001), donde se evaluó el potencial teórico de tres sistemas de climatización pasiva (sistemas evaporativos, radiantes y de contacto por el suelo), concluyendo que el sistema con mayor potencial de aplicación dentro del país es el sistema de conductos enterrados, resultado que fue corroborado posteriormente por el trabajo realizado por (Lorenzo, 2007), donde se presenta la aplicación de esta, así como su evaluación en relación con la reducción del consumo energético en una edificación de uso industrial. Asimismo se desarrolló una metodología para el cálculo y dimensionado del sistema de conductos enterrados, junto a su experimental en una zona montañosa de clima moderado-húmedo (Lorenzo et al., 2008), hasta que finalmente se logra la validación del método de cálculo propuesto (Lorenzo, 2013).

Con base en todo lo anterior y con el fin de contribuir en el desarrollo de la línea de investigación del IDEC, se presenta el diseño, construcción y puesta en funcionamiento de un prototipo del sistema de climatización pasiva por conductos enterrados en unas condiciones climáticas más desfavorables a las evaluadas hasta el momento, tomando como caso de estudio la ciudad de Maracay, estado Aragua, con el fin de realizar la evaluación de su comportamiento, a la vez de estimar su efectividad en el logro del confort térmico humano en esta región del país.

CLIMATIZACIÓN PASIVA EN EDIFICACIONES

El acondicionamiento pasivo persigue mejorar el comportamiento térmico de las edificaciones, actuando sobre los fenómenos de radiación, térmicos y de movimientos del aire. Son denominados pasivos por el hecho de emplear poca o nula energía para su funcionamiento.

La condición esencial de los sistemas de enfriamiento pasivo es la disponibilidad de una fuente de enfriamiento que se encuentre a una temperatura inferior a la temperatura del ambiente a enfriar. Esta puede ser una temperatura real, como la del suelo, o una hipotética como la de la bóveda celeste, pero en ambos casos esta es la temperatura mínima que puede alcanzar el fluido portador de calor a la salida del sistema de refrescamiento. Por otra parte, los sistemas de enfriamiento pasivo pueden ser: sistemas directos, aquellos que actúan directamente sobre la masa de la edificación o sobre el aire interior, o sistemas indirectos, aquellos en los que se enfría en una primera fase un fluido vector que es luego transferido al interior de la edificación, siendo este último el principio que rige el sistema de refrescamiento pasivo por conductos enterrados.

Sistema pasivo de climatización por conductos enterrados

Los sistemas de refrescamiento pasivo por conductos enterrados consisten en hacer circular un determinado caudal de aire tomado del exterior de la edificación, con la intención de que al pasar a través de una serie de conductos, preferiblemente de elevada conductividad y enterrados a cierta profundidad (-2,00 m), se active el intercambio convectivo con la superficie interna de los conductos para, finalmente, ser introducido en el espacio a una temperatura que pudiese ser menor o mayor a la inicial, según sea el caso donde se aplique (figura 1).

181

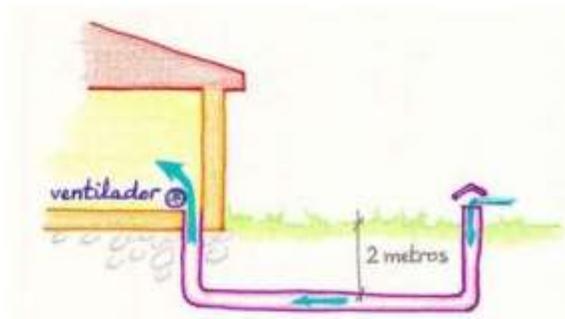


Figura 1. Esquema de funcionamiento del sistema de conductos enterrados
Fuente: Guías de estudio profesora María Dolores García, Galicia-España, 2008.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

El desarrollo del prototipo se llevó a cabo en los terrenos del Museo Nacional de Historia y de la Diversidad Cultural de Venezuela (en construcción), ubicado en la ciudad de Maracay, donde predomina durante la mayor parte del año un clima cálido húmedo.

Del 30 de junio al 4 de julio de 2014 • Trienal de Investigación •
Facultad de Arquitectura y Urbanismo • Universidad Central de Venezuela

Debido a que el sistema debe ser diseñado en función de las características propias del lugar donde será construido, el desarrollo del prototipo se estructuró en dos etapas. La primera consistió en la recopilación y documentación de las características propias del lugar, lo que propició un diseño adecuado en función de los datos obtenidos, mientras la segunda etapa comprendió la construcción del sistema y su puesta en marcha. Durante ambas etapas se emplearon distintos equipos de medición como *data logger* y sensores, de la corporación internacional Onset Computer Corporation a través de su marca registrada HOBOTM, los cuales son un aval en los resultados obtenidos.

Fase preliminar de levantamiento de información

Se realizaron las mediciones de la temperatura del suelo a dos metros de profundidad; en paralelo se registraron la temperatura y humedad del aire exterior para así verificar las diferencias existentes (figura 2). Los registros de las temperaturas llevados a cabo en esta primera etapa de la experimentación fueron realizados durante cinco días continuos y en el mes de octubre de 2013.



Figura 2. Proceso de excavación y colocación de los sensores para el registro de la temperatura del suelo.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3, las mediciones registraron una temperatura constante de 26,73 °C del suelo y una máxima del aire de 33,59 °C, estableciendo un diferencial significativo entre ambas temperaturas de 6,86 °C. Estos resultados positivos, por demás, evidenciaron que existe un potencial de aplicación importante en la zona evaluada, por lo cual se procedió a la construcción del prototipo.

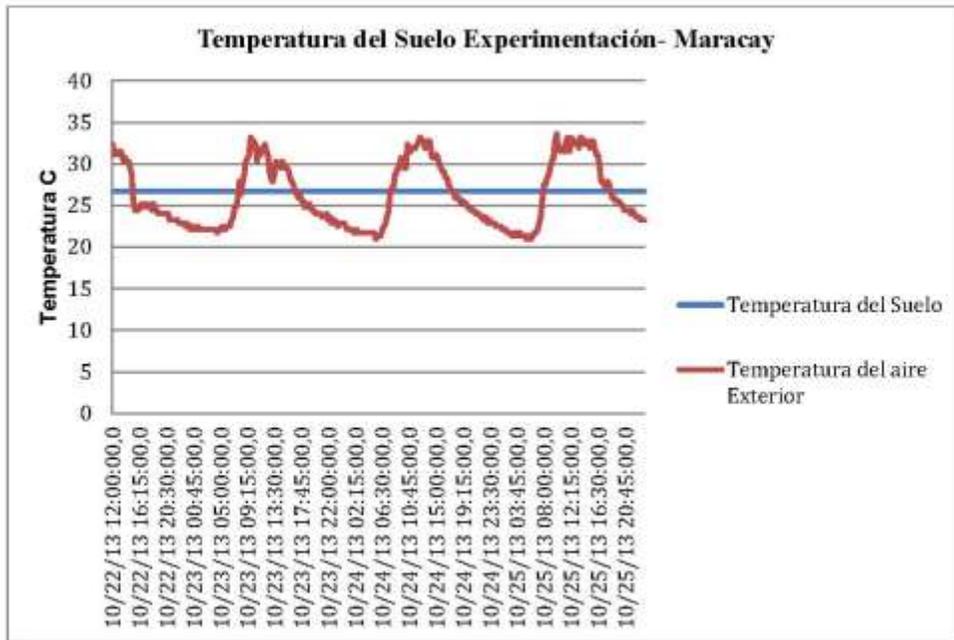


Figura 3. Resultado de las mediciones *in situ*.
Fuente: Elaboración propia.

Fase de construcción del prototipo

El proceso de construcción se llevó a cabo durante el mes de octubre de 2013, y el monitoreo y documentación del comportamiento del sistema se realizó durante cinco días consecutivos. En este periodo se realizó la excavación de una zanja de dos metros de profundidad para acceder a la temperatura deseada.

Una vez culminada la zanja se colocó un tramo de veintiséis tubos de PVC de 3", conformando un recorrido de 30 metros lineales. Posteriormente se cubrió por completo la zanja y se colocaron seis sensores que se encargarían de registrar cada 15 minutos la humedad y temperatura del aire dentro del tubo, las temperaturas del aire exterior, a la salida del suelo y del recorrido del sistema. Igualmente se colocó un sensor para registrar la temperatura del suelo (figura 4).



Figura 4. Realización de la zanja y colocación de los tubos.
Fuente: Elaboración propia.

184



Figura 5. Instalación del ventilador y medición del aire dentro del tubo.
Fuente: Elaboración propia.

Para garantizar un recorrido constante del aire dentro del sistema de tubos enterrados, se utilizó un ventilador de 7" de 1625 RPM, con una velocidad de 2,00 m/s (figura 5).

Del 30 de junio al 4 de julio de 2014 • Trienal de Investigación •
Facultad de Arquitectura y Urbanismo • Universidad Central de Venezuela

Interpretación de resultados

Para el momento en el que se registró la mayor temperatura del aire exterior, se obtuvo un diferencial de 6,07 °C, el cual tuvo lugar cuando la temperatura del aire exterior alcanzó 33,59°C, mientras que la del aire a la salida del sistema fue de 27,52 °C (figura 6).

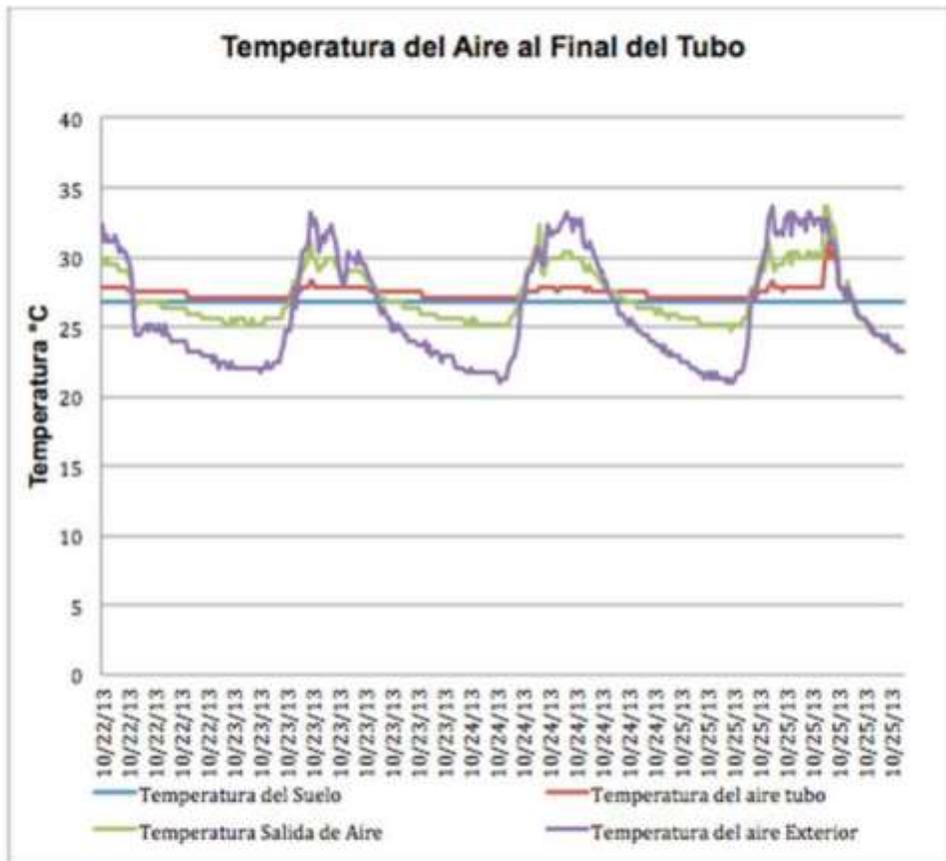


Figura 6. Temperaturas registradas durante la experimentación dentro y fuera del tubo.
Fuente: Elaboración propia.

Con base en la estimación de la capacidad de enfriamiento del sistema, frente a las temperaturas de aire exterior registradas, se observó que para optimizar su uso es necesario establecer un rango de funcionamiento que permita el máximo aprovechamiento. Por lo tanto, se debe tomar como premisa el encendido y apagado del sistema en el momento en el cual la temperatura del aire exterior supera a la obtenida por el sistema.

En este sentido, y con base en los datos obtenidos en la experimentación, el sistema sería eficiente a partir de las 8:15 am, ya que la temperatura del aire exterior es superior a la del sistema, hasta las 4:30 pm, momento en el cual la temperatura del aire exterior es inferior a la del sistema de tubos enterrados (figura 7).



Figura 7. Temperaturas registradas durante la experimentación dentro y fuera del tubo
Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Los resultados de las mediciones permitieron evaluar detalladamente el comportamiento real de este sistema en clima cálido húmedo, arrojando las siguientes conclusiones.

1. Hasta los dos metros de profundidad, las lecturas recabadas han sido completamente estables a lo largo de la experimentación, que permite inferir que pasados los dos metros de profundidad la temperatura local es estable y constante, lo cual coincide con los datos de la literatura existente.
2. Para un recorrido de 30 m lineales se registró una temperatura del aire a la salida del sistema de 27,52 °C, mientras la temperatura del suelo fue de 26,73 °C, por lo tanto, se puede establecer

que para diámetros de tubo cercanos a las 3" se considera innecesario aumentar la longitud, ya que la disminución de la temperatura sería despreciable y no justificable, en comparación con los gastos que esto conllevaría al proyecto.

3. Para zonas con clima cálido húmedo como el del estado Aragua, se aconseja cubrir la superficie exterior a lo largo de donde se encuentran los tubos, con vegetación de poca altura o cantos rodados, con un sistema de irrigación con agua, para mantener el suelo con una elevada humedad. La vegetación y las piedras evitan el paso de la radiación solar y a la vez permite la evaporación del agua en la superficie debido a los intersticios entre las rocas, disminuyendo así la temperatura de suelo.

4. A la hora de poner en práctica estos sistemas, se aconseja el empleo de ramales de conductos cuyas juntas sean continuas o unidas con soldadura por termofusión, para prevenir el ingreso por fisuras del gas radón, el cual se encuentra en algunos tipos de suelo, y puede llegar a causar cáncer de pulmón si se expone al cuerpo humano por largos períodos de tiempo.

La aplicación de esta tecnología respecto al uso de los equipos de aire acondicionado tradicionales, se percibe como una alternativa de gran interés, ya que se puede afirmar que utiliza al menos diez (10) veces menos energía que los equipos tradicionales, no altera las propiedades del aire, permite la renovación periódica del aire en un espacio, y estimula los proceso de enfriamiento por convección a través de un flujo permanente de aire, mejorando las condiciones de confort. Asimismo, esta técnica de climatización presenta otras ventajas adicionales como son su simplicidad, flexibilidad y capacidad para ser combinada con otros sistemas e integrada a un diseño racional de la envolvente de la edificación.

Finalmente, los resultados obtenidos demuestran que con la aplicación de este sistema en climas cálido húmedo como el de la ciudad de Maracay, se pueden alcanzar los rangos de confort térmico humano, sin la necesidad de utilizar equipos activos de climatización, por lo que esta técnica se convierte en una alternativa factible desde el punto de vista ambiental, económico y social.

REFERENCIAS

- Allard, F. y Belarbi, R. (1998). Metodología de evaluación de técnicas pasivas de enfriamiento. *Cotedi'98*, Caracas, Venezuela.
- Hobaica, M.E., Belarbi, R. y Rosales, L. (2001). Los sistemas pasivos de refrescamiento de edificaciones en clima tropical húmedo. *Tecnología y Construcción*, 17-1, Caracas-Venezuela, IDEC/UCV.
- IPCC. (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Ginebra, Suiza.

- Lorenzo, E. (2007). Climatización pasiva por conductos enterrados. Caso de aplicación: Almacenes L&G para bebidas alcohólicas y gaseosas. Tesis de especialización no publicada. Caracas, Venezuela.
- Lorenzo, E. (2013). Desarrollo y validación teórico-experimental de metodología y herramienta computarizada, para evaluación, cálculo y/o dimensionado de sistemas de conductos enterrados en el trópico. Trabajo de ascenso. Caracas, Venezuela.
- Lorenzo, E., Hobaica, M. y Conti, A. (2008). Desarrollo experimental de un prototipo del sistema de tubos enterrados. *Tecnología y Construcción*, vol. 24, n° 1, Caracas, Venezuela.
- UNEP. (2008). *Annual Report 2008*. London, United Nations Environment Program Earthprint.

ARTÍCULO N° 2: ESTUDIO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA PASIVO DE ENFRIAMIENTO RADIANTE POR TECHO ESTANQUE.

Caracas, 8 de Mayo de 2015.

A QUIEN PUEDA INTERESAR

Yo, **ANDYS PIÑATE PAYARES**, Arquitecto, estudiante del Postgrado en Desarrollo Tecnológico de la Construcción, hago constar que el profesor **ERNESTO LORENZO ROMERO**, es coautor del artículo titulado: "Estudio Experimental de un Sistema Pasivo de Enfriamiento por Techo Estanque", aceptado para su publicación en la revista Tecnología y Construcción del IDEC. Asimismo, en mi condición de autor principal lo **AUTORIZO** para que pueda utilizarlo como credencial para el ascenso en el escalafón universitario.

El citado artículo, es uno de los productos asociados al proyecto de investigación de grupo titulado "Confort térmico en viviendas urbanas ubicadas en climas cálido-húmedo, mediante la aplicación de sistemas pasivos de climatización de bajo consumo energético en el marco de la gran misión vivienda Venezuela", financiado por el FONACIT, cuyo investigador responsable es el profesor **ERNESTO LORENZO ROMERO**.

En Caracas, a los 8 días del mes de Mayo de 2015.



Arq. Andys Piñate Payares
C.I. 16.083.081

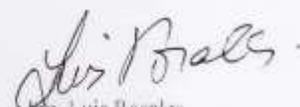
Caracas, 18 de Mayo de 2015.

A QUIEN PUEDA INTERESAR

Quien suscribe, Prof. **LUIS ROSALES**, en cumplimiento del artículo 82 del Reglamento del Personal Docente y de Investigación de la UCV, hago constar que el Prof. **ERNESTO LORENZO ROMERO** es el coautor del artículo titulado: "*Estudio Experimental de un Sistema Pasivo de Enfriamiento por Techo Estanque*", aceptado para su publicación en la revista Tecnología y Construcción del IDEC.

Asimismo, en mi carácter de coautor, declaro mi aprobación para que dicho artículo pueda ser utilizado como credencial para su ascenso en el escalafón universitario a la categoría de profesor agregado.

Constancia que se expide en Caracas, a los 18 días del mes de Mayo de 2015.


Ing. Luis Rosales
C.I: 5.309.392

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA PASIVO DE ENFRIAMIENTO POR TECHO ESTANQUE

Andys Piñate¹, Luis Rosales², Ernesto Lorenzo³

1. Arquitecto, aspirante al título de Especialista en Desarrollo Tecnológico de la Construcción del posgrado del Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción.
2. Profesor Asociado del Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción
3. Profesor Asistente del Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción.

RESUMEN

El artículo presenta los resultados experimentales de un sistema pasivo de enfriamiento radiante por techo estanque, construido en la ciudad de Caracas, Venezuela. El estudio parte de la necesidad de verificar si este sistema puede reducir la temperatura del aire en espacios con cargas térmicas internas, y en qué medida, por lo que se construyeron dos prototipos (experimental y control), ambos con aislamiento térmico diurno en techo, iguales condiciones climáticas y mismas cargas térmicas internas, cambiando solo el tipo de techo utilizado, siendo para el módulo experimental un techo estanque con agua y el de control un techo de concreto reforzado. Como parte de los resultados se realiza un análisis del comportamiento que obtuvieron ambos prototipos durante las mediciones, a la vez que se calculan los grado hora de malestar térmico en cada caso, demostrando un comportamiento satisfactorio del sistema de techo estanque, al lograr temperaturas de globo menores a las registradas en el módulo de control, con diferencias de hasta 4 °C en horas diurnas.

Palabras Claves

Sistemas pasivos de enfriamiento, enfriamiento radiante, techo estanque, confort térmico, arquitectura bioclimática, ahorro energético, cargas térmicas, sostenibilidad.

INTRODUCCIÓN

La Agencia Internacional de Energía señala que en el año 2010 la climatización representó respectivamente el 34% y el 40% del consumo energético de las edificaciones residenciales y comerciales en el mundo (IEA, 2013). Estos sectores son a su vez responsables del 36% de la energía primaria que se consume mundialmente (OCDE, 2012). Según Pérez *et al.* (2007), en las naciones desarrolladas, la climatización representa la mitad de la energía consumida por los edificios, y entre la quinta y décima parte de la energía total consumida en el mundo. Sivak (2013), luego de evaluar la demanda de energía por concepto de aire acondicionado en 170 países, concluyó que debido a que la mayor cantidad de países en vías de desarrollo se encuentra en climas cálidos, de seguir su crecimiento actual, podría superarse en las próximas décadas 45 veces el consumo de los EEUU. A pesar de este panorama, como se deriva de una investigación basada en 80 estudios realizados en todo el mundo (Levine, *et al.*, 2007), existe el potencial para eliminar, de aquí al año 2030, el 31% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) producidos por el uso de energías no renovables en edificios. Los países en vías de desarrollo tienen en esto el doble del potencial de los países de la OCDE y los países con economías en transición juntos.

Venezuela, por su parte, tiene un consumo de energía alto si se le compara con los países de América Latina y El Caribe: su consumo *per capita* anual es de 3.313 KWh (año 2011), mientras que el de la Región es de 1.816 KWh (Banco Mundial, 2014). Según estadísticas de Caveinel (2007), los sectores industrial, residencial y comercial representan el mayor porcentaje de consumo eléctrico. En los últimos años, sin embargo, el país ha vivido una crisis en el sector eléctrico, ocasionada por el déficit de oferta. En busca de soluciones, el gobierno impuso cortes eléctricos programados, reducciones en los horarios de centros comerciales y exigió a los sectores residenciales e industriales disminuir 20% el consumo mensual de energía. Ello vino acompañado de inversiones rápidas orientadas a aumentar la oferta, basadas principalmente en la instalación de centrales termoeléctricas, que son altas generadoras de GEI. En la actualidad, la mayoría de las ciudades del interior del país sigue sufriendo las consecuencias del déficit, sin que las medidas tomadas en medio de la urgencia aporten soluciones sostenibles.

Estas situaciones problemáticas globales y locales generan en contrapartida la conciencia del ahorro energético en el consumidor, mientras que en los profesionales de la arquitectura impulsan la exploración de alternativas de diseño y construcción que apunten hacia el uso de energías renovables, con miras a cumplir con los preceptos básicos de la sostenibilidad. De ahí que una de las metas básicas de la arquitectura contemporánea sea desarrollar e implementar tecnologías de

climatización basadas en energías renovables y/o de bajo consumo energético (climatización pasiva), entendiéndoseles como el medio sostenible para cumplir con uno de los requerimientos de habitabilidad fundamentales en edificaciones, que es el confort térmico.

Los sistemas de enfriamiento pasivo se ubican en este marco general de acción. Éstos se basan en el principio que el modo natural de fluir de la energía térmica es desde el foco caliente hacia el foco frío. Para que un edificio pierda calor de modo natural, debe estar en contacto con un foco frío que reciba ese calor. Si, por el contrario, se desea evitar la pérdida del calor, se debe aislar el foco frío. El foco frío puede ser una temperatura real (temperatura del suelo a determinada profundidad) o una temperatura hipotética (temperatura aparente del cielo), siendo ésta la temperatura teórica mínima que puede alcanzar el fluido vector de calor a la salida del sistema (generalmente aire).

Los sistemas de enfriamiento pasivo de edificaciones más conocidos son los sistemas de enfriamiento por contacto con el suelo (por contacto directo o mediante tubos enterrados), los sistemas de enfriamiento evaporativo (directo o indirecto) y los sistemas de enfriamiento radiante, en especial los techos de gran masa térmica con aislamiento móvil y los techos livianos metálicos. Estos sistemas han sido ampliamente estudiados internacionalmente, destacándose los trabajos de Givoni (1994, 2004, 2009, 2011) y los trabajos reunidos en Santamouris *et al.* (1996, 2007), entre otros. Una línea de investigación descrita en esta última referencia tuvo continuación en Venezuela, en el Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción, IDEC, de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Central de Venezuela, en los trabajos orientados a determinar el potencial en el clima venezolano de varios sistemas de enfriamiento pasivo (Hobaica *et al.*, 2001, 2007). En ese mismo instituto, Lorenzo (2007, 2011) *et al.* (2008, 2010) abordaron el estudio experimental del sistema de conductos enterrados, con resultados satisfactorios para el clima venezolano. En la Universidad del Zulia, por su parte, en el Instituto de la Facultad de Arquitectura, IFA, se desarrolló por varios años una línea de investigación orientada a evaluar experimentalmente estos sistemas en el clima cálido-húmedo de Maracaibo (González, 1989, 1997a, 1997b, 1998, 2000, 2005; Bravo y González, 2014; González, 2010; La Roche, 2000, 2001). Entre los sistemas evaluados estuvo el techo estanque, el cual usa la masa térmica del agua como sumidero de las cargas térmicas, obteniéndose la disminución de los picos diarios de la temperatura interior. Otro experimento con este sistema de enfriamiento fue realizado en la ciudad de Colima, México, por Sánchez (1993). En estos experimentos llama la atención la no simulación de las cargas internas, limitándose el estudio a la evaluación de la extracción del calor que pueda de alguna forma penetrar desde el exterior durante el día. Al ser la función principal del agua almacenar sin aumentos bruscos

de temperatura las cargas internas, se considera en el presente estudio que un experimento sobre el sistema de techo-estanque debe necesariamente incluir dichas cargas.

En este punto se inserta el presente trabajo, el cual se centra en estudiar experimentalmente el potencial de enfriamiento pasivo de un techo estanque, con agua como masa térmica de almacenamiento de calor y aislamiento diurno, en el clima moderado a cálido húmedo de la ciudad de Caracas. Para el logro del objetivo se desarrolló un dispositivo experimental que consta de dos módulos de trabajo: un módulo de control (MC) y un módulo experimental (ME). Ambos módulos son idénticos en forma, dimensiones internas y materialidad. De esta manera la carga térmica es igual en cada uno de ellos, pudiéndose comparar el funcionamiento del ME frente al MC y determinar el potencial de enfriamiento comparativo. El análisis examina las temperaturas características y los grados-hora de malestar térmico.

Sistema de enfriamiento radiante por techo estanque

El sistema de enfriamiento radiante por techo estanque es una variante de techo de gran masa térmica con aislamiento móvil, y consiste en un estanque de agua ubicado en el techo, no aislado del ambiente interior, que se cubre durante el día por fuera con material aislante para evitar que el calor del sol llegue al agua, al tiempo que se le expone por debajo al calor del espacio interior, para que éste se almacene en el agua. El agua, por su elevada masa térmica, no aumenta de manera significativa su temperatura al absorber ese calor interno, manteniendo el espacio más fresco por más tiempo. Durante la noche, la cubierta de material aislante se remueve, dejando al descubierto el agua y permitiendo que el calor almacenado en el día se irradie hacia la bóveda celeste. Si el estanque es abierto, parte del calor almacenado será también disipado por evaporación del agua. De esa forma el agua está fría a comienzos del día siguiente, cuando se le vuelve a cubrir con aislante (Figura 1).

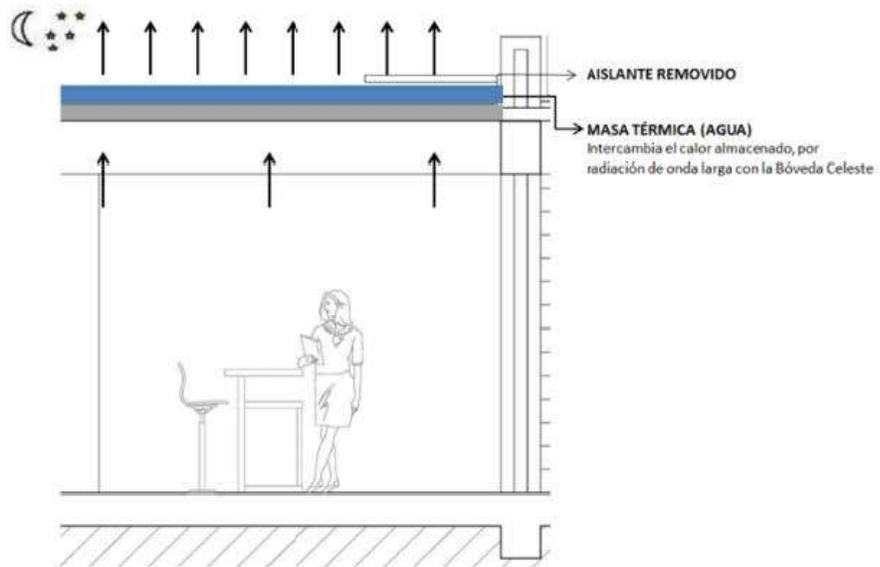
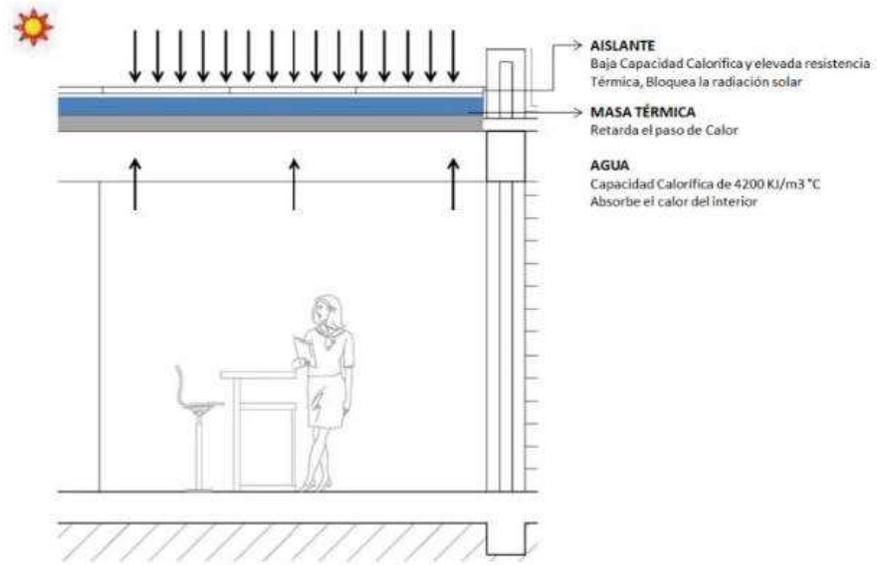


Figura 1. Funcionamiento diurno y nocturno del sistema de techo estanque

DISEÑO DE LA EXPERIMENTACIÓN

En esta investigación se siguió una metodología experimental en la que se obtuvieron dos series de datos: una primera serie (experimento 1) correspondiente al sistema de estanque de techo sin cargas internas, y una segunda serie (experimento 2), con dichas cargas. La incorporación de las cargas internas es fundamental para apreciar el potencial del sistema, puesto que su principio se basa en que las mismas se almacenan durante el día en el agua sin ocasionar aumentos significativos en la temperatura resultante interior, en razón del elevado calor específico del agua (aproximadamente 4.180 J/KgK).

Se diseñaron y construyeron dos módulos de trabajo: un módulo de control (MC) y un módulo experimental (ME). Ambos son de base cuadrada, con dimensiones de 0,90 x 0,90 m. El MC tiene una altura de 0,57 m y el ME, 0,72 m. El ME es más alto porque tiene que abarcar la profundidad del estanque con miras a que el espacio interno en ambos módulos sea igual. El estanque es una bandeja metálica calibre 18, en la cual caben hasta 15 cm de altura de agua. El techo del MC es una losa de concreto reforzado de 5 cm. Las paredes de ambos módulos son de bloques de arcilla de 10 cm, con acabado de friso liso de 2,5 cm. Para que las transferencias de calor se den básicamente por el techo, se aislaron las paredes y el piso forrándolos con paneles de poliestireno expandido de 5 cm, obteniéndose al final un espacio útil de trabajo (espacio interno) de 0,80 x 0,80 x 0,47 m, lo que da un volumen de 0,30 m³ (Figuras 2, 3, 4 y 5).



Figura 2. Construcción de los módulos

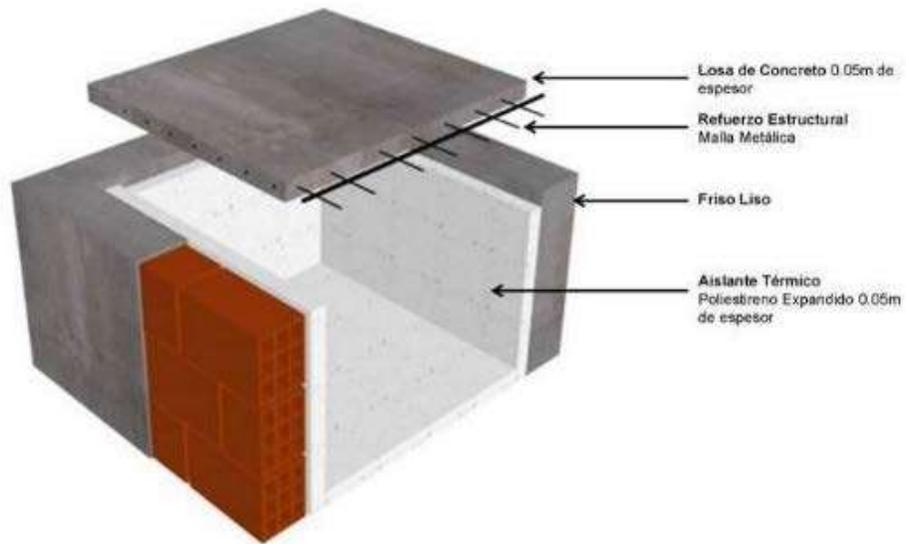


Figura 3. Esquema del módulo de control.

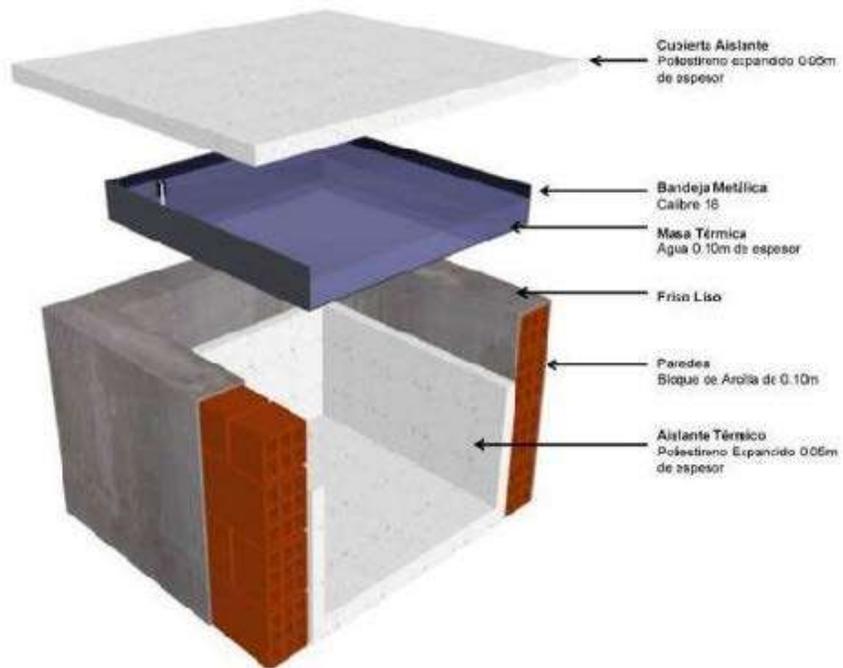


Figura 4. Esquema del módulo experimental



Figura 5. Aislamiento de los módulos con poliestireno expandido

Durante la toma de datos se aisló el techo de ambos módulos con un panel de poliestireno expandido, desde las 6 a.m., hasta las 6 p.m., retirándose el resto del tiempo, en la noche. El espesor de la parte de agua en el estanque fue en ambos casos 10 cm (Figura 6).



Figura 6. Los módulos antes de colocarle el agua al ME y el aislante por encima a ambos

Los módulos experimentales se ubicaron en la terraza de la Quinta Esnujaque, en La urbanización La Floresta, Municipio Chacao de la ciudad de Caracas. El clima de Caracas se puede catalogar como tropical de altitud media (≈ 950 msnm), de amplitud anual pequeña (aproximadamente $4\text{ }^{\circ}\text{C}$) y de sensación térmica entre moderada y cálido húmeda (Rosales, 2013). Las temperaturas medias mensuales oscilan entre $18\text{-}19\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el mes más frío y $22\text{-}24\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el más cálido, con amplitudes

díumas del orden de 10-12 °C. La ciudad presenta dos estaciones bien definidas: la temporada seca (diciembre a mayo) y la temporada lluviosa (junio a noviembre). Las experimentaciones se realizaron en los meses de junio y julio, con una temperatura exterior promedio de 24°C y una humedad relativa promedio de 76%.

Para registrar la temperatura y la humedad, tanto dentro como fuera de los módulos, se utilizaron cuatro *data logger* tipo HOBO, marca ONSET, de diferentes modelos. Para la temperatura de globo al interior de cada módulo se utilizaron sensores de temperatura colocados dentro de bolas color negro mate. La temperatura exterior se midió protegiendo al sensor de la radiación solar y la radiación del entorno (Figura 7).



Figura 7. Registradores de datos, dentro y fuera de los módulos

Los equipos se programaron para registrar la temperatura y la humedad cada 30 minutos. Las variables que se midieron fueron: la temperatura del aire exterior, la temperatura del aire al interior en cada módulo, la temperatura de globo al interior de cada módulo, la temperatura superficial interior de los techos, la temperatura del agua y la humedad del aire al interior de cada módulo y al exterior (Figura 8).

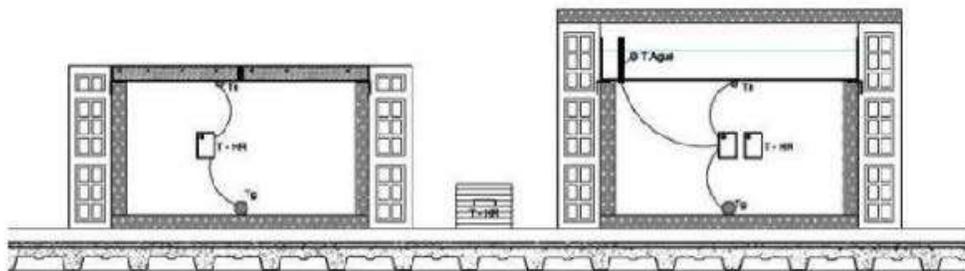


Figura 8. Datos tomados según la ubicación de los sensores

La carga interna planteada para el experimento 2 se basó en la tabla de cargas internas típicas de la guía CIBSE (CIBSE, 2006) (Figura 9). Se tomaron como referencia las cargas asociadas a restaurantes y se extrapoló, considerando el volumen interno de los módulos (0,3 m³), lo que arrojó una carga estimada del orden de 10 W. En cada módulo se introdujo luego un bombillo incandescente tipo vela de 15 W, suspendido en la mitad del espacio, permaneciendo encendido las 24 horas del día (Figura 10).

Table 10.5 Internal heat gains in typical buildings in W/m²

Building type	Use	Density of occupation (person/m ²)	Sensible heat gain (W/m ²)			Latent heat gain (W/m ²)	
			People	Lighting	Equipment ¹	People	Other
Education	Lecture theatres	1.2	67	12	2	50	–
	Teaching spaces	1.5	53	12	10	40	–
	Seminar rooms	3	27	12	5	20	–
Hospitals	Wards	14	57	9	3	4.3	–
	Treatment rooms	10	8	15	3	6	–
	Operating theatres	5	16	25	60	12	–
Leisure	Hotel reception	4	20	10–20	5	15	–
	Banquet/conference	1.2	67	10–20	3	50	–
	Restaurant/dining	3	27	10–20	5	20	–
	Bars/lounges	3	27	10–20	5	20	–

Figura 9. Cargas internas típicas en edificios. Fuente: (CIBSE Guide, 2006)



Figura 10. Cargas internas: bombillo incandescente de 15 W

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Comparación de las temperaturas

En la figura 11 se presenta la evolución de las temperaturas del experimento 1, sin cargas internas (i.e., sin los bombillos). Las temperaturas de globo interiores del ME y el MC fueron similares, variando en un intervalo de 21°C a 28°C, mientras que la temperatura exterior lo hizo de 21 a 29°C. Obsérvese que las temperaturas de ambos módulos difieren poco, de 1 a 1,5°C: al no haber cargas internas, y en razón del aislamiento, el agua del ME no está en el día expuesta a una fuente de calor importante, por lo que no representa una variante influyente en relación con el MC, en cuanto a temperatura interior. Por lo mismo, las temperaturas entre ambos techos (concreto reforzado en el MC y agua en el ME) tampoco difieren mucho (Figura 12). Sin embargo, aunque no de manera importante, el agua actúa bajando un poco la temperatura del aire interior durante el día y subiéndola un poco en la noche, lo que ilustra el efecto de una mayor masa térmica en los ciclos diurnos de carga y descarga de calor de los prototipos, como respuesta a las fluctuaciones del clima. Debido al aislante, tanto el MC como el ME alcanzan sus temperaturas pico casi 4 horas después que el ambiente exterior. Por lo mismo, ambos módulos lograron temperaturas diurnas inferiores a la temperatura exterior, en un rango de 1 a 3 °C.

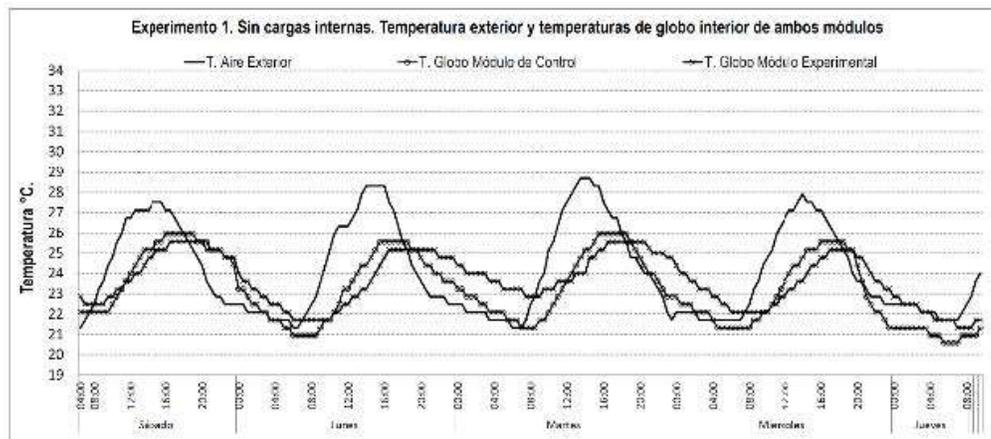


Figura 11. Temperatura exterior y temperaturas de globo de ambos módulos. Experimento 1: sin cargas internas

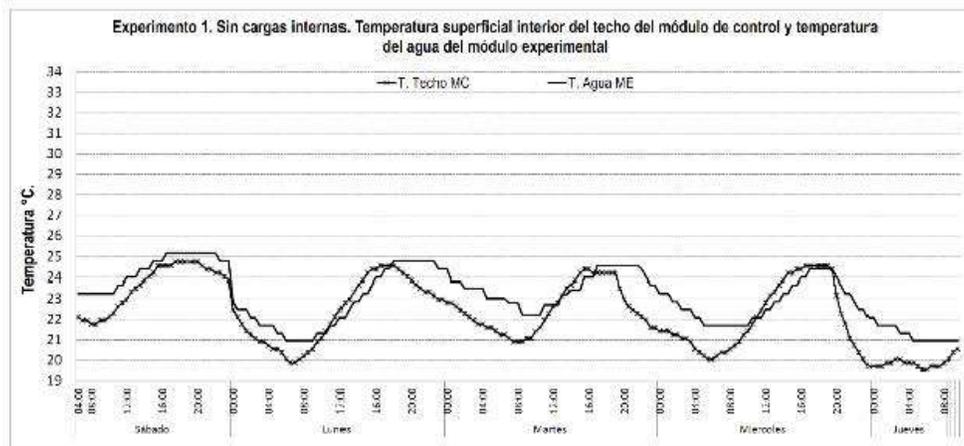


Figura 12. Temperatura superficial interior del techo de concreto reforzado del MC y del agua del ME. Experimento 1: sin cargas internas

Al incorporarse las cargas internas (Figura 13), las temperaturas de globo en ambos módulos suben en relación con el experimento 1. Sin embargo, el ME presenta una mejora evidente en relación con el MC en términos de enfriamiento. Esto es debido a que parte del calor producido por la bombilla incandescente se almacena en el agua sin que ésta aumente su temperatura de manera significativa, en tanto que en el MC, el concreto se calienta más rápido, y ese calor queda además *atrapado* por el aislante. Las temperaturas interiores del ME siempre fueron inferiores a la temperatura interior del MC, con diferencias que varían desde 1,5 a 4 °C. Incluso en las noches, cuando el aislante se retira y se disipa y evacua calor desde los dos módulos hacia el cielo nocturno, la temperatura de globo del ME se mantiene menor que la del MC: a pesar de que el techo de concreto reforzado del MC se enfría más rápido, no le basta la noche para compensar de forma clara las temperaturas más bajas registradas en el ME al retirarse el aislante. El efecto se corrobora cuando se compara la temperatura superficial interior del techo del MC y el agua en el ME (Figura 14): en promedio, a lo largo del período de medición, el agua tiene 3,5 °C menos.

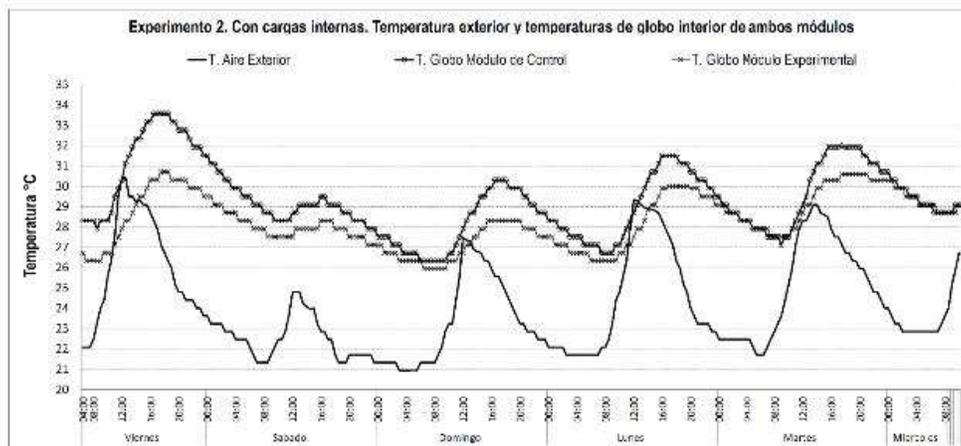


Figura 13. Temperatura exterior y temperaturas de globo de ambos módulos. Experimento 2: con cargas internas

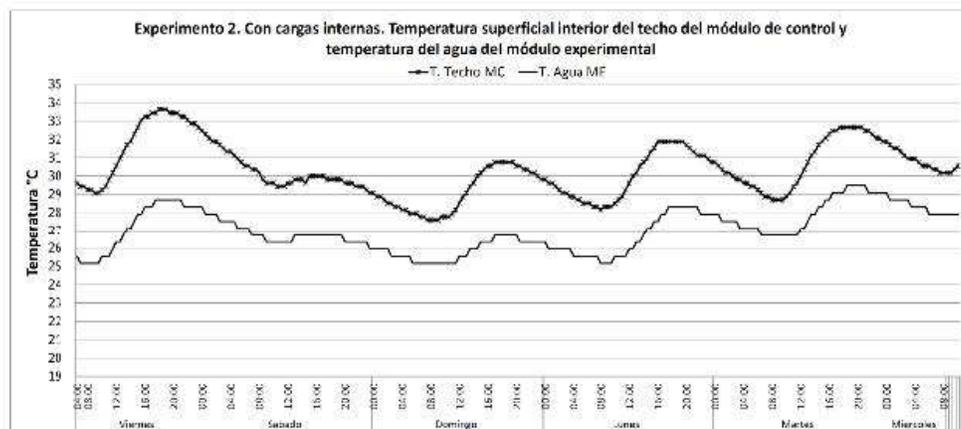


Figura 14. Temperatura superficial interior del techo de concreto reforzado del MC y del agua del ME. Experimento 2: con cargas internas

Estimación de los grados-hora de malestar térmico

El criterio de confort escogido para calcular los grados-hora de malestar térmico es el de neutralidad térmica del modelo de adaptación de la norma ASHRAE 55 para edificaciones en climatización pasiva (ASHRAE, 2004; de Dear y Brager, 2002). De acuerdo con ese criterio, la temperatura de neutralidad térmica o de confort depende de la temperatura media mensual del clima, lo que significa

que la sensación térmica se adapta al clima en que se vive. La relación entre ambas temperaturas es lineal y está dada por la expresión:

$$T_n = 17,8 + 0,31 T_{em}$$

Donde: T_n es la temperatura de neutralidad o de confort
 T_{em} es la temperatura media mensual del clima

Alrededor de esta temperatura se pueden establecer rangos dentro de los cuales la aceptabilidad variará en porcentaje. La norma Ashrae 55 habla de un rango de $\pm 2,5$ °C para una aceptabilidad del 90% de las personas y de $\pm 3,5$ °C para una aceptabilidad del 80%. Para aplicar la ecuación anterior se utilizó el valor de la temperatura media medida durante el experimento (25,3 °C), lo que da una temperatura de neutralidad térmica o de confort de 25,6 °C. Si se asume el criterio de 90% de aceptabilidad, se tienen un umbral inferior de confort de 23,1 °C y uno superior de 28,1.

Los grados-hora de malestar térmico (°h) se definen como la sumatoria de los grados en que se sobrepasan estos umbrales en el período considerado, partiendo de una serie de datos horaria: si el valor de la temperatura a una hora dada supera el umbral superior, se tiene una cantidad de °h de malestar de calor igual a la resta entre ambos; si en cambio se encuentra por debajo del umbral inferior, se tiene una cantidad de °h de frío igual a la resta entre ambos (negativo). Si la temperatura a esa hora se encuentra en el rango de confort, el valor no se contabiliza (se computa como cero).

En la figura 15 se grafican los grados-hora de malestar térmico por frío y por calor de ambos módulos, para el caso con cargas internas y para el período de 6 días de la serie (se desecharon los días incompletos). Adviértase la notable reducción de °h de calor en el ME, cercana al 66% (recuérdese que a ambos se les coloca aislante en el día y se les retira en la noche). Los grados-hora por malestar de frío en ambos módulos en cambio se parecen, lo que se explica por la aproximación que se da entre las temperaturas en horas de la noche, que es cuando hace frío. En otras palabras, el sistema cumple con su objetivo de reducir las temperaturas máximas en el día. Como derivación de este cálculo se puede finalmente contabilizar, para el período considerado de seis días, qué porcentaje de tiempo se está en confort y qué porcentaje no: 70% del tiempo se tiene calor en el MC, mientras que en el ME ese porcentaje baja a 36% (Figura 16), siendo el porcentaje de tiempo en confort de 58%.

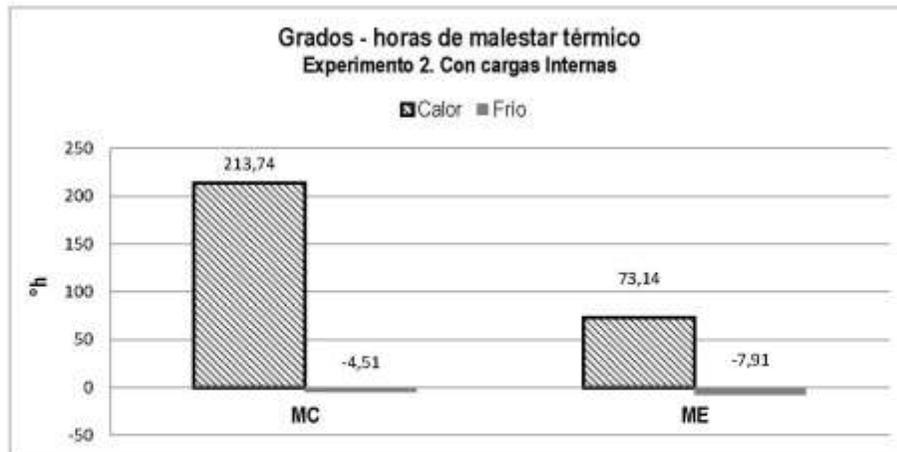


Figura 15. Grados-hora de malestar térmico por frío y calor en el MC y el ME. Experimento 2: con cargas internas.

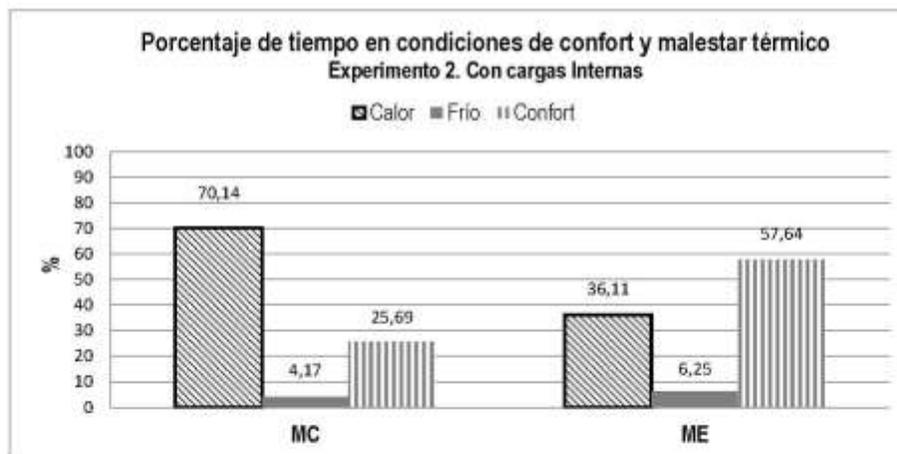


Figura 16. Porcentajes de tiempo de confort y malestar térmico en el MC y ME. Experimento 2: con cargas internas.

CONCLUSIONES

Mediante dos prototipos o módulos experimentales de paredes y pisos aislantes se estudiaron dos configuraciones de techo: un techo estanque con agua (módulo experimental, ME) y un techo de

concreto reforzado (módulo de control, MC), ambos bajo las siguientes condiciones: aislamiento por encima en el día, el cual es removido en las noches. Se hicieron dos series de mediciones: una con cargas internas y otra sin ellas. El objetivo fue comprobar que el sistema pasivo de enfriamiento por techo estanque es capaz de reducir las temperaturas diurnas internas en comparación con un techo más liviano en iguales condiciones de funcionamiento.

En la serie realizada sin cargas internas se observó que las temperaturas interiores de ambos módulos son similares. Esto es debido a que al bloquearse con aislante la llegada del calor del sol en ambos techos y al no haber cargas internas, se eliminan lo que son las dos principales fuentes de calor en edificaciones (*i.e.*, radiación solar y cargas internas), produciéndose ondas de temperaturas internas similares. La mayor masa térmica del agua queda parcialmente anulada, aunque no del todo, puesto que en el prototipo con agua la temperatura en el día, entre las 12:00 y 20:00 h, llega ser hasta 1°C menor, mientras que en la noche, hasta 1,5°C mayor, en comparación con el prototipo de techo de concreto reforzado.

En la serie de mediciones con cargas internas (producidas usando bombillas incandescentes de 15 W) se observó claramente el efecto de la masa térmica del agua, en cuanto a que ésta almacena el calor de la bombilla sin aumentar de forma importante su temperatura, provocando una disminución en la temperatura interior del módulo en comparación con el MC, cuyo techo tiene menos capacidad calorífica, al tiempo que el aislante *atrapa* el calor en el material y el espacio interior. Las temperaturas interiores en el ME fueron inferiores, incluso en las noches, cuando el aislante se retira y se evacua el calor por radiación hacia el cielo nocturno y evaporación en el caso del agua. A pesar de que el techo de concreto reforzado se enfría más rápido, no le basta la noche para alcanzar las temperaturas más bajas registradas en el agua al momento de retirarse el aislante.

El aumento del potencial de enfriamiento en el prototipo con techo estanque para la serie experimental con cargas internas se evaluó también calculándose los grados-hora de malestar térmico por calor, tomando como referencia el criterio de confort térmico adaptativo de la norma ASHRAE 55 (1994). Éstos grados-hora fueron 66% menores en el prototipo de techo estanque, logrando un porcentaje de tiempo en confort de 58%.

Por lo tanto, la combinación de un techo estanque con masa térmica de agua y aislamiento diurno es una alternativa interesante para enfriar las edificaciones a través de una técnica pasiva, siendo aún más efectiva en espacios que por sus características arquitectónicas dificulten la evacuación del calor por otros medios (p.ej., ventilación natural). Por sus características constructivas y de funcionamiento, este sistema de techo puede ser compatible con otras técnicas de climatización, tanto pasivas como activas, siempre que se adapten a los requerimientos propios de la edificación

donde se aplique y se tengan en cuenta dos factores fundamentales: la función que realiza la cubierta aislante de bloquear la radiación solar durante el día, evitando que el agua se caliente, y el contacto de la masa térmica con el ambiente interior.

Gracias a los resultados de las investigaciones realizadas en la Universidad del Zulia y la Universidad de Colima (González, 1989, 1997a, 1997b, 1998, 2000, 2005; Bravo y González, 2014; González 2010; La Roche, 2000, 2001; Sánchez, 1993), donde se estudió el sistema de enfriamiento radiante por techo estanque con agua y aislamiento diurno, y ahora con el presente estudio del sistema en el que se incorporan las cargas internas, el enfriamiento por techo estanque puede considerarse una técnica pasiva con potencial en regiones de clima cálido húmedo. Sin embargo, las investigaciones futuras deberán examinar la viabilidad y aceptabilidad en edificaciones reales, antes de considerársele una alternativa frente a los sistemas tradicionales de climatización.

REFERENCIAS

ASHRAE Standard 55 (2004) *Thermal environmental conditions for human occupancy*.

Banco Mundial (2014) *Consumo de energía eléctrica (kWh per cápita)*. Data disponible en web: <http://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.ELEC.KH.PC>

Bravo, G.; González, E. (2013) *Thermal Comfort in Naturally Ventilated Spaces and Under Indirect Evaporative Passive Cooling Conditions in Hot: humid climate*. Energy and Building, v. 63, p. 79–86.

Caveinel (2007) *Cámara Venezolana de La Industria Eléctrica. Estadísticas consolidadas*. Data disponible en Web: www.caveinel.com

CIBSE (2006) *Environmental criteria for design. Chapter 1 in CIBSE Guide A*. Chartered Institution of Building Services Engineers, London.

de Dear, R. and Brager, G. (2002) *Thermal comfort in naturally ventilated building: Revisions to ASHRAE Standard 55*. Energy and Buildings, Vol. 34, No. 6 (2002) 549-561. Disponible en web: <http://www.sciencedirect.com/>

Givoni, B. (1994). *Passive and Low Energy Cooling of Buildings*. John Wiley & Sons.

Givoni, B. (2011) *Indoor Temperature Reduction by Passive Cooling Systems*. Solar Energy, v. 85, n. 8, p. 1692–1726.

Givoni, B.; González, E. (2009) *Thermal Performance of Indirect Evaporative Cooling in a Tropical Climate*. In: Ases Conference, Buffalo, NY. Proceedings..

González, E. (1997b) *Técnicas de enfriamiento pasivo. Resultados experimentales en el clima cálido y húmedo de Maracaibo, Venezuela*. CIT, Información Tecnológica, Vol. 8 N°5, pp. 99-103. La Serena, Chile.

González, E. (1997a) *Étude de matériaux et des techniques du bâtiment pour la conception architecturale bioclimatique en climat chaud et humide*. Thèse de Doctorat en Energétique de l'École des Mines des Paris, France.

González, E. (1998) *Evaluación experimental de sistemas pasivos de enfriamiento en clima cálido-húmedo*. Memorias de COTEDI 1998, Caracas.

González, E. (2003) *Sistemas pasivos de climatización: Enfriamiento natural*. VII encuentro sobre confort del ambiente construido. ENCAC - COTEDI 2003. Maracaibo, Venezuela.

González, E. (2005) *Enfriamiento Evaporativo Indirecto en Clima Tropical Húmedo: dos casos de estudio*. Congreso Latinoamericano sobre Confort y Comportamiento Térmico de Edificaciones, COTEDI-2005, Ciudad de Mexico. Memorias.

González, Eduardo. (1990). *Evaluación de Sistemas Pasivos de enfriamiento y su aplicación en el diseño de Viviendas*. Informe de investigación CONDES. Facultad de Arquitectura. LUZ. Maracaibo.

González, Sabrina. (2010). *Estudio experimental del comportamiento térmico de sistemas pasivos de enfriamiento en clima cálido húmedo*. Trabajo de grado, de la maestría de energías renovables: Arquitectura y Urbanismo, La Ciudad Sostenible. Universidad Internacional de Andalucía.

Hobaica M.E. y Allard F. (2007) *Integración de Sistemas pasivos de Acondicionamiento Térmico en Venezuela*. Informe final del proyecto ISPAVEN. Universidad Central de Venezuela (UCV) y Leptab-Universidad de La Rochelle, Francia.

Lorenzo, E., Hobaica, M. (2010). Racionalidad energética en edificaciones industriales. Aplicación de sistemas pasivos de climatización. Revista Tecnología y Construcción volumen 26 número II. Caracas, Venezuela.

Lorenzo, E. (2011). Climatización Pasiva por Conductos Enterrados Dentro del Contexto Climático Venezolano. Ediciones de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UCV. Caracas, Venezuela.

Pérez Lombard L., Ortiz J., Pout C. (2008) *A review on buildings energy consumption information*. Energy and Buildings, Volume 40, Issue 3, 2008, Pages 394–398

Rosales Luis (2013) *Caracterización y clasificación del clima para el diseño bioclimático en Venezuela*. Memorias de las XXXI Jornadas de Investigación del IDEC. ISBN: 978-980-00-2752-3

Sánchez, Luis Humberto. (1993). *Evaluación de un techo estanque como sistema de enfriamiento pasivo en un clima cálido sub – húmedo*. Trabajo de maestría. Universidad de Colima. Colima

Santamouris, M. y Asimakopoulos, D. (1996) *Passive Cooling of Buildings*. James&James Science Publishers. Londres, Inglaterra.

Santamouris, M., Pavlou, K., Synnefa, A., Niachou, K., y Kolokotsa, D. (2007) *Recent progress on passive cooling techniques. Advanced technological developments to improve survivability levels in low-income households*, Energy and Buildings, vol. 39, no. 7, pp. 859-866.

Sivak, M. (2013) *Will AC Put a Chill on the Global Energy Supply?* American Scientist, Vol. 101 Issue 5.

ARTICULO N° 3: SISTEMAS DE CONTROL SOLAR Y SUS IMPLICACIONES EN EDIFICIOS DE OFICINAS UBICADOS EN CLIMA TROPICAL-HÚMEDO.



Caracas, 18 de Mayo de 2015.

A QUIEN PUEDA INTERESAR

Yo, **VERÓNICA PRADO**, hago constar que el profesor **ERNESTO LORENZO ROMERO**, es cuautor del artículo titulado: "*Sistemas de control solar y sus implicaciones en edificios de oficinas ubicados en clima tropical húmedo*", el cual fue arbitrado y publicado in-extenso en las memorias de la Trienal de Investigación de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UCV en julio de 2014.

Asimismo, en mi condición de autora principal del mencionado artículo, lo **AUTORIZO** para que pueda utilizarlo como credencial para el ascenso en el escalafón universitario.

En Caracas, a los 18 días del mes de Mayo de 2015.


Arq. Verónica Prado
C.I: 17.308.897

ÁREAS TEMÁTICAS

- AMBIENTE Y SOSTENIBILIDAD
- CIUDAD Y SOCIEDAD
- HISTORIA Y PATRIMONIO
- TECNOLOGÍA CONSTRUCTIVA
- INFORMÁTICA Y REPRESENTACIÓN GRÁFICA
- TEORÍA Y PROYECCIÓN ARQUITECTÓNICA

Dirección Local: Tel: 4820147201870
Códic: 970-980-0027896
E-IL: 67000009-97

TRIENAL DE INVESTIGACIÓN FAU 2014

DEL 30 DE JUNIO AL 4 DE JULIO DE 2014

IV JORNADAS DE INVESTIGACIÓN DE LA ESCUELA DE ARQUITECTURA CARLOS RAÚL VILLANUEVA
XXXII JORNADAS DE INVESTIGACIÓN DEL INSTITUTO DE DESARROLLO EXPERIMENTAL DE LA CONSTRUCCIÓN
JORNADAS DE INVESTIGACIÓN DEL INSTITUTO DE URBANISMO

MEMORIAS



<http://trienal.fau.ucv.ve>

SISTEMAS DE CONTROL SOLAR Y SUS IMPLICACIONES EN EDIFICIOS DE OFICINAS UBICADOS EN CLIMA TROPICAL HÚMEDO

Verónica Prado

VI Especialización en Desarrollo Tecnológico de la Construcción,
 Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción,
 Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela
 veroprado.arq@gmail.com

Ernesto Lorenzo

Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción,
 Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela
 ernestolorenzor@gmail.com

RESUMEN

El artículo presenta avances parciales de un trabajo especial de grado que se desarrolla actualmente en el IDEC, con la finalidad de demostrar, con base en una revisión sistemática de las experiencias de diseño sostenible más relevantes a nivel nacional e internacional, cuáles son las repercusiones en la demanda energética por climatización artificial, una vez implementados sistemas de control solar en edificios de oficinas en clima tropical húmedo. Como aporte se presenta el estudio de un edificio sede de Conatel, ubicado en Las Mercedes, Caracas, a través de simulaciones obtenidas con el programa Ecotect, el cual es un software especializado en la evaluación de proyectos sostenibles, donde se logró realizar un análisis comparativo entre los distintos sistemas de protección solar contemplados en el estudio, cotejando sus repercusiones en cuanto a la iluminación natural en los espacios de oficinas y la disminución de la radiación solar en los cerramientos acristalados que conforman las fachadas.

Palabras clave: control solar, diseño de envolvente, ahorro energético, arquitectura sostenible, oficinas verdes.

165

INTRODUCCIÓN

Al estudiar el contexto energético mundial y sus repercusiones, destaca el enorme impacto ambiental a causa de la combustión de combustibles fósiles para la generación de energía, en especial la creciente concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera terrestre, que conlleva el calentamiento global, considerado como la principal amenaza del planeta en la actualidad (IPCC, 2007).

En este sentido, las edificaciones juegan un papel preponderante al ser grandes consumidoras de energía. De toda la energía consumida a nivel mundial que puede ser relacionada con las emisiones de CO₂ a la atmósfera, las edificaciones consumen entre 25% y 30%, lo que las responsabiliza de 19% a 22% de todas las emisiones de CO₂ antropogénicas. Por tal motivo se podría afirmar que las edificaciones tienen una contribución neta que oscila entre el 10% y 12% en cuanto al cambio climático (Wiel et al., 1998).

Solo por concepto de climatización en edificaciones se estima una demanda de 6,5% de la energía total consumida en el mundo anualmente, sin embargo, algunas investigaciones han demostrado que con la simple ejecución de un diseño adaptado al clima de manera adecuada, es posible llevar dicha cifra a 2,35% (Santamouriset al., 1997). Es por esto que en la actualidad se realizan numerosos estudios relacionados con los aspectos de confort climático, a la par de buscar reducir el consumo energético por concepto de climatización, mediante la utilización de mecanismos de bajo consumo energético y reducido impacto ambiental, sin que esto signifique abandonar el nivel de vida actual ni retornar a esquemas menos evolucionados que menoscaban el logro de las condiciones mínimas de habitabilidad en las edificaciones.

Dentro del sector de las edificaciones se observa con particular interés, en el ámbito de las tipologías arquitectónicas no residenciales, el elevado consumo energético de los edificios de oficinas y su relación con el empleo de sistemas de aire acondicionado como principal alternativa de climatización, según un estudio realizado en el año 2011 por el Buildings Performance Institute Europe (BPIE), en el cual se presenta una revisión exhaustiva del consumo energético de los edificios en los países miembro de la Unión Europea, concluyendo que los edificios de oficinas se ubican como el segundo mayor consumidor de energía en toda la región, datos que coinciden estadísticamente a nivel mundial y en distintas latitudes.

166

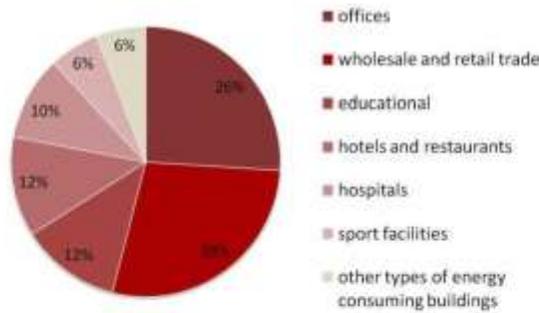


Figura 1. Porcentaje de uso total de energía en edificios no residenciales de la Unión Europea (año 2011)

Fuente: Buildings Performance Institute Europe, BPIE.

Asimismo, y una vez que se profundiza en el consumo sectorizado de la energía en un edificio de oficinas, en especial en países tropicales como el nuestro, el mayor porcentaje suele estar asociado a los sistemas de aire acondicionado, llegando a ser este el responsable del 46% del total de la energía consumida (Siem et al., 2004).

Por lo tanto, el propósito del trabajo es demostrar cuáles son las implicaciones del correcto diseño de protecciones solares en edificios de oficinas en el trópico húmedo, específicamente en cuanto a la disminución de las cargas térmicas que deberán vencer los equipos de aire acondicionado tradicionales, y cómo esto repercute directamente en la disminución del consumo energético de la edificación, por lo que, si se lograra su aplicación masiva, la simple consideración de esta estrategia en las edificaciones podría repercutir en un cambio en la matriz energética nacional, así como en las emisiones de CO₂ antropogénicas, garantizando a su vez las condiciones óptimas de habitabilidad en las edificaciones que, en definitiva, contribuirá al logro de un arquitectura sostenible en el país.

167

CASO DE ESTUDIO

La selección del caso de estudio responde a que desde el año 2009 se agudizó la crisis energética nacional, lo que conllevó el establecimiento de medidas por parte del Estado para la reducción del consumo energético en entes gubernamentales y privados. Esto trajo como consecuencia que de manera generalizada se tomaran decisiones en respuesta exclusivamente a la necesidad de reducir el consumo energético de las edificaciones, en detrimento de las condiciones mínimas de habitabilidad de los usuarios y de la propia productividad de las empresas.

En ese sentido, la sede principal de Conatel, ubicada en la urbanización Las Mercedes del municipio Baruta del estado Miranda, se vio afectada por la imposición de distintas medidas como la reducción de los horarios de trabajo y restricciones en el uso de los ascensores y equipos de climatización, entre otras. Todo esto como respuesta inmediatista al problema, por lo que se carece de un estudio que identifique cuáles son las posibilidades reales de ahorro que presenta la edificación desde el punto de vista arquitectónico, así como un plan para su aplicación progresiva.

El edificio fue construido en el año 1989, y cuenta con 10 pisos, entre ellos una planta baja de atención al cliente, un nivel de mezzanina con aulas y salones de conferencias de uso común, seis (06) plantas tipo con esquema de plantas libres con 442.26 m² cada una para el uso exclusivo de oficinas, un nivel de oficinas gerenciales y un último piso dedicado a las oficinas de dirección de la institución.

Está emplazado en la parcela, con una orientación que varía en 1,08° con respecto al norte. El edificio consta de un volumen único con forma de prisma recto dispuesto en sentido longitudinal a lo largo de la parcela, orientando sus caras más angostas en sentido norte-sur y sus caras más anchas en sentido este-oeste, y un volumen de servicios adosado hacia la fachada oeste, que consta de una superficie ondulada revestida en tablilla de arcilla natural y vanos con bloques de ventilación del mismo material.



Figura 2. Torre de oficinas, sede Conatel Las Mercedes, Caracas

168

CÁLCULO, DISEÑO Y SIMULACIÓN DE PROTECCIONES SOLARES

Se inició con la identificación y tipificación de los componentes de ventana, lo que permitió clasificar las diferentes alternativas de control solar para cada caso, así como también desarrollar una estructura modular adaptada a los componentes existentes en fachadas (cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación de componentes de ventana

FACHADA SUR				
Nº	COMPONENTE	UBICACIÓN	DIMENSIONES	REQUERIMIENTO DE CONTROL SOLAR
1	Muro-cortina	Pisos 1 al 5	7,51 x 3,42 m	Sí
2	Muro-cortina	Piso 6	4,70 x 3,42 m	Sí
3	Ventana proyectante	Pisos 1 al 6	2,00 x 2,00 m	Sí
4	Ventana recedida	Piso 7	2,00 x 2,00 m	No

FACHADA NORTE				
Nº	COMPONENTE	UBICACIÓN	DIMENSIONES	REQUERIMIENTO DE CONTROL SOLAR
1	Muro-cortina	Pisos 1 al 6	5,65 x 3,42 m	Sí
2	Ventana recedida	Piso 7	2,00 x 2,00 m	No

FACHADA ESTE				
Nº	COMPONENTE	UBICACIÓN	DIMENSIONES	REQUERIMIENTO DE CONTROL SOLAR
1	Muro-cortina	Pisos 1 al 7	1,20 x 3,35 m	Sí
2	Ventana proyectante	Pisos 1 al 7	2,00 x 2,00 m	Sí
3	Ventana recedida	Piso 7	2,00 x 2,00 m	No

FACHADA OESTE				
Nº	COMPONENTE	UBICACIÓN	DIMENSIONES	REQUERIMIENTO DE CONTROL SOLAR
1	Ventana proyectante	Pisos 1 al 7	2,00 x 2,00 m	Sí
2	Ventanas recedidas Servicios	Pisos 1 al 7	1,04 x 2,30 m c/u	No
3	Ventanas recedidas Oficinas	Pisos 1 al 7	1,04 x 2,30 m c/u	No

Fuente: Elaboración propia.

169

De acuerdo con los componentes identificados en las diferentes fachadas, se determinaron los siguientes criterios para el diseño de parasoles:

- Priorizar la intervención de control solar para proteger de la radiación los componentes que cuenten con el mayor porcentaje de superficie en cada fachada.
- Diseñar los elementos de control solar en función de la fecha más desfavorable de soleamiento para cada fachada, según su orientación.
- Calcular las dimensiones de los parasoles utilizando el método de ángulos de sombreado.
- Evitar la modificación de los cerramientos existentes.
- Evitar el bloqueo de la vistas de manera permanente.
- Evitar el bloqueo de la movilidad de los componentes de ventanas existentes en caso de que la posean.
- Realizar la coordinación modular con respecto al formato de los componentes que conforman el cerramiento existente (muro-cortina, ventanas proyectantes, etc.).

Cumpliendo estos requerimientos, se plantean varias alternativas para el diseño de los parasoles, que se agruparon según el componente de ventana a proteger y evidentemente según su orientación. En el caso de las fachadas norte y sur, en vista de que el muro cortina o fachada acristalada ocupa la mayor superficie con respecto al resto de vanos y ventanas identificadas, se decidió realizar una propuesta de control solar para los mismos, conservando las ventanas proyectantes en su estado original. En este sentido, se estudiaron tres opciones de control solar para estas fachadas (figura 3).

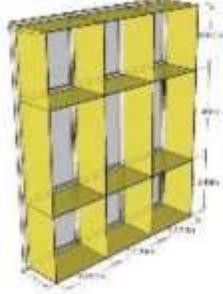
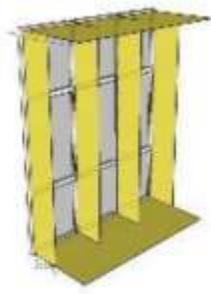
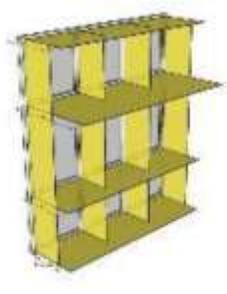
FACHADAS NORTE Y SUR		
OPCIÓN1	OPCIÓN2	OPCIÓN3
		
Componentes verticales y horizontales de igual dimensión	Componentes verticales con ancho fijo de 0,55 m y componentes horizontales cada 3,14 m (altura de entepiso)	Componentes verticales con ancho fijo de 0,55 m y componentes horizontales dispuestos según formato del muro cortina

Figura 3. Opciones preliminares de control solar en fachadas norte y sur
Fuente: Elaboración propia.

En la fachada este se encuentran dos elementos que requieren protección solar, las ventanas proyectantes y las secciones de 1,20 m de muro-cortina dispuestas verticalmente en cada extremo de la fachada, no obstante, proporcionalmente ocupan mayor superficie acristalada las ventanas proyectantes, por lo cual la propuesta estará dirigida a estos componentes. La misma situación ocurre en la fachada oeste, con la particularidad de que en este caso el volumen de servicios adosado a la misma impide que la radiación solar se transmita directamente hacia los ambientes de oficina, quedando dos hileras de ventanas proyectantes que influyen directamente en los espacios de oficinas y que requieren una intervención.

En el caso de la fachadas este y oeste, por tratarse de planos que reciben radiación solar perpendicularmente, una durante las horas del día (fachada este) y la otra durante horas de la tarde (fachada oeste), es necesario contemplar dentro de la propuesta opciones con componentes móviles que a través de mecanismos sencillos permitan a sus usuarios no solo controlar el paso de iluminación y radiación solar en horarios requeridos, sino también evitar el bloqueo de las visuales de manera permanente. En este sentido, se estudiaron cuatro opciones de control solar para estas fachadas (figura 4).

170

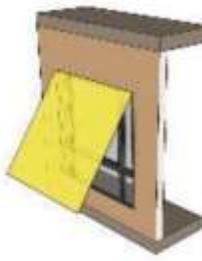
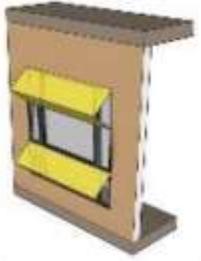
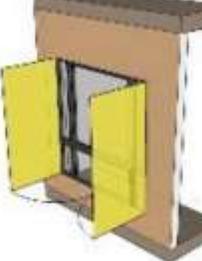
FACHADAS ESTE Y OESTE			
OPCIÓN1	OPCIÓN2	OPCIÓN3	OPCIÓN4
			
Componente tipo persiana móvil	Componente tipo toldo retráctil	Componente plegable horizontal o vertical	Componente abatible

Figura 4. Opciones preliminares de control solar en fachadas este y oeste
Fuente: Elaboración propia.

Una vez propuestas las opciones de protección solar para cada orientación de fachada, se procedió a realizar su dimensionado a través del método de ángulos de sombreado, el cual consiste en utilizar como datos principales los ángulos de incidencia solar. Se consideran las orientaciones de las fachadas y en función de las mismas se escoge la fecha y hora más desfavorable. Si el elemento de sombreado logra proyectar la sombra deseada durante ese día y a esa hora específica para proteger de la radiación solar, el plano de la ventana se considera será efectivo el resto del año.

171

El cálculo de los parasoles para la fachada norte se realizó tomando como ángulo vertical de sombreado (AVS) los datos del día 21 de junio a las 10:15 am, mientras que para la fachada sur se hizo referencia al 21 de diciembre a las 10:30 am, ambas consideradas la fecha y hora más desfavorables para el análisis.

Una vez obtenidas las dimensiones de los parasoles, se procede a comparar los mismos en función de los criterios de diseño establecidos inicialmente, y se seleccionan aquellas alternativas que dieron como resultado componentes con dimensiones manejables, con el propósito de ahorrar materiales y facilitar su elaboración, así como también simplificar y estandarizar el proceso de diseño e instalación.

En las fachadas norte y sur, la opción 1 (Componentes verticales y horizontales de igual dimensión) fue el que obtuvo mejores resultados desde el punto de vista constructivo, económico y de efectividad, no obstante, en vista de que los componentes de la fachada sur deben sobresalir al menos 1,10 m para garantizar un sombreado total el 100% del tiempo, se resuelve sacrificar el porcentaje de sombreado en pro de evitar complicaciones técnico-constructivas, lo que implica llevar el parasol de 1,10 m a 0,55 m con la finalidad de que esta medida no exceda la distancia comprendida entre el plano acristalado y el borde de mampostería en fachada. En este orden de ideas, para el caso de las orientaciones este y oeste se seleccionó la opción 1 (Componente tipo persiana móvil), (figura 5).

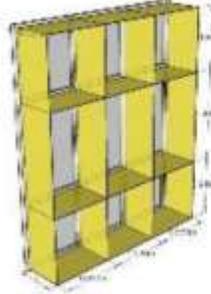
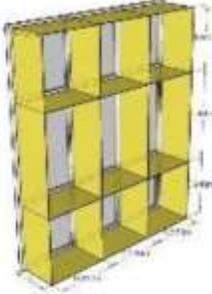
PROPUESTAS DE CONTROL SOLAR SELECCIONADAS			
FACHADA NORTE	FACHADA SUR	FACHADA ESTE	FACHADA OESTE
OPCIÓN 1	OPCIÓN 1	OPCIÓN 1	OPCIÓN 1
			
COMPONENTE A SOMBRLEAR			
<i>CURTAIN WALL</i>	<i>CURTAIN WALL</i>	VENTANA PROYECTANTE	VENTANA PROYECTANTE
DIMENSIONES			
Vertical = 0,45 m Horizontal = 0,45 m	Vertical = 0,55 m Horizontal = 0,55 m	0,30 m	0,32 m

Figura 5. Propuestas definitivas de control solar en fachadas
Fuente: Elaboración propia.

Premisas y consideraciones previas a la realización de las simulaciones

Para determinar la efectividad de los métodos de control solar escogidos, se realizaron varias comprobaciones utilizando el programa Ecotect. Inicialmente, se elaboró un modelo tridimensional de cada fachada y se analizaron los diagramas estereográficos de los planos acristalados donde fueron incorporados los parasoles propuestos, con la finalidad de obtener el coeficiente de sombreado, el cual representa la cantidad de superficie libre de radiación solar por espacio de tiempo en el lapso de un año. Este valor se expresa en porcentaje, en que 0 equivale a una superficie totalmente sombreada y 100 a una superficie con radiación solar directa.

Seguidamente se procede a realizar la evaluación de los niveles de iluminación natural de acuerdo con la distribución de lumen/m² (luxes) en los espacios de oficinas y, por último, a determinar la cantidad de energía que ingresa a los espacios producto de la incidencia solar absorbida por metro cuadrado de superficie acristalada en las fachadas del edificio, expresada en watt-hora (Wh).

Para evaluar los niveles de iluminación fue modelada una planta tipo de la edificación seleccionada como caso de estudio, con el fin de recrear las condiciones reales e incorporar todos aquellos elementos que influyan en la distribución de la iluminación natural en los espacios internos. Para ello se añadieron a la volumetría los materiales de los cerramientos y la ubicación de sus aberturas al nivel de fachadas, así como también los paneles o tabiques divisorios que forman parte del mobiliario. Entre los datos suministrados se encuentran las condiciones del

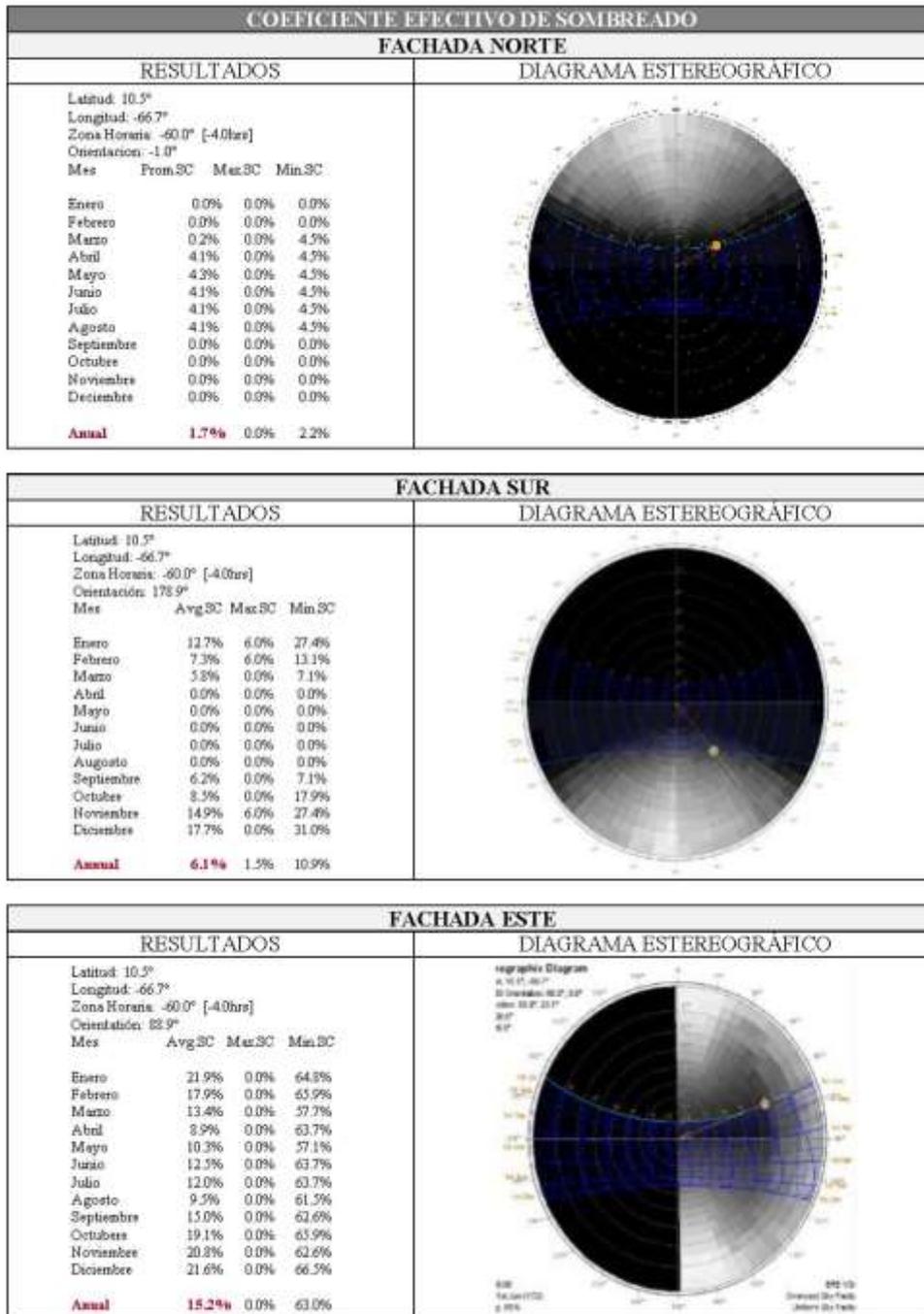
cielo, donde se especifica la distribución de la luz en toda la bóveda celeste, encontrándose entre estas cielo despejado, intermedio o nublado, el factor de limpieza de objetos de ventana debido a que afecta la transmisión de luz, para el cual se establecen tres alternativas, limpio, intermedio y sucio, y finalmente se incorpora la iluminación de diseño, que no es otra que la iluminación difusa en sitios despejados que es excedida el 85% del tiempo en el lapso comprendido entre las 9:00 am y las 05:00 pm.

En las simulaciones, el cálculo fue realizado partiendo de las opciones por defecto, para las cuales la componente celeste implementa los valores del cielo nublado, el factor de limpieza de ventanas es intermedio y la iluminación de diseño proviene de la data climática de la ciudad de Caracas, cuyo valor equivale a 10.000 lux. Para este estudio no fue necesario añadir lámparas, ya que el propósito es evaluar de qué manera se distribuye la iluminación natural en los espacios de oficina y cómo puede influir en la misma la propuesta de parasoles adoptada. Por su parte, para llevar a cabo el estudio de incidencia solar en los cerramientos acristalados de la “Sede Águila” de Conatel, se utilizaron los modelos realizados para el estudio de iluminación natural y se seleccionaron los planos de ventanas tipo en las diferentes fachadas, tanto en la arquitectura existente como en el modelo que cuenta con el sistema de parasoles, con la finalidad de comprobar si la incorporación de los mismos permite reducir la cantidad de energía que ingresa a los espacios internos a través de los cerramientos de vidrio producto de la incidencia solar.

Análisis de resultados

La efectividad del sistema de parasoles en el caso de estudio se cuantificó de varias maneras por medio de la interpretación de los gráficos y resultados provenientes de las simulaciones virtuales realizadas con el software Ecotect. Los resultados del estudio de coeficiente efectivo de sombreado revelan que para contrarrestar la radiación solar directa en ventanas no es necesario que los elementos de sombreado cubran toda de la superficie la totalidad del tiempo que estos reciben radiación. En la fachada norte se obtuvo un coeficiente efectivo de sombreado promedio anual de 1,7%, la fachada sur obtuvo un coeficiente de 6,1%, mientras que en las fachadas este y oeste este valor asciende a 15,2%. Esto quiere decir que solo durante estos porcentajes de tiempo comprendidos en el lapso de un año, el plano de la fachada a proteger recibirá incidencia solar (figura 6).

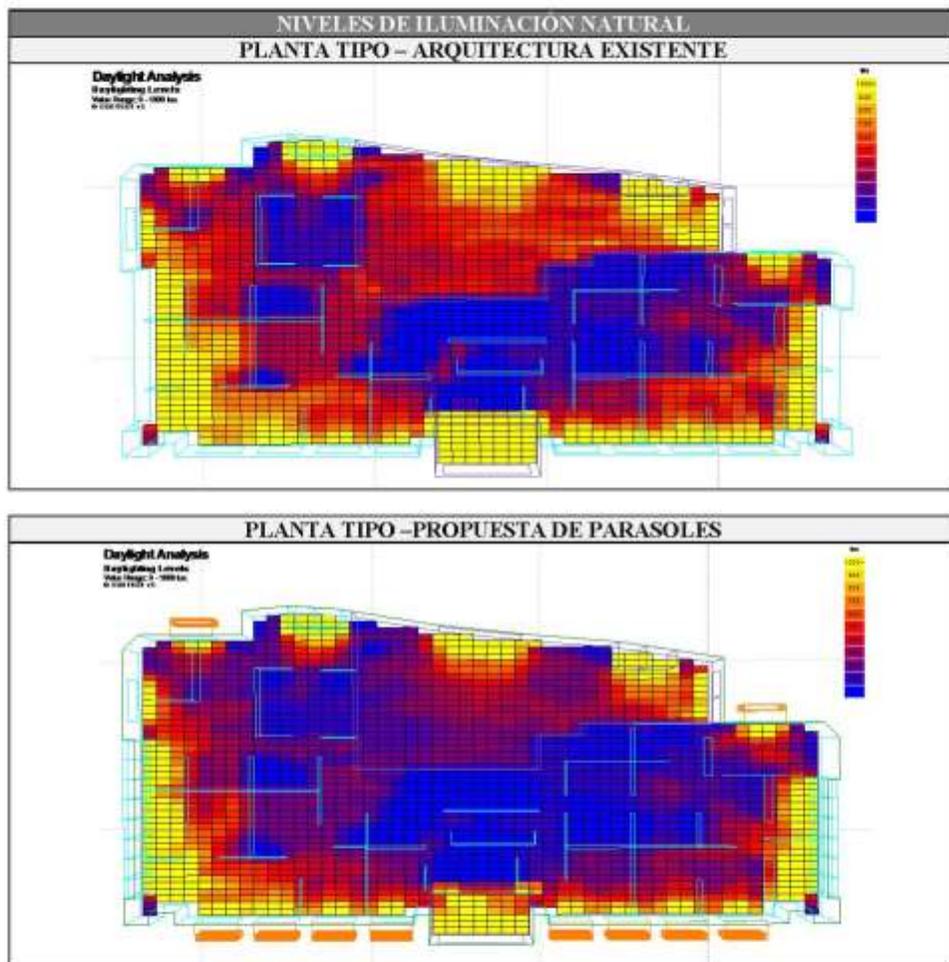
173



174

Figura 6. Diagramas de sombreado en fachadas con protecciones solares propuestas
 Fuente: Elaboración propia.

Para determinar el impacto de la implementación del sistema de control solar en cuanto a la distribución de la iluminación natural en los espacios internos, se compararon los gráficos entre la arquitectura existente frente a la propuesta (figura 7).



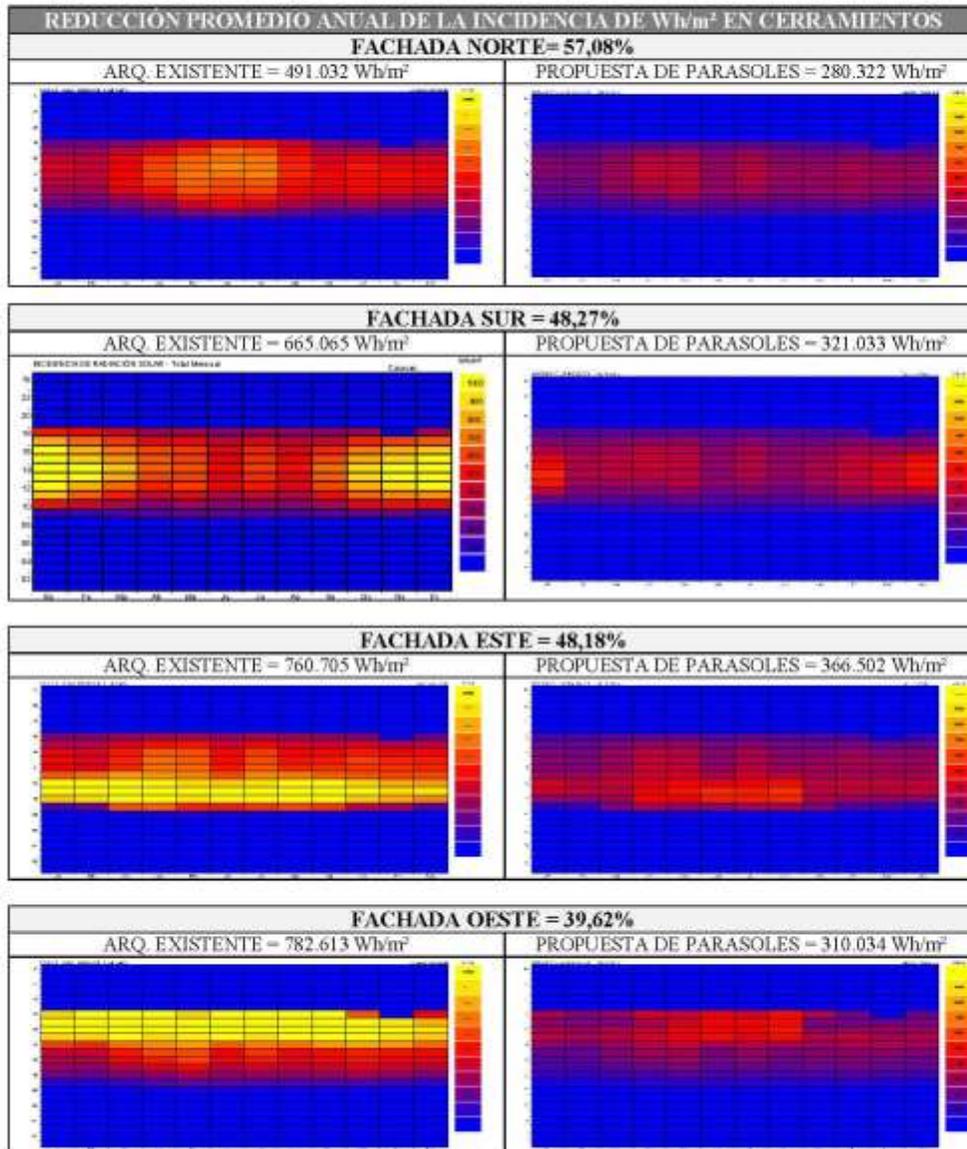
175

Figura 7. Diagramas de sombreado en fachadas con protecciones solares propuestas
Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 7, el gráfico correspondiente a la arquitectura existente obtiene una iluminación natural con rangos entre 800 y 1.000 luxes en todo el perímetro de la planta tipo, mientras en el gráfico que muestra la incorporación de protecciones solares, el nivel de iluminación natural se reduce cerca de 40%.

En cuanto al estudio de incidencia solar en cerramientos de vidrio, se realizó por medio de la comparación de los datos obtenidos de las simulaciones entre la arquitectura existente y la propuesta de control solar. Fundamentalmente, se trata de verificar qué porcentajes de reducción

fue posible obtener en cuanto a la incidencia de radiación solar en componentes de ventana y la absorptividad de la misma al interior de los espacios de oficina, lo cual se traduce en la reducción efectiva de las cargas térmicas y, por consiguiente, la reducción del consumo energético por climatización. Cada gráfico muestra 12 columnas correspondientes a cada mes del año en el eje "X", y 24 filas distribuidas en el eje "Y" para identificar el total de horas de un día; la escala gráfica está expresada en Wh/m² (figura 8).



176

Figura 8. Incidencia solar en fachadas
Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en la figura 8, la implementación de las protecciones solares permitió la reducción de la incidencia solar de manera significativa. En la fachada norte, durante el periodo de mayor incidencia solar, se obtuvo una reducción de 57,08%; en la fachada sur una reducción de 48,27%; en la fachada este 48,18%, mientras que en la fachada oeste se obtiene una disminución de 39,62%.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De manera generalizada, y en especial en países de clima tropical, el refrescamiento de los edificios de oficina ha sido delegado casi de manera exclusiva a los sistemas activos de climatización. Estos dispositivos implican grandes inversiones no solo debido al costo inicial de los componentes y equipos, sino también debido al elevado consumo energético durante su uso.

Por otra parte, las características constructivas de los edificios de oficina, en general, no contribuyen a mejorar esta situación, por el contrario, al hacer uso indiscriminado de ciertos materiales y tecnologías, así como desconocer las condiciones climáticas de la región, comprometen la calidad ambiental de los espacios, lo que se traduce en un menor rendimiento de los equipos de aire acondicionado y un mayor consumo energético.

En ese sentido, los sistemas de control solar se presentan como una alternativa válida, aportando de manera significativa en la reducción de las cargas térmicas de las edificaciones. Aunque lo ideal es que estas se incorporen desde el proceso de conceptualización, estos sistemas son factibles de aplicar luego de la construcción del edificio, ayudando a solventar problemas donde la transferencia de calor a través de los cerramientos sea excesiva, como ocurre generalmente en fachadas acristaladas o muros cortina empleados comúnmente en la tipología de oficinas.

Asimismo, del estudio se desprenden ciertas recomendaciones en cuanto al empleo de sistemas de control solar en edificios de oficinas, así como también las ventajas de su utilización:

- La instalación de parasoles en fachadas modifica y reduce los niveles de iluminación natural en los espacios de oficinas, con lo cual su uso requiere un estudio previo de las condiciones espaciales para evitar causar un impacto negativo.
- Los parasoles pueden ser complementados incorporando a su diseño otras estrategias pasivas, como repisas reflectantes, para mejorar el alcance y optimizar la distribución de la iluminación natural en el interior de las oficinas, lo que permitirá reducir la demanda de iluminación artificial y, en consecuencia, el consumo eléctrico.
- El uso de parasoles como estrategia de control sola, reduce la cantidad de calor que ingresa a los espacios a través de los cerramientos acristalados, lo cual conlleva una reducción en la demanda de enfriamiento de equipos de aire acondicionado y, por ende, una disminución del consumo energético.

177

REFERENCIAS

- Bélgica. Buildings Performance Institute Europe –BPIE. (2011). Europe’s buildings under the microscope. A country-by-country review of the energy performance of buildings. Bruselas: Buildings Performance Institute Europe (BPIE). Disponible en: http://www.bpie.eu/country_review.html
- IPCC. (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza.
- Santamouris, M. y Asimakopoulos, D. (1997). *Passive cooling of buildings*. Londres-Inglaterra: James & James Science Publishers.
- Siem, G., Sosa, M.E. y Hobaica, M.E. (2004). *Manual de Diseño para Edificaciones Energéticamente Eficientes*. Caracas-Venezuela: Fonacit-IDECA-FAU-UCV.
- Wiel, S; Martin, N.; Levine, M.; Pri, L. y Sathaye, J. (1998). The role of building energy efficiency in managing atmospheric carbon dioxide. *Environmental Science & Policy*, 1, pp. 28-29.

ARTICULO N° 4: POTENCIALIDADES DE LOS SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN PASIVA Y EL RETO DE SU DIFUSIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EN VENEZUELA.



Caracas, 18 de Mayo de 2015.

A QUIEN PUEDA INTERESAR

Quien suscribe, Prof. **MARY RUTH JIMÉNEZ**, en cumplimiento del artículo 82 del Reglamento del Personal Docente y de Investigación de la UCV, hago constar que el Prof. **ERNESTO LORENZO ROMERO** es el autor principal del artículo titulado: "*Potencialidades de los sistemas de climatización pasiva y el reto de su difusión y transferencia tecnológica en Venezuela*", el cual fue publicado in-extenso en las memorias de la Trienal de Investigación de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UCV en julio de 2014.

Asimismo, en mi condición de coautora, lo **AUTORIZO** para que pueda utilizarlo como credencial para su ascenso en el escalafón universitario a la categoría de profesor agregado.

Constancia que se expide en Caracas, a los 18 días del mes de Mayo de 2015.



Arq. Mary Ruth Jiménez
C.I: 15.023.965

Caracas, 18 de Mayo de 2015.

A QUIEN PUEDA INTERESAR

Quien suscribe, Prof. **MARIA ELENA HOBAICA**, en cumplimiento del artículo 82 del Reglamento del Personal Docente y de Investigación de la UCV, hago constar que el Prof. **ERNESTO LORENZO ROMERO** es el autor principal del artículo titulado: "*Potencialidades de los sistemas de climatización pasiva y el reto de su difusión y transferencia tecnológica en Venezuela*", el cual fue publicado in-extenso en las memorias de la Trienal de Investigación de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UCV en julio de 2014.

Asimismo, en mi condición de coautora, lo **AUTORIZO** para que pueda utilizarlo como credencial para su ascenso en el escalafón universitario a la categoría de profesor agregado.

Constancia que se expide en Caracas, a los 18 días del mes de Mayo de 2015.


Arq. María Elena Hobaiça
C. 3.186.384

ÁREAS TEMÁTICAS

AMBIENTE Y SOSTENIBILIDAD
CIUDAD Y SOCIEDAD
HISTORIA Y PATRIMONIO
TECNOLOGÍA CONSTRUCTIVA
INFORMÁTICA Y REPRESENTACIÓN GRÁFICA
TEORÍA Y PROYECCIÓN ARQUITECTÓNICA

TRIENAL DE INVESTIGACIÓN FAU 2014

DEL 30 DE JUNIO AL 4 DE JULIO DE 2014

IV JORNADAS DE INVESTIGACIÓN DE LA ESCUELA DE ARQUITECTURA CARLOS RAÚL VILLANUEVA

XXXII JORNADAS DE INVESTIGACIÓN DEL INSTITUTO DE DESARROLLO EXPERIMENTAL DE LA CONSTRUCCIÓN

JORNADAS DE INVESTIGACIÓN DEL INSTITUTO DE URBANISMO

MEMORIAS



FAU
UCV

<http://trienal.fau.ucv.ve>

Dirección Local: (01) 4020147201870
ISBN: 978-980-00-2780-6
E.L.F.: 6-200000627

**POTENCIALIDADES DE LOS SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN PASIVA
Y EL RETO DE SU DIFUSIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA
EN VENEZUELA**

Ernesto Lorenzo

Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción,
Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela
ernestolorenzor@gmail.com

Mary Ruth Jiménez

Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción,
Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela
aldila13@gmail.com

Maria Elena Hobaica

Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción,
Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela
hobaica@gmail.com

RESUMEN

El trabajo presenta los resultados preliminares correspondientes a la primera etapa de un proyecto llevado a cabo en el Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC), dentro del área de requerimientos de habitabilidad de las edificaciones, el cual propone cuantificar el potencial de enfriamiento *versus* consumo energético del sistema de enfriamiento por contacto con el suelo, enfriamiento radiante y enfriamiento evaporativo, a fin de facilitar su transferencia, socialización y aplicación en edificaciones dentro del contexto climático venezolano, entendiendo la necesidad de migrar gradualmente hacia un nuevo paradigma de desarrollo sostenible. Entre las contribuciones del trabajo destaca la elaboración de al menos tres tesis de especialización, una de maestría y una de doctorado, que se desarrollan actualmente. Asimismo se presentan avances en el desarrollo de las distintas técnicas estudiadas, y en especial la realización de un registro y adecuación a nivel preliminar de toda la documentación en cuanto a las nuevas tecnologías de información y documentación (NTIc), con miras a lograr la difusión eficiente de los resultados finales de la investigación.

Palabras clave: climatización pasiva, ahorro energético, habitabilidad de las edificaciones, transferencia tecnológica, difusión de conocimientos, NTIc.

148

INTRODUCCIÓN

En Venezuela, estadísticas recientes indican que el país cuenta con el mayor consumo per cápita de energía eléctrica de toda América Latina (Banco Mundial, 2007). Todo esto se agudiza debido a la existencia de un desequilibrio entre la demanda creciente de energía y la oferta, lo cual, aunado al cambio climático, ha desembocado en una crisis eléctrica nacional, en que las edificaciones juegan un papel preponderante al ser estas grandes consumidoras de energía, a causa principalmente de los avances tecnológicos basados en un elevado gasto energético. Solo por concepto de climatización se estima una demanda de 6,5% de la energía total consumida en el mundo anualmente; sin embargo, investigaciones han demostrado que la aplicación de técnicas pasivas de climatización pudieran llevar dicha cifra a 2,35% (Santamouris et al., 1997). La dificultad radica entonces en su aplicación intensiva, como opción a los sistemas tradicionales de climatización de elevado consumo energético.

Investigaciones llevadas a cabo en el IDEC, en conjunto con la Universidad de la Rochelle, Francia, permitieron estimar el potencial teórico de aplicación de varias técnicas de climatización pasiva en el trópico, resaltando los sistemas evaporativos, radiantes y de contacto por el suelo como los más efectivos, en relación con el confort global en zonas climáticas representativas de nuestro país, concluyendo que en Venezuela es factible su aplicación (Allard et al., 1998; Hobaica et al., 2001; Lorenzo et al., 2008).

En este sentido, y con base en los avances obtenidos en los trabajos anteriormente descritos, se plantea el desarrollo y diversificación de los sistemas pasivos de enfriamiento estudiados para su adecuación precisa a las condiciones climáticas y constructivas de Venezuela. Para ello se propone la realización de protocolos de cálculo, predimensionado y construcción de los mismos, con miras a su adecuación a las nuevas tecnologías de información y documentación (NTIc), para que así se facilite la difusión y transferencia de los resultados de la investigación.

149

BASAMENTO TEÓRICO DE LOS SISTEMAS PASIVOS DE CLIMATIZACIÓN

Las técnicas o sistemas de climatización pasiva de edificaciones tienen como finalidad el logro del confort térmico en los usuarios, sin la necesidad de utilizar fuentes artificiales de energía, o hacerlo de forma muy reducida, lo que las agrupa en parte de la literatura bajo el epígrafe de refrigeración gratuita, *free cooling*.

La climatización pasiva se basa en el principio de la termodinámica, que indica que el modo natural de fluir la energía es del foco caliente al foco frío (Holman, 1999). Por tanto, para que un edificio de modo natural pierda energía calorífica (calor) debe estar en contacto con un foco frío que le extraiga el calor. Si, por el contrario, se desea evitar la pérdida de calor dentro del edificio, se debe entonces aislar el foco frío. En el caso práctico, el foco frío puede ser una temperatura real (temperatura del suelo a determinada profundidad) o una temperatura hipotética (temperatura aparente del cielo), siendo esta la temperatura mínima que puede alcanzar el fluido portador de calor (generalmente aire) a la salida del sistema de climatización. En definitiva, la efectividad de estos sistemas depende fundamentalmente de:

- La diferencia de temperatura entre el aire del ambiente y la fuente de enfriamiento.
- La intensidad del flujo térmico disponible en la fuente de enfriamiento.

- La posibilidad de evacuar de la fuente de enfriamiento el calor que le es transferido, de manera que se mantenga su temperatura a un nivel lo suficientemente bajo durante un período de tiempo conveniente.

Los principios de la climatización pasiva que parten del aprovechamiento de las condiciones climáticas de la región para el logro del confort térmico sin la necesidad de recurrir al uso de fuentes artificiales de energía, se mantienen hasta hoy día, sin embargo, las técnicas para su aprovechamiento han evolucionado a través de los años en virtud de lograr una integración cada vez más eficiente con las edificaciones modernas (Serra et al., 1995). Cada técnica responde a necesidades climáticas diferentes, por lo que su escogencia debe basarse en los requerimientos específicos de la edificación y el tipo de clima donde se encuentre. Asimismo, y al igual que las energías renovables, estos sistemas están condicionados por la disponibilidad de recursos, por tanto, en algunos casos deben combinarse con sistemas convencionales (Montoso, 2004).

En el caso venezolano, son tres los sistemas con mayor potencial teórico: sistemas evaporativos, radiantes y de contacto por el suelo, por lo que a continuación se desarrollan sus características, así como los avances alcanzados actualmente en el IDEC.

La tecnología de enfriamiento por conductos enterrados

El sistema de conductos enterrados consiste en enterrar una serie de tubos, preferiblemente de una conductividad elevada, por donde se hará circular forzosamente un cierto caudal de aire tomado del exterior, en la búsqueda de estimular el intercambio convectivo con la tierra y así aumentar o disminuir la temperatura inicial del aire, para finalmente este último sea utilizado para mejorar las condiciones térmicas en los espacios interiores de las edificaciones (figura 1).

150

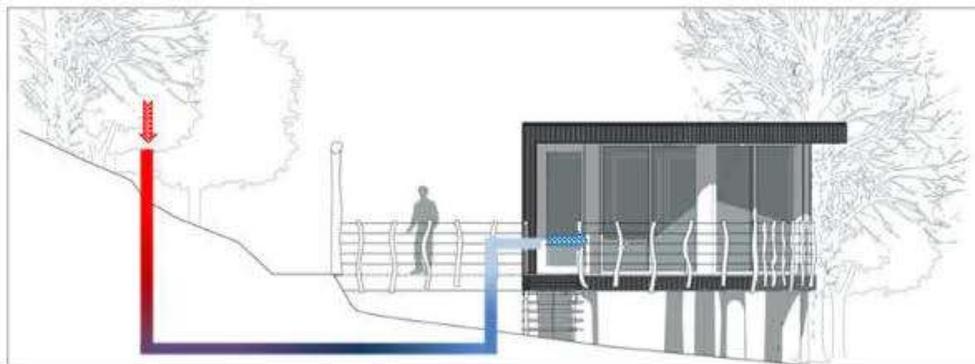


Figura 1. Esquema de funcionamiento del sistema de conductos enterrados.
Fuente: Elaboración propia.

En la actualidad se lleva a cabo el desarrollo de esta técnica en el país a través del desarrollo de dos proyectos de investigación financiados por el CDCH-UCV y Fonacit, respectivamente, donde se pretende, entre otras cosas, lograr cuantificar cuál es la potencia de enfriamiento *versus* consumo energético, frente a sistemas tradicionales de climatización.



Figura 2. Avances de experimentación, Maracay, estado Aragua
Fuente: Reinaldo Ferraro.

Asimismo, el estudiante de especialización en desarrollo tecnológico de la construcción, arquitecto Reinaldo Ferraro, lleva a cabo su trabajo especial de grado en esta área, desarrollando hasta el momento dos experiencias experimentales de gran interés en la ciudad de Valencia, estado Aragua, donde, en primera instancia, pudo validar las conclusiones obtenidas por los trabajos de Lorenzo (2007), Lorenzo et al. (2008) en cuanto al funcionamiento y efectividad de este sistema en climas cálido-húmedos, a la par que pretende la obtención del potencial real de enfriamiento de esta técnica, respecto a sistemas convencionales de climatización.

151

La tecnología de enfriamiento radiante

El enfriamiento radiante se fundamenta en el intercambio de calor entre cuerpos a través de la radiación de onda larga emanada de las superficies que lo rodean. Por lo tanto, este sistema puede ser utilizado, tanto para el enfriamiento como calentamiento de espacios, siempre que se garantice la existencia de una diferencia de temperatura entre la envolvente y el espacio a climatizar.

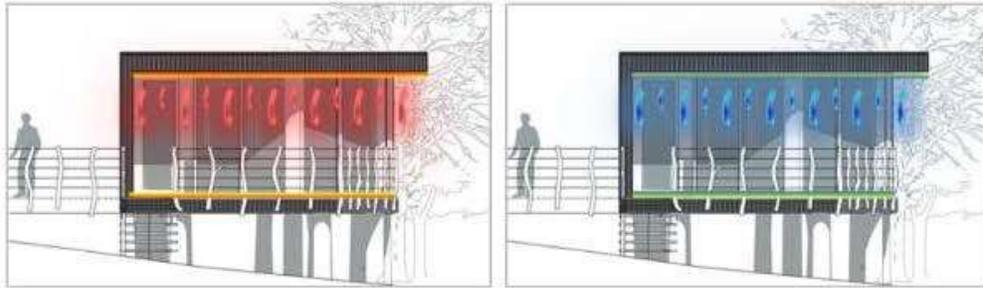


Figura 3. Esquema de funcionamiento del sistema radiante por techo para calefacción (izq.) y para enfriamiento (der.).
Fuente: Elaboración propia.

Las técnicas de aplicación pueden ser muchas, sin embargo, en el IDEC se están desarrollando dos. Una, por parte del arquitecto Henry Ruiz, quien es estudiante de la Maestría en Desarrollo Tecnológico de la Construcción, llevando a cabo el desarrollo de un sistema de plafón radiante a través de pequeñas tuberías por donde se hace circular agua a baja temperatura. Y la segunda por parte de la arquitecta Andys Piñate, quien está trabajando en un estanque de techo.

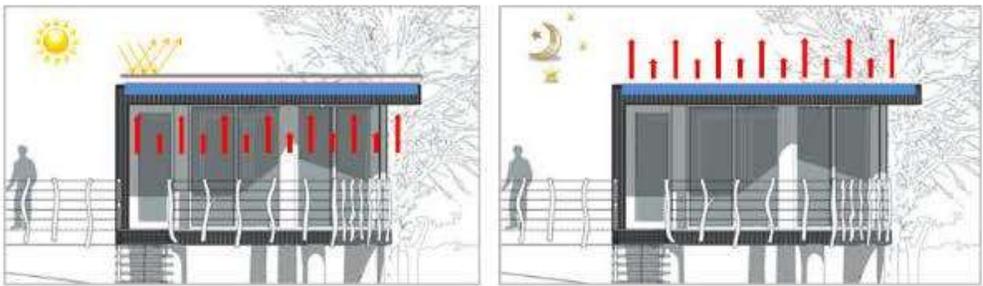


Figura 4. Esquema de funcionamiento del sistema de estanque de techo durante el día (izq.) y la noche (der.)
Fuente: Elaboración propia.

152

La tecnología de enfriamiento evaporativo

Los sistemas evaporativos funcionan al aumentar el contenido de agua en el aire seco para que al evaporarse esta extraiga la energía del aire y reduzca su temperatura, aumentando simultáneamente la humedad.

Comúnmente, estos sistemas pueden ser configurados para funcionar de manera directa (el agua se evapora directamente en una corriente de aire aumentando su humedad) e indirecta (el agua se evapora en una corriente secundaria, la cual intercambia calor sensible con la corriente primaria, que de este modo no recibe ninguna humedad).

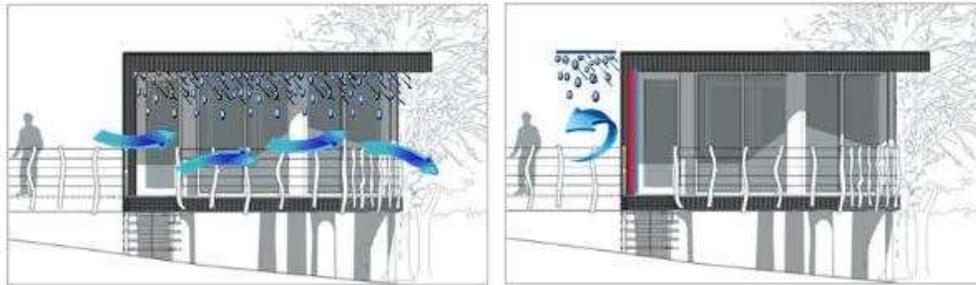


Figura 5. Esquema de funcionamiento del sistema de enfriamiento evaporativo directo (izq.) e indirecto (der.)
Fuente: Elaboración propia.

En Venezuela, el enfriamiento evaporativo indirecto es el que presenta el mayor potencial teórico de aplicación, por lo que en la actualidad en el IDEC se está desarrollando, como complemento del trabajo especial de grado del arquitecto Reinando Ferraro, la experimentación de un sistema evaporativo indirecto, a través de la creación de una membrana vegetal ventilada, que será la responsable de extraerle calor al aire, a través de la evaporación del agua presente en el sustrato de las plantas. Este sistema puede diseñarse para que tome aire directamente del exterior, o de retorno del espacio, tal como se muestra en la figura 6.

153

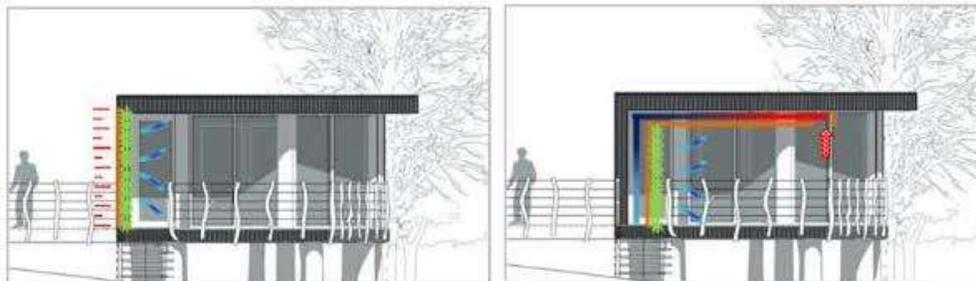


Figura 6. Esquema de funcionamiento del sistema de enfriamiento vegetal con aire del exterior (izq.) y con aire de retorno del espacio (der.)
Fuente: Elaboración propia.

En este sentido, el estudio que adelanta el IDEC, bien sea a través de proyectos de investigación financiados por el Fonacit y el CDCH-UCV, o por distintas tesis de posgrado que se desarrollan actualmente, constituye una contribución significativa en el desarrollo de estas tecnologías de climatización en el país, principalmente en cuanto a su adaptación y comprobación, que entre otras cosas permitirá de una manera rápida y sencilla la evaluación, diseño y aplicación de estos por parte de profesionales y técnicos, quienes en definitiva, junto a los actores sociales involucrados, tanto del sector público como del privado, son los que podrán estimular su implementación progresiva en el contexto venezolano. Es por esto que el reto que se nos presenta

es alcanzar la mejor difusión de los resultados arrojados por la investigación, a la par de estimular la transferencia tecnológica de manera efectiva hasta los distintos sectores involucrados.

CONSIDERACIONES PARA LA DIFUSIÓN Y TRANSFERENCIA DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

Los sistemas de gestión de información para la gestión del conocimiento constituyen hoy una alternativa de imprescindible presencia en la academia. Permiten operar activos tangibles e intangibles de la institución y llegan a convertirse en herramienta integral de gerencia para alcanzar con éxito los objetivos propuestos.

Este trabajo se ampara bajo estas premisas y centra su atención en el uso de los medios y las tecnologías de la comunicación en el ámbito de la diseminación, difusión, comercialización y gestión de información de productos de I+D que se generan en el IDEC, particularmente aplicado a las potencialidades de los sistemas de climatización pasiva.

Es por ello que para confirmar nuestras premisas de la transferencia de conocimiento a través de las herramientas de virtualización presentes hoy por hoy, proponemos como estudio de caso no solo adecuar el paquete tecnológico de los sistemas de climatización pasiva a la tecnología informática actual, digitalizando el catálogo de componentes y el proceso de diseño, sino adaptando los protocolos de cálculo, predimensionado y construcción de prototipos a través de un paquete de software libre para la gestión automatizada del proyecto y la implementación de una plataforma comunicacional digital a través de redes para la gestión del conocimiento.

154

Se sugiere una interfaz interinstitucional, donde se gestione el sistema no solo como un soporte de difusión e información, sino además como un instrumento de ventajas competitivas sostenibles que implicarían:

- Determinación de la información: durante la planificación, gestión y supervisión del proyecto.
- Recolección y análisis de la información: selección de información para futuras referencias.
- Registro y recuperación: el principio más importante del registro de informaciones es la facilidad con la que pueda recuperarse.
- Utilización: solucionar problemas, determinar recursos, solicitar apoyos y planear futuros proyectos.
- Divulgación o flujo de información: acceso a la información por usuarios potenciales.

En referencia a la interfaz interinstitucional propuesta, es importante señalar que cada actor o investigador conoce y genera múltiples piezas de información en tiempo real, compuestas por su experiencia, contexto, entorno, necesidades y sensibilidad, donde se combinan los medios tradicionales de difusión con las nuevas tecnologías de información y comunicación (NTIc), que facilita el flujo de información, difusión y transferencia.

Operaciones necesarias

La planeación y el control de proyectos de I+D como los sistemas de climatización pasiva, engloban una serie de técnicas de gestión apropiadas, eficientes y que deben ser adaptadas a cada instituto de investigación tecnológica que así lo requiera. Así mismo, una adecuada ubicación del proyecto en la estructura organizacional aclarará la naturaleza de su aplicación en el desarrollo, promoción y mercadeo de la propuesta de difusión y/o divulgación. Metodológicamente, el proyecto de sistema de difusión de I+D desarrolla aspectos que permitirán definir el diseño del sistema; el mismo se ha centrado en el usuario, con el objetivo de definir una arquitectura de información y una agrupación de servicios que permitan un alto nivel de desarrollo en temas de gestión de contenidos, capaz de coordinar la transferencia de los esfuerzos en I+D dentro del ciclo de vida de los mismos. Por otra parte, si el propósito es considerar un plan de aplicación de resultados de I+D, de manera más integral y efectiva para el desarrollo de la investigación, se deben tomar en cuenta aspectos más relevantes que estén dirigidos a:

a. Identificación del producto

Aquí se plantea un proceso de difusión inicial, en el cual se determinan los objetivos y el alcance de la investigación en función del mensaje, los medios a utilizar, la oferta y la evaluación a los efectos de la comunicación antes, durante y después del proyecto. En general, los productos de los centros de I+D comprenden proyectos de investigación aplicada, acciones de desarrollo y servicios de laboratorio. Son productos que no se venden a un mercado masivo, sino a clientes de un sector especializado. Aplicación: Sistemas de climatización pasiva.

b. Operaciones de entrada

Aquellas que conducen a la formación de los depósitos de documentos y a la producción de su representación. El producto obtenido a partir de su aplicación son usualmente fichas técnicas de información inicial (accesibles a través de la Web) en las cuales hay: políticas de selección y adquisición de información en función del personal, recursos disponibles y receptores potenciales. Análisis documental: precisión del contenido según usuario potencial, lineamientos del centro y el comité evaluador. Resumen analítico o breve exposición del contenido del documento, en el cual se indicará el carácter del mismo, su contenido y las conclusiones a que llega. Almacenamiento: aquí se ordenará la documentación en pro de su conservación y uso. Aplicación: De acuerdo con los propósitos institucionales, el proyecto de aplicación plantea desarrollar e implementar un sistema de gestión de información que permita la transferencia tecnológica de los productos de I+D, específicamente de los sistemas de climatización pasiva, la representación gráfica informatizada y la implementación de una plataforma comunicacional digital, incorporando bases de datos y librería DXF, como herramientas que faciliten la realización de los proyectos de aplicación. Para la instalación del sistema nos apoyamos en un sistema de gestión de base de datos de fuente libre, relacional, multihilo y multiusuario.

c. Operaciones de salida

Se refiere a la producción de información y sus formatos. A lo largo de su ciclo de vida, un único documento puede representarse en múltiples formatos para satisfacer distintas necesidades, que se ajustarán de acuerdo con la adquisición de los datos, la producción del

documento, difusión en diferentes soportes, lectura en pantalla o impresa, el sistema de recuperación y la conservación de los archivos. **Aplicación:** Se produce en su mayoría información de carácter académico (formulaciones, ascensos, tesis). La difusión para la comercialización requiere de un análisis previo de a quién va dirigido (ej.: los sistemas constructivos deberán producir información en cada cierta etapa, en que estén de manera sencilla los datos generales del sistema, especificaciones técnicas, aplicaciones, ventajas, etc.).

d. Operaciones de mantenimiento

Los proyectos de I+D deben mantenerse dinámicos y abiertos –actualización de productos, servicios, contenidos, módulos y componentes–, mejorando las funciones básicas de la cadena documental y de difusión; se trata de la transformación de la documentación original en instrumentos de referencia que representen al centro que los produce.

CONCLUSIONES

No menos importante que hacer investigación es su difusión, clave para su puesta en valor. La difusión debe, por un lado, estimular su disfrute para que la sociedad participe de estos bienes comunes y, además, fomentar su entendimiento como principio de su revalorización. Por tal motivo, este trabajo recoge y reconoce como prioridad lo que estas nuevas tecnologías multimedia aportan a la investigación tradicional con su bagaje tecnológico, suponiendo una vía nueva de acceso que lo acerca al mundo, gracias a la red, y lo hacen más atractivo a las nuevas generaciones y nuevas necesidades de una sociedad cada vez más vinculada a la tecnología digital.

156

REFERENCIAS

Allard, F. y Belarbi, R. (1998). Metodología de evaluación de técnicas pasivas de enfriamiento. Cotedi'98. Caracas, Venezuela.

Banco Mundial. (2007). *Indicadores de desarrollo mundial. Consumo de energía eléctrica (kWh per cápita)*. Agencia Internacional de Energía. Estadísticas y balances de energía de países que no forman parte de la OCDE y estadísticas de energía de países de la OCDE.

Fernández Aballí, L. (2000). La sociedad de la información en América Latina y el Caribe. Contribución a una perspectiva 2020. En: C. Tünnermann y F. López. *La educación en el horizonte del siglo XXI*. Caracas: Iesalc-Unesco.

González-Barahona, J. (2003). Hacia nuevas formas de producción y difusión del conocimiento en grupo de sistemas y comunicaciones de la Universidad Rey Juan Carlos, España. Enero. <http://jamillan.com/celhome.htm>

Hobaica, M.E., Belarbi, R. y Rosales, L. (2001). Los sistemas pasivos de refrescamiento de edificaciones en clima tropical húmedo. *Tecnología y Construcción, 17-1*, Caracas, Venezuela, IDEC/UCV.

- Holman, J.P. (1999). *Transferencia de calor*. México, D.F.: Editorial Continental.
- Lorenzo, E. (2007). Climatización pasiva por conductos enterrados. Caso de aplicación: Almacenes L&G para bebidas alcohólicas y gaseosas. Tesis de especialización no publicada. Caracas, Venezuela.
- Lorenzo, E., Hobaica, M. y Conti, A. (2008). Desarrollo experimental de un prototipo del sistema de tubos enterrados. *Tecnología y Construcción*, vol. 24, n° 1, Caracas, Venezuela.
- Montoso, J. (2004). *Buenas prácticas de eficiencia energética en edificaciones*. España: Junta de Castilla La Mancha, Agecam.
- Santamouris, M. y Asimakopulos, D. (1997). *Passive cooling of buildings*. Londres, Inglaterra: James & James Science Publishers.
- Seaton M., C.E. (1994). *Comercialización, mercadeo y transferencia de resultados de investigación y desarrollo*. Programa Nacional de Gerencia del Conicit, Módulo N° 9. Álvaro Campo Cabal y Henry Yesid Bernal Editores, Santafé de Bogotá, D.C., Colombia, septiembre.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adalberth, K., Almgren, A., y Petersen, E. (2001) *Life cycle assessment of four multi-family buildings*. Revista International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings, volumen 2. Royal Institute of Technology, Stockholm, Suecia.

Adnot, J. y Waide P. (2003). *Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners (EECCAC)*. Dirección General de Transporte y Energía de la Unión Europea. París, Francia.

Bradley, R., Pershing, J., Schipper, L., Baumert, K., Dubash, N., Moreira, R., Mwakasonda, S., Wei-Shiuen, N., Nogueira, A., Parente, V., y Winkler H. (2005). *Growing in the Greenhouse: Protecting the Climate by Putting Development First*. World Resources Institute. USA.

IEA (2012). *World Energy Outlook 2012*. Agencia internacional de la energía (IEA – OECD). Paris, Francia.

IEA (2013). *World Energy Outlook 2013*. Agencia internacional de la energía (IEA – OECD). Paris, Francia.

IPCC (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis*. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al 4to Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza.

Jones, D. (1998). *Architecture and the Environment: Bioclimatic Building Design*. Laurence King Publishing. University of Michigan, USA.

Junnila, S. (2004). *The Environmental Impact of an Office Building throughout its Life Cycle*. Tesis doctoral de Helsinki University of Technology (TKK) Construction Economics and Management. Espoo, Finlandia

Levine, M., Urge-Vorsatz, D., Blok, K., Geng, L., Harvey, D., Land, S., Levermore, G., Mongameli, A., Mirasgedis, S., Novikova, A., Rilling, J., Yoshino, H. (2007). *Residential and commercial buildings in Climate Change 2007: Mitigation.* Contribución del grupo de Trabajo III al cuarto Informe de evaluación del grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. Universidad de Cambridge. New York, U.S.A.

Metz, B., Davidson, O., Bosch, P., Dave, R., Meyer, L. (2007) *IPCC. Summary for Policymakers, Climate Change 2007: Mitigation.* Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University. New York, U.S.A.

Nigel W., Detlef, P., y Morna, I. (2011). *The implications of climate policy for the impacts of climate change on global water resources.* Revista Global Environmental Change, volumen 21 N° 2.

OECD (2012). *Environmental Outlook to 2050. The Consequences of Inaction.* Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. Paris, Francia.

ONU (2008). *Objetivos de desarrollo del Milenio, Informe 2008.* Organización de las Naciones Unidas. Nueva York, USA.

Pérez, L., Ortiz, J. y Pout, C. (2008). *A review on buildings energy consumption information.* Revista Energy and Buildings, volumen 40 N° 3.

PNUD (2007). *Buildings and climate change. Status, challenges and opportunities.* Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Paris, Francia.

PNUD (2009). *Buildings and Climate Change. Summary for Decision Makers.* Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Paris, Francia.

Price, L., De la Rue du Can, S., Sinton, E., Worrell, N., Zhou, J., Sathaye, D., y Levine, M. (2006). *Sectoral trends in global energy use and greenhouse gas emissions*. Lawrence Berkeley National Laboratory. Berkeley, USA.

Sivak, M. (2013). *Will AC Put a Chill on the Global Energy Supply?*. Revista American Scientist, Volumen 101 N° 5.

Suzuki, M., y Oka, T. (1998) *Estimation of life cycle energy consumption and CO₂ emission of office buildings in Japan*. Revista Journal of Energy and Buildings, volumen 28.