

Ventajas del uso de fachada ventilada, en Giradot (Colombia)*

Un complemento tecnológico a fachadas modulares industrializadas

Advantages of using ventilated façade in Girardot (Colombia)
A technological complement facades modular industrialized

*Manuel Andrés Rubiano Martín**

Citar este artículo como: Rubiano Martín, M. (2015). Ventajas del uso de fachada ventilada, en Girardot (Colombia).
Revista Nodo, 9(19), pp. 111-120.

Resumen

Uno de los objetivos básicos de toda vivienda es brindar un ambiente interno de confort climático; este confort no solo depende de las condiciones externas sino también de la tecnología empleada para revestir al edificio. La fachada ventilada es una tecnología ampliamente conocida en el mundo para el revestimiento de edificios minimizando el uso de electrodomésticos como el HVAC mitigando el impacto ambiental dado su alto consumo energético y económico.

El presente artículo tiene como fin demostrar la eficiencia térmica y económica de una fachada ventilada en ladrillo cerámico, como complemento a una fachada modular de PVC; instalada en un espacio arquitectónico, de 27 m³ construido en la ciudad de Girardot, Colombia. Se realiza en el marco de la investigación “Fachadas de termo-regulación Natural-2014”, liderada por el arquitecto Claudio Varini.

Palabras clave

Fachada ventilada, confort climático, ahorro energético, termodinámica.

Abstract

One of the basic goals of any residential building is to provide climate comfort for its inhabitants. Thermal comfort not only depends on external conditions but also of the façade technology that is used to envelope the building. The more efficient this technology is, the more proficient thermal conditions can be achieved. Ventilated façade is a widely used technology to envelope buildings. It has been proved mostly on industrialized countries, as a mean to create comfort conditions minimizing energy use of H.V.A.C. equipment. The following work describes the results of this façade technology used on a 27m³ building in Girardot, Colombia.

Key words

Ventilated Facade, Thermodynamic, thermal comfort, thermal energy save.

Fecha de recepción: 2 marzo 2015 Fecha de aceptación: 21 septiembre 2015

* Este artículo y los datos acá analizados son resultado de la investigación denominada ECO – ENVOLVENTES 2013 y FACHADAS DE TERMOREGULACIÓN NATURAL 2014, liderada por el arquitecto Claudio Varini y financiada por la Universidad Piloto de Colombia.

* Arquitecto, Universidad de la Salle. Maestría en Tecnologías estructurales para arquitectura Politécnico de Milán. Docente Investigador Universidad Piloto de Colombia. Ha sido docente asociado de las áreas tecnológicas en las universidades Católica y América de Bogotá. Publicaciones: El sistema ACS y la renovación urbana de Milán (2009). E-mail: manuel-rubiano@upc.edu.co

1. Introducción

En un país como Colombia, con altos niveles de radiación solar, el sobre calentamiento es uno de los grandes problemas en el balance energético de los edificios (Mora Pérez, López Patiño, & López Jiménez, 2013). La participación en el consumo energético residencial de la Nación, de las viviendas ubicadas por debajo de los 1000 m.s.n.m. es del 41% (UPME, 2012). El 51% de estos hogares tienen algún sistema de refrigeración mecánica –como aires acondicionados o ventiladores– (UPME, 2012) utilizados para la refrigeración de las edificaciones.

Aunque la mayoría de los consumos energéticos residenciales en climas cálidos se encuentran en los estratos altos, (Pulido, 2011) existe una tendencia de adquisición de equipos portátiles de refrigeración baratos en los estratos bajos (Pulido, 2011). El mejoramiento de las condiciones térmicas de las viviendas –sin necesidad de equipos mecánicos– podría significar mejoramiento en la calidad de vida, un ahorro energético, además un ahorro de dinero no solo en los estratos altos sino, también en los segmentos bajos de la pirámide poblacional.

Una de las mejores formas de ahorrar energía dentro de un edificio es el cuidadoso diseño de su fachada. Arquitectos –en colaboración con ingenieros– han comenzado a diseñar fachadas para edificios teniendo como principal criterio el ahorro energético como contribución medio ambiental al delicado equilibrio del planeta (Haase, Wong, & Amato, 2007)

En este sentido, el uso de fachadas ventiladas generalmente tiene una contribución positiva para el mejoramiento del desempeño energético del edificio, y por este motivo la implementación de las fachadas ventiladas ha sido objeto de amplias aplicaciones en el diseño de edificios, especialmente en el campo del diseño bioclimático. (Mora Pérez, López Patiño, & López Jiménez, 2013). Los objetivos primordiales de este tipo de fachada son: separar el interior del exterior,

bloquear los efectos adversos del ambiente exterior y mantener el confort interno con un mínimo consumo energético. (Aksamija, 2009)

Una fachada Ventilada está compuesta principalmente por dos pieles (Una exterior y una interior) con una cavidad ventilada de aire localizada entre ellas. Los materiales de estas pieles son en su mayoría el vidrio, el mármol y la cerámica, entre otros. Como condición básica, la piel externa debe estar hecha de un material rígido que posea buenas condiciones térmicas de aislamiento. Los elementos del sistema están aferrados a una sub-estructura (generalmente hecha de perfiles de aluminio o acero) que a su vez está anclada a la estructura principal del edificio. (Mora Pérez, López Patiño, & López Jiménez, 2013)

La ventaja principal de este tipo de fachada es que el aire caliente que queda en la cavidad, puede ser extraído por medio de aire inducido (Mecánica o naturalmente), es decir, existe un efecto *stack*¹ que tiene como consecuencia que el aire suba llevándose consigo el calor adicional. (Poirazis, 2004) Esto ayuda a eliminar la necesidad de equipos de ventilación mecánica interna (HVAC) o a reducir el consumo energético que estos demandan para la refrigeración del edificio. (Andersen, 2003)

Sin embargo, aunque esta y otras tecnologías de fachada han sido probadas en países localizados en climas templados –Altas y bajas latitudes como los Estados Unidos y especialmente Europa– tienen pocos estudios que permitan demostrar su efectividad en países con climas húmedos tropicales (Haase & Amato) como Colombia.

El objetivo principal de este artículo es comprobar la efectividad térmica de una fachada ventilada instalada en un edificio de 27m³ en la ciudad de

..... .
1 Efecto Chimenea: Movimiento de aire hacia arriba debido a la diferencia de temperatura del aire y por lo tanto a su diferencia de presiones. Este efecto frecuentemente sucede en muchos lugares de las edificaciones, como huecos de ascensores, huecos de escaleras, ductos de basura, patios interiores, etc. El nombre de *efecto chimenea* se da por la comparación con el fenómeno que sucede dentro de una chimenea encendida.

Girardot Colombia. Sin embargo, es importante aclarar que los resultados de este estudio muestran una *tendencia* hacia el ahorro de energía y no necesariamente unos valores que pueden ser transferidos a cualquier modelo o edificio.

2. Metodología

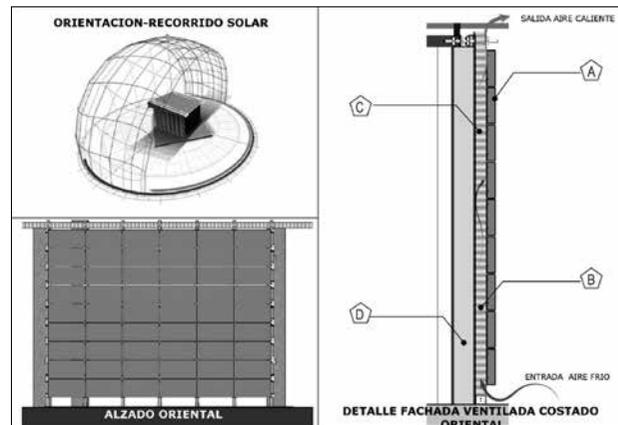
El gráfico 1 detalla la forma en la que fue instalada la fachada Ventilada utilizada en el presente trabajo. Sobre este diseño, se tomaron las mediciones antes y después de la instalación de la Fachada Ventilada (F.V.). Estas mediciones se hicieron con un equipo especializado² que toma las temperaturas en 4 puntos diferentes, con intervalos de 1 hora cada día de los dos periodos (24 resultados por cada una de las termo-cuplas + la temperatura interna).

Aunque el edificio solo tiene instalada la FV en el costado oriental, se determinó un ahorro energético por m² de FV instalada, que se aplicó a la totalidad de m² de las fachadas del modelo³.

2.1 Descripción del espacio arquitectónico utilizado como modelo de estudio

El espacio utilizado presenta una geometría en planta semejante, aunque ni sus lados ni sus ángulos son iguales; su volumen es de aproximadamente 27 m³ y la cubierta es a dos aguas, inclinada al norte. La puerta de acceso está orientada al sur y tiene una ventana al norte de 0.36 m²; la altura de piso a techo es de aproximadamente 2,44 metros. El cerramiento exterior –Que denominaremos fachada *Modular industrializada (F.M.I)*– recubre todo el edificio y está compuesta por paneles huecos extruidos de 100 mm de espesor en P.V.C. (D). Ver Gráfico 1

La *Fachada Ventilada (FV)*, fue instalada en el costado oriental y está compuesta por perfiles de acero (C) sobre la cual fueron sobrepuestos los



elementos de la piel exterior. La piel exterior (B) está compuesta por módulos de ladrillos cerámicos de material cerámico cocido; cada una con 1 cm de espesor entre una cavidad de 2 cms. Ver Gráfico 1.

2.2 Periodos de medición:

2.2.1 Fachada modular industrializada⁴ (F.M.I.)

Periodo 1

Las mediciones térmicas para la F.M.I. fueron tomadas en el periodo que va entre los días Octubre 2 de 2012 y el 31 de Julio de 2013.

2.2.2 F.M.I.+ Fachada Ventilada (FV)

Periodo 2

Por otro lado las mediciones térmicas de este periodo, fueron tomadas entre mayo 12 de 2014 y junio 13.

2.3 Análisis datos térmicos

2.3.1 Condiciones externas similares para cada periodo (Temperaturas externas similares):

Ya que las mediciones para cada tipo de fachada fueron hechas en periodos de tiempo diferentes (Periodo 1 y Periodo 2), es necesario tener unas condiciones térmicas externas similares en los dos

2 Quad Temp 2000-Madge Tech.

3 Ver limitantes del estudio en las conclusiones finales.

4 Datos suministrados de medición de temperaturas por el Arq. Eduardo Rocha Tamayo.

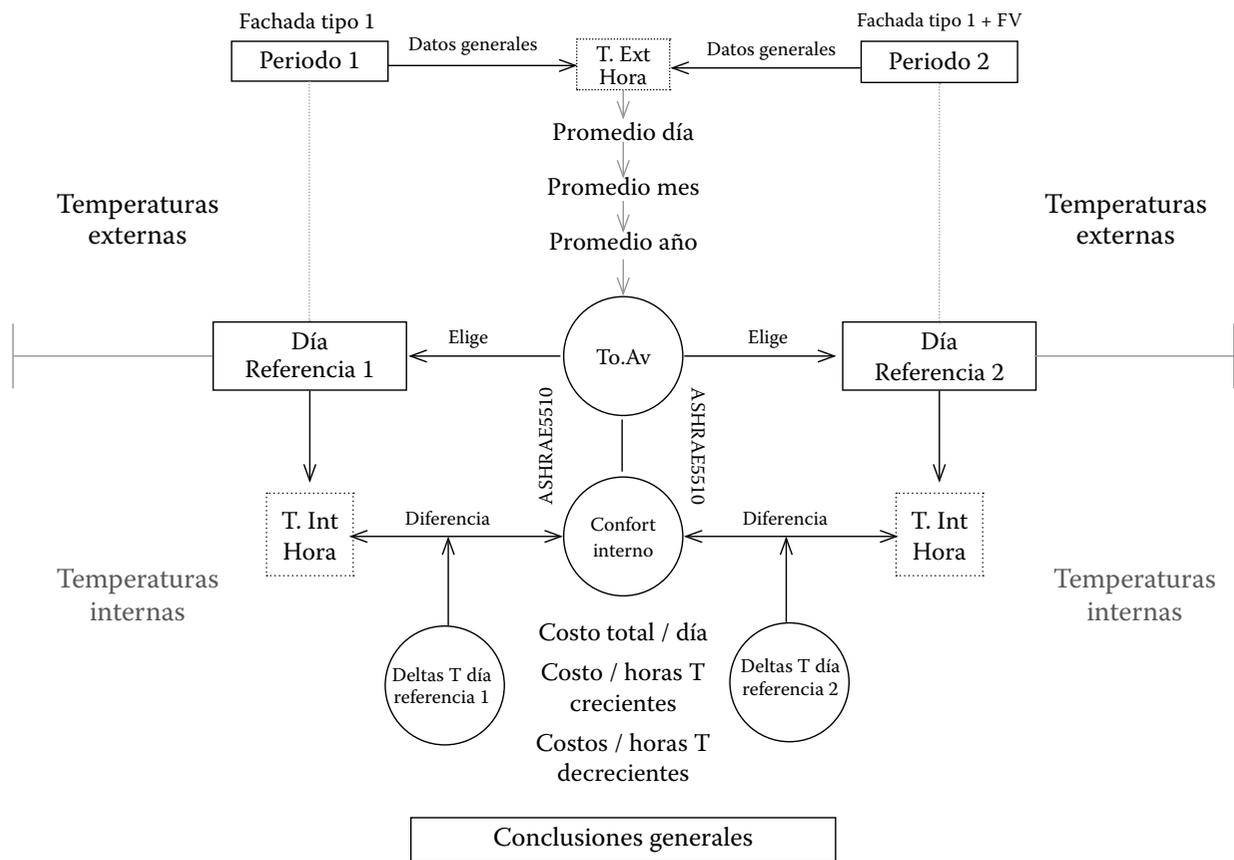


Gráfico 2. Metodología. Fuente: el Autor

periodos como base para el análisis y comparación detallada de los dos sistemas.

Las condiciones térmicas externas en cada periodo deben coincidir con *la temperatura externa anual promedio*, o *To.Av*⁵. Por lo tanto, definir y encontrar esta temperatura es esencial como el primer paso de los análisis.

La *To.Av* es el resultado de tomar los promedios mensuales de las temperaturas externas registrados, y dividirlos por 12 (SZOKOLAY, 1990). El resultado de esta operación es 29,80 °C, que tomaremos como el parámetro para elegir los días representativos de cada periodo, y para encontrar la temperatura ideal de confort.

.....
 5 *Temperatura externa promedio anual* por sus siglas en Inglés. (Temperature outside average) S. V. Szokolay House Design for overheating environments.

2.3.2 *Días representativos de cada periodo*

Estos días son los donde la temperatura externa es la más cercana a los 29,80 °C (*To.Av*). Al ser dos los periodos a analizar, serán dos los días que serán analizados por separado y en detalle.

Estos días fueron:

- Día representativo *Periodo 1*, 9 de Enero 2013 (29,80 °C).
- Día representativo *Periodo 2*, 31 de Mayo 2014 (29,78 °C).

2.3.3 *Confort interno Girardot*

Para el presente artículo se ha tomado la definición que brinda la norma ISO 7730 de estándares británicos y europeos, que la definen así: *“Es la condición mental en la que se expresa satisfacción*

con el ambiente térmico". (ISO/TC, TECHNICAL COMMITTEE; 122, TECHNICAL COMMITTEE CEN/TC; STANDARIZATION, EUROPEAN COMMITTEE FOR, 2005). En esta condición ideal de confort, no se está distraídos por sensaciones como el frío o el calor excesivo (BRAGER & DE DEAR, 2001). De lo contrario (si existe una condición de no confort) necesitaremos la ayuda de equipos mecánicos como los HVAC⁶ para sentirnos a gusto con el ambiente.

Con el objetivo de conseguir una cifra puntual y práctica de *confort térmico* para la ciudad de Girardot, este cálculo será dado guiado por la formula ASHRAE 55201:

Confort térmico = $17,8 + (31\% T_o.Av^7)$. (CONDITIONING, ENGINEERS AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATION AND AIR; 62.1, ASHRAE STANDAR PROJECT COMITEE,, 2013)

De aquí se deduce, que la temperatura de confort, varía de un lugar a otro y que cualquier cifra que defina este confort para un lugar específico debe ser el resultado de fórmulas que tomen en cuenta como mínimo las variables de la norma ASHARAEE. El resultado de esta fórmula en este caso es:

Confort térmico Girardot= 27,03 °C.

2.3.4 *Determinación de Horas HVAC/día encendidas*

Con base en el resultado obtenido, se tiene que cualquier temperatura por encima de esta cifra (27,03 °C) genera la sensación de calor y que por ende, necesita refrigeración mecánica, para la generación de confort térmico.

.....
6 HVAC: Calefacción, ventilación y aire acondicionado por sus siglas en Ingles. El objetivo de estas máquinas es permitir confort térmico y calidad aceptable de aire en ambientes internos. En países de habla hispana se conoce simplemente como Aires Acondicionados.

7 $T_o.Av$ es el resultado de tomar los promedios mensuales de las temperaturas externas registrados, y dividirlos por 12 (Ver Análisis de datos térmicos, p. 6)

Por lo tanto, las temperaturas internas recolectadas en los días representativos de cada periodo (9 de enero de 2013 y 31 de Mayo de 214) se han comparado hora por hora con esta cifra, para conocer las horas que requieren una refrigeración mecánica y saber el delta de Temperatura, que se explicara a continuación.

2.3.5 *Determinación de Delta Δ de temperaturas por hora/día:*

El delta de Temperatura se calcula como la diferencia entre los 27,03 °C (Temperatura ideal) y la temperatura interna recolectada, los días representativos de cada periodo (9 de Enero de 2013 y 31 de Mayo de 2014).

Esta operación se realizó hora por hora para los mencionados.

Por ejemplo, el 09 de Enero de 2013 (Periodo 1) a las 5:00 pm la temperatura interna registrada con la F.M.I. fue de 35,46 °C que es 8,46 °C más alto que los 27 grados de temperatura ideales. Esta diferencia (8,46 °C) es el *Delta de temperatura*.

De otro lado, con el sistema F.V. el día 31 de Mayo a la misma hora (5:00 pm la temperatura interna registrada fue de 27,98 ° que es apenas un 0,98 °C más alto que los 27 grados de temperatura ideales. Esta diferencia (0,98 °C) es el *Delta de temperatura*.

Esta cifra, es esencial para determinar la energía aproximada necesaria que requiere un HVAC para bajar la temperatura en una hora determinada.

2.3.6 *Determinación de la energía requerida HVAC/hora*

Para calcular la energía requerida por los HVAC en cada hora del día se utiliza la *Ecuación básica de calorimetría*, la cual permite determinar la cantidad de energía necesaria para subir o bajar determinados grados⁸ de temperatura para un volumen dado (CENGEL & AFSHIN J, 2011), siendo esta ecuación:

.....
8 Δ Delta de temperatura; ver nota # 1

$$Q = m \cdot C_e \cdot \Delta T$$

Dado que Masa (m) = Volumen (v) * densidad (d); entonces:

$$Q = (v \cdot d) \cdot C_e \cdot \Delta T$$

Q = Cantidad de calor requerida

m = masa

v = volumen

d = densidad⁹

Ce = calor específico¹⁰

ΔT = Diferencia de temperaturas en grados Celsius.
(Temperatura a bajar)

A esto se le agrega el número mínimo de *renovaciones de aire* exigidos por normatividad¹¹, que en este caso nos da un factor por hora de 4.45¹² renovaciones/hora. Así entonces:

$$Q = (v \cdot d) \cdot C_e \cdot \Delta T \cdot C$$

C = Caudal de renovaciones exigido (MINISTERIO DE VIVIENDA DE ESPAÑA;)

3.3.7 Determinación del costo HVAC en kW/h

El resultado de la fórmula anterior es la cantidad de calor requerido en Julios (Joules) para bajar un determinado número de grados de temperatura; este resultado se puede transformar este resultado en kW/h de la siguiente manera:

.....

9 La Densidad (d) del aire varía según la temperatura y la presión atmosférica. Para los cálculos del presente trabajo se tomaron unas temperaturas fijas de 25°C con la presión normal de la atmosfera; lo cual nos da una $\rho = 1184 \text{ kg/m}^3$

10 También el calor específico varía según la presión atmosférica y el calor, se han tomado de igual forma una temperatura de 25°C y la presión de 1 atmosfera = 1012 J/kg*K

11 Al no existir en Colombia una norma específica de construcción que regule con detalle la renovación y calidad de aire en espacios arquitectónicos, para el presente trabajo se toma el capítulo 3 de la norma para construcción Española HS-C.

12 Este valor es el promedio de la aplicación de la norma para diferentes espacios residenciales, siendo 1.52 renovaciones hora para habitaciones (El más bajo), Salón comedor 0.91, baños 2.27 y 4.45 cocina.

1 Watt	1 Julio/segundo (potencia = energía / tiempo)
1 Watt*Segundo	1 Julio
1 k Watt / h	1 000 Watts * 3 600 segundos
1 k Watt / h	3 600 000 Ws
1 kW/ h	3,6 10 ^{^5} J

4. Resultados

Análisis general de las temperaturas internas.

Periodos 1¹³ y 2.

Días analizados: 9 de enero 2013 / 31 Mayo de 2014

Temperatura externa: 29,80 ° Promedio y 29,8 Promedio

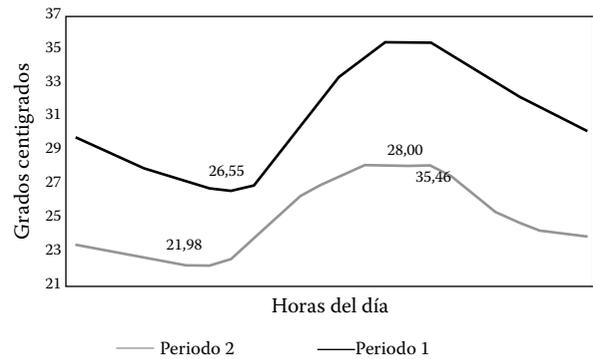


Gráfico 3. Comparación temperaturas promedio diarias. Fuente: El autor

La temperatura promedio interna, para el periodo 1 es de 30,83 °C, mientras que para el periodo 2 es de 24.82 grados, es decir 6.01 grados menos.

Existen en los dos periodos unas horas diarias donde la temperatura se incrementa hasta alcanzar el punto máximo, a partir del cual empieza a decrecer nuevamente. Para el periodo 1 este ascenso constante de temperatura empieza a las 8:00 a.m. y va hasta las 5:00 p.m. donde nuevamente decrece, es decir 9 horas de aumento de temperatura, mientras que en el periodo 2 empieza a las 6:00 am y termina a las 4:00 p.m. lo que significa 11 horas de aumento de temperatura. Ver gráfico 4.

.....

13 Datos suministrados de medición de temperaturas por el Arq. Eduardo Rocha Tamayo

Hora día	Temp. Externa	Temp. Interna	HVAC ON	T(Grados> 27°C)
Un	°C	°C	Horas	°C
1:00:00 a.m.	26,41	29,68	1	2,68
2:00:00 a.m.	25,50	29,05	1	2,05
3:00:00 a.m.	25,13	28,46	1	1,46
4:00:00 a.m.	24,28	27,94	1	0,94
5:00:00 a.m.	23,96	27,40	1	0,40
6:00:00 a.m.	23,57	26,98	0	0,00
7:00:00 a.m.	23,68	26,68	0	0,00
8:00:00 a.m.	24,60	26,55	0	0,00
9:00:00 a.m.	27,15	26,94	0	0,00
10:00:00 a.m.	29,69	28,20	1	1,20
11:00:00 a.m.	33,50	29,83	1	2,83
12:00:00 p.m.	33,21	31,87	1	4,87
1:00:00 p.m.	36,48	33,37	1	6,37
2:00:00 p.m.	36,99	34,63	1	7,63
3:00:00 p.m.	37,38	35,42	1	8,42
4:00:00 p.m.	35,26	35,43	1	8,43
5:00:00 p.m.	35,20	35,46	1	8,46
6:00:00 p.m.	34,35	34,78	1	7,78
7:00:00 p.m.	33,27	33,88	1	6,88
8:00:00 p.m.	31,62	33,02	1	6,02
9:00:00 p.m.	30,24	32,21	1	5,21
10:00:00 p.m.	29,24	31,44	1	4,44
11:00:00 p.m.	28,13	30,80	1	3,80
12:00:00 p.m.	27,06	30,06	1	3,06
			20	92,93

Tabla 1.

Periodo 1-9 de enero de 2013- D Temperatura

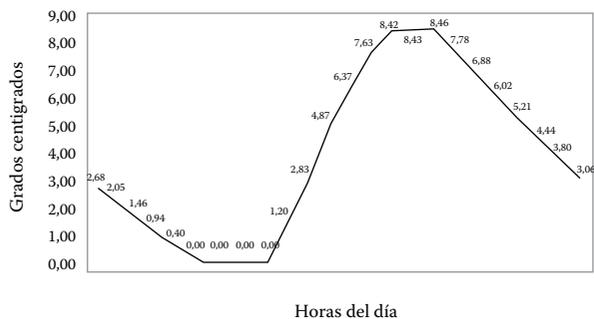


Gráfico 4. Periodo 1 Deltas de temperatura por horas día. Fuente: El Autor

HVAC / Deltas de temperatura Periodo 1

Días analizados: 9 de enero 2013

Temperatura externa: 29,80 ° Promedio

En el periodo 1, el HVAC debe estar encendido 20 horas al día. Solo las 6:00,7:00.8:00 y 9:00 am no necesitan el uso de este electrodoméstico.

Con la misma rapidez que la temperatura aumenta, crecen los grados centígrados que deben ser bajados, alcanzando un tope de 8,46 grados a las 5:00 pm donde el HVAC trabaja con mayor potencia para bajar la temperatura interna hasta los 27 °C deseados Ver tabla 1 y Grafico 4.

HVAC / Deltas de temperatura. Periodo 2

Días analizados: 31 de Mayo de 2014

Temperatura externa: 29,78 ° Promedio

Al contrario del periodo 1, el HVAC debe estar encendido solo 6 horas al día, es decir 14 horas menos. Solamente la 1:00,2:00,3:00, 4:00 y 5:00 pm, que corresponden a las últimas horas de la tarde necesitan su uso.

El HVAC trabaja con mayor potencia a las 4:00 PM donde apenas debe bajar 1 (Un) grado centígrado, esto contrasta con los 8,46 grados centígrados que es el máximo de temperatura a bajar en el periodo 1.

El total de grados que deben ser bajados en un día promedio es de 4,71 Grados Centígrados, 82,22 grados menos que en el periodo 1.

Costo funcionamiento HVAC Periodo 1.

Días analizados: 9 de enero 2013

Temperatura externa: 29,80 ° Promedio

El costo total por día para la refrigeración térmica está directamente relacionado con los kW/h que necesita el HVAC para funcionar. Este costo para el periodo 1 es de \$1,580 pesos/día, que es el precio para bajar un total de 92,93 °C al día.

Sin embargo, cuando revisamos en detalle este valor depende del periodo del día. Por ejemplo, en

Hora día	Temp. Externa	Temp. Interna	HVAC ON	T(Grados > 27°C)
Un	°C	°C	Horas	°C
1:00:00 a.m.	26,10	23,22	0	0,00
2:00:00 a.m.	25,83	22,94	0	0,00
3:00:00 a.m.	25,57	22,65	0	0,00
4:00:00 a.m.	25,43	22,46	0	0,00
5:00:00 a.m.	25,10	22,21	0	0,00
6:00:00 a.m.	25,10	21,98	0	0,00
7:00:00 a.m.	26,51	22,06	0	0,00
8:00:00 a.m.	28,2	22,45	0	0,00
9:00:00 a.m.	32,38	23,56	0	0,00
10:00:00 a.m.	35,38	24,85	0	0,00
11:00:00 a.m.	35,26	26,08	0	0,00
12:00:00 p.m.	34,08	26,84	0	0,00
1:00:00 p.m.	34,84	27,38	1	0,38
2:00:00 p.m.	34,36	27,99	1	0,99
3:00:00 p.m.	33,95	27,98	1	0,98
4:00:00 p.m.	33,54	28,00	1	1,00
5:00:00 p.m.	33,43	27,98	1	0,98
6:00:00 p.m.	31,70	27,38	1	0,38
7:00:00 p.m.	29,67	26,24	0	0,00
8:00:00 p.m.	28,28	25,21	0	0,00
9:00:00 p.m.	27,82	24,52	0	0,00
10:00:00 p.m.	27,52	24,08	0	0,00
11:00:00 p.m.	27,52	23,86	0	0,00
12:00:00 p.m.	27,16	23,68	0	0,00
			6	4,71

Tabla 2. Periodo 2. Cantidad de horas HVAC encendido. Delta de temperaturas por hora día. Imagen: El autor



Gráfico 5. Periodo 2. Deltas de temperatura por horas día. Fuente: El Autor

las 9 horas del periodo de calentamiento diario que hemos denominado “horas de ascenso”, y que van desde las 8:00 am hasta las 5:00 p.m., el costo es de \$ 859,76, es decir el 52% del costo diario. Este periodo se caracteriza por tener un ascenso constante en las temperaturas. Por el contrario, en las 15 horas restantes, que hemos denominado “horas de descenso”, el costo para el funcionamiento de HVAC es de \$760,42 que equivale al 48% del costo total diario. En este periodo del día las temperaturas descienden constantemente hasta llegar a su punto mínimo a las 8:00 am. Ver gráfico 5 y gráfico 6.

Este resultado nos demuestra que en apenas 9 horas, se gasta más de la mitad de la energía para crear un confort térmico para el periodo 1. No obstante, si el espacio a refrigerar tuviese un uso de oficinas, el aire acondicionado estaría solamente prendido entre las 8:00 am y las 5:00 pm y por lo tanto, podría ahorrarse un 48% de las horas de descenso

Costo funcionamiento HVAC. Periodo 2

Días analizados: 31 de Mayo 2014.

Temperatura externa: 29,78 ° C Promedio

El costo para el periodo 2 es de \$80,09 pesos/día, que es el precio para bajar un total de 4,71 °C al día.

Al igual que en el periodo 1 este costo depende del momento del día. Por ejemplo, en las 11 horas del periodo de calentamiento diario que van desde las 6:00 am hasta las 4:00 pm, el costo es de \$ 56,96, es decir el 71,13% del costo diario.

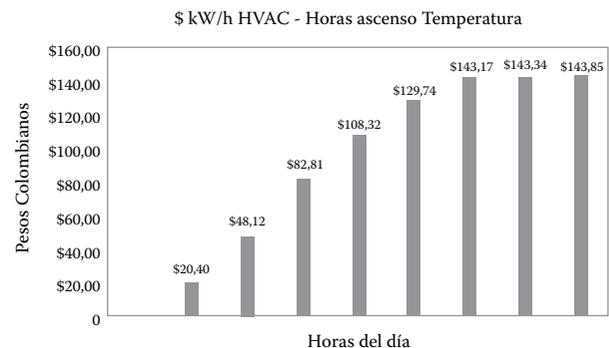


Gráfico 6. Periodo 1. Costo refrigeración por horas. 9:00 am-5:00 pm. Fuente: El Autor

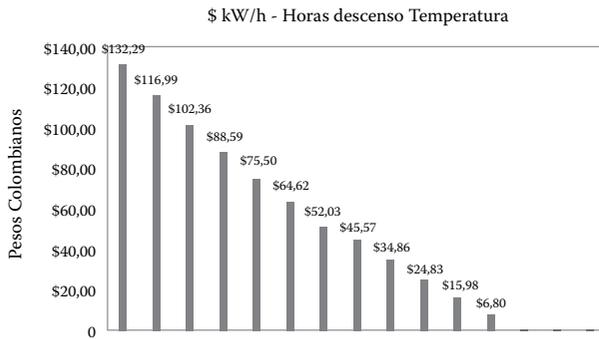


Gráfico 7. Periodo 1. Costo refrigeración por horas 6:00 p.m. - 8:00 a.m. Fuente: El Autor

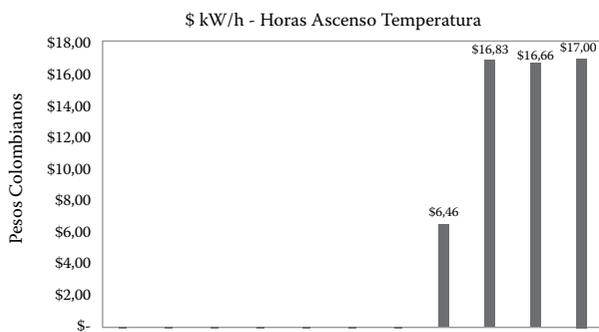


Gráfico 8. Periodo 2. Costo refrigeración por horas 6:00 a.m. - 4:00 p.m. Fuente: El Autor

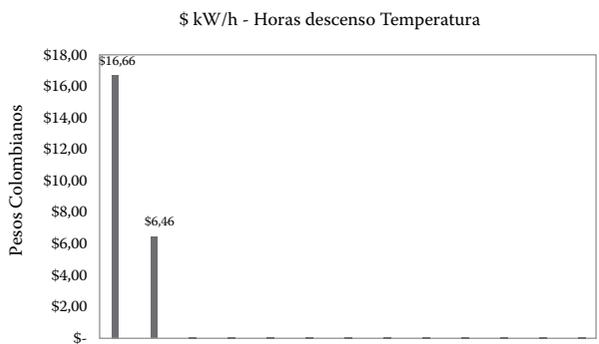


Gráfico 9. Periodo 2. Costo refrigeración por horas 5:00 p.m. - 5:00 a.m. Fuente: El Autor

Este periodo se caracteriza por tener un ascenso constante en las temperaturas. Por el contrario, en las 13 horas restantes, que hemos denominado “horas descenso”, el costo para el funcionamiento de HVAC es de \$23,13 que equivale al 28,87% del total del costo diario. En este periodo del día las

temperaturas descienden constantemente hasta llegar a su punto mínimo a las 5:00 am.

Aunque estos datos dejen de tener la importancia que tienen en el periodo 1 –dado el mínimo consumo energético que se requiere– nos demuestra que en apenas 4 horas, se gastaría casi $\frac{3}{4}$ de la de la energía para crear un confort térmico para el periodo 2.

Conclusiones generales

De acuerdo con los datos recolectados en el estudio, las horas de ascenso de temperatura para la F.M.I. son 9, mientras que para la F.M.I +F.V. son 10; a pesar de ser más alto el número de horas en que la temperatura asciende para la F.M.I + F.V., las temperaturas observadas durante este tiempo son mucho más altas en la F.M.I., siendo el punto más alto de temperatura en la fachada tradicional de 35.46 grados, mientras que en la ventilada es de 28 grados.

Dadas las altas temperaturas presentadas en F.M.I., se encontró que solamente existen 4 temperaturas por debajo de los 27 grados (confort térmico para Girardot), por lo que se necesitan 20 horas al día de aire acondicionado para mantener esta temperatura, mientras que con la F.M.I + F.V solamente se requieren 6 horas continuas de su uso, debido a que los grados que allí se presentan están en su mayoría por debajo de este valor de referencia.

Esto trae como consecuencia directa una disminución importante en el costo de refrigeración diaria, debido a que en una fachada ventilada el costo de la electricidad utilizada para mantener el habitáculo en confort térmico sería de \$80.9 pesos, mientras que en la fachada tradicional sería de \$1580 pesos; por lo que con el uso de la fachada ventilada se pagaría tan solo el 5,12% del costo energético de la fachada tradicional. Ver gráfico 9.

El uso e implementación de esta tecnología se traduciría en una optimización de las condiciones climáticas en las viviendas ubicadas por debajo de los 1000 msnm, sin la necesidad Aires Acondicionados y/o Ventiladores, y las pocas horas

COSTOS REFRIGERACIÓN/DÍA - PERIODO 1 VS PERIODO 2

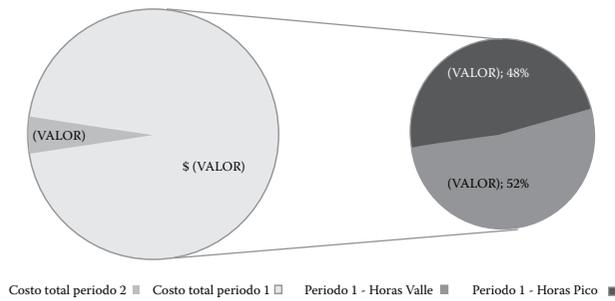


Gráfico 10. Comparación costo de refrigeración/día Período y Período 2 Fuente: El Autor

del día durante las que se pudiese requerir el uso de estos electrodomésticos tendrían un consumo de energía mínimo. De esta forma, el ahorro generado en los hogares por la disminución del consumo energético podría ser invertido en cubrir otro tipo de requerimientos como: alimentación, vestido, transporte, entretenimiento, entre otros, mejorando su calidad de vida.

Dado que la Fachada Ventilada instalada tiene como componente principal módulos de ladrillo cerámico, material de bajo costo ampliamente usado en la construcción en Colombia, su implementación puede ser acogida con mayor facilidad en el contexto constructivo Colombiano y Latinoamericano.

Cabe resaltar que el estudio no discrimina la eficiencia de los HVAC sino que se limita al cálculo de la energía requerida para la refrigeración del espacio estudiado con base en leyes termodinámicas generales. De igual forma, es importante precisar que la fachada ventilada fue instalada solamente en una cara del modelo.

Referencias Bibliográficas

Aksamija, A. (2009). Context Based Design of Double Skin Facades. *Perkins +Will Research Journal*, 01(01), pp. 54-69.

Andersen, K. (2003). Theory for natural ventilation by bouyancy in one zone with uniform temperature. *Building and environment*, 38, 1281-1289.

Brager, G., & de Dear, R. (2001). *Climate, Comfort & Natural Ventilation: A new adaptative comfort standar for ASHRAE standar 55*. Universidad de Berkley.

Cengel, Y., & Afshin J, G. (2011). *Transferencia de Calor y Masa*. MacGraw-Hill.

Conditioning, Engineers American Society of heating refrigeration and air; 62.1, Ashrae standar project comite;. (2013). *Thermal enviromental conditions for human occupancy*. Atlanta/Georgia -USA.

Haase, M., & Amato, A. (n.d.). *Controlling Ventilated Facades*. Académico, Universidad de Hong Kong, Arquitectura. Retrieved from <http://web.byv.kth.se/bphys/copenhagen/pdf/024-1.pdf>

Haase, M., Wong, F., & Amato, A. (2007, Diciembre). Double -Skin Facades for hong Kong. *Srveying and built environment*, pp. 17-30.

ISO/TC, Technical Commitee; 122, Technical Commitee CEN/TC; Standarization, European Commitee For. (2005). *Ergonomics of the thermal environment-Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. Tecnico, Bruselas. Retrieved from https://moodle.metropolia.fi/pluginfile.php/217631/mod_resource/content/1/EVS_EN_ISO_7730%3B2006_en.pdf

Ministerio de Vivienda de España; (n.d.). Código Técnico de la Edificación. Madrid.

Mora Pérez, M., López Patiño, G., & López Jiménez, A. (2013). CFD model of air movement in ventilated facade: comparassion between natural and forced air flow. *International Journal of Energy and Environment*, 4(3), pp. 357-368.

Poirazis, H. (2004). *Double Skin Facdes for office Buildings*. Revisión de literatura especializada, Universidad de Lund, Departamento de Arquitectura y Construcción.

Pulido, L. D. (2011). Consumo residencial de energía en Colombia. *URBANA*, pp. 34-35.

Szokolay, S. V. (1990). House design for over heated environments. *Memoria del I encuentro Nacional de Diseño y medio ambiente*. Colima-Mexico.

UPME. (2012). *Caracterización Energética del Sector Residencial Urbano y Rural en Colombia*. Bogotá: Consultores Unidos S.A.