

Análisis térmico de un edificio escolar durante el verano en condiciones de clima cálido húmedo

Thermal analysis of a school building during the summer in hot humid weather conditions

ANDAVERDE-ARREDONDO, Jorge^{1*†}, ALCALÁ-PEREA, Gerardo², RAMÍREZ-DOLORES, César^{3,4} y AZCANIO-HERNÁNDEZ, Rurik³

¹Universidad Veracruzana. Facultad De Ciencias Químicas, Av. Universidad km. 7.5, Coatzacoalcos, Veracruz 96538, México.

²Centro de Investigación en Recursos Energéticos y Sustentables, Av. Universidad km. 7.5, Coatzacoalcos, Veracruz 96538, México.

³Universidad Veracruzana. Facultad De Ingeniería, Av. Universidad km. 7.5, Coatzacoalcos, Veracruz 96538, México.

⁴Universidad Veracruzana. Facultad De Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Programa de posgrado en Ingeniería, Circuito Universitario Gonzalo Aguirre Beltrán, Centro, Xalapa Enríquez, Veracruz 91000, México

ID 1^{er} Autor: Jorge, Andaverde-Arredondo

ID 1^{er} Coautor: Gerardo, Alcalá-Perea

ID 2^{do} Coautor: César, Ramírez-Dolores

ID 3^{er} Coautor: Rurik, Azcanio-Hernández

Recibido 28 de Marzo, 2018; Aceptado 10 de Mayo, 2018

Resumen

Coatzacoalcos, se encuentra ubicado en una zona económica especial, y aunque ha sido una región beneficiada por la industria petroquímica y el tráfico marítimo, se encuentra en condiciones climáticas que impactan negativamente en el consumo eléctrico y en el desarrollo de las actividades laborales. Por este motivo, es importante realizar acciones que aprovechen adecuadamente los recursos naturales existentes, como es el caso de las energías renovables y técnicas pasivas de arquitectura para poder brindar satisfacción de confort térmico a los usuarios de edificios ya construidos y en fase de planeación sin necesidad de hacer un uso irracional de la energía eléctrica. Con esta motivación, en este trabajo se presenta un análisis integral de las condiciones térmicas de una biblioteca que tiene la concurrencia más alta de estudiantes de la región, estimando las ganancias de calor por el método de ASHRAE para las cargas de mayor impacto, así como la detección de las secciones que captan las mayores ganancias de calor por medio de termografía. Se estima también la temperatura de confort térmico, y con los resultados obtenidos se plantean alternativas que permitan brindar confort térmico a los usuarios.

Carga térmica, Confort térmico, Coatzacoalcos

Citación: ANDAVERDE-ARREDONDO, Jorge, ALCALÁ-PEREA, Gerardo, RAMÍREZ-DOLORES, César, AZCANIO-HERNÁNDEZ, Rurik. Análisis térmico de un edificio escolar durante el verano en condiciones de clima cálido húmedo. Revista de Arquitectura y Diseño. 2018, 2-4: 30-35

Abstract

Coatzacoalcos is located in a special economic zone, and although it has been a region benefited by the petrochemical industry and maritime traffic, its climatic conditions have a negative impact on electricity consumption and the development of work activities. For this reason, it is important to carry out actions that adequately take advantage of existing natural resources, such as renewable energy and passive architectural techniques to provide thermal comfort satisfaction to users of buildings that have already been built or in planning phase by not making irrational use of electric power. With this motivation, this paper presents a comprehensive analysis of the thermal conditions of a library that has the highest concurrence of students in the region, estimating heat gains by the ASHRAE method for the highest impact loads, as well as the detection of the sections that capture the highest heat gains by means of thermography. The thermal comfort temperature is also estimated, and with the results obtained there are alternatives that provide thermal comfort to users.

Thermal load, Thermal comfort, Coatzacoalcos

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: jandaverde@uv.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La energía eléctrica es uno de los elementos claves para el funcionamiento y desarrollo de la sociedad moderna, de hecho, de acuerdo con (Saghir, 2005), ningún país ha conseguido reducir sustancialmente la pobreza sin incrementar de manera significativa el uso de esta; aunque su limitada disponibilidad hace que en algunas ocasiones no siempre sea posible satisfacer la demanda energética por parte de los gobiernos en busca de un crecimiento económico irracional (Doolla y Bhatti, 2006).

Y es que, el hecho de que alrededor del 70% de la producción eléctrica provenga de combustibles fósiles (WEC, 2017), pone en evidencia la inviabilidad de mantener los ritmos de crecimiento actuales.

Pues esto no solamente genera una dependencia en función de la volatilidad y disponibilidad limitada de estas fuentes energéticas, sino que también genera enormes daños ambientales, los cuales en muchas ocasiones son irreversibles.

Es evidente que ante este panorama las energías renovables figuran como una alternativa a la actual producción eléctrica basada en combustibles fósiles. No obstante el desarrollo de estas aún es insuficiente; e.g. si se analiza su evolución en México, se puede apreciar que en el periodo que corresponde entre los años 2006 y 2016, estas pasaron a representar de un 23.64 a un 24.61% de la producción eléctrica nacional, del cual sino se considera la generación hidroeléctrica, solamente un 2.84% corresponde a la Geotermoeléctrica, Eoloeléctrica y Solar Fotovoltaica (SENER, 2017).

Para el contexto mundial se puede apreciar que de los 23,816 TWh producidos en el 2014, solamente el 11% corresponde a la Nuclear y un 22% a las Renovables; teniendo como prospectiva que para el 2060 el consumo eléctrico rondará los 45,000 TWh, en donde para tres distintos escenarios se estima que entre 40, 50 y 64% de esta producción podría ser suministrado por las energías renovables (WEC, 2017).

En este sentido, en la medida que no se consiga una fuente de energía inagotable y amigable con el ambiente, si queremos alcanzar un desarrollo sostenible no solamente debemos enfocarnos en la forma de producción de la energía, sino también en los patrones de consumo que hacemos de esta (Alcala et al., 2015); tomando así, como líneas de estrategia, tanto la reducción del consumo, como del uso eficiente de la energía.

Una de las áreas de oportunidad para reducir el consumo eléctrico se encuentra en el sector residencial, público y comercial, el cual representa arriba del 20% de la energía total mundial (IEA, 2017), cuyo fin está destinado principalmente en conseguir condiciones confort para sus ocupantes.

Con esta necesidad, en los últimos años muchos gobiernos han puesto importantes esfuerzos en mejorar la eficiencia de los edificios existentes, así como los que se planean construir. También algunos organismos como la Agencia Internacional de Energía (IEA por sus siglas en inglés) ha lanzado un conjunto de iniciativas, poniendo a disposición del público en general recomendaciones y propuestas de edificaciones que pueden ser usadas como guías para nuevos desarrollos (Ma et al., 2012).

No obstante, si bien es cierto que este tipo de lineamientos nos pueden señalar las directrices para desarrollar edificaciones que proporcionen las condiciones óptimas de confort, es importante realizar estudios que se adecúen a las particularidades de cada región y que permitan implementar tanto las técnicas pasivas (Hassouneh et al., 2010; Hatamipour y Abedi, 2008), como las activas (Yew et al., 2018; Ma et al., 2012), ya sea para edificios construidos o en fase de planeación, y así aprovechar el potencial de ahorro energético.

El objetivo del presente trabajo es presentar un estudio térmico preliminar de un edificio público (biblioteca) ubicado en una zona cálida y húmeda, a partir de datos de temperaturas medidos en el interior y exterior del edificio, así como evaluaciones termográficas de las zonas de mayor temperatura del mismo.

Caso de Estudio

El edificio seleccionado como caso de estudio se encuentra en el municipio de Coatzacoalcos, en el estado de Veracruz, al sureste de México. Su ubicación geográfica es de 18° 08' de latitud norte y 94° 27' de longitud oeste. Coatzacoalcos es una región urbana y cuenta con un puerto que se ha beneficiado del tráfico interoceánico (SCT, 2012), el cual se encuentra ubicado en la zona estratégica del istmo de Tehuantepec. En esta región prevalece el clima cálido y húmedo, con temperaturas que alcanzan un máximo de hasta 55 °C en el verano (medida *in situ*) y abundantes lluvias, y se caracteriza por tener un cielo despejado con alta radiación solar la mayoría de los días del año.

Estos altos niveles de carga térmica dificultan mantener un nivel óptimo de confort térmico dentro de los edificios sin tener que recurrir a sistemas de enfriamiento artificial, siendo las envolventes exteriores de los edificios algunos de los elementos que contribuyen de manera más significativa en el consumo de energía para los climas cálidos como el imperante en Coatzacoalcos y gran parte del sureste de México (Fasi & Budaiwi, 2015).

La construcción del edificio de estudio, tiene un área de 4080 m² con una capacidad para albergar 3000 usuarios diariamente, consta de bloques de hormigón, cemento aplanado y arena, y pintura de vinil en el exterior y el interior de las paredes. El techo tiene láminas de acero en el exterior e interior.

Las ventanas del edificio son de vidrio deslizante horizontal de 6 mm de espesor con un valor U de 5.52 W/m²°C. El área acristalada (ventanas y puertas) es de 25.20 m² para el norte del edificio, 106.60 m² para el sur, 60.17 m² para el este y 59.74 m² para el oeste, y no cuentan con protecciones solares típicas en el interior, como persianas venecianas y cortinas de tela.

El estudio incluye la determinación de la contribución del calor que se obtiene a través de las ventanas y puertas acristaladas, así como un análisis termográfico del espacio físico y las estimaciones de temperatura y horas de confort por el método de De Dear y Braguer (De Dear y Braguer, 2002).

Se pone énfasis en las envolventes vidriadas dado que son una de las fuentes más importantes de ganancia de calor, así como un elemento decisivo de las edificaciones para proporcionar comodidad visual adecuada a los ocupantes; siendo por tanto muy importante que estas mantengan una relación estrecha entre la iluminación natural y artificial, así como los niveles de confort térmico de los ocupantes. No obstante, es importante señalar que estas ganancias de calor pueden considerarse un elemento positivo en las estaciones del año donde las temperaturas disminuyen o en aquellas localidades en donde los climas fríos prevalecen, y un elemento negativo en la estación de verano propiciando altos consumos energéticos derivados del uso excesivo de sistemas de acondicionamiento de aire y sensaciones térmicas no aptas para realizar actividades.

Metodología

En la fase inicial de este estudio, se efectuaron simulaciones para determinar la transferencia de calor por radiación y conducción en las áreas acristaladas del espacio físico, utilizando las ecuaciones de energía y tablas ASHRAE (ASHRAE, 2001) para el aumento de calor solar y el factor de carga de enfriamiento de vidrio (Hassouneh et al., 2010). Las ganancias de calor de los fenómenos de radiación y conducción solar a través de ventanas y puertas se estimaron empleando la ecuación (1) y ecuación (2), respectivamente.

$$Q_{rad} = (SC)(SHGC)(CLF)(A) \quad (1)$$

Para la ecuación (1), SC es el coeficiente de sombra, CLF es el factor de carga de enfriamiento, A es el área acristalada (m²) y SHGC el coeficiente de ganancia de calor solar (W/m²), el SHGC está en función de la orientación, latitud y mes de evaluación (Ramírez et al., 2018). Es relevante señalar que en las tablas de ASHRAE el SHGC no se incluye para la latitud 18 °N por lo tanto se estimó por medio de interpolaciones lineales como se observa en la Tabla (1).

En la ecuación (2) U representa el coeficiente global de transferencia de calor (W/m²°C), A indica el área de vidrio (m²) y ΔT es el gradiente de temperatura (°C) entre el exterior y el interior del espacio físico, para esta investigación se han considerado temperaturas medidas *in situ* en diversos días del verano.

$$Q = (U)(A) (\Delta T) \tag{2}$$

SHGC (W/m ²) - Latitud 18°N				
Mes	Norte	Sur	Este	Oeste
Enero	93.00	647.84	647.84	650.99
Febrero	100.88	720.35	720.35	517.01
Marzo	108.76	750.30	750.30	327.86
Abril	121.37	717.19	717.19	162.35
Mayo	156.05	680.94	680.94	130.83
Junio	197.03	657.30	657.30	130.83
Julio	162.35	665.18	665.18	133.98
Agosto	127.68	691.97	691.97	162.35
Septiembre	113.49	712.47	712.47	326.28
Octubre	102.46	693.55	693.55	504.40
Noviembre	93.00	635.23	635.23	641.53
Diciembre	88.27	606.86	606.86	690.40

Tabla 1 Estimación de SHGC (W/m²) para 18°N
Fuente: Ramírez et al., 2018

El análisis termográfico realizado al espacio físico se efectuó para determinar las secciones del edificio en donde se obtienen las mayores ganancias de calor, con base en las horas de mayor ganancia obtenidas por la carga térmica se realizaron los registros no invasivos para el diagnóstico integral de la condición térmica del espacio físico.

Con base en las temperaturas exteriores e interiores medidas in situ en diversos días de verano y las temperaturas registradas en las intervenciones termográficas (cámara EasIR 9 de GUIDE Infrared, detector de 384 x 288 píxeles de alto), se ha determinado la temperatura de confort térmico por el método de De Dear y Braguer empleando la ecuación (3), así como los límites de esta temperatura a la cual se debería mantener el interior del edificio, por medio de las ecuaciones (4) y (5) para los límites superiores e inferiores respectivamente.

$$T_C = 17.8 + 0.31 * T_{EXT} \tag{3}$$

Para la ecuación (3) T_{EXT} es la temperatura exterior instantánea

$$T_{C-H} = T_C + 2.5 \tag{4}$$

En el caso del límite superior se realiza una adición a la temperatura de confort térmico que se obtiene de la ecuación (3).

$$T_{C-L} = T_C - 2.5 \tag{5}$$

La ecuación (5) incluye la temperatura de confort sin embargo se realiza una sustracción para obtener el límite inferior de la temperatura obtenida en la ecuación (3).

Resultados

En la Tabla 2 se muestran los resultados de ganancia de calor por el fenómeno de radiación solar obtenidos de la ecuación (1) en horario diurno de verano, para el área vidriada en las cuatro orientaciones del edificio.

Horas	Norte	Sur	Este	Oeste
7	2035.72	1534.09	13051.34	3534.01
8	2283.98	1952.48	17401.78	3926.68
9	2631.54	2928.73	19774.75	4319.35
10	2929.46	4323.36	20170.25	4712.02
11	3227.37	5857.46	18192.77	5104.69
12	3475.63	7252.09	15424.31	5497.36
13	3674.23	7949.41	13842.33	7460.70
14	3723.89	8088.87	12260.34	11387.39
15	3773.54	7391.56	11469.35	15706.75
16	3674.23	6554.78	10282.87	19633.43
17	3723.89	5718.00	9096.38	21989.45
18	3922.49	4881.22	8305.39	21596.78
19	3028.76	4044.43	6723.41	16099.42
Σ	42104.73	68476.48	175995.27	140968.03

Tabla 2 Ganancias de calor (W) por el fenómeno de radiación en las ventanas
Fuente: Elaboración propia

Para el caso de los datos (Gráfico 1) se observa que en la sección Oeste es donde se tiene la mayor ganancia de calor, posteriormente la sección Este, Sur y por último la Norte, respectivamente.

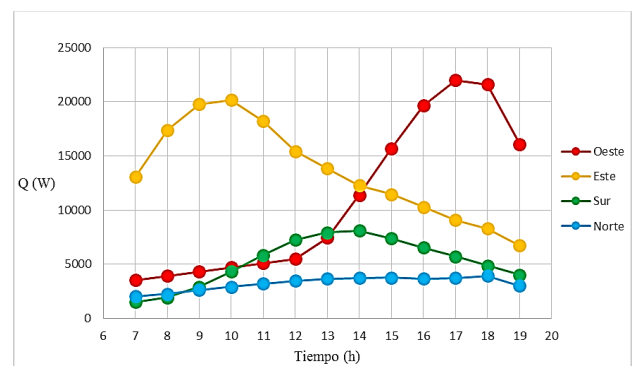


Gráfico 1 Ganancia de calor por radiación solar en áreas acristaladas del edificio
Fuente: Elaboración propia

Para el caso de las ganancias de calor por la conducción de calor en las ventanas, se obtuvieron los resultados siguientes: para la sección norte 543.66 W, sección sur 2299.78 W, sección este 1298.10 W, sección oeste 1288.83 W, siendo un total de 5430.37 W, de ganancia de calor por conducción en ventanas y puertas del edificio.

El análisis termográfico fue implementado en las cuatro secciones del edificio, así como en su interior, sin embargo en las secciones en donde predominan las áreas vidriadas se observan temperaturas superiores a las del confort térmico (Gráfico 2).

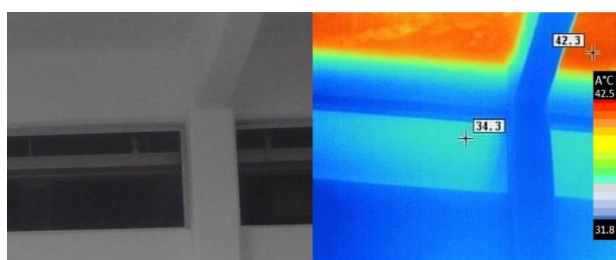


Gráfico 2 Termografía en ventanas, sección norte del edificio

Fuente: Elaboración propia

Al interior y exterior del edificio se efectuaron mediciones de temperatura. En el Gráfico 3 se presentan las temperaturas interiores del edificio medidas en un periodo de 24 horas, así como las temperaturas medidas en 3 puntos distintos del edificio con la cámara termográfica.

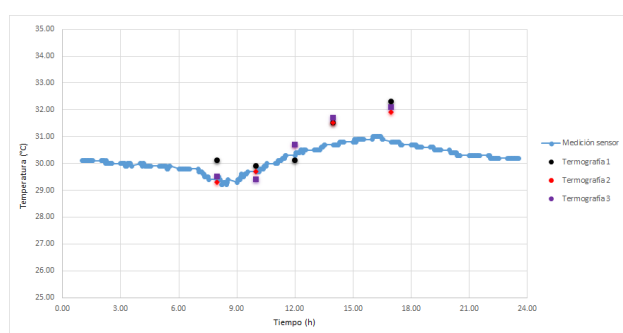


Gráfico 3 Temperatura interior del edificio

Fuente: Elaboración propia

Es importante señalar que mientras estas mediciones fueron realizadas no operaba el sistema de aire acondicionado. En el Gráfico 4 se muestran las temperaturas exteriores características del verano para escenarios con valores bajos, moderados y altos con respecto a la temporada.

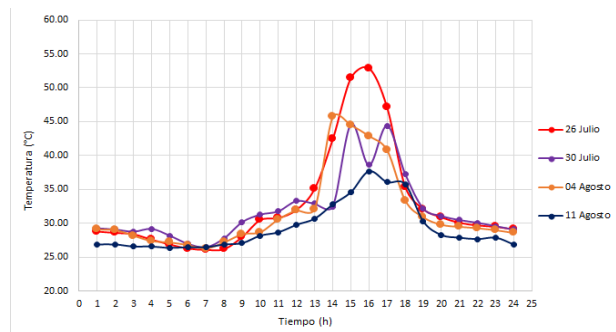


Gráfico 4 Temperaturas exteriores medidas in situ durante el verano del 2018

Fuente: Elaboración propia

Con base en las temperaturas exteriores se desarrolló el modelo para estimar la temperatura interior de confort propuesto por De Dear y Bragger (ecuaciones 3, 4 y 5). En el Gráfico 5 se presenta el comportamiento de la temperatura interior del espacio físico en condiciones de verano, así como su posicionamiento con respecto a la temperatura de confort y los límites superior e inferior, respectivamente.

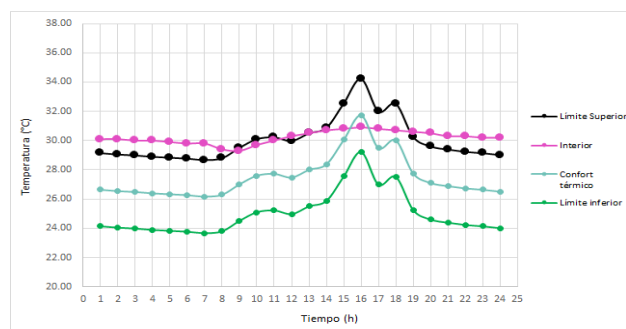


Gráfico 5 Comportamiento de la temperatura interior y la temperatura de confort térmico del espacio físico

Fuente: Elaboración propia

La temperatura de confort mantiene la tendencia de la temperatura exterior, debido a que esta última es empleada en el modelo de De Dear y Bragger, sin embargo en este caso de estudio es importante enfatizar que la temperatura interior se mantiene sobre la temperatura de confort térmico regularmente.

Conclusiones

Con base en este estudio se conocen las temperaturas externas e internas de una biblioteca ubicada en la latitud 18 °N en donde el clima cálido húmedo es imperante, permitiendo tener datos que sirvan como base para el planteamiento de técnicas pasivas de arquitectura y energías renovables que puedan propiciar confort térmico a los usuarios sin mermar en el consumo energético.

Como trabajo a futuro se espera diseñar, evaluar e implementar sistemas de acondicionamiento de aire alternativos como el caso de los intercambiadores de calor tierra aire (EAHE por sus siglas en inglés) que permiten enfriar aire sin recurrir al uso de refrigerantes y con un consumo eléctrico significativamente menor comparado con los sistemas convencionales (Ozgener y Ozgener, 2010) así como el uso de películas de control solar en ventanas para reducir las ganancias de calor por radiación solar (Hassouneh et al, 2010), se plantea efectuar mediciones in situ, en otros edificios y en más épocas del año para hacer un mejor diseño y selección de los sistemas alternativos de enfriamiento.

También se espera emplear los resultados obtenidos de esta investigación como herramientas para ampliar los estudios de tal manera que los aspectos económicos, sociales y ambientales puedan integrarse en el desarrollo de propuestas benéficas.

Referencias

- Alcalá, G., Rivero, M., & Cuevas, S. (2015). Effect of the magnetic field orientation on the damping of liquid metal free surface waves in the processing of materials. *Applied Thermal Engineering*, 75, 1296-1301.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers [ASHRAE]. (2001). *Fundamentals*. New York.
- De Dear, R. J., & Brager, G. S. (2002). Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and buildings*, 34(6), 549-561.
- Doolla, S., & Bhatti, T. S. (2006). Automatic generation control of an isolated small-hydro power plant. *Electric Power Systems Research*, 76(9-10), 889-896.
- Fasi, M. A., & Budaiwi, I. M. (2015). Energy performance of windows in office buildings considering daylight integration and visual comfort in hot climates. *Energy and Buildings*, 108, 307-316.
- Hassouneh, K., Alshboul, A., & Al-Salaymeh, A. (2010). Influence of windows on the energy balance of apartment buildings in Amman. *Energy Conversion and Management*, 51(8), 1583-1591.
- Hatamipour, M. S., & Abedi, A. (2008). Passive cooling systems in buildings: some useful experiences from ancient architecture for natural cooling in a hot and humid region. *energy conversion and management*, 49(8), 2317-2323.
- International Energy Agency [IEA]. (2017) *World Energy Balances*.
- Ma, Z., Cooper, P., Daly, D., & Ledo, L. (2012). Existing building retrofits: Methodology and state-of-the-art. *Energy and buildings*, 55, 889-902.
- Ozgener, O., & Ozgener, L. (2010). Exergetic assessment of EAHEs for building heating in Turkey: a greenhouse case study. *Energy Policy*, 38(9), 5141-5150.
- Ramirez, C.A, Alcalá, G., Andaverde, J.A., Cardona, M.D., & Colorado, D. (2018) Impact of the Thermal Load for a Library Model in a Rural Region of Tropical Climate in Mexico. *Chemical Engineering Transactions*, 70, 1843-1848.
- Saghir, J. (2005). *Energy and Poverty: Myths, Links, and Policy Issues*. Energy Working Notes, Energy and Mining Sector Board, Vol. 4. *The World Bank. Washington DC*.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes [SCT]. (2016). *Acerca del puerto*. Recuperado el 1 de Agosto de 2018 de: <https://www.puertocoatzacoalcos.com.mx/acerca-del-puerto>
- Secretaría de Energía [SENER]. (2017). *Balance Nacional de Energía 2016*. Recuperado el 1 de Agosto de 2018 de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/288692/Balance_Nacional_de_Energ_a_2016__2_.pdf
- World Energy Council [WEC]. (2017). *World Energy Issues Monitor 2017*. Recuperado el 1 de Agosto de 2018 de: <https://www.worldenergy.org/publications/2017/world-energy-issues-monitor-2017/>
- Yew, M. C., Yew, M. K., Saw, L. H., Ng, T. C., Chen, K. P., Rajkumar, D., & Beh, J. H. (2018). Experimental analysis on the active and passive cool roof systems for industrial buildings in Malaysia. *Journal of Building Engineering*, 19, 134-141.