Control solar en envolvente vidriada tropical para mejorar el desempeño energético-ambiental por climatización

Solar control in tropical glazed envelope to improve energy-environmental performance for climate control

Guillermo Antonio De la Paz Pérez

Doctor en Ciencias Técnicas por la Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE) / Facultad de Arquitectura

Institución: Universidad de Camagüey / Departamento de Arquitectura

Dirección: Carretera Circunvalación Norte, km 5 ½ - Camagüey – CP 74650, Cuba

E-mail: guillermo.paz@reduc.edu.cu

Guillermo De la Paz Vento

Arquitecto por la Universidad de Camagüey / Facultad de Construcciones

Institución: Universidad de Camagüey / Departamento de Arquitectura

Dirección: Carretera Circunvalación Norte, km 5 ½ - Camagüey – CP 74650, Cuba

E-mail: guillermo.paz2019@gmail.com

RESUMEN

Con el objetivo de fundamentar la estrategia de control solar como propuesta efectiva en la rehabilitación energética de un edificio de oficinas de los años 50's, se realiza un diagnóstico del comportamiento de la demanda energética por climatización debido a su fenestración translúcida. Para el estudio se modelan los tipos de espacios más comunes (con una, dos o tres fachadas de vidrio) los cuales son objeto de simulaciones horarias que permiten pronosticar la demanda de energía anual para enfriamiento. Además, se determina el impacto ambiental que provoca este tipo de carpintería en las condiciones tropicales, de alta incidencia solar y de producción de energía de Cuba. Se utiliza Energy Plus, el motor más reconocido y avanzado de Simulación Energética de Edificios, desarrollado por el Departamento de Energía de los EEUU. Fundamentadas en los resultados se realizan y evalúan dos propuestas de diseño de control solar en las fachadas sureste y suroeste, las cuales demuestran su efectividad a partir del ahorro pronóstico anual de energía eléctrica por climatización consecuencia del recurso de sombreado. También se demuestra la influencia de la orientación en el diseño de los elementos componentes de la envolvente vertical para favorecer, con su especificidad local, la eficiencia energética, la identidad; así como la cultura energética convocada por la dirección de la nación.

Palabras Claves: Envolvente arquitectónica, control solar, comportamiento energético y ambiental.

ABSTRACT

In order to justify the strategy of solar control like effective proposal in the energetic rehabilitation of an office building of the years 50 ´s. This paper present a diagnosis of the behavior of the cooling energetic demand due to its glazed windows. For the study are modeled the types of spaces more common of the building (with one, two or three glass facades) which are simulated each one hour to predict the annual energy demand for cooling. In addition, the environmental impact is determined that causes this window type in the tropical conditions, of high solar incidence and dependence of fuels imported for the energy generation in Cuba. It is used Energy Plus the most advanced motor in Energy Simulation of Buildings, developed by U.S. Department of Energy Building Technologies Office. Based in the results are carried out and evaluate three designs of solar control in the facades southeast and southwest, which demonstrate their effectiveness in the saving annual of electric power for cooling. The results demonstrate the influence of the orientation in the design of the vertical envelope component elements to favor, with their local specificity, the energy efficiency and the identity, as well as the energetic culture convoked by the government of the nation.

Keywords: architectural envelope, solar control, energy performance and environmental.

1 INTRODUCCIÓN

Los edificios representan una parte importante del consumo de energía del mundo y de las emisiones de CO₂. Por ejemplo, en Estados Unidos (EEUU) y la Unión Europea (UE) el consumo de energía de los edificios es del 40% [1], [2], [3] y [4]; mientras las emisiones de CO₂ asociadas a este consumo son del 38% en EEUU y 36% en la UE [4]. Además, para el año 2100 el cambio climático global, bajo un escenario supuesto, provocará que la demanda de enfriamiento se incremente en 72% con predominio en regiones menos desarrolladas [3].

Por supuesto, si la influencia energética y ambiental de los edificios es significativa lo es aún más la escala urbana donde se erigen, pues las ciudades representan más de 70% de la demanda global de energía [5], lo cual cobra mayor importancia si se tiene en cuenta el acelerado crecimiento del índice de urbanización. Por ejemplo, ya en el año 2015 el porcentaje de población urbana mundial era del 54%; en América Latina y el Caribe 80% y en Cuba 77,1%. Además, los pronósticos revelan que este índice continuará aumentando y para

el año 2025 la población urbana en estos tres territorios será de 58,2; 82,1 y 78,4%, respectivamente [6].

Este comportamiento evidencia que la arquitectura y el urbanismo se convierten, cada vez más, en un campo estratégico de actuación para disminuir los altos consumos de energía y aplicar las energías renovables.

En las regiones tropicales el control solar, seguido por el aprovechamiento de la iluminación y ventilación naturales, constituye la estrategia más importante para la adaptación de la arquitectura a esas condiciones climático-ambientales de alta incidencia solar [7]. Esto no es nuevo, ya en 1963 el profesor Olgyay de la Universidad de Princeton señaló que la principal estrategia de enfriamiento en climas cálidos es el control solar, ya que de esta forma no tendrá que enfriarse aquello que no se ha calentado [8]. Esta estrategia pasiva no solo favorece el confort de los espacios, sino también la disminución del consumo de energía y de las emisiones contaminantes asociadas a la producción de esa energía. Lo cual tiene mayor significación si se tiene en cuenta que muchos países de esta región además de poseer economías en desarrollo, dependen de combustible importado para generar la energía eléctrica que requiere el acondicionamiento artificial de los edificios, donde el enfriamiento de espacios con climatización consume gran parte de esa energía.

En Cuba la reducción del consumo de energía tiene una significación de soberanía e independencia ya que el petróleo nacional es insuficiente y tienen un alto contenido de azufre. Por tal motivo, el interés y la voluntad política de la máxima dirección del país han impulsado acciones a nivel nacional que se inician con la revolución energética en 2006 y se continúan hasta el 2017 con el establecimiento de políticas (lineamientos, planes de desarrollo) y un marco regulatorio (Norma Cubana 220, decretos 327 y 345) donde la reducción del consumo de energía en edificios es abordado explícitamente [9, 10, 11, 12, 13-15].

A pesar de lo realizado todavía no se incluyen a la arquitectura y el urbanismo en los programas energéticos ni de fuentes renovables de muchas instituciones, tanto del sector empresarial como académico. Por ejemplo, para

dar respuesta a los programas aprobados en la Política para el desarrollo perspectivo de las Fuentes Renovables y el Uso Eficiente de la Energía hasta el 2030, en marzo de 2018 los Ministerios de Energía y Minas (MINEM) y de Educación Superior (MES) proponen fortalecer el vínculo entre el Sistema Empresarial y las Universidades y establecen prioridades para trabajar de forma conjunta en el campo de las tecnologías solar fotovoltaica, térmica, eólica, biomasa y otras (donde muchos componentes son importados) [16]. Sin embargo no se considera el propio diseño arquitectónico como recurso para disminuir la demanda energética, a pesar del pronóstico que "los edificios serán el espacio donde se dirimirá el reto energético del futuro" [2]. Incluso, muchas tecnologías solares encontrarán en las ciudades y edificios el soporte más eficiente para disminuir pérdidas en redes y un mejor aprovechamiento del suelo.

En el país existen ejemplos de arquitectura de los años 50 y 60 del Movimiento Moderno cubano donde arquitectos como Mario Románach, Frank Martínez, Manuel Gutiérrez, Nicolás Quintana y otros, hicieron inmuebles contemporáneos pero a la vez muy cubanos, con soluciones teniendo en cuenta el clima, las tradiciones, los pobladores, los materiales y el espíritu del lugar. Como dijera Coyula [17], no solo se propusieron resolver los problemas prácticos y funcionales sino también de clima, que ya ofrece el componente cubano.

A pesar de estos referentes, en el proceso constructivo actual, los edificios no son eficientes energéticamente y se sigue proyectando y construyendo con problemas tanto de control solar como de iluminación. Hoy los diseños ineficientes de las envolventes arquitectónicas (principalmente fenestración vidriada), incluyendo sus correcciones (cortinas, recubrimientos especiales, climatización, etc) traen consecuencias energéticas (mayor consumo de electricidad y combustibles), ambientales (mayor emisión de contaminantes como el CO₂ en la producción de esa energía), económicas (gastos en acondicionamiento artificial, incluyendo equipos y su mantenimiento) y sociales (afectaciones en la calidad de vida, la identidad y tradición arquitectónica).

Ejemplos de edificios sellados con vidrio se repiten por todo el país (Hotel Panorama, Centro Comercial Galerías Paseo, Universidad de San Jerónimo,

Terminal del Aeropuerto Jardines del Rey en Cayo Coco, tienda Los Balcones en Morón, Hotel Santiago y se planea continuar con el hotel más alto de La Habana de 42 pisos en El Vedado [18] y [19]. Este proceder de ruptura y alienación bioclimática en patrones de actuación arquitectónica nacional y sus consecuencias ha sido abordado con anterioridad [20] y [21].

Aunque estas soluciones arquitectónicas influenciadas por la moda e inversionistas extranjeros, se han generalizado después de la década de los 90's, edificios que importaron estilos hace más de 60 años también siguen afectando la demanda energética del patrimonio construido, su identidad, el medioambiente y la economía. Tal es el caso del edificio que hoy ocupa el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), ubicado en calle Humboldt # 106 esquina a P, El Vedado, Ciudad de La Habana.

Este edificio, construido¹ en 1953-1956, estaba destinado a oficinas para rentar gestionado por el Colegio de Arquitectos, con su sede aledaña (Fig. 1, Fig. 2). Considerado como una de las primeras construcciones que emplearon en la arquitectura cubana el muro cortina (Fig. 3)

¹ Resultado de un concurso, es diseñado por “Arquitectos Unidos” (conocidos como “Los Espaciales”), un grupo de estudiantes de arquitectura liderados por Humberto Alonso. Su filosofía era reducir la expresión arquitectónica para hacer el espacio en sí mismo el centro de atención [22].

Figura 1: Imagen de la carpintería original. Tomado de Martín (1998) [23].

Figura 2: Imagen actual del edificio. Foto de los autores.

Figura 3: Dibujo de la estructura del edificio. Tomado de Rodríguez (2000) [24].

Al referirse a esta y otras obras de la época Segre señala que “se trata de una arquitectura incontaminada, universalista que también se aliena de las condiciones ecológicas locales.” [25]. También Rodríguez, al referirse a la concepción del edificio, valora su incompatibilidad con el clima local cuando plantea “implicó problemas de regulación de temperatura y gastos de energía; fue inapropiado para un país tropical subdesarrollado donde el control climático es crucial” [24].

Atendiendo a esta problemática, el presente trabajo estudia, para las condiciones climáticas de La Habana, la envolvente arquitectónica vertical permeable del edificio del INRH, a través de su impacto en el consumo de energía por climatización. Para las orientaciones más críticas y con mayor superficie vidriada (SE y SW), se valoran posibles propuestas de diseño pasivo para disminuir ese consumo.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Computadora de escritorio con procesador x64 AMD 3,6GHz; 4GB de RAM; Sistema Operativo Windows 10 Pro 2017 de 64bits. Cámara fotográfica

Panasonic, modelo DMC-S3, para obtener las imágenes del edificio objeto de estudio. Cintas métricas de 3 y 20m para medir locales y ventanas.

Se utilizaron los programas informáticos EnergyPlus 8.8 (E+) para realizar las simulaciones energéticas y MS Excel 2013 para procesar valores que se obtienen como resultado de las simulaciones. Además, para la elaboración de dibujos, esquemas y tratamiento de imágenes se emplearon las aplicaciones CorelDraw X4, SketchUp 2017 y Microsoft Picture Maker.

De las cuatro orientaciones de fachadas (NE, SE, SW y NW) que presenta el edificio (Fig. 4), se seleccionan las más críticas, en cuanto a la demanda de energía por climatización y al ahorro que produce la protección solar requerida en cada caso. Con este propósito se realiza una evaluación inicial mediante simulaciones del modelo de oficina tipo M-1 (Tabla 1). Se compara el ahorro de la demanda de energía de cuatro posiciones de ventana en cada una de las orientaciones secundarias de las fachadas del edificio.

Figura 4: Ubicación del edificio con las orientaciones de sus fachadas.

Según los tipos de espacios más comunes ubicados en las orientaciones más críticas obtenidas, se definen cuatro modelos base, simplificando las características geométricas de las oficinas orientadas con fenestración de vidrio hacia esas fachadas (Fig. 5). Además de las oficinas de la fachada SE, se definen dos modelos para las oficinas de esquina SE-SW y SW-NW, así como uno para el salón de reuniones, según se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Modelos base, realizados mediante modelación, para ser utilizados en las simulaciones. Dimensiones

Características de los modelos	Representación gráfica de los modelos
Modelo M-1 (oficinas tipo): espacio modelo de 4,5x6,0x2,5m con ventana de vidrio en una de sus fachadas (8 paños de vidrio de 1x1,16m). Orientaciones de ventanas SE.	<p>M-1</p>
Modelos M-2a y M-2b (oficinas de esquina): espacios modelo de 4,5x7,15x2,5m con ventana de vidrio en dos de sus fachadas (16 paños de vidrio de 1x1,16m). Orientaciones de ventanas SE y SW (M-2a) y SW y NW (M-2b).	<p>M-2a</p> <p>M-2b</p>
Modelo M-3 (salón de reuniones): espacio modelo de 4,5x14,3x2,5m con ventana de vidrio en tres de sus fachadas (40 paños de vidrio de 1x1,16m). Orientación de ventanas SE, SW y NW.	<p>M-3</p>

Nota: Las paredes y entrepisos que no están expuestas al sol se representan con volúmenes de color magenta.

Materiales que componen el modelo: se utilizan para los elementos constructivos de la envolvente (muros, cubierta, ventana, piso), ladrillo repellado de 0,15m, hormigón armado de 0,10m, vidrio claro transparente de 4mm y baldosa de gres cerámico 10mm. Para cada uno de estos materiales se definen las propiedades densidad; conductividad; calor específico; absorbanza térmica, solar y visible.

Períodos: para cada mes del año los horarios y períodos de tiempo utilizados son de lunes a viernes (8:00am-5:00pm) y sábado (8:00am-1:00pm).

Ocupación del espacio: oficina 8h media.

Fichero climático: se elabora un fichero climático con los datos de las variables que caracterizan las condiciones del lugar. Además se concibe un fichero tipo “Design Day data” con los días de diseño.

Elementos de control solar: dispositivos mixtos (horizontales y verticales) según ángulos de diseño, propuestos por De la Paz (2012) [1], para ocho orientaciones de ventana.

Propuesta de diseño A: Para la fachada SE se diseñan elementos horizontales con ángulo de 40° y verticales con 15° y en el caso de la fachada SW con horizontales de 29° y verticales de 15°.

Propuesta de diseño B: Vanos deprimidos en fachada, con vidrios inclinados 69°, un elemento vertical central y paños de material opaco de ladrillos cerámicos.

Simulación: se realizan simulaciones energéticas de los diferentes modelos y se comparan las demandas energéticas de los modelos bases (sin protección solar exterior) con los modelos que incluyen posibles propuestas de diseño de protección solar.

Para calcular las emisiones de contaminación por CO₂ de la producción de electricidad y el costo del kWh entregado en las condiciones medias de las termoeléctricas cubanas se utilizan los siguientes índices: 1146g de CO₂/kWh (pronóstico para Cuba 2018) y 0,25 USD/kWh costo del kWh entregado [26]. Como valor medio del consumo de petróleo de las termoeléctricas cubanas para producir un kWh se estima en 0,33kg/kWh [27].

Como métodos de trabajo se utiliza la observación – abstracción – diseño y la simulación automatizada.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 CARACTERIZACIÓN DEL EDIFICIO OBJETO DE ESTUDIO

En el edificio del INRH, las dos fachadas con mayor asoleamiento son la sureste (Fig. 6) y la suroeste (Fig. 7); ambas desprovistas de elementos de protección solar, lo que ha obligado a colocar correcciones postconstructivas como cortinas interiores y papeles especiales (Fig. 8). También, a pesar del voladizo de 2,36 m, la planta baja y el primer nivel del acceso principal en el SE son afectados por la incidencia de los rayos solares, siendo necesario mantener cerradas las protecciones metálicas de seguridad en las oficinas aledañas al vestíbulo, así como las cortinas del primer nivel (Fig. 9).

Figura 6: Fachada SE, (febrero 9:10am). Foto de los autores.

Figura 7: Fachada SW, (febrero 4:30pm). Foto de los autores.

Figura 8: Interior de una oficina con ventanas SE. Foto de los autores.

Figura 9: Planta baja en fachada SE (febrero 10:40am).

Aunque la mayoría de las oficinas tienen fenestración vidriada hacia una sola fachada, hay salones en los extremos NE y SW del edificio, como el salón de reuniones, que presentan ventanas de vidrio de piso a techo y sin protección solar en tres orientaciones (SE, SW y NW). En este espacio, ubicado en el noveno piso, la mayor área de vidrio se encuentra ubicada al SW (64m²); una orientación muy desfavorable por recibir el asoleamiento de la tarde cuando el ambiente y superficies exteriores muestran las temperaturas más altas.

Para desarrollar las actividades en este espacio se hace necesario mantener la iluminación artificial (Fig. 10) debido a la corrección de doubles

cortinas interiores en todas sus ventanas (Fig. 11). Si se corren las cortinas la penetración directa de los rayos solares abarca áreas importantes del piso y el mobiliario (Fig. 12). Según los trabajadores del lugar, a pesar de la protección textil interior y la climatización con aire acondicionado, el salón no es confortable ya que se experimenta un molesto calor, principalmente en horas de la tarde.

Figura 10: Interior del salón de reuniones del 9no piso con 40 lámparas fluorescentes de 20W. Foto de los autores.

Figura 11: Cortinas dobles utilizadas en tres fechadas. Foto de autores.

Figura 12: Penetración solar en el salón de reuniones (febrero 9:30am).

Según las cuatro fachadas del edificio, se definen las orientaciones más factibles para colocar control solar. Con cuatro modelos M-1 (Tabla 1) de diferentes orientaciones de ventana, se compara el ahorro de demanda de energía por climatización que provocan los elementos de protección solar requeridos en cada una.

Figura 13: Porcentaje de ahorro de demanda energética para enfriamiento debido a la protección solar, en cada fachada.

Los resultados muestran que los mayores ahorros ocurren en las fachadas SE y SW cuando se protegen con sus correspondientes elementos, horizontales y verticales (Fig. 13).

Por tal motivo estas dos orientaciones son seleccionadas como las más críticas y las que se utilizarán de soporte para las propuestas de diseño de control solar.

4 PROPUESTA DE DISEÑO DE CONTROL SOLAR A

Para los espacios del edificio que tienen ventanas de vidrio hacia estas dos orientaciones se diseña una primera propuesta con elementos de protección solar (horizontales y verticales) requeridos al SE y SW. En ambas orientaciones se colocan elementos múltiples mixtos, solo diferenciados por el ángulo de protección: en el SE los horizontales son de 40° combinados con verticales de 15° entre elementos y en el SW los horizontales son de 29° y los verticales de 15°. La expresión de la propuesta de diseño se realiza mediante una composición en la cual se utilizan nueve módulos (Fig. 14).

Figura 14: Módulos de control solar (p1-p9) utilizados en la propuesta de diseño de control solar A

Con los módulos de protección, así como cambios de color y de ángulos entre elementos horizontales se logra un diseño formal con mayor dinamismo en las fachadas y se jerarquiza el acceso principal del edificio, acentuado con la verticalidad del color azul (presente en la identidad de la empresa). Además esta verticalidad indica la posición de la circulación vertical del inmueble. Los resultados de la expresión formal de esta propuesta A, aunque cada fachada es diferente (Fig. 15) logra una unidad en todo el conjunto, principalmente desde las visuales más importantes de Humboldt y P (Fig. 16).

Figura 15: Fachada SW (izquierda) y SE (derecha).

Figura 16: El edificio en su contexto.

Luego de simular los modelos de espacios tipo, con la propuesta de diseño de control solar A y comparar los resultados con los de sus respectivos modelos base, se observa que el ahorro de la demanda de energía para climatización es superior al 21% en todos los casos. Como indica la Fig. 17, los mayores ahorros (superiores al 30%) se obtienen cuando existen ventanas en más de una fachada y el máximo ahorro se alcanza en los espacios de oficina con ventanas en dos fachadas SE-SW (34%), superior al del salón de reuniones (33%) que tiene ventanas en tres fachadas (SE-SW-NW). Sin embargo en este último espacio, por sus dimensiones y área de vidrio, la propuesta posibilita el máximo pronóstico de ahorro con 4223 kWh/año, lo cual implica que en el año se deje de consumir en la producción de esa energía 1394kg de petróleo o ahorrar \$1056 USD y dejar de emitir 4417kg de CO₂ a la atmósfera.

Figura 17: Pronóstico del ahorro de demanda de energía para climatización por protección solar (kWh/año) de la propuesta A con elementos horizontales y verticales con ángulos según la orientación de la fachadas SE y SW.

5 PROPUESTA DE DISEÑO DE CONTROL SOLAR B

En la segunda propuesta (B) se sigue el criterio de realizar una protección con elementos que no sobresalgan de la superficie exterior de las fachadas para mantener visible los elementos estructurales horizontales y verticales actuales. Con este fin se diseñan vanos deprimidos con vidrios inclinados a 69°, elementos verticales interiores en el centro del vano y paneles opacos de material cerámico,

todos manteniendo la proporción de los paños actuales de las ventanas de vidrio (Fig. 18, 19 y 20).

Figura 18: Fachada SE (izquierda) y SW (derecha).

Figura 19: Aspecto exterior del edificio.

Figura 20: Detalles exterior e interior de la propuesta de diseño de control solar B.

Como se aprecia en la Fig. 21, en esta solución B, los niveles pronóstico de ahorro de demanda energética son menores que la solución A, con diferencias que van desde 3,5 a 7,7%. No obstante, los niveles de ahorro están entre el 18% (855 kWh/año) y 29% (3221 kWh/año). Este consumo anual, solo por la protección del salón de reuniones, implicaría un ahorro de 1063kg de petróleo, USD 805,00 y 3369 kg menos de CO₂ emitidos a la atmósfera.

Figura 21: Pronóstico del ahorro de demanda de energía para climatización por protección solar (kWh/año) de la propuesta B con vanos inclinados a 69°.

Estos valores del pronóstico de ahorro por protección solar con las ventanas deprimidas e inclinadas (B), son menores que los de la propuesta A. Pero a pesar de las diferencias de ahorro (según tipo de modelo) entre ambos diseños (desde 3,5 hasta 7,7%), la propuesta B es adecuada ya que los ahorros anuales oscilan entre 820 kWh (\$205USD) y 3221 kWh (805USD). Además con la propuesta B las emisiones de CO₂ disminuirían entre 858kg y 3369kg.

6 PROPUESTA DE DISEÑO DE CONTROL SOLAR VARIANTE A1

Con los respectivos ángulos de protección del diseño A se propone la variante A1 con persianería, para solicitud a medida a la empresa española Tamiluz. Las persianas de aluminio con aislante térmico interior se combinan con paneles opacos de material cerámico, también con aislamiento térmico. El objetivo, al igual que en la propuesta B es mantener las proporciones de los vanos y expuesto el entramado estructural que enmarca la solución de la carpintería original (Fig. 20, 21 y 22).

Figura 20: Modelo del volumen de todo el edificio desde la esquina de Humboldt y P.

Figura 21: Módulos de control solar utilizados en la propuesta variante A1.

Figura 22: Detalle de la solución de control solar, variante A1.

Por último, en todas las propuestas se mantiene la solución de protección solar viva, con vegetación, para planta baja y primer nivel de la fachada SE, no solo por ser la fachada de mayor dimensión sino también para dar un aspecto ecológico a la fachada principal por donde concurren las personas hacia el acceso principal del edificio (Fig. 23).

Figura 23: Solución de control solar vegetal de los pisos inferiores.

6 IMPLICACIONES ENERGÉTICAS AMBIENTALES Y ECONÓMICAS GENERALES

De los nueve pisos del edificio, si se consideran los últimos siete con las distribuciones generales que muestra la Fig. 12, y se tienen en cuenta solo los espacios con ventanas hacia las fachadas SE y SW, el número de casos serían: oficinas SE (21), oficinas de esquina SE-SW y SW-NW (6 cada una) y el salón

de reuniones. El control solar de estos 34 espacios en su conjunto favorecería un ahorro pronóstico en la demanda de energía para enfriamiento de 52000kWh/año, lo que evitaría, en solo un año el gasto de 54392kg de petróleo o \$13000USD y la emisión de 17160kg de CO₂ con su correspondiente afectación como gas de efecto invernadero.

Todo lo anterior es sin tener en cuenta la energía incorporada y las emisiones de CO₂ de la producción de cada kg de vidrio y el aluminio utilizado en la carpintería que actualmente tiene el edificio ya que esto es fijo y los que se estiman en el presente trabajo van incrementándose acumulativamente con los años de vida útil del edificio.

7 CONCLUSIONES

Se verifica la importancia de la orientación de la envolvente de vidrio en fachadas secundarias, donde las más críticas del edificio evaluado, por la alta demanda de energía para enfriamiento, son la SE y SW y también su control solar tiene mayor efectividad, con ahorros entre el 21 y 22%. Mientras que las NE y NW presentan ahorros entre el 11 y 12%.

Se comprueba que en los espacios del edificio que tienen dos y tres fachadas con ventanas el porcentaje de ahorro es mayor en un 10%, como promedio, con respecto a los de una sola. De la misma manera el ahorro promedio anual es mayor, al de una sola fachada con ventana, en 50 kWh/ por m² de piso.

Se demuestra que es posible reducir la demanda de energía, en niveles importantes, con diseños de control solar de diferentes criterios de expresión formal.

Los resultados de la evaluación teórica en cuanto a la influencia de propuestas de control solar en la demanda energética de enfriamiento del INRH, demuestran la efectividad de la estrategia de control solar en la rehabilitación energética del edificio.

RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Centro Integrado de Tecnologías del Agua (CITA) de Camagüey y en especial a su director MSc. Pedro González Martínez (presidente de Cubasolar en la provincia) por posibilitar las visitas al edificio INRH y el uso de sus instrumentos para el levantamiento de los espacios. A la dirección del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos y al personal de gestión energética, principalmente a Pablo Almeida, por permitir el acceso al edificio y a datos necesarios para el estudio.

REFERENCIAS

1. BEHLING Sophia y Stefan. *Sol power. La evolución de la arquitectura sostenible*. Barcelona: Ed Gustavo Gili, SA, 2002. p20
2. IDAE. Plan de Energías renovables 2011-20 [en línea]. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2011. p43. [ref. de 12 de marzo 2018]. Disponible en Web: www.idae.es
3. CAO, Xiaodong; Dai, Xilei and Liu, Junjie. "Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade". *Energy and Buildings*, 2016, núm. 128, pp. 198–213.
4. AMASYALI, Kadir and El-Gohary, Nora M. "A review of data-driven building energy consumption prediction studies". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, núm. 81, pp. 1192–1205.
5. UNEP. District Energy in Cities: Unlocking the Potential of Energy Efficiency and Renewable Energy [en línea]. United Nations Environment Programme, 2015. [ref. de 20 de julio 2018]. Disponible en Web: <http://www.unep.org/energy/portals/50177/documents/districtenergyreportbook.pdf>
6. ONU-Habitat. Urbanización y desarrollo: Futuros emergentes. Reporte Ciudades del Mundo, 2016 [en línea]. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. Nairobi. 2016. [ref. de 20 de julio 2018]. Disponible en Web: <http://nua.unhabitat.org/uploads/Reportedelasciudades2016.pdf>
7. DE LA PAZ PÉREZ, Guillermo. "Brise-soleil, recurso arquitectónico de control solar: Evolución y propuesta de diseño optimizado para Camagüey". *Arquitectura y Urbanismo*, 2012, vol. 33, núm. 2, pp. 79-94.
8. OLGAY, Victor. *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas* (Trad., Josefina Frontado y Luis Cavet). Barcelona: Ed. Gustavo Gili, 1998 (Trabajo original publicado en 1963).
9. NC 220-1: 2009. Edificaciones - requisitos de diseño para la eficiencia energética - parte 1: envolvente del edificio. Oficina Nacional de Normalización, Ciudad de La Habana, 2009.
10. PCC. Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución. Documento aprobado por el VI Congreso del Partido Comunista de Cuba, el 18 de abril de 2011.

11. CONSEJO DE MINISTROS. Decreto No. 327: Reglamento del Proceso Inversionista. Gaceta Oficial de La República de Cuba No. 5 [en línea]. Ministerio de Justicia. La Habana, 2015. Disponible en Web: <http://www.gacetaoficial.cu>.
12. PCC. Actualización de los Lineamientos para el periodo 2016-2021. Documento aprobado por el 7mo. Congreso del Partido y la Asamblea Nacional del Poder Popular (ANPP) en abril y julio del 2016.
13. PCC. Conceptualización del modelo económico y social cubano de desarrollo socialista plan nacional de desarrollo económico y social hasta 2030: propuesta de visión de la nación, ejes y sectores estratégicos (Tabloide). 7mo. Congreso del Partido. La Habana, 2016.
14. CITMA (Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente). Tarea vida. Enfrentamiento al Cambio Climático en la República de Cuba [en línea]. 2017. Disponible en Web: <http://www.contraloria.gob.cu/documentos/noticias/folleto%20tarea%20vida.pdf>
15. CONSEJO DE ESTADO de la República de Cuba. Decreto-ley No. 345 "Del desarrollo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía". La Habana, marzo de 2017. (10pp).
16. MINEM-MES. Nota a los Rectores. Prioridades para trabajar de forma conjunta MINEM – MES. La Habana, marzo de 2018.
17. CRESPO, Cecilia. Mario Coyula: La arquitectura cubana fue secuestrada por los constructores. [en línea] Entrevista, 2014 [ref. de 15 de enero 2018].

Disponible en Web: <http://oncubamagazine.com/economia-negocios/mario-coyula-la-arquitectura-cubana-fue-secuestrada-por-los-constructores/>
18. Redacción Digital. Hotel más alto de La Habana estará en El Vedado [en línea]. Granma, 26 de abril de 2018. Disponible en web www.granma.cu/cuba
19. Hotel más alto de La Habana comenzará a construirse en septiembre próximo [en línea]. Cubadebate, 26 abril 2018. Disponible en web <http://www.cubadebate.cu/noticias/2018/04/26/hotel-mas-alto-de-la-habana-comenzara-a-construirse-en-septiembre-proximo/>
20. DE LA PAZ PÉREZ, Guillermo. "Ruptura de soluciones arquitectónicas cubanas de los años cincuenta, en las construcciones actuales". Arcada, 2013, vol. 1, núm. 1, pp. 14-38.
21. DE LA PAZ PÉREZ, Guillermo y González Couret, Dania. "Orientación de la envolvente arquitectónica vertical: recurso de diseño de alta especificidad para la eficiencia energética, la identidad cultural y sustentabilidad en la Ciudad de Camagüey". En memorias del XII Simposio Internacional Desafíos en el Manejo y Gestión de Ciudades. Oficina del Historiador de la Ciudad de Camagüey, 2018. isbn: 978-959-7203-37-7

22. ARQUITECTURACUBA. Colegio de arquitectos II [en línea]. 2008. [ref. de 12 de marzo 2018]. Disponible en Web: <http://www.arquitecturacuba.com/2008/08/colegio-de-arquitectos-ii.html>
23. MARTÍN, María E. y otros. Guía de arquitectura Habana, Cuba. 1998. p193
24. RODRÍGUEZ, Eduardo L. The Havana guide. Modern architecture, 1925-1965. New York: Princeton Architectural Press. 2000. p.137
25. SEGRE, Roberto. Arquitectura antillana del siglo XX. La Habana: Editorial Arte y Literatura. Universidad Nacional de Colombia, 2003.
26. MINEM. Cuba apuesta por una energía más limpia, diversa y eficiente [en línea]. Ministerio de Energía y Minas. La Habana 2014. [ref. de 12 de marzo 2017]. Disponible en Web: <http://www.cubadebate.cu/especiales/2014/08/14/cuba-apuesta-por-una-energia-mas-limpia-diversa-y-eficiente/>
27. ARRASTÍA ÁVILA, Mario. “Diez preguntas sobre el ahorro de energía eléctrica”. Energía y Tú, 2006, núm. 33, pp. 7-12.