



REVISTA CIENTÍFICA TRIMESTRAL DE CUBASOLAR

**REVISTA CIENTÍFICA de las
FUENTES RENOVABLES de ENERGÍA**

69

DIRECTOR GENERAL

Dr. Luis Bértiz Pérez

EDITORES

M.Sc. Madelaine Vázquez Gálvez
Ing. Jorge Santamarina Guerra

CONSEJO EDITORIAL

Dr. Luis Bértiz Pérez
M.Sc. Madelaine Vázquez Gálvez
Ing. Otto Escalona Pérez
Ing. Miguel González Royo
Ing. Dolores Cepillo Méndez

DISEÑO Y COMPOSICIÓN

Alejandro F. Romero Ávila

WEB MASTER

Jesús Guillermo Gil Delgado

RELACIONES PÚBLICAS

Mabel Blanco de la Cruz

CONSEJO ASESOR

Dra. Elena Vigil Santos
Dr. Conrado Moreno Figueredo
Dr. José Guardado Chacón
Dr. Deny Oliva Merecio
Dra. Dania González Couret
Lic. Bruno Henríquez Pérez
Lic. Ricardo Bértiz Valle
M.Sc. Mario A. Arrastía Ávila

Eco Solar, no. 69 / 2019

Revista científica de las
fuentes renovables de energía
julio-septiembre, 2019
ISSN-1028-6004
RNPS-2220



CETER



DIRECCIÓN

Calle 20, No. 4113, e/ 18A y 47
Playa, La Habana, Cuba
TEL.: (53) 72040010; 72062061
E-MAIL: madelaine@cubasolar.cu
HTTP://www.cubasolar.cu



POR UNA
EN AMÉRICA

CONTENIDO

EVALUACIÓN DEL RECURSO EÓLICO CON ÉNFASIS EN LAS ZONAS MONTAÑOSAS.....	3
Conrado Moreno Figueredo, José Augusto Medrano Hernández y Armando Torres Durán	
EVALUACIÓN TÉRMICA DE UNA VIVIENDA EN SANCLEMENTE.....	12
José Fabián Véliz Párraga, Dania González Couret y Elim Marianeza Zambrano Martillo	
LAS BIOELÉCTRICAS CAÑERAS EN EL CONTEXTO CUBANO	17
Jorge T. Lodos Fernández	
AMBIENTE TÉRMICO EN ESPACIOS EXTERIORES EN LA HABANA.....	22
Dania González Couret, Olivia Sánchez Martínez, Víctor Daniel Rodríguez Rodríguez y Manuel Alejandro Salazar Castro	
ESTRATEGIA PARA SUMINISTRAR ENERGÍA RENOVABLE TODO EL AÑO A PAÍSES CAÑEROS.....	29
Jorge Lodos Fernández, Elena Vigil Santos y Ricardo Campo Zabala	
HOTELES DE CONSUMO ENERGÉTICO CASI NULO. POTENCIALIDADES Y RESTRICCIONES PARA CUBA.....	34
Natalí Collado Baldoquín, Luis Alberto Rueda Guzmán y Dania González Couret	
NOTICIA.....	45
CONVOCATORIA.....	46

editorial
cubasolar

EVALUACIÓN DEL RECURSO EÓLICO CON ÉNFASIS EN LAS ZONAS MONTAÑOSAS

AGRICULTURA SOSTENIBLE Y COMUNITARIAMENTE INTELIGENTE; Ing. José Augusto Medrano Hernández** e Ing. Armando Torres Durán ***
RICIA LATINA

*Profesor titular. Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables – Ceter, Universidad
Tecnológica de La Habana, Cujae, Cuba.

E-mail: conrado@tesla.cujae.edu.cu; conrado@cubasolar.cu

** Profesor instructor. Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables – Ceter, Universidad
Tecnológica de La Habana, Cujae, Cuba.

E-mail: jmedrano@ceter.cujae.edu.cu

*** Asesor Poder Popular municipio Habana del Este.

E-mail: armando@pphe.chi.gob.cu

Resumen

El presente trabajo enfatiza sobre la importancia de la evaluación del potencial eólico desde el mismo momento en que se decide poner en funcionamiento una instalación eólica. Los recursos eólicos y sus características son abordados en este artículo. El conocimiento del potencial eólico es necesario por varios aspectos: el diseño del sistema eólico, la evaluación de su comportamiento a lo largo de su vida útil, la localización de la instalación, además de su operación durante la explotación. En el trabajo exponen las características del viento y se justifica la necesidad de realizar la evaluación del potencial eólico, seguida de una metodología que ordena los pasos para realizar una evaluación con la calidad requerida. Seguidamente se expone un ejemplo de una experiencia cubana en cuanto a este aspecto y se dan informaciones sobre las características del viento en regiones más complejas como en las montañas.

Palabras clave: Potencial eólico, optimización, microlocalización, zonas montañosas.

WIND RESOURCE ASSESSMENT WITH EMPHASIS IN THE MOUNTAIN ZONES

Abstract

The present work emphasizes on the importance of wind potential assessment from the same moment in which the decision of putting in operation a wind energy installation has been taken. The wind resources and its characteristics are explained in this article. The knowledge of the wind potential is necessary for several aspects: the wind systems design, the evaluation of its behavior in the course of its lifetime, the location of the installation in addition to its operation during its exploitation. This paper shows the necessity of organize and realize the assessment of wind potential, followed of a methodology that describes the necessary steps to do, doing this important step wiith the required quality. Straightaway this work exposes an example of a Cuban experience regarding the assessment of the wind in an specific site. Finally the specific characteristics of the wind energy in a complex terrain of a mountain zone are presented.

Keywords: Wind potential, Optimization, Micrositing, Mountain zones.

1. Introducción

La tecnología de la energía eólica se ha convertido en una de las energías renovables más prometedoras para la generación de electricidad en Cuba y en muchos países. Adicionalmente, la energía eólica está considerada como una de las fuentes de energía más limpias y que menos afectan el medioambiente al no producir emisiones contaminantes. Sin embargo, varios factores exigen una evaluación del recurso eólico lo más precisa posible, como lo es el diseño del sistema, la evaluación de su comportamiento, la micro localización, la operación del sistema y sobre todo el alto riesgo financiero que trae consigo el desarrollo de una instalación eólica. Este riesgo puede reducirse si se realiza una correcta evaluación del potencial eólico en el sitio donde se desea instalar el sistema eólico. Los datos de los valores de la velocidad del viento, provenientes de esa evaluación, son de alta importancia, pues un pequeño cambio en el valor de la velocidad del viento puede tener impactos significativos a la hora de decidir sobre la rentabilidad económica del proyecto.

El conocimiento del potencial eólico de un país o una región necesita del dominio de las características y comportamiento del viento en el área de estudio. El viento tiene una variabilidad y aleatoriedad que lo hace un recurso sui géneris, diferente a otras fuentes de energía. Debido a esto se tiene que aplicar la estadística como herramienta fundamental.

Un aspecto básico para conocer la potencialidad del viento es la determinación de la distribución por frecuencias de la velocidad y por rumbos de las direcciones.

La evaluación de los recursos eólicos de un lugar, presenta los problemas siguientes:

- La necesidad de disponer de medidas de rapidez (velocidad) y dirección del viento durante un período de tiempo suficientemente representativo, por ejemplo, varios años.
- La variabilidad y aleatoriedad del viento.
- Los efectos locales, tales como la orografía, rugosidad del terreno y obstáculos.
- La extrapolación de las mediciones a partir de una altura determinada, en general 10 m, a diferentes alturas respecto a ese nivel.

En resumen, la experiencia indica que existen tres etapas principales para identificar y caracterizar el recurso eólico en una región determinada. Estas son, en general, la prospección, la validación y la optimización.

En la prospección es un objetivo básico la identificación de los sitios más ventosos, es decir, los sitios potenciales dentro de una región. Generalmente esto es llevado a cabo por especialistas sobre la base de varias fuentes de información como los mapas topográficos, datos climatológicos provenientes de estaciones meteorológicas y de imágenes satelitales, entre otras. Una visita al sitio también está dentro de esta etapa con el objetivo de identificar y localizar preliminarmente los puntos de medición.

En la etapa de validación se tiene en cuenta un nivel más detallado de investigación, como son las mediciones de la velocidad del viento, el procesamiento y análisis de los datos resultantes de estas mediciones. La etapa final y más importante es la microlocalización de la instalación

eólica y la estimación de la energía que se puede producir. En el presente trabajo se describe la importancia de la evaluación del recurso eólico y los métodos existentes para llevar a cabo esta evaluación [Moreno, 2017; Manwell, Mc Gowan y Roger, 2011; Herrera, 2011; Janjreh *et al.*, 2011; Clifton y Wagner, 2014; Clifton *et al.*, 2007].

2. Materiales y métodos

2.1. El viento

El viento, a diferencia de los combustibles convencionales como el petróleo, es intermitente, varía a lo largo del día, a lo largo del año, e incluso de un año a otro.

El viento es el aire en movimiento en la atmósfera con relación a la superficie de la tierra. El aire se mueve debido a un calentamiento desigual de la atmósfera terrestre, aunque la atmósfera no se calienta directamente por la radiación solar incidente. La radiación es primeramente absorbida por la superficie de la tierra y entonces es transferida de varias formas al aire que se encuentra en contacto con esta. Como la superficie terrestre no es homogénea, la cantidad de energía que es absorbida varía tanto en el espacio como en el tiempo. Esto hace que la temperatura y la presión sean diferentes y por tanto la densidad, lo cual produce fuerzas que hacen que el aire se mueva de un lugar a otro. La fuerza de Coriolis es un factor adicional que controla el movimiento del aire.

En términos energéticos, la energía cinética del aire y la potencia del aire constituyen el flujo de energía cinética pasando a través de secciones horizontales como el área de barrido del rotor de una turbina eólica.

La potencia del viento viene dada por:

$$P = \frac{1}{2} \rho A u \cdot u^2 \quad (1)$$

$$P = \frac{1}{2} \rho A u^3 \quad (2)$$

Donde $\rho A u$ es el flujo másico de aire, u es la velocidad del viento y A es el área a través de la cual pasa el viento en dirección normal.

La expresión 2 representa la potencia disponible del viento, pero cuando se trata de la potencia que puede extraer una máquina, esta solo es una fracción de la potencia disponible. El físico Betz, de la ciudad de Gottingen, demostró en 1927 que la fracción máxima de potencia del viento que puede ser extraída por un rotor eólico ideal no excede de $16/27$ o $0,593$ (59,3 %) [Moreno, 2017; Manwell, Mc Gowan y Roger, 2011; Herrera, 2011].

Por otro lado, la densidad de potencia se define como el flujo de aire que se mueve a través de una sección transversal y viene dada por:

$$P_d = \frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho u^3 \text{ [Watts/m}^2\text{]} \quad (3)$$

2.2. Características del viento

2.2.1. Efectos de la topografía sobre el viento

Con un adecuado tamaño, orientación y forma, la topografía del sitio puede incrementar la energía del viento hasta 100 %. Los terrenos más apreciados en cuanto al potencial eólico son aquellos sitios donde aparecen elevadas colinas, en las cuales el viento incide perpendicularmente con respecto a los vientos predominantes. Un terreno elevado tiende a causar fuerzas aceleradoras que incrementan las velocidades de viento locales. Las colinas interceptan los vientos, lo comprimen y aceleran en su movimiento hacia arriba, aumentando la velocidad del viento en la punta de la colina. Por lo tanto, las colinas son reconocidas como fuentes de altos vientos [Moreno, 2017; Manwell, Mc Gowan y Roger, 2011].

Otras áreas donde el viento se acelera son los valles, los cuales encierran el viento y aumentan su velocidad. A los efectos de la meteorología de la energía del viento, a alturas entre 10 y 200 m sobre el nivel del mar, los efectos topográficos pueden dividirse en tres categorías:

Rugosidad: Los efectos simultáneos de la superficie del terreno y su rugosidad influyen en una desaceleración del viento cerca del suelo.

Obstáculo: Si en las cercanías aparecen obstáculos como edificios o arboledas, el viento se ve fuertemente influenciado por la presencia del obstáculo, el cual puede disminuir la velocidad del viento considerablemente.

Orografía: El término orografía representa la descripción de las variaciones de la altura del terreno, la cual se refiere con respecto al nivel medio del mar. Cerca de la cumbre o creta de las colinas el viento se acelera, mientras que en la base y valles el viento se desacelera.

2.2.2. Variación de la velocidad con la altura

La velocidad del viento es nominalmente cero a nivel del terreno, y aumenta gradualmente con la altura. El cambio de la velocidad del viento con la altura, es conocida como cizallamiento o perfil del viento. La razón de incremento con la altura depende fuertemente de la rugosidad del terreno y de sus cambios. Esta variación depende también de las condiciones de la estabilidad atmosférica, incluso, en el transcurso del día el perfil del viento cambia entre el día y la noche, la salida y ocultamiento del sol. Esto puede ser descrito por el denominado perfil del viento logarítmico con corrección de la estabilidad. Esta expresión [Moreno, 2017; Herrera, 2011; Clifton y Wagner, 2014] obtenida a partir de consideraciones teóricas se escribe como sigue:

$$u(z) = \frac{u_x}{k} \left[\ln \frac{z}{z_0} - \psi \right] \tag{4}$$

Donde u_x es la velocidad de fricción, k es la constante de von Karman, z_0 la longitud de la rugosidad, ψ es una función que depende de la estabilidad de la atmósfera, el positivo para la condición de inestabilidad, cero para el caso neutral y negativo para las condiciones inestables.

Otra opción es utilizando una ley de potencia aproximada, en su expresión:

$$\frac{u_{z_1}}{u_{z_2}} = \left(\frac{z_1}{z_2} \right)^\alpha \tag{5}$$

Donde u_{z_1} y u_{z_2} son la velocidad del viento a las alturas z_1 y z_2 , respectivamente, y α es el exponente de la ley de potencia con un valor típico de 0,14 para la mayoría de los sitios homogéneos. Un problema con esta aproximación es que α varía con la altura, la rugosidad de la superficie y la estabilidad, lo que significa que esta ecuación tiene aplicaciones muy limitadas.

2.3. Evaluación del recurso eólico

Para diseñar una instalación eólica o un parque eólico de manera satisfactoria, es importante la estimación del recurso eólico con la mayor exactitud posible en el sitio determinado. El potencial de producción de energía del viento, varía con la velocidad del viento elevada a la tercera potencia, lo que significa que con 10 % más alta, la velocidad del viento y el potencial de energía se ven incrementados en 30 % [Moreno *et. al.*, 2007]. Por lo general, la evaluación del recurso eólico se realiza en varias fases, las cuales se pueden resumir como sigue:

- a. Estimación preliminar del potencial eólico o fase de exploración: análisis de la información disponible.
- b. Selección de los emplazamientos: para la instalación de la(s) torre(s) de medición.
- c. Medición de la velocidad del viento a través de la realización de una campaña de mediciones.
- d. Control de la calidad de los datos medidos, con objeto de detectar errores y corregirlos.
- e. Parámetros básicos de evaluación: ¿qué información es la más interesante?
- f. Tratamiento estadístico de los datos del viento: ¿cómo sintetizar la información?
- g. Determinación del potencial eólico del sitio o región.
- h. Micro localización y producción de energía de una turbina eólica en el sitio de emplazamiento.

La metodología general de la evaluación del recurso eólico con el fin de diseñar una instalación eólica, basada en las mediciones del viento en el sitio, se presenta de manera resumida en la Fig. 1.



Fig. 1. Metodología para la evaluación del recurso eólico. Fuente: Propia.

2.3.1. Identificación y selección del sitio para la implementación del proyecto

Esta fase comienza con investigaciones de escritorio donde se observan los datos del viento existentes, cartas topográficas e imágenes de satélite; se continúa con el trabajo de campo, en el cual se realiza una visita a los sitios previamente definidos, observando la rugosidad, la presencia de construcciones y obstáculos, seleccionando finalmente el sitio para establecer el proyecto.

Esta fase es adecuada si la región es grande y no se han realizado previamente campañas de mediciones de la velocidad del viento en el sitio. Una exploración preliminar de una gran área comienza usualmente con la revisión de los mapas del recurso eólico y otras informaciones meteorológicas, además del análisis de las características meteorológicas de la región y los posibles efectos sobre las velocidades del viento, para así llegar a criterios resultantes de la exploración tales como forma del terreno, uso del suelo, vegetación y accesibilidad, carreteras, caminos y líneas de transmisión. Otra forma que se emplea en la exploración preliminar de grandes áreas son los sistemas de información geográficas (GIS por sus siglas en inglés), que es un mapeo computacional con herramientas de análisis para la exploración de sitios potenciales. Los mapas eólicos elaborados con modelos a meso escala, se pueden emplear también para la exploración preliminar de grandes áreas [Moreno, 2017; Moreno *et al.*, 2017; Manwell, Mc Gowan y Roger, 2011].

Con un listado preliminar de lugares candidatos, el paso siguiente debe ser visitar el sitio. Un propósito de tales visitas es buscar las evidencias físicas que apoyen la valoración estimada del recurso eólico durante la exploración preliminar de una gran área. La deformación de los árboles y la vegetación es una señal segura de fuertes vientos. Otro objetivo es analizar las limitaciones potenciales del lugar para el desarrollo de instalaciones eólicas. Un tercer objetivo de la visita al sitio, es seleccionar una posible ubicación de la estación de medición de la velocidad del viento más cercana.

2.3.2. Mediciones y evaluación del recurso eólico

La medición de la velocidad del viento comienza cuando concluye la primera fase. Este trabajo comienza con la selección del sistema de medición (anemómetros, sensores y data logger), torre e instalación, continuando con una campaña de medición durante un año como mínimo.

La medición de la velocidad y dirección del viento y la temperatura del aire, son necesarias para la evaluación del recurso eólico. Generalmente, cada parámetro es registrado para 1 o 2 segundos y estos datos instantáneos son promediados por un sistema de adquisición de datos (data logger) instalado en el mástil de medición. Los datos son normalmente coleccionados en intervalos medios de 10 o 60 minutos.

Actualmente, se promedian cada 10 minutos en busca de mayor precisión. El sistema de adquisición de datos calcula y almacena la desviación típica, tanto de la velocidad del viento como de la dirección.

La velocidad del viento es el parámetro más importante. Un anemómetro de tres copas es el instrumento típico

a través del cual se realizan las mediciones de la velocidad del viento. Varios fabricantes ofrecen estos equipos con bajo costo y gran exactitud, los cuales han sido empleados para las mediciones de la velocidad del viento durante años [Moreno *et al.*, 2017]. El registro de la velocidad del viento a varias alturas es lo recomendable para evitar errores en la simulación del comportamiento de las turbinas eólicas por el cizallamiento del viento. Las mediciones a múltiples alturas también aseguran la calidad de la campaña de mediciones si uno de los sensores falla. Usualmente se recomienda medir la velocidad del viento a tres alturas de la torre. Para una torre de 50 metros, las mediciones son a 10, 25 y 50 metros. Para una torre de 80 metros, las mediciones deben ser a 10, 40 y 80 metros, y los datos a diez metros se corresponden con la altura típica para mediciones de la velocidad del viento. [Moreno, 2017; Moreno *et al.*, 2017; Manwell, Mc Gowan y Roger, 2011; Clifton y Wagner, 2014.].

La altura aproximadamente más baja que alcanzan las palas de las turbinas eólicas en su posición vertical hacia abajo es de 30-40 metros. El comportamiento de la turbina puede ser estimado de una manera mejor con estos datos. Los datos a 60 y 80 metros de altura representan los valores a la altura del buje de la turbina. Los modelos de comportamiento de la turbina requieren datos del viento a la altura del eje principal de la turbina eólica. Si se proponen turbinas con alturas de buje por encima de 60 metros, el costo del izaje y los instrumentos con una torre de medición más alta son significativos. Un sistema de medición del tipo Sodar ofrece una alternativa para la recolección de datos en estos casos. Para obtener la mayor exactitud de los datos del viento, es importante minimizar el efecto de la torre sobre los instrumentos.

Las direcciones del viento son colectadas a las mismas alturas que la velocidad del viento, y una veleta direccional es empelada para determinar esa dirección. La configuración óptima de la instalación eólica depende de una buena información sobre la dirección predominante del viento [Manwell, Mc Gowan y Roger, 2011; Herrera, 2011]. Las mediciones de la temperatura son necesarias para determinar la densidad del aire que se emplea para determinar la densidad de potencia y el comportamiento de la turbina, y puede ser realizada a dos o tres metros sobre el nivel del terreno. Las mediciones a estas alturas minimizan los efectos del calentamiento durante las horas del día. Otros datos como la presión barométrica, la velocidad vertical y la precipitación son recomendable obtenerlos, pero no obligatorios (%).

El periodo de medición a corto plazo de la velocidad del viento en el sitio de medición debe ser lo suficientemente largo para cubrir todas las condiciones meteorológicas en la región con suficiente cantidad de datos. Un período de un año puede usualmente satisfacer este requerimiento. Para tener en cuenta las variaciones estacionales o de largo plazo del potencial eólico, las mediciones de corto tiempo deben ser correlacionadas con las mediciones instantáneas de la estación meteorológica de referencia que ha coleccionado los datos a largo plazo. Con las relaciones entre las mediciones locales y las mediciones en la estación de referencias ya conformadas, la distribución espe-

rada a largo plazo de los datos del viento del sitio escogido se pronostica considerando las mediciones locales a corto plazo de acuerdo con el histograma de frecuencias de la velocidad del viento a largo plazo. Este procedimiento es conocido usualmente como método de la Medición-Correlación-Predicción (MCP por sus siglas en inglés).

La medición de la velocidad del viento es uno de los aspectos más críticos en la evaluación del recurso eólico. Esto se confirma por las incertidumbres que pudieran aparecer durante la campaña de mediciones, que se amplifican por un factor entre dos o tres en la predicción de la energía producida por la relación no lineal entre la potencia entregada por la turbina y la velocidad del viento [Moreno *et al.*, 2007, 2011; Herrera, 2011].

Debido a la falta de experiencia en las mediciones de la velocidad del viento, puede aparecer una inaceptable incertidumbre, al no aplicarse las mejores prácticas en lo que respecta a la selección, calibración y montaje de los anemómetros, y la selección del sitio de medición, así como la altura de medición y la duración de las mediciones. Con el nivel de desarrollo actual, una incertidumbre tan baja como 1-2 % en la determinación de la velocidad del viento y alrededor de 3 % en términos de producción de energía, puede ser admisible. En resumen, en el proyecto de una instalación eólica debe garantizarse una alta calidad en las mediciones de la velocidad del viento en el área prevista para la instalación del sistema eólico, y con mayor énfasis en las regiones con terrenos complejos.

2.3.3. Microlocalización y estimación de la producción anual de energía

La microlocalización (*micrositing*) se fundamenta en el empleo de herramientas basadas en la evaluación del recurso eólico para determinar con exactitud la posición de una o más turbinas eólicas en un área de tierra, las cuales maximizan la energía producida. Existen variados programas computacionales disponibles para la micro localización. El diseño de una instalación eólica y los programas computacionales que se emplean utilizan los datos del viento del sitio candidato, los datos técnicos de los aerogeneradores y la información de las restricciones existentes en el lugar para determinar la configuración o el posicionamiento óptimos de las turbinas. Las restricciones pueden ser áreas excluidas del estudio debido a problemas geológicos o medioambientales, límites de ruido por zonas cercanas a la instalación, entre otras. La microlocalización que resulta de estos programas son mapas digitales topográficos y de contorno.

Los mapas señalan la ubicación de las turbinas, las curvas de contorno del ruido y las curvas de contorno con las predicciones de la energía que se genera, la estimación de la energía producida por cada aerogenerador y de todo el sitio objeto de estudio, además de cálculos económicos. Algunos de estos programas presentan también los efectos del impacto visual para localidades cercanas y las formas de minimizar este impacto, tratando de maximizar la energía generada.

Como ya se ha señalado anteriormente, en esta etapa se seleccionan los modelos de turbinas que serán empleadas y las configuraciones de la instalación en proyecto (*mi-*

crostiting o microlocalización). Se realiza entonces la estimación de la generación de energía. Al final de esta fase se tienen los escenarios de producción de energía.

Las instalaciones eólicas varían en tamaño y escala considerablemente, en dependencia de las limitaciones físicas del terreno disponible, el recurso eólico disponible y la cantidad de energía necesaria. En una instalación eólica con varias turbinas, estas se ubican tradicionalmente en filas perpendiculares a la dirección del viento prevaleciente. El espacio entre las turbinas de una fila puede ser pequeño tanto como dos a cuatro veces el diámetro de rotor, si el viento fluye perpendicular a la fila durante casi todo el tiempo. Si el viento incide sobre una segunda turbina antes de que el viento se haya restablecido al haber pasado por la primera turbina, la producción de energía de la segunda turbina disminuirá [Manwell, Mc Gowan y Roger, 2011; Herrera, 2011; Clifton y Wagner, 2014]. Esta disminución es una función del cizallamiento y la turbulencia del viento, la turbulencia añadida por la turbina eólica y el terreno.

La proporción de la disminución puede estar fácilmente en el rango de cinco a diez por ciento para un espaciamiento de alrededor de diez veces el diámetro del rotor de una turbina a continuación de la otra. El espaciamiento de las turbinas pudiera ser mayor y se produciría mayor energía, pero a costa de mayor cantidad de terreno, más caminos y accesos y más cables eléctricos.

La colocación de las turbinas buscando la máxima producción de energía, pasa por un procedimiento muy cuidadoso. El sitio de instalación de cada turbina eólica debe ser seleccionado sobre la base de la topografía y la colocación óptima, donde se pronostica que va a ocurrir la mayor densidad de potencia eólica.

Este paso crucial necesita ser realizado por personal experimentado, con un buen conocimiento de los efectos del terreno sobre el viento.

La microlocalización proporciona la configuración de la instalación eólica, y la óptima ubicación de cada turbina eólica. Esta consiste en que cada turbina se sitúa en un sitio óptimo en lo que respecta a la producción de energía. La microlocalización proporciona una alta calidad en cuanto a la ubicación de las turbinas y su espaciamiento, estimando la producción de energía del viento que incide sobre la instalación.

Otros elementos que deben ser considerados para la determinación de la configuración de una instalación eólica son el impacto visual y el ruido, entre otros. Finalmente, la energía estimada debe ajustarse teniendo en cuenta la generación a largo plazo (por lo general 20 años) de toda la instalación. El proceso de micro localización implica el monitoreo y modelación del flujo de viento en determinados sitios para cuantificar las variaciones a pequeña escala del recurso eólico sobre el área. En terrenos complejos, la micro localización puede implicar numerosas mediciones de la velocidad del viento, combinado con la modelación computacional que pronostique las velocidades del viento en áreas donde no se realicen mediciones.

Existen varias técnicas típicas y profesionales empleadas en la práctica para la modelación del comportamiento de la velocidad del viento sobre una región pequeña y la posterior microlocalización.

Algunos de estos modelos disponibles en el mercado son el Resoft Windfarm, WinPRO, WAsP, GH Wind Farmer, entre otros [Rodríguez, 2017]. Todos estos modelos tienen limitaciones debido a la linealización de las ecuaciones del modelo, que restringe su aplicabilidad a terrenos con bajas inclinaciones ($< -0,3$ [Moreno *et. al.*, 2007]. Estos modelos están limitados también por el hecho de que no tienen en cuenta los efectos térmicos como las brisas marinas o los vientos de valle-montaña. No obstante, a pesar de estos modelos presentar estas limitaciones, ellos proporcionan buenos resultados si se manejan correctamente y con experiencia.

2.4. Producción anual de energía

El cálculo de la producción de energía y de las pérdidas aerodinámicas en una instalación eólica, debe ser realizado mediante el empleo de programas computacionales profesionales, donde se simule la interferencia aerodinámica entre los rotores de las turbinas. Algunos de esos programas también optimizan iterativamente la posición de las turbinas, maximizando la energía producida [Manwell, Mc Gowan y Roger, 2011; Clifton y Wagner, 2014; Lundquist y Clifton, 2012; Solute, 2014].

Una turbina que se encuentre a continuación de otra, podrá extraer menos energía del viento, por ser esta velocidad menor, debido a la estela que se forma, o dicho de otra manera, por la sombra aerodinámica de una turbina sobre la otra. Esto ocurre en las instalaciones eólicas con varias máquinas, donde existe interferencia aerodinámica de una turbina sobre otra. A esto se le conoce como pérdidas aerodinámicas de la instalación eólica, las cuales dependen principalmente de los factores siguientes:

- a. Espaciamiento entre turbinas (corriente abajo o transversal).
- b. Características operativas de las turbinas eólicas.
- c. El número de turbinas y su tamaño.
- d. Intensidad de la turbulencia.
- e. Distribución de frecuencia de la dirección de los vientos (rosa de los vientos).

Las pérdidas aerodinámicas pueden reducirse optimizando la geometría de la instalación eólica. Existen diferentes distribuciones de tamaños de turbinas, la forma general, el tamaño de la distribución y el espaciamiento dentro de un parque eólico, influyen sobre los efectos de la estela que reduce la captación de energía.

La geometría de la instalación y la intensidad de la turbulencia son los dos parámetros más importantes en cuanto a las pérdidas aerodinámicas. El diseño de una instalación eólica requiere considerar cuidadosamente estos efectos para maximizar la energía captada. Un espaciamiento muy cercano de las turbinas permite instalar más turbinas en el sitio, pero reducirá la energía promedio captada por cada turbina eólica.

Cuando en un sitio existe un viento dominante, en general se recomienda realizar una distribución en filas alineadas, con separación transversal (perpendicular a la del viento dominante) entre turbinas, de tres a cinco veces el diámetro del rotor y de cinco a nueve veces en dirección

del viento dominante. Cuando la velocidad del viento tiene frecuentes cambios de dirección con respecto a la velocidad predominante, en este caso, los aerogeneradores se colocan al trespelillo.

El cálculo de las pérdidas aerodinámicas de la instalación necesita del conocimiento de la ubicación y características de las turbinas eólicas y del régimen de viento, y poseer un modelo de las estelas de las turbinas, para determinar el efecto de las turbinas corriente arriba sobre las turbinas corriente abajo.

La energía calculada hasta este momento es la energía bruta, pues considera solamente la interferencia aerodinámica entre los rotores de las turbinas. A esta energía bruta se le deben restar las pérdidas eléctricas internas de toda la instalación, las pérdidas por transmisión entre el punto de conexión y la instalación, las pérdidas por indisponibilidad del sistema eléctrico y la indisponibilidad forzada o programada de los aerogeneradores.

Como se observó en la evaluación preliminar del recurso eólico, el mapeo eólico constituye un paso fundamental desde los inicios. El mapeo eólico, realizado con paquetes de computación de simulación numérica, proporciona los mapas digitales del terreno (relieve y rugosidad). Estos mapas y los datos del viento de superficie obtenidos con torres de medición o del método de reanálisis (datos atmosféricos globales-NCAR (National Center for Atmospheric Research)/NCEP (National Center for Environmental Prediction), se aplican a modelos numéricos de la capa límite atmosférica [Solute, 2014]. De aquí se va a los modelos de interferencia entre los rotores de las turbinas, y se puede determinar la generación bruta de energía, y la configuración que mayor cantidad de energía aporta.

En la figura 2 se presentan a modo de resumen las etapas que contempla la microlocalización de las turbinas de un parque eólico.

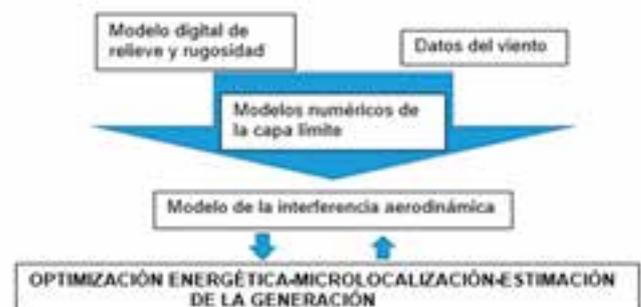


Fig. 2. Proceso para el proyecto de una instalación eólica: mapeo eólico y optimización de la configuración de las turbinas dentro del parque eólico. Fuente: Propia.

2.5. Particularidades de la evaluación del recurso eólico en zonas montañosas

El relieve es el factor de transformación más importante del régimen normal de los vientos, pues las pendientes influyen en el reforzamiento o atenuación local de la velocidad del viento en su desplazamiento, así como la desigual orientación del relieve respecto al régimen de viento predominante, la influencia local de la cubierta de vegetación

considerando su desigual distribución, altura, tipo de especies, vegetales y porosidad de su follaje, el desigual grado de rugosidad como consecuencia de la heterogeneidad del terreno, y la presencia de obstáculos naturales o artificiales que desorganizan el flujo del viento en las capas más próximas a la superficie [Moreno *et al.*, 2007, 2017].

Algunas localidades montañosas pueden ser muy ventajosas para la ubicación de turbinas eólicas, si allí los efectos de encauzamiento del flujo provocan un incremento de los vientos horizontales apropiados para tales máquinas, pero no resulta una tarea sencilla la localización de lugares con esas características.

Existen pocos criterios cuantitativos sobre el comportamiento del flujo de vientos sobre las montañas y a través de los valles. Los modelos teóricos o empíricos para predecir la velocidad del flujo de viento en terrenos complejos tienen una incertidumbre de 15 %, lo cual se traduce en un error en la producción de energía del orden de 45 % [Moreno *et al.*, 2007; Janireh, Su y Alan, 2013].

En las regiones montañosas y pre-montañosas, el terreno varía significativamente de una locación a otra, adoptando rasgos particulares que las distinguen y diferencian. La frontera entre estos sectores no siempre se encuentra bien definida, asumiéndose límites idealizados entre dos regiones con diferentes rugosidades, lo cual crea incertidumbre en la resultante del viento local.

La heterogeneidad de paisajes en las zonas montañosas trae consigo la existencia de una serie de fenómenos tales como acanalamientos o apantallamientos inducidos por el relieve, la presencia de turbulencia, que se manifiesta por bruscos cambios de dirección y velocidad del viento en zonas relativamente pequeñas, así como efectos térmicos que dan lugar a regímenes locales de vientos que se superponen a los eventos meteorológicos de gran escala sobre la región.

Considerando que el número de estaciones anemométricas y el período de recolección de datos para la predicción de la generación de energía para un parque eólico, está en dependencia de las características del terreno, en una región montañosa se requiere de una muy densa red de estaciones de medición que evalúen localmente el régimen de viento resultante en cada uno de sus múltiples paisajes.

Los terrenos complejos y las turbulencias locales pueden provocar ráfagas de viento que golpeen el rotor desde diversas direcciones y provoquen deformaciones permanentes y fracturas en estructuras y mecanismos de los aerogeneradores situados en pendientes abruptas [Lundquist y Clifton, 2012].

La industria de la energía eólica cuantifica la turbulencia por la llamada *intensidad de la turbulencia* (I_v) [Moreno, 2017; Moreno *et al.*, 2017; Manwell, Mc Gowan y Roger, 2011] que no es más que la desviación típica de la velocidad horizontal dividida entre la velocidad media del viento en un período de tiempo típicamente de 10 minutos. Si el viento fluctúa rápidamente, la intensidad de la turbulencia será mayor, e inversamente, los vientos estables tienen una menor intensidad de la turbulencia.

Los valores típicos de la intensidad de la turbulencia medidos con anemómetros de copa se encuentran en el rango de 3 a 20 %.

Los remolinos convectivos se pueden propagar a través de la capa límite terrestre durante todo el día hasta una altura de 2 km o más, donde la determinación de los efectos de la turbulencia atmosférica sobre el comportamiento de la potencia de la turbina puede resultar difícil.

La curva de comportamiento o curva de potencia de una turbina, expresa la entrega de potencia de la turbina en función de la velocidad del viento a la altura del buje, y esto viene definido por un valor de la intensidad de la turbulencia. Si la intensidad de dicha turbulencia sobrepasa ese valor, la curva de potencia se verá disminuida en función de la forma de la curva y de la distribución de velocidades. La intensidad de la turbulencia, influye sobre el cizallamiento del viento y su perfil de velocidad, por lo que influirá sobre la potencia generada por la máquina. Esta puede aumentarla o disminuirla. La producción de potencia cuando la velocidad del viento es de 8 m/s puede variar hasta 20 %, en dependencia de la intensidad de la turbulencia como se observa en la figura 3.

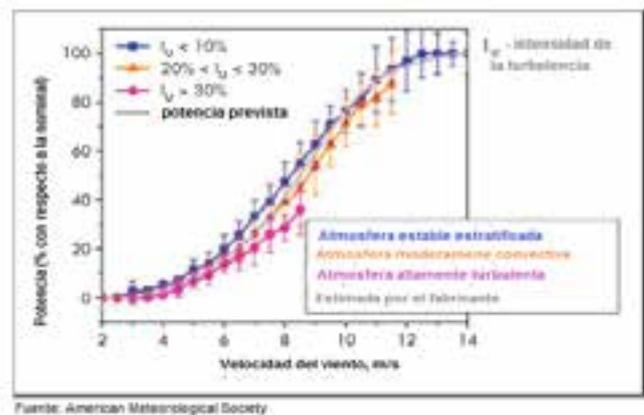


Fig. 3. Curva de la variabilidad de la curva de potencia con la intensidad de la turbulencia. Fuente: American Meteorological Society.

Existen varios modelos para predecir el comportamiento de las turbinas eólicas afectadas por la turbulencia: el método de la renormalización [Lundquist y Clifton, 2012], el método del bosque aleatorio (random forest) y el tradicional método de los intervalos (bin). El bien conocido método de los intervalos puede estimar el cizallamiento a través de la velocidad equivalente, y con ello, la curva de potencia, pero no tiene en cuenta el efecto de la turbulencia en el comportamiento de la turbina eólica. El método de la renormalización considera que la velocidad del viento en un período de 10 minutos sigue una distribución de Gauss, descrita a través de la velocidad del viento y la intensidad de la turbulencia, y que la potencia media de la turbina en el intervalo es una función de la distribución de las velocidades del viento en dicho intervalo. Estas consideraciones le permiten al modelo, creado sobre la base de los datos de los ensayos de la curva de potencia.

Después de la calibración, el modelo puede ser empleado para estimar la curva de potencia de la turbina eólica y la intensidad de la turbulencia. De acuerdo a la experiencia, este modelo sobreestima el efecto de la turbulencia.

El método del bosque aleatorio es una herramienta de aprendizaje sobre la máquina, que emplea los datos para entrenar el conjunto de modelos del árbol de decisión en

función de la velocidad del viento, el cizallamiento y la turbulencia. Otras variables pudieran ser añadidas al modelo. Esta herramienta de aprendizaje sobre la máquina puede emplearse con un conjunto de datos relativamente grande y con muchas variables. Sin embargo, no trae buenos resultados cuando las nuevas condiciones son muy diferentes a las del conjunto de datos de aprendizaje.

Se necesitan más investigaciones que obtengan modelos que combinen la flexibilidad de la modelación, empleando los efectos físicos con la habilidad del aprendizaje sobre la máquina, para analizar conjuntos mayores de datos.

Finalmente, la intensidad de la turbulencia puede afectar el comportamiento de las turbinas eólicas en cuanto a su resistividad, de aquí que la intensidad de la turbulencia influya sobre la selección de la turbina eólica. Como es conocido, la clase de turbina eólica expresa el comportamiento de la turbina en cuanto a la intensidad del viento y de la turbulencia. Cada clase de turbina viene dada por estos dos parámetros.

3. Resultados alcanzados y discusión. Ejemplo de evaluación del potencial eólico en un sitio con fines de emplazar una instalación eólica

A modo de ejemplo se presenta una experiencia para Cuba, hecha con el objetivo de instalar un parque eólico, la cual es aplicable a cualquier tipo de terreno, ya sea simple o complejo [Solute, 2014]. Una vez decidida la ubicación del parque eólico, se pasa a las etapas siguientes. Para estimar el potencial eólico de manera preliminar (prospección) se utilizan mapas mesoescalares que proveen una idea aproximada del recurso eólico, sin realizar aún mediciones del viento. Se han empleado los mapas mesoescalares con resolución 200 m de la empresa AWSTRUEPOWER, empresa del sector eólico que provee información relativa a mapas de viento empleando mapas mesoescalares y series temporales de largo plazo para esta primera fase de la prospección eólica. En otras aplicaciones, sus estimaciones han sido validadas con las mediciones hechas posteriormente, alcanzándose una alta precisión. En la Fig. 4 se muestra el esquema de cálculo utilizado por AWSTRUEPOWER, que se conoce como MesoMap process. Este esquema es similar al de la figura anterior para el caso específico de la forma en que lo hace la empresa AWSTRUEPOWER.



Fig. 4. Esquema del proceso MesoMap [15].

En la Fig. 5 se muestran los valores obtenidos de la velocidad media mensual para el emplazamiento a 80 m de altura. Puede apreciarse que para la zona de estudio el viento oscila entre 6,2 m/s y 6,6 m/s, por lo que se puede considerar 6,4 m/s la velocidad media. En esta figura se puede observar también la forma de la rosa de los vientos. Además, se obtuvo el mapa eólico de la zona.

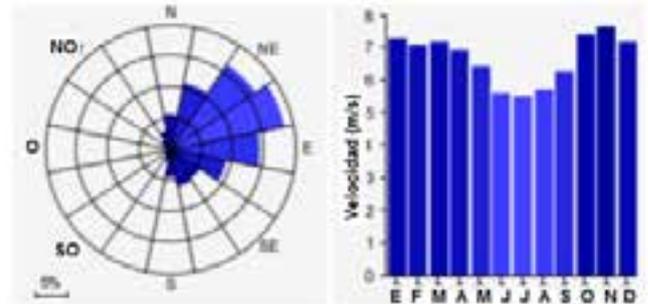


Fig. 5. Resultados de la evaluación preliminar del potencial eólico sin mediciones.

Para realizar el mapeo eólico de la zona sin mediciones del viento en el sitio específico, se obtuvieron las series de velocidad y dirección del viento procedentes de las bases de datos del modelo de reanálisis ERA-Interim desarrollado por ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts). Este modelo de reanálisis proporcionó datos del viento cada seis horas desde 1979 hasta 2013, que fue cuando se hizo este trabajo. Estos datos están dados para una altura de 60 m los que se pueden buscar también en la estación meteorológica más cercana, o sobre la base de datos satelitales o sondas espaciales.

La modelación del emplazamiento se hizo a partir de los datos de velocidad del viento de 35 años obtenidos como se explicó anteriormente. Con esos datos se realizó la modelación para una altura de 80 m empleando el software WASP, para así determinar el mapa del recurso eólico y los datos finales de valores de velocidad y dirección. Los datos de entrada al modelo WASP fueron: 1) la topografía con líneas de contorno cada cinco metros de elevación obtenido de la fuente Shuttle Radar Topography Mission (SRTM); 2) la rugosidad obtenida a partir de fotos y documentación acerca de la vegetación, construcciones y obstáculos existentes, estimándose una rugosidad de 0,1 m para las zonas interiores y 0,0001 m para las zonas costeras, y 3) datos del viento que como ya se expresó, se han empleado los datos de velocidad y dirección del viento a 81 m de altura hallados anteriormente.

Para la configuración y ubicación de los aerogeneradores buscando la optimización del parque eólico, se empleó el mapa eólico a 80 m de altura obtenido previamente con el modelo WASP y con turbinas eólicas previamente seleccionadas. Con el programa WindFarmer se optimizó la distribución de las turbinas eólicas en el terreno, teniendo en cuenta lo siguiente: aspectos geométricos, distancias mínimas recomendadas entre las turbinas eólica (al menos 5D en la dirección predominante y 2,5D para la dirección perpendicular a la predominante), distancias mínimas a carreteras existentes y otras instalaciones. Es decir, se tuvo en cuenta la interferencia aerodinámica acorde con este

programa. Para el cálculo de la producción de energía bruta del parque, se empleó el programa Wind Farmer, donde se tienen en cuenta las pérdidas por estelas empleando el modelo Eddy Viscosity. Para la producción limpia (neta) se tuvieron en cuenta, además de las pérdidas por estelas, las pérdidas por indisponibilidad de las máquinas, pérdidas eléctricas, por indisponibilidad de la subestación, por indisponibilidad de la red y por degradación de las palas.

Los resultados alcanzados muestran que el sitio presenta un viento favorable para la instalación. La potencia del viento se puede considerar como moderada acorde a los valores de la velocidad del viento en el sitio.

4. Conclusiones

La evaluación del recurso eólico con la mayor exactitud posible es un elemento clave en el desarrollo de cualquier instalación eólica. Este trabajo enfatiza en la importancia de este elemento y proporciona una metodología para llegar a la estimación local de la energía media producida por una determinada turbina eólica en un sitio específico. Como se explicó, generalmente la evaluación del recurso eólico se hace en varias fases. La primera consiste en identificar y cuantificar las áreas a estudiar, actividad que se denomina como «exploración inicial de la región o evaluación preliminar». La segunda fase se conoce como la de «estudio de factibilidad» basada en las mediciones in situ. El tercer paso es conocido como «microlocalización», que proporciona una estimación de la energía generada por el parque eólico con las turbinas situadas en el sitio óptimo, de manera tal que la producción de energía sea la máxima. La capacidad para integrar la energía eólica a la red eléctrica se puede ver afectada por la inexacta predicción de la energía que entrega la o las turbinas, al igual que la evaluación de la rentabilidad de una instalación. En este caso, el pronóstico de la velocidad del viento y con ello la producción de energía puede resultar imprescindible para realizar esta integración a lo largo de la vida útil de la instalación, e incluso en las próximas horas o en los próximos días y para evitar riesgos en el momento de la inversión. El caso de una zona compleja como una zona montañosa tiene sus particularidades, pues el efecto de la turbulencia y los cambios de dirección se tornan importantes por lo que se requiere un tratamiento algo diferente. El caso de la experiencia cubana confirma la necesidad de manejar diferentes programas computacionales para llevar a cabo esta evaluación previa a la inversión, y el tiempo que hay que emplear para llevar a cabo las mediciones.

5. Bibliografía

ALBERS, A. (2010). «Turbulence and shear normalization of wind turbine power curves». European Wind Energy Conference Proceedings.

- CLIFTON A. Y R. WAGNER (2014). «Accounting for the effect of turbulence on wind turbine power curves». The Science of Making Torque Proceedings; June 18-20, 2014. Copenhagen. Denmark.
- CLIFTON, A, *ET AL.* (2013), «Using machine learning to predict wind turbine power output». Environmental Research Letters, 2013.
- CHIRINOS GARCÍA J. J., C. MORENO FIGUEREDO Y J. MORALES SALAS (2016). «Modelo matemático para el diseño aerodinámico de los álabes de una turbina eólica de eje horizontal». Revista de *Ingeniería Energética*, 2016. Vol. 37 No. UM.1.
- HERRERA, S., OMAR *et al.* (2011). «Modelo de optimización de parques eólicos». Revista de *Ingeniería Mecánica*, Vol.14 No. 3, p.189-198. ISSN 1815-5944
- JANJREH, I.; L. SU Y F. ALAN (2011). «Estimation of wind energy potential using different probability density functions», May 2011, Elsevier, *Applied Energy*, Volume 88, Issue 5, Pages 1848-1856.
- JANJREH, I.; L. SU Y F. ALAN (2013). «Wind energy assessment: Masdar City case study». Elsevier, *Renewable Energy*, Volume 52, Pages 8-15, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626191000473>.
- LUNDQUIST, J. Y A. CLIFTON (2012). «How turbulence can impact power performance», North American Windpower
- MANWELL, J. F.; J. G. MCGOWAN Y A. L. ROGER (2011). *Wind energy explained*. Editorial John Wiley & Sons Ltd., 689p., ISBN 978-0-470-01500
- MORENO FIGUEREDO C. *ET AL.* (2017). *Doce preguntas y respuestas sobre energía eólica*. La Habana: Ed. Cubasolar, 64op., <http://www.cubasolar.cu> ISBN: 978-959-7113-51-5.
- MORENO FIGUEREDO C. *ET AL.* (2007). *Diez preguntas y respuestas sobre energía eólica*. La Habana: Ed. Cubasolar, 2007, 335p., <http://www.cubasolar.cu> ISBN: 978-959-7113-34-8.
- RODRÍGUEZ C. A. (2017). «Caracterización y evaluación del potencial eólico del litoral oeste de Santa Cruz del Norte con fines energéticos», Tutor: Conrado Moreno Figueredo, Tesis de maestría. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de la Habana José A. Echeverría (Cujae), La Habana, 2017. Disponible en <http://biblioteca.cujae.edu.cu/Tesis/Maestria.pdf>
- SHAHID, I, *ET AL.* (2015). «Wind energy assessment considering geographic and environmental restrictions in Sweden: A GIS-based approach», Elsevier, *Energy*, April 2015, Volume 83, pages 447-461, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544215001991>.
- SOLUTE (2014). «Informe sobre Estudio de pre-factibilidad del parque eólico Mariel 8.25 MW», junio 2014, Madrid, España.
- WAGNER, R.; M. COURTNEY, J. GOTTSCHALL Y P. LINDEOW-MARSDEN (2011). «Accounting for the speed shear in wind turbine power performance measurement», *Wind Energy*, 2011.

EVALUACIÓN TÉRMICA DE UNA VIVIENDA EN SAN CLEMENTE

Por **M. Sc. José Fabián Véliz Párraga***, **Dra. Cs. Dania González Couret****
y **M. Sc. Elim Mariane Zambrano Martillo*****

* y ***Universidad Técnica de Manabí, Ave. Urbina y Che Guevara, Portoviejo, Ecuador.
E-mail: jfveliz@hotmail.com

**Universidad Tecnológica de La Habana, 119 e/ Rotonda y Ciclovía, Marianao, La Habana, Cuba
E-mail: daniagcouret@gmail.com

Resumen

Como parte de la investigación que desarrolla el autor principal con vistas a la defensa de su tesis de doctorado, se ha evaluado el ambiente térmico interior en la vivienda social en Ecuador y las posibilidades de mejorarlo en Portoviejo, a partir de las soluciones de cubierta. En aras de profundizar en el impacto térmico real de soluciones tradicionales de cubierta ligera, se ha tomado como caso de estudio una vivienda en la playa San Clemente, en la cual se han realizado mediciones de la temperatura interior durante el mes de febrero de 2018.

Sobre la base del comportamiento probable esperado de la temperatura del aire en función de la tipología volumétrica-espacial, la orientación de la vivienda y su contexto, así como los materiales de construcción empleados, se discute el efecto de la exposición de la cubierta a la radiación en días soleados o nublados, y la orientación de los espacios.

En todos los casos la temperatura interior es superior a la exterior, excepto al mediodía en planta baja, pero en días nublados, esta puede ser hasta 3 °C menor que en días soleados, cuando la temperatura interior puede llegar a ser hasta 8 °C superior al exterior a la sombra, y hasta 7 °C mayor que la registrada en planta baja durante la tarde. Los resultados obtenidos con respecto a la orientación confirman la importancia de la volumetría de la cubierta en esta baja latitud.

Palabras clave: Ambiente térmico interior, cubiertas, vivienda popular, Portoviejo.

THERMAL EVALUATION OF A HOUSE IN SAN CLEMENTE

Abstract

As part of the research work carried out by the main author as PhD. Thesis, indoor thermal environment of social housing in Ecuador has been evaluated, as well as possibilities to improve it in Portoviejo, based on roof solutions. In order to go deeper into the real thermal impact of traditional light roof solutions, a house in San Clemente beach has been taken, as study case to carry out measurements of indoor temperature during three days in February 2018.

Based on the probable expected behavior of indoor air temperature depending on volumetric and spatial typology, as well as building materials, context, and orientation, the effect of the roof exposition to solar radiation during sunny and cloudy days and spaces orientation is discussed.

Indoor temperature is always higher than outdoors, except on ground floor at noon, but on cloudy days, it may be up to 8 °C higher to outdoors, and up to 7 °C major than the one registered on the ground floor during the afternoon. Respect to orientation, achieved results confirm the importance of roof volumetric solution at this very low latitude.

Keywords: Indoor thermal environment, roofs, popular housing, Portoviejo.

1. Introducción

La presente ponencia se relaciona con una investigación en curso sobre el ambiente térmico interior en una vivienda social de Ecuador y las posibilidades de mejorarlo en la ciudad de Portoviejo, capital de la provincia de Manabí, a partir de nuevas propuestas de soluciones de cubierta, dada la importancia que ese elemento de cierre horizontal asume en latitudes tan bajas como la del Ecuador.

En la referida investigación que servirá de base para la defensa del grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas del autor principal de la presente ponencia, se ha realizado un estudio exploratorio del ambiente térmico interior en viviendas populares ubicadas en diversas urbanizaciones de la ciudad de Portoviejo, construidas con diferentes materiales y tecnologías de construcción [Véliz y González, s/a]. Los resultados de ese estudio experimental preliminar permitieron confirmar lo que ya se había sido planteado en la etapa teórica inicial de la investigación con respecto a la importancia de la cubierta, elemento que constituye el objeto de estudio de la tesis [González y Véliz, 2016].

La tradicional cubierta de fibra vegetal (cady) de la vivienda vernácula manabita ha sido sustituida por elementos ligeros en la vivienda popular urbana contemporánea [González y Véliz, 2017], siendo las tejas acanaladas de acero galvanizado (zinc) y de asbestocemento (eternit) las más usadas, por su disponibilidad y bajo costo, aunque a ambos tienen un elevado coeficiente global de transferencia térmica.

La solución del problema de la cubierta en la vivienda popular, debe ser encarada considerando de forma integral su dimensión ambiental, económica y social, pues por un lado su costo puede limitar el empleo de mejores soluciones desde el punto de vista ambiental, específicamente térmico, pero también los patrones socioculturales suelen conducir al empleo de soluciones constructivas identificadas como símbolos de mayor estatus social a pesar de su peor desempeño térmico.

Es por ello que, como parte de esta investigación, se desarrollaron mediciones de temperatura interior en módulos experimentales unitarios cubiertos con diferentes soluciones constructivas a partir del empleo de recursos disponibles localmente, incluso, reusados o reciclados, con vistas a hacer una evaluación comparativa de los resultados [González y Véliz, s/a]. No obstante, como las temperaturas interiores son diferentes en un módulo experimental unitario y cerrado con respecto a una vivienda real, se decidió hacer otro estudio exploratorio del comportamiento del ambiente térmico interior en una vivienda real con cubierta ligera de asbesto cemento, ubicada en la playa de San Clemente, cuyos resultados se discuten en la presente ponencia.

2. Materiales y métodos

La vivienda estudiada se ubica en la playa San Clemente, en la costa pacífica ecuatoriana, al noroeste de la ciudad de Portoviejo, capital de la provincia de Manabí, a pocos metros de la costa, con una volumetría de planta casi cuadrada y las cuatro paredes exteriores orientadas a solo 3 grados respecto a las cuatro orientaciones principales (norte, oeste, sur y este) (Fig. 1).



Fig. 1. Microlocalización de la vivienda objeto de estudio.

Las mediciones de temperatura se realizaron durante tres días, entre el 15 y el 18 de febrero de 2018, momento en que la trayectoria solar aparente es casi perpendicular por su cercanía al solsticio. Al no disponer de una estación meteorológica cercana en zona de playa, se han tomado como referencia las temperaturas registradas durante esos días en la estación de Portoviejo, con valores que oscilan entre 23 °C y 29 °C (Fig. 2). Sin embargo, como la estación de referencia se ubica en el Jardín Botánico donde abunda la vegetación, es de suponer que en este contexto costero las temperaturas puedan ser superiores. Con vistas a evaluar los resultados de las mediciones, se realizaron observaciones del estado del tiempo diario en cuanto a la ocurrencia de lluvias o el predominio de cielo nublado o con presencia de sol, los cuales aparecen en la Tabla 1 y han sido reflejados mediante colores en los gráficos de temperatura (soleado en amarillo, nublado en verde y lluvia en azul).



Fig. 2. Valores máximos y mínimos de temperatura en la estación meteorológica de Portoviejo durante los días en los que se realizaron las mediciones. Los colores reflejan el estado del tiempo en San Clemente en cada momento (soleado en amarillo, nublado en verde y lluvia en azul).

Tabla 1. Estado del tiempo en San Clemente durante los días en que fueron realizadas las mediciones

Fecha	Estado del tiempo		
	Mañana	Tarde	Noche
Jueves 15 febrero 2018	—	Nublado	Lluvia
Viernes 16 febrero	Soleado	Soleado	Nublado
Sabado 17 febrero	Soleado	Nublado	Lluvia
Domingo 18 febrero	Nublado	Soleado	Nublado

Se trata de una vivienda de dos plantas (Figs. 3 y 4). En la planta baja se encuentran el garaje y las zonas de servicio, además de una piscina disponible en el espacio lateral. La zona habitable se ubica en la planta superior, bajo una cubierta ligera a dos aguas orientada al norte y al sur, construida con tejas de asbesto cemento, que protege las paredes mediante un alero perimetral de 0,60 m de proyección horizontal. El entrepiso y las paredes son de madera, aunque las de la planta baja son de bloques de mortero revocados por ambas caras. Las ventanas son de vidrio de corredera en todos los casos, con una malla interior para protección contra insectos. Las paredes exteriores están terminadas con pintura de color amarillo ocre.

Para las mediciones de temperatura se emplearon de equipos Kestrel 4200 (Pocket Air Flow Tracker), ubicados

en el interior de la vivienda en un trípode a la altura de 1,50 m (Fig. 5), programados para medir a intervalos de 60 minutos durante tres días. Las mediciones fueron realizadas de forma simultánea en cuatro puntos (Fig. 6), uno ubicado en un dormitorio de esquina con paredes exteriores orientadas al sur y este; el segundo en otro dormitorio de esquina, pero en esta ocasión con las paredes exteriores orientadas el norte (dando a la terraza frontal) y al oeste; el tercero en la planta baja y por tanto, fuera de la influencia de la cubierta ligera de asbesto cemento, y el cuarto de referencia exterior con el equipo de medición dentro de una cabina meteorológica ubicada bajo un árbol cercano (Fig. 7), con vistas a registrar la temperatura del aire exterior a la sombra sin la influencia de radiaciones térmicas provenientes del entorno.



Fig. 3. Vivienda objeto de estudio.



Fig. 4. Espacio interior



Figura 5. Equipo de medición en interior.

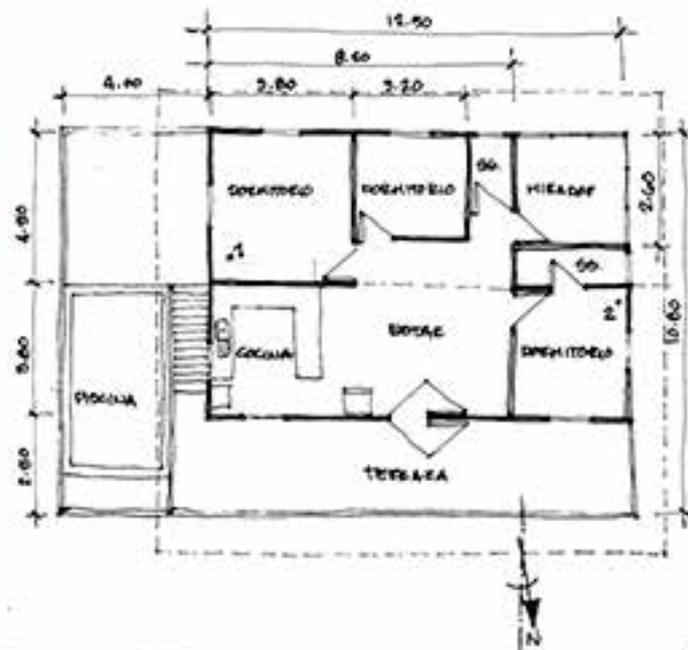


Fig. 6. Puntos de medición.



Fig. 7. Equipo de medición en exterior.

3. Resultados y discusión

Las temperaturas horarias medidas simultáneamente en cada uno de los cuatro puntos, incluido el exterior, aparecen graficadas en la Fig. 8, mientras que las diferencias entre la temperatura medida en cada punto del espacio interior con respecto al exterior se recogen en la Fig. 9. En ambos casos se indica el estado del tiempo en cada momento (soleado en amarillo, nublado en verde y lluvioso en azul).

Como era de esperar, en todos los casos la temperatura interior es mayor que la exterior, excepto en la planta baja

al mediodía, cuyo valor puede llegar a ser igual o ligeramente inferior, justo en el momento en que se producen las máximas temperaturas exteriores. La diferencia entre la temperatura registrada en la planta baja, donde la cubierta no está expuesta al sol, con respecto al exterior a la sombra, siempre resulta inferior a 2 °C.

En cambio, en los dormitorios medidos en la planta alta, la temperatura interior llega a ser hasta 8 °C superior a la exterior en la tarde, y casi 4 °C durante la noche. Sin embargo, se aprecian importantes diferencias entre ambos espacios interiores con diversa orientación.

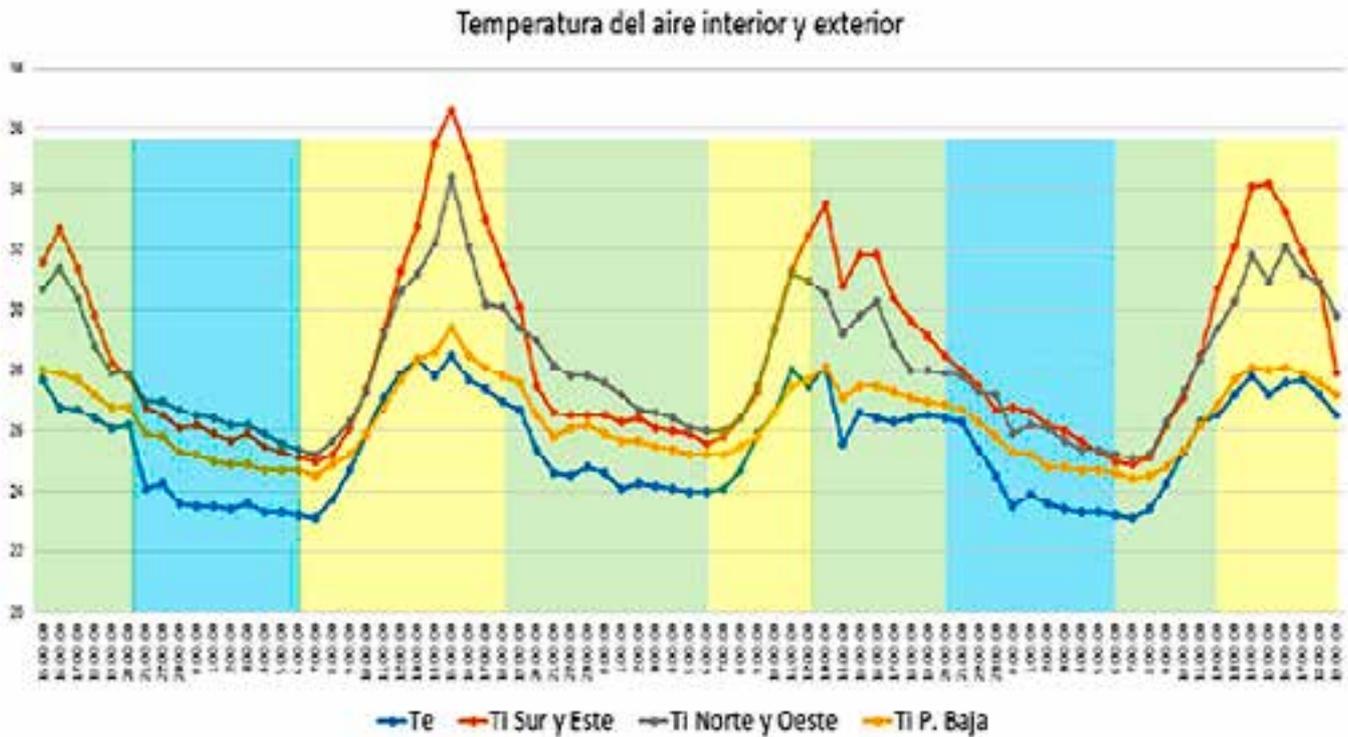


Fig. 8. Valores de temperatura horaria medidos en cada punto. Los colores reflejan el estado del tiempo en San Clemente en cada momento (soleado en amarillo, nublado en verde y lluvia en azul).



Fig. 9. Diferencia entre la temperatura interior medida en cada espacio interior con respecto al exterior de referencia. Los colores reflejan el estado del tiempo en San Clemente en cada momento (soleado en amarillo, nublado en verde y lluvia en azul).

Al contrario de lo esperado, no es el espacio con una pared orientada al oeste el que presenta las mayores temperaturas en el horario de la tarde. La razón es que este interior con dos paredes expuestas tiene una de ellas (la orientada al norte) totalmente protegida del sol durante todo el día, de manera que solo recibe radiación solar directa a través de la pared oeste en el horario de la tarde. Por otro lado, este espacio se encuentra mayormente bajo el plano de cubierta orientado al norte, que es el que recibe menor intensidad de radiación solar en febrero. No obstante, es este espacio el que presenta mayores temperaturas durante la noche y madrugada, como consecuencia del calentamiento solar de la pared oeste de madera durante la tarde, ya que no existe ningún obstáculo exterior que lo impida.

Por otro lado, el dormitorio orientado al sur y al este es el que presenta las más altas temperaturas durante la tarde, ya que aunque la fachada orientada al este queda parcialmente protegida por el techo de la escalera y el propio contexto, la pared sur recibe radiación solar durante todo el día, y además, se encuentra bajo la porción de cubierta inclinada al sur, que es la que más intensidad de radiación solar recibe en febrero. Así, la temperatura interior en este espacio llega a ser entre 1 °C y 3 °C superior a la del otro dormitorio a las 3:00 p.m., mientras que la temperatura interior en el espacio con paredes exteriores hacia el norte y el oeste llega a ser hasta 1 °C más alta a media noche que en el orientado al sur y oeste.

También es posible apreciar en los gráficos de temperatura, la influencia de la nubosidad y la lluvia en el ambiente térmico. Durante las dos noches en que llovió, la temperatura del aire exterior fue inferior a 24 °C, el valor predominante en la noche en que no hubo lluvia, aunque la diferencia no es muy significativa (inferior a 1 °C). Algo similar sucede en la mañana y la tarde nublada con respecto a la soleada, aunque en estos casos la diferencia de temperatura llega a ser algo mayor (aproximadamente 2 °C al mediodía).

Sin embargo, estas diferencias de temperatura se hacen mucho mayores en el espacio interior. En una tarde soleada, la temperatura interior llega a ser cercana a 6 °C

superior a una tarde nublada a las 3:00 p.m., mientras que en una noche lluviosa puede ser inferior en hasta 3 °C a las 9:00 a.m. con respecto a una noche nublada. Todo lo expuesto ratifica el importante rol de la cubierta y su exposición a la radiación solar, con respecto a la temperatura del aire interior en el Ecuador, especialmente cuando se trata de una cubierta ligera de asbesto cemento.

4. Conclusiones

Los resultados de esta investigación experimental exploratoria permiten ratificar la importancia que para el ambiente térmico interior tiene la cubierta y su exposición a la radiación solar en la latitud de Ecuador, con independencia de la orientación de los espacios, sobre todo cuando se trata de una cubierta ligera de alto coeficiente global de transferencia térmica.

Se constata la influencia del estado del tiempo en el ambiente interior, con independencia de la solución de cubierta, que puede llegar a ser de hasta 6 °C mayor en una tarde soleada con respecto a una nublada, y de hasta 3 °C menor en una noche de lluvia. Esta es, por tanto, una importante información a tener en cuenta al comparar el desempeño de diferentes soluciones a partir de las diferencias de temperatura obtenidas de mediciones asincrónicas.

Referencias bibliográficas

- GONZÁLEZ COURET, D.; J. F. VÉLIZ PÁRRAGA (2016). «Resiliencia urbana y ambiente térmico en la vivienda». *Arquitectura y Urbanismo*. Vol. XXXVII, No. 2, mayo-agosto 2016.
- GONZÁLEZ COURET, D.; J. F. VÉLIZ PÁRRAGA (2017). «La vivienda vernácula en clima cálido – húmedo. Caso de estudio: Portoviejo, Ecuador». *XIV Jornadas Técnicas de Arquitectura Vernácula*, La Habana, 2017.
- GONZÁLEZ COURET, D.; J. F. VÉLIZ PÁRRAGA (s/a). «Alternative roof solutions to reduce indoor temperature for social housing in warm and humid climates. Case study: Portoviejo, Ecuador». *Renewable Energy*. (En prensa).
- VÉLIZ PÁRRAGA, J. F.; D. GONZÁLEZ COURET (s/a). «Vivienda de interés social en Portoviejo. Ambiente térmico interior». *Revista AUS*, Universidad Austral de Chile.

LAS BIOELÉCTRICAS CAÑERAS EN EL CONTEXTO CUBANO

Por **Dr. C. Jorge T. Lodos Fernández***

* Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca), Carretera Central y Vía Blanca, Guanabacoa, La Habana, Cuba.
E-mail: jorgelodos@ceniai.inf.cu

Resumen

Se describen bioeléctricas existentes, y se discuten las características que apoyan definir una estrategia, como eficiencia, consumo de vapor en proceso, biomasas alternativas, capacidad en zafra y no zafra, costo de la biomasa, electricidad e inversión, entre otras. Se concluye que la Bioeléctrica debe valorarse económica y ecológicamente, que hay que maximizar la producción de electricidad operando a la mayor presión y temperatura posibles, con turbo-generadores de extracción-condensación, y que la disponibilidad de biomasa es decisiva, pues regula su capacidad, duración de operación y rentabilidad. El distribuidor tiene que asimilar el BiokWh en cualquier momento y sitio en que se produzca.

Palabras clave: Biomasa, caña, cogeneración, energía.

SUGARCANE BIOPOWER PLANTS IN CUBAN REALITY

Abstract

Existing Biopower Plants are described as its characteristics are discussed in order to support an strategy, based on efficiency, steam process consumption, existing biomasses, power capacity during sugarcane campaign and out of it, and biomass, power and investment costs, among other conditions. It is concluded that the Biopower Plant has to be evaluated economically and as an environment-friendly energy producer, electricity production has to be maximized with the highest possible pressure and temperature and extracting-condensing turbo generators. Biomass availability is fundamental because it regulates capacity, campaign extension and profitability of the Plant. Grid has to purchase BiokWh at any moment and site.

Keywords: Biomass, cane, cogeneration, energy.

1. Introducción

La caña de azúcar tiene una gran capacidad para convertir energía solar en biomasa y es una de las más prometedoras fuentes de energía renovable disponibles por su magnitud [ISO, 2018]. El bagazo, que se obtiene en fábrica de azúcar y no disperso por el campo, se quema en calderas que producen vapor de agua con una presión de hasta 20-30 bar y una eficiencia del orden de 70 %. Para que este vapor pueda calentar, que es su objetivo «azucarero», hay que reducir su presión hasta 2-3 bar. Esto se hace en turbogeneradores baratos de «contrapresión», puesto que no hay vapor para condensar al utilizarse el total del mismo

(~50 % de la caña) en procesar los productos azucareros, y donde, simultáneamente, se produce electricidad, prácticamente sin costo [Rein, 2012].

Esta producción de vapor y electricidad tiene que ser balanceada con su consumo, o aparece bagazo sobrante, difícil de manejar por la fábrica y que puede afectar la producción de azúcar. Cuando se mejora la eficiencia termoeenergética, dentro de los límites de lo tradicional, se puede llegar a un índice de generación del orden de 40 kWh, con un consumo de 25-30 y una venta de hasta 10-15 kWh, por tonelada de caña procesada, apenas 50 % del potencial energético del bagazo.

Por otro lado, los distribuidores de electricidad la requieren todo el año (no solo en zafra), más en horario pico y menos de madrugada, pero a la fábrica de azúcar le «sobra» electricidad cuando la producción de azúcar lo permite y no cuando la demanda eléctrica la necesita. Si hubiese un comprador de toda la extra-electricidad que se produce a un precio razonable, se dan las condiciones para incrementar los parámetros de operación y la eficiencia del área energética de la fábrica de azúcar, y convertir al vapor y al bagazo sobrantes en más electricidad, deseablemente, durante todo el año [ISO, 2014].

Esta es la realidad cubana actual, pues el Sistema Electroenergético Nacional (SEN) puede asimilar BiokWh en cualquier momento y lugar, que balancea, por ejemplo, parando grupos electrógenos de capacidad similar distribuidos por todo el país. Por otro lado, independientemente de las coyunturas ocasionales nadie duda que el petróleo tenderá a agotarse, y que el cambio climático, cuyas consecuencias ya está viviendo la humanidad, hace más penoso sustituir los combustibles fósiles, en particular en la producción de electricidad, por renovables que no incrementen el efecto invernadero. Se han fortalecido las oportunidades para las bioeléctricas [Lodos, 2015], y consecuente con esto se ha decidido elevar la participación de la bioenergía cañera de 3 % actual, a 14 % en 2030.

El objetivo de este trabajo es analizar la experiencia existente y hacer propuestas de cómo adecuarla a las condiciones cubanas para maximizar la producción de bioelectricidad.

2. Materiales y métodos

Los materiales utilizados son bibliográficos, es decir, el análisis realizado y sus resultados están basados en el estudio de las Bioeléctricas existentes que utilizan biomasa de caña de azúcar, al menos en zafra, y de las ofertas más recientes de las mismas.

3. Resultados y discusión

Evidentemente, para producir más electricidad en una fábrica de azúcar, ya agotadas las posibilidades tradicionales, habría que utilizar calderas con la mayor eficiencia posible (más vapor por tonelada de biomasa), trabajar a la mayor presión y temperatura posibles (más electricidad por tonelada de vapor), reducir el consumo de vapor de proceso lo más posible (más vapor para condensar), utilizar turbogeneradores de extracción-condensación (para obtener más electricidad del vapor no utilizado en el proceso) y aprovechar la capacidad instalada (trabajar en no-zafra), elementos que se discutirán a continuación.

3.1. Ejemplos de Bioeléctricas

3.1.1. Islas Reunión y Mauricio. Las primeras grandes Bioeléctricas anexas a centrales, de los noventa del siglo XX, con consumo de vapor en proceso menor de 40 %, presión superior a 80 bar y 520 °C, que queman bagazo y residuos de cosecha en zafra, y carbón en no-zafra, con 85 % de eficiencia y una inversión de 1 700 USD/kW [ISO, 2014].

3.1.2. Bioeléctrica en desarrollo Jesús Rabí, anexa a un Central que tendrá 4500 t/día de caña con destilería,

diseñada para 85 % de su capacidad en zafra (20 MW todo el año). La ingeniería básica se realizó previamente y se solicitó una planta completa para 62 bar, 500 °C y 85 % de eficiencia en la caldera, y un turbogenerador que extrae vapor a 2,8 bar. Se prevé trabajar 290 días, 180 en zafra y otros 86 con biomasa cañera y 24 con biomasa forestal. Entrega 75 kWh/t de caña en zafra y 100 GWh/año, con una inversión total de ~\$3000/kW (~1800 USD/kW en importación directa) [Gómez, 2012].

3.1.3. Bioeléctrica Biopower, empresa mixta anexa a un Central de 7000 t/día de caña, que llegará a 8300. Se licitó sin ingeniería básica previa, para que los licitantes maximizaran la producción de electricidad. Se diseñó para fuera de zafra y 100 % de la molida actual (85 % de la proyectada). La oferta ganadora fue de 85 bar, 520 °C y 85 % de eficiencia con dos calderas y un turbogenerador de 60 MW, que extrae vapor a 2,8 bar. Se prevé trabajar 290 días al año, 150 de zafra con bagazo apoyado con marabú, y 140 en no-zafra con marabú. En zafra entrega 110 kWh/t de caña y vende al SEN 350 GWh anuales, con una inversión total comparativa, de 2750 USD/kW [Macdonald, 2016].

En los últimos años se siguen construyendo Bioeléctricas anexas a centrales con 60-70 bar y hasta 520 °C, pero se ha incrementado la participación de Bioeléctricas de 80-90 y más bar y 520-540 °C, que ya es una tecnología constituida y predominante, operando con biomasa cañera en zafra y, como regla, completando el año con carbón. En la India, esta última opción es una obligación estatal [Lodos, 2015].

3.2. La biomasa. La biomasa natural de la Bioeléctrica es el bagazo que, sin embargo, no alcanza para todo el año, si no se reduce la potencia, lo que no es deseable porque contradice el objetivo de maximizarla. Cualquier residuo agrícola y forestal cercano puede ser aprovechado. Aun cuando sean «sobrantes» tienen un costo de recolección, transportación y preparación, en dinero y energía, que hay que considerar en el análisis. El marabú ocupa un lugar especial por su extensión y por la necesidad de limpiar los campos infestados, previo a la siembra de otros cultivos [Vidal, 2016]. Parece atractivo intercambiarlo por la limpieza del campo, cuyo costo, del orden de 25 USD/t, se transferiría a la biomasa, que es el esquema de Biopower. Sin embargo, su disponibilidad se ha reducido por otros usos competitivos y no haber en cada Bioeléctrica. Otra opción es considerar la caña «energética» cubana, con el doble de fibra y bagazo, que crece en tierras no aptas para caña azucarera y se siembra, atiende y cosecha en no-zafra con equipos, tecnología y trabajadores existentes, extendiendo su uso. Puede picarse en trozos que se secan a la humedad del bagazo y se queman directamente sin que opere el Central, que era su principal desventaja [Campo-Zabala, 2006]. Otra opción son los cultivos energéticos, que debe desarrollar el Minagri, con plazos y precio por determinar. Si aun así la biomasa no fuese suficiente para completar el año, parecería necesario utilizar combustibles fósiles, que es lo usual internacionalmente. En este caso se logra un porcentaje predominante de energía renovable que sustituye importantes cantidades de combustibles fósiles. En

lo que se refiere al precio del bagazo con ~50 % de humedad, su promedio en Brasil es ~27 USD/t y, en la India 12-14. Cuando se intercambia por el vapor de proceso y la electricidad que necesita el Central, su precio expresado como el ingreso dejado de percibir es de unos 30-35 USD/t. Todo indica que un precio de ~30 USD/t (60 USD/t de biomasa seca) es satisfactorio para todos los participantes. Será necesario almacenar biomasa 3-4 días para garantizar la estabilidad de su suministro a la caldera. El almacenamiento del bagazo está técnicamente resuelto, aunque es complejo por su baja densidad (gran área), por el riesgo de incendio y por su manipulación, que incrementa las pérdidas. Su densidad a granel es ~0,1, que puede duplicarse si se empaca, quintuplicarse si se seca a 30 % de humedad y empaca o briquetea, y hasta decuplicarse si se seca al 10-15 % y se peletiza. Mientras más se seque y compacte, mayor densidad tendrá pero mayor será la inversión, el costo y el consumo de energía asociados. La experiencia existente es que empacar y briquetear son analizables, pero no peletizar, que es muy costoso y alto consumidor de energía [Lodos, 2015].

3.3. La caldera. Existen en operación centenares de calderas que convierten bagazo y otros combustibles en vapor con una eficiencia mayor de 85 %, por lo que los problemas vinculados al diseño del horno y a aprovechar el calor liberado, precalentando o secando, según corresponda, la biomasa, el agua o el aire que alimentan la caldera, aun para una mezcla de biomasa y carbón con diferente granulometría, humedad, peso específico etc., están resueltos. En cualquier caso, alcanzar una eficiencia de 85 % o más, trabajando con temperaturas en el rango de 480-540°C es normal, lo que se corresponde con producir 2,2-2,4 vapor/bagazo con 50 % de humedad [ISO, 2014]. La caldera debe diseñarse para quemar el 100 % del bagazo teórico a producir, aun cuando su promedio sea inferior, porque tiene que enfrentar momentos prolongados de 100 % de molienda. El criterio conservador azucarero probablemente reclame considerar el tener la caldera duplicada, «para garantizar la zafra», lo que técnica y económicamente no siempre se justifica. Es evidente que mientras mayor sea la presión de trabajo y la temperatura del vapor, mayor será la eficiencia de la caldera y la producción de electricidad. En los últimos 10 años se han sumado Bioeléctricas con más de 85 bar en decenas de fabricas de azúcar, por ejemplo, dos en los EE.UU. y tres en Tailandia (100-110 bar y 510 - 520 °C), siete en Guatemala, una en El Salvador y una en Cambodia (~110 bar y 540 °C) y más de 15 en la India con 87-125 bar y 515-540 °C. Aunque ya están disponibles calderas que queman en lecho fluidizado cualquier biomasa y tecnologías de gasificación y ciclo combinado que suministran 200-240 kWh/t de caña [Rein, 2012], no es de esperar que la conservadora industria azucarera sea pionera de estos desarrollos.

3.4. El agua de alimentación de la caldera. Bajo las condiciones anteriores de presión y temperatura, el agua de alimentación de la caldera tiene que tener calidad de ósmosis inversa, por lo que la desmineralización por intercambio iónico es insuficiente. Además, hay que obtener un

retorno de condensados del vapor de baja presión enviado a la fábrica de azúcar del orden de 90 %, que es la práctica existente y que es indispensable lograr. La calidad del condensado debe corresponderse con la calidad del vapor recibido.

3.5. El turbo-generador. Siempre que haya vapor sobrante, será indispensable disponer de un turbogenerador que lo condense. Este turbogenerador operará también durante la zafra. Entonces, el problema se reduce a cómo se suministra el vapor de proceso: 1. Un único turbogenerador de extracción-condensación, que trabaja todo el tiempo, con una extracción a proceso en zafra, o 2. Dos turbogeneradores especializados, uno de contrapresión que trabajará solo en zafra y otro de condensación que trabajará el tiempo que sea necesario. Esta última alternativa, probablemente, exija calderas asociadas a cada turbogenerador. El supuesto ahorro en los turbogeneradores especializados se pierde en la economía de escala, además de que se reduce la generación fuera de zafra. Es un esquema simple y natural al azucarero, que sigue operando con sus turbogeneradores de contrapresión, y asimila el vapor sobrante con un turbogenerador de condensación. Considera, además, que «garantiza mejor la zafra», porque ve duplicado los equipos, lo que ni técnica ni económicamente es cierto, pues no son intercambiables. Lo que sí es cierto, es que esta alternativa encarece la inversión unitaria, reduce la entrega de electricidad y cabría analizarla, si solo se va a operar en zafra.

3.6. ¿Diseñar para zafra o para no zafra? Cualquiera que sea la capacidad nominal que se desee, siempre habrá diferencias entre zafra y no zafra, porque en zafra se cogenera y una parte importante del vapor que se entrega al proceso sin llegar a condensarse, lo que no sucede fuera de zafra. Si el turbogenerador se diseña para no zafra, estará ~25 % sobredimensionado en zafra y las calderas trabajarán todo el tiempo con la misma capacidad: Es el caso de Biopower. Si el turbogenerador se diseña para zafra, trabajará todo el tiempo con la misma potencia y las calderas estarán sobredimensionadas y consumirán 25 % menos de biomasa fuera de zafra: Es el caso de Rabí. Un elemento adicional a tomar en cuenta es que es más fácil operar la caldera a menor capacidad que el turbogenerador. Para una cantidad fija de biomasa, la electricidad que se producirá en ambas variantes es similar, pero en el diseño para zafra la campaña fuera de zafra es más larga con menos días para incrementar producción, si aparece más biocombustible. Siempre que exista esa posibilidad parece más conveniente diseñar para no-zafra. Cuando hay limitaciones importantes en la disponibilidad de biomasa, que no se resolverán en un plazo razonable de tiempo, probablemente es mejor diseñar para zafra. Desde el punto de vista económico, la inversión, cuando se diseña para no zafra, será hasta 5 % mayor, pero el costo de operación se reduce y, al extenderse la campaña eléctrica, la extra electricidad producida es capaz de compensar este incremento.

3.7. El tiempo de operación. Para maximizar la producción de electricidad, utilizar y recuperar plenamente la

inversión, e ir al encuentro de los distribuidores de electricidad, es necesario operar la Bioeléctrica todo el año con biomasa o, inclusive parte del tiempo con combustible fósil. Esto, como se mencionó, no debe descartarse, inclusive, es lo más utilizado en la mayoría de las Bioeléctricas en operación, en las que, de todas formas, casi la mitad de la energía producida es renovable, lo que no deja de ser un importante logro.

3.8. El consumo de vapor en proceso. Este es el principal «ladrón» de electricidad de la Bioeléctrica. Actualmente, todo el vapor se utiliza en el proceso con un índice de consumo de ~50 % de la caña molida. Este indicador en los líderes de la industria de azúcar de remolacha es inferior a 30 %. Lo más importante para vender más electricidad al SEN en zafra, es reducir el consumo de vapor del proceso azucarero a los alrededores de 40 %. Esto puede lograrse con una inversión media que no puede descartarse que sea financiada «a fondo perdido» por la Bioeléctrica, si la extra-producción de electricidad debida al ahorro la compensa adecuadamente. Cada tonelada de vapor al proceso que no pueda bajar de ~2 bar a condensación, deja de producir unos 120 kWh.

3.9. El medioambiente. La razón fundamental de producir bioenergía renovable es no incrementar el CO₂ atmosférico, pues se devuelve el que la caña absorbió al crecer. Cada BioMWh vendido salva ~ 0,8 toneladas de «créditos de carbón». Esto frecuentemente, es retórico y el análisis se basa en resultados económicos vinculados al precio del kWh y al ahorro de combustible fósil en las Termoeléctricas. Sin embargo, su importancia para el entorno justifica premiarlo, por ejemplo, con donaciones y ventajas fiscales.

3.10. La Inversión. Frecuentemente se confunde el valor de la inversión con el costo de los equipos principales o de una «planta completa», que no incluye el terreno, la construcción y montaje y gran parte de la documentación técnica, o solo se considera el valor de lo importado. La inversión para una Bioeléctrica todo incluido, es ~\$2800/kW de potencia instalada (~3 200 USD/kW de potencia vendida) y los ejemplos existentes en Cuba lo confirman. Estos valores son inferiores al fotovoltaico, con una inversión

por kW vendido del orden de 5 000 USD [Stolik, 2018]. Para recuperar esa importante inversión hay que operar todo el año, que es también interés del SEN. En general, se necesitan 2-3 años de gracia, mientras se negocia, diseña y construye la Bioeléctrica, y cinco o seis años más para reembolsar el financiamiento y recuperar la inversión. Aunque el precio del kWh es el elemento fundamental para el reembolso, el valor del combustible fósil ahorrado es otro elemento a considerar. También debería considerarse económicamente su efecto positivo sobre el medioambiente. El resto de las condiciones del préstamo, como su costo y garantías, son una parte decisiva de las discusiones que hacen viable al negocio. Lo que en una empresa cubana es un ejercicio enmascarado por la existencia de la doble moneda, en una empresa mixta es la razón de su existencia, y un costo del dinero algo más elevado o la ausencia de una garantía apropiada, pueden hacer fracasar al negocio.

3.11. El costo/precio del BiokWh. El costo total de operación del BiokWh es ~4 ¢/kWh (casi seis en zafra y menos de tres en no-zafra). El precio asciende a 10 ¢/kWh (necesario para reembolsar la deuda y su interés) y a 15, para recuperar también la inversión. Posteriormente puede descender a 10 ¢/kWh de nuevo [Macdonald, 2016], compatibles con los del kWh fotovoltaico [Stolik, 2018].

3.12. El índice de generación. La experiencia real de la industria azucarera aparece en la tabla. Se aprecia claramente que, dentro del esquema tradicional, es posible vender electricidad y el bagazo sobrante empieza a ser un problema. Cuando se instalan calderas de alta presión, temperatura y eficiencia, y turbogeneradores de extracción-condensación, el índice de generación crece significativamente (nuevo esquema).

4. Conclusiones

La disponibilidad de biomasa regula la capacidad y rentabilidad de la Bioeléctrica. Hay que evaluar la caña energética y el marabú.

Debe tenderse a presiones y temperaturas superiores a los 80 bar y 520 °C, que es una tecnología ya generalizada, que multiplica el índice de generación actual.

Tabla 1: Índice de generación para diferentes esquemas

Bar/t°C	kWh/t caña	Comentarios y venta de kWh/t caña	
		En zafra	En no-zafra
10 /~200 °C	<20	Esquema tradicional: compra	0
18/~300 °C	~25	Esquema tradicional: balanceado	0
28/~350 °C	~40	Esquema tradicional (centrales «nuevos»): Vende 10, bagazo sobrante es problema	0
60-70/<520 °C	~100	Nuevo esquema: Vende ~75	Vende ~95
80-100/>520 °C	~175	Nuevo esquema: Vende ~90	Vende ~150

Se beneficia el medioambiente con energía que no incrementa el efecto invernadero.

Se beneficia la fábrica de azúcar con más garantía de estabilidad en su operación y menor costo del área energética que libera los equipos existentes para otros usos.

Se beneficia el SEN que adquiere electricidad a un precio inferior a su costo evitado y no tiene que realizar una importante inversión en termo-generación

La principal reserva para incrementar la generación es reducir el consumo de vapor del proceso a ~40 % y extender la zafra.

5. Referencias bibliográficas

- CAMPO-ZABALA, R. (2006). «Caña energética cubana (*Saccharum spp*) y sus perspectivas para la producción de Biomasa», en Memorias del IX Congreso Latinoamericano de Botánica, República Dominicana, 19-25 de junio.
- GÓMEZ, R. (2012). «Condiciones generales de licitación del Proyecto Planta Bioeléctrica 20 MW UEB Central Jesús Rabí». Azuimport, 6 páginas.
- INTERNATIONAL SUGAR ORGANIZATION ISO (2014). «Outlook for Co-generation in Cane Sugar Industries», MECAS (14)17, 38 páginas.
- INTERNATIONAL SUGAR ORGANIZATION ISO (2018). *Sugar Year Book*. ISBN 978-92-990045-9-3.
- LODOS, J. (2015). «La estrategia de desarrollo de Bioeléctricas dos años después: 2013-2015, Memorias de Diversificación 2015, Sección Energía». 4 páginas.
- MACDONALD, A. (2016). «Anexo II de la Resolución 224/2014 del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente». 36 páginas.
- REIN, P. (2012). *Ingeniería de la caña de azúcar*, 1ª edición en español. ISBN 978-3-87040-142-9. Verlag Dr. Albert Bartens KG, Berlín, Alemania.
- STOLIK, D. (2018). «Ventajas y desventajas de la energía fotovoltaica». En *Energía y Tú*. No. 82, abril-junio, pág. 9.
- VIDAL, A. ET AL. (2015). «Inventario para el aprovechamiento de las áreas cubiertas de marabú del municipio Carlos Manuel de Céspedes, Camagüey». 46 páginas.

AMBIENTE TÉRMICO EN ESPACIOS EXTERIORES EN LA HABANA

Por **Dra. Cs. Arq. Dania González Couret, M. Sc. Arq. Olivia Sánchez Martínez, Arq. Víctor Daniel Rodríguez Rodríguez y Arq. Manuel Alejandro Salazar Castro***

* Universidad Tecnológica de La Habana, 114 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba.
E-mail: danial@arquitectura.cujae.edu.cu

Resumen

A partir del efecto de la Isla de Calor Urbana, las condiciones específicas del contexto influyen en el ambiente térmico interior. Investigaciones precedentes desarrolladas por los autores han intentado caracterizar la influencia de la morfología en el microclima de La Habana, sobre la base de un modelo teórico y trabajo experimental de campo, en aras de buscar vías para mejorar el ambiente térmico exterior. El presente artículo presenta los resultados de la evaluación, mediante simulación, del ambiente térmico exterior en espacios públicos seleccionados en La Habana, antes y después de las propuestas de transformación.

La simulación se ha realizado mediante el empleo del programa ENVI-met 4.0. Se confirma el efecto de la Isla de Calor Urbana, así como que es posible mejorar el microclima urbano y con ello el ambiente térmico interior, si se aplican ciertos principios de diseño al actuar en los espacios exteriores.

Palabras clave: Microclima urbano, isla de calor urbana, ambiente térmico exterior, Programa ENVI-met.

OUTDOOR THERMAL ENVIRONMENT IN HAVANA

Abstract

Based on the Heat Island Effect, indoor environment is influenced by specific outdoor conditions in the urban context. Precedent research works carried out by the authors have intended to characterize the influence of morphology on Havana's urban microclimate, based on a theoretical model and experimental field work, in order to find ways to improve outdoor thermal environment. The present paper presents the results in evaluating by simulation, outdoor thermal environments in some selected public spaces in Havana before and after some transformation proposals.

Simulation has been carried out by ENVI MET. Results allow to confirm the heat urban effect and that it is possible to improve urban microclimate and then, indoor thermal environment, if some simple design principles are taken into account when acting in public spaces.

Keywords: Urban microclimate, urban heat island, outdoor thermal environment, ENVI MET simulation.

1. Introducción

El efecto de la Isla de Calor Urbana modifica el microclima y determina las temperaturas exteriores reales que deben ser consideradas para evaluar el ambiente térmico interior. Numerosas investigaciones realizadas durante las últimas décadas han estado encaminadas a caracterizar y evaluar la influencia de la morfología urbana en el microclima, y se ha reconocido que el impacto de la forma

urbana en el desempeño energético de los edificios es muy complejo.

En investigaciones recientes se ha propuesto un modelo teórico para evaluar la influencia de la forma urbana en los usos pasivos y activos del sol y el viento en La Habana [González y Sánchez, 2016], a partir del cual se ha realizado una evaluación cualitativa del comportamiento integral de diversos modelos urbanos existentes

en la ciudad. Posteriormente, se inició la verificación de esos resultados mediante investigaciones empíricas que incluyen la realización de mediciones de temperatura en espacios exteriores de las urbanizaciones evaluadas, para verificar su comportamiento con respecto a los usos pasivos del sol.

Dado que el desarrollo de mediciones de temperatura en espacios exteriores urbanos resulta lento y costoso, la etapa siguiente consistió en el inicio de la simulación del ambiente térmico exterior mediante el empleo del software ENVI-met 4.0, y la comparación de los resultados con los previamente obtenidos en las mediciones. A partir de la experimentación con el software, también se incursionó en las posibilidades de mejorar el ambiente térmico en los espacios exteriores urbanos, solo actuando sobre algunos de los elementos clasificados como modificadores en el modelo teórico propuesto: materiales, albedo y vegetación.

En el artículo se exponen los resultados obtenidos en la simulación del ambiente térmico en seis espacios exteriores reales existentes en la ciudad de La Habana, en diversos municipios y a diferentes escalas, para demostrar que es posible reducir la temperatura del aire exterior a partir de acciones de transformación de los elementos modificadores, que pueden ser desarrolladas de forma progresiva.

2. Materiales y métodos

Se toma como base el modelo teórico previamente elaborado y los resultados de su aplicación en la evaluación cualitativa integral de modelos urbanos en La Habana, particularmente aquellas evaluadas de no recomendables, o simplemente aceptables con respecto al uso pasivo del sol [González y Sánchez, 2016], que son las que teóricamente presentan condiciones térmicas desfavorables, con vistas a demostrar que es posible mejorar el ambiente térmico con una mínima inversión.

Para ello se seleccionaron sitios con escalas y configuraciones espaciales diferentes, es decir, a escala municipal o de barrio y que fueran calles o plazas, atendiendo a su configuración espacial. Se escogieron dos plazas a escala de barrio, que agrupan servicios básicos a la población y dos calles que poseen una importancia a nivel municipal en cuanto a servicios y transporte público.

Aunque el objetivo fundamental de las intervenciones en los espacios seleccionados, ha sido el mejoramiento del microclima térmico, su complejidad condujo a elaborar propuestas de intervención que no solo consideraran el microclima, sino también otros problemas como accesibilidad, movilidad, calidad del espacio y necesidades de los usuarios, a partir de un diagnóstico integral de problemas y oportunidades, realizado sobre la base de la observación de la realidad y entrevistas a los usuarios.

A partir de una síntesis gráfica del diagnóstico, se conceptualizó la propuesta de transformación para cada espacio estudiado, y se elaboraron los diseños, con un enfoque progresivo en tres plazos, encaminado a reducir el monto de la inversión inicial, sugiriendo posibles niveles de intervención e inversión, entre un mínimo y un máximo.

En cada uno de los casos se simuló las condiciones de partida del ambiente térmico en el espacio exterior, así como las del espacio transformado en alguna de las eta-

pas concebidas. El software empleado para la simulación ha sido el ENVI-met 4.0, desarrollado por el Instituto de Geografía, Departamento de Geoinformática, Grupo de Modelación Ambiental (Universidad de Mainz), con el objetivo de simular la interacción entre superficies-plantas-aire en un ambiente urbano, basado en modelos termodinámicos y de dinámica de los fluidos [Bruce, 2016]. Este software se ha usado en numerosas investigaciones que durante los últimos años [Tumini, 2012] han desarrollado modelos de validación, demostrando la credibilidad de la herramienta para reproducir el fenómeno microclimático [Alcázar, 2015].

Tumini [2012] desarrolló mediciones para comparar con las simulaciones realizadas por ENVI-met, concluyendo que hay un comportamiento similar entre las variables simuladas y reales. González [2011] realizó simulaciones basadas en valores extremos de la estación meteorológica más cercana, concluyendo que el software ofrece resultados coincidentes con la realidad en esas condiciones críticas, de manera que podría ser bueno para cualquier otro día del año. Jörg [2007] recomienda usar la información meteorológica local para un mejor ajuste de las bases de datos del ENVI-met, adaptándolas a ambientes tropicales. Alcazar [2015] demostró que el modelo de cálculo de turbulencia tiende a dar error con velocidades de viento menores que 1m/s.

Para la simulación de las condiciones de partida, se elaboraron cuatro modelos tridimensionales mediante la aplicación SPACES, donde se reflejan las características esenciales de la volumetría, los materiales y la vegetación en los espacios que se seleccionaron. Posteriormente se hicieron, simulaciones de 24 horas cada una, que comienzan a las 8:00 a.m., en los cuatro sitios, con los datos meteorológicos iniciales de entrada, típicos de condiciones de verano, para poder evaluar de forma más efectiva el ambiente térmico, y con el objetivo de comparar los resultados con simulaciones hechas en el modelo del espacio transformado. Para la simulación de las propuestas se asumieron los mismos datos meteorológicos de entrada, así como hora y fecha de inicio usados en la simulación de la situación de partida, con vistas a comprobar la influencia de la intervención sobre el ambiente térmico.

Como complemento a la simulación de las temperaturas, también se calcularon los modelos de confort térmico PPD/PMV, mediante la aplicación Biomet del ENVI-met para la situación de partida y para las propuestas de intervención en los cuatro espacios, con el objetivo de compararlos con los generados en la propuesta.

3. Resultados

Espacio Público 1, Calzada de 10 de octubre y Dolores. Municipio 10 de octubre (calle a escala municipal)

El espacio consiste en el tramo de la Calzada de Dolores entre Calzada de 10 de octubre y la calle Delicias en el municipio 10 de Octubre (Fig. 1), donde se encuentra una parada de ómnibus y taxis, un espacio de parqueo, un cruce vial peligroso y diversos servicios de escala municipal, bien conectados con el resto de la ciudad mediante la red de transporte público existente.



Fig. 1. Microlocalización y vista superior del Espacio Público 1. Municipio 10 de Octubre.

La propuesta de transformación parte del reordenamiento y del control del tráfico, así como de la creación y el aprovechamiento de espacios que respondan a las necesidades de los usuarios del espacio público (Fig. 2). Se rediseña el trazado de la Calzada de Dolores para aumentar el espacio de uso actual de la parada e incluir un punto de taxis. En la segunda etapa se siembran posturas de árboles, reduciendo el pavimento en el área de parqueo, y se sustituye parte del asfalto por hormigón, permeable en las aceras.

En los mapas de temperaturas resultantes de la simulación con el ENVI-met antes y después de transformar el espacio (Fig. 3), se puede observar que los materiales y la vegetación influyen en la reducción de la temperatura, con un valor prome-

dio de hasta 4 °C entre las 3:00 p.m. y las 5:00 p.m. En los gráficos del PPD se aprecia la reducción del porcentaje de personas en disconfort en el espacio transformado, donde el PMV tiende a bajar, lo cual indica que la sensación térmica percibida por las personas en la segunda etapa de la transformación deberá ser menos calurosa que en la situación actual.

Espacio Público 2. Plaza a escala de barrio. Municipio Habana del Este. Reparto Alamar

El área de estudio consiste en una plaza ocupada por edificios de servicio a escala de barrio y rodeada por edificios de vivienda, en una morfología urbana abierta, ubicada en Alamar, al este de la ciudad (Fig. 4).



Fig. 2. Situación de partida y transformada del Espacio Público 1. Municipio 10 de Octubre.

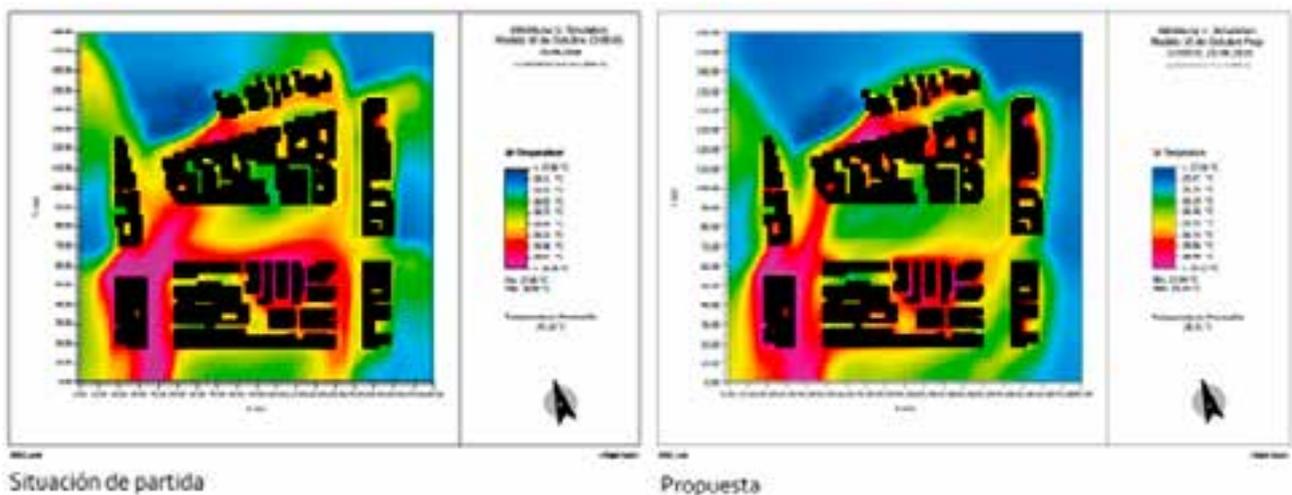


Fig. 3. Mapas de temperaturas generados por la aplicación Leonardo de ENVI-met a las 13:00 horas del día 25/06/2016, en la situación de partida y transformada. Espacio Público 1. Municipio 10 de Octubre.



Fig. 4. Microlocalización y vista superior del Espacio Público 2. Reparto Alamar.

La propuesta de transformación intenta crear nuevas áreas de participación social y de circulación peatonal, mediante la reducción del ancho de las calles de servicio, y acondicionar espacios en desuso para actividades al aire libre como el deporte y el juego de los niños de la comunidad (Fig. 5). Desde la primera etapa se sugiere plantar árboles al borde de las calles y césped en las áreas en desuso, que luego se amplían como paseos peatonales arbo-

lados, y se complementan con galerías de circulación entre los edificios, que protegen del sol y la lluvia.

En los mapas (Fig. 6) se puede apreciar una disminución de la temperatura del aire, provocada por la inclusión de vegetación y la sustitución de materiales en la propuesta de intervención, que llega hasta 2 °C entre las 2:00 p.m. y las 3:00 p.m., así como una reducción de los valores de PPD y PMV.



Fig. 5. Situación de partida y transformada del Espacio Público 2. Reparto Alamar.

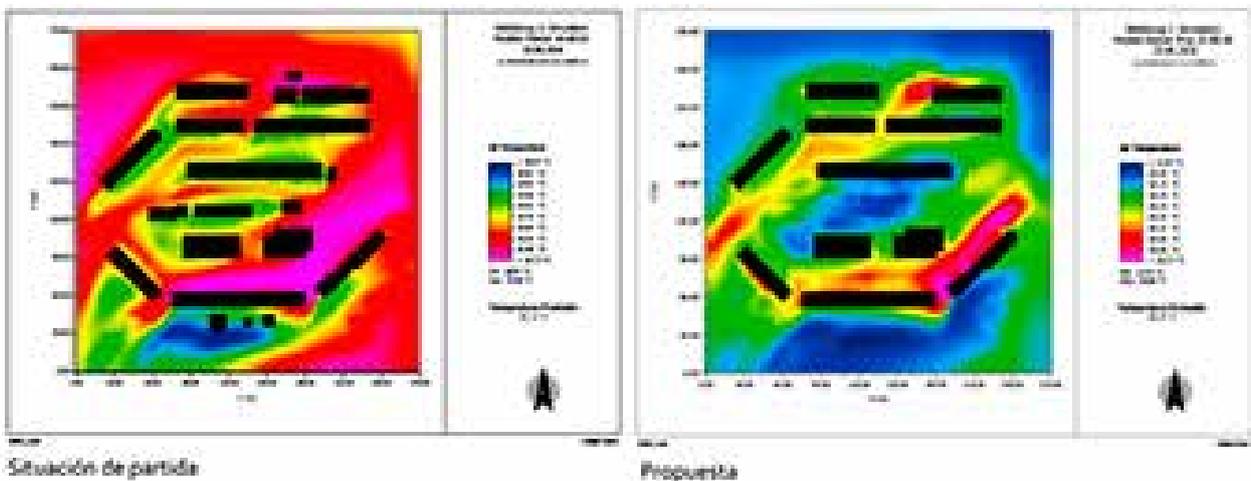


Fig. 6. Mapas de temperaturas generados por la aplicación Leonardo de ENVI-met a las 16:00 horas del día 25/06/2016, en la situación de partida y transformada. Espacio Público 2. Reparto Alamar.

Espacio Público 3. Calle a escala Municipal. Centro Histórico de Guanabacoa. Municipio Guanabacoa

El espacio está conformado por una isleta donde se ubica una parada de ómnibus, limitada por la Calle Pepe Antonio y un espacio que se utiliza como parqueo y piquera de taxis (Fig. 7). La intervención pretende lograr una articulación entre el espacio de la isleta y el Parque Martí, permitiendo una circulación peatonal y vehicular más fluida entre ambos (Fig. 8). Desde la primera etapa se programa plantar posturas de árboles de pequeño y mediano portes en el espacio de la isleta. El asfalto solo se mantiene en la vía principal, pero se sustituye por hormigón en el carril exclusivo del ómnibus y por adoquines en la piquera de taxis.

En los mapas (Fig. 9) se muestra la influencia que tienen los materiales y la vegetación en la reducción de la temperatura del aire exterior, fundamentalmente, en el horario del mediodía y la tarde, así como menores valores de PPD y PMV.

Espacio Público 4. Plaza a escala de barrio. Municipio Habana del Este. Reparto Antonio Guiteras

El espacio de intervención forma parte de una manzana, donde se agrupan servicios a escala de barrio, y aunque existen parterres, la vegetación se encuentra hacia el interior de los lotes, en jardines y patios privados (Fig. 10). La intervención pretende lograr una articulación espacial entre los servicios ubicados en la manzana, estableciendo



Fig. 7. Microlocalización y vista superior del Espacio Público 3. Centro Histórico de Guanabacoa.



Fig. 8. Situación de partida y transformada en el Espacio Público 3. Centro Histórico de Guanabacoa.

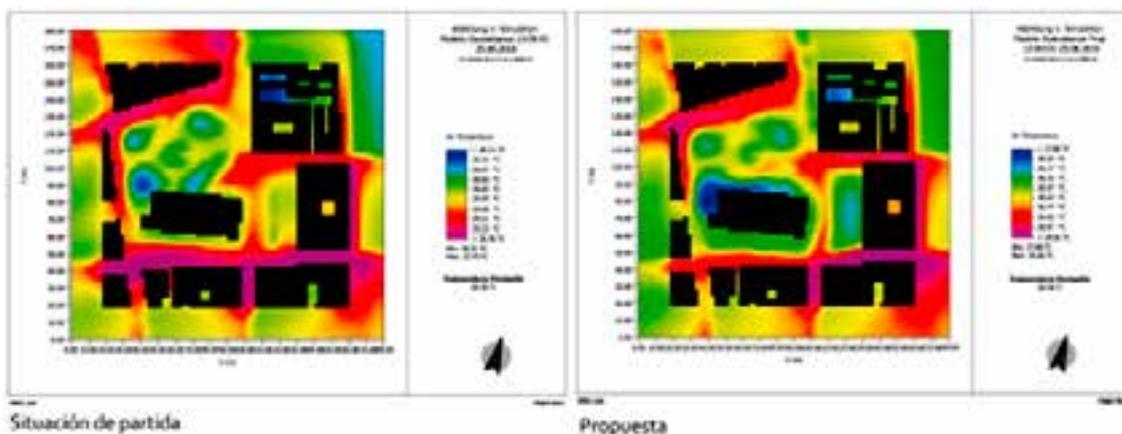


Fig. 9. Mapas de temperaturas generados por la aplicación Leonardo de ENVI-met a las 13:00 horas del día 25/06/2016, en la situación de partida y transformada. Espacio Público 3. Centro Histórico de Guanabacoa.

conexiones peatonales, y recuperar los espacios desocupados que existen entre ellos, creando condiciones para la interacción social (Fig. 11). Desde la primera etapa se propone la siembra de posturas de árboles en el frente del mercado, para crear una arboleda que sustituye parte de la superficie asfaltada. En las áreas de circulación se emplea hormigón permeable y pavimentos a base de caucho en el área infantil.

Los mapas temperatura (Fig. 12) muestran que los materiales y la vegetación incluida en las propuestas de intervención, influyen de manera significativa en la reducción de las temperaturas del aire en el espacio público, con un promedio de hasta 2 °C en horarios de la tarde, disminuyendo también los valores de PPD y PMV.



Fig. 10. Microlocalización y vista superior del Espacio Público 4. Reparto Antonio Guiteras.



Fig. 11. Situación de partida y transformada en el Espacio Público 4. Reparto Antonio Guiteras.

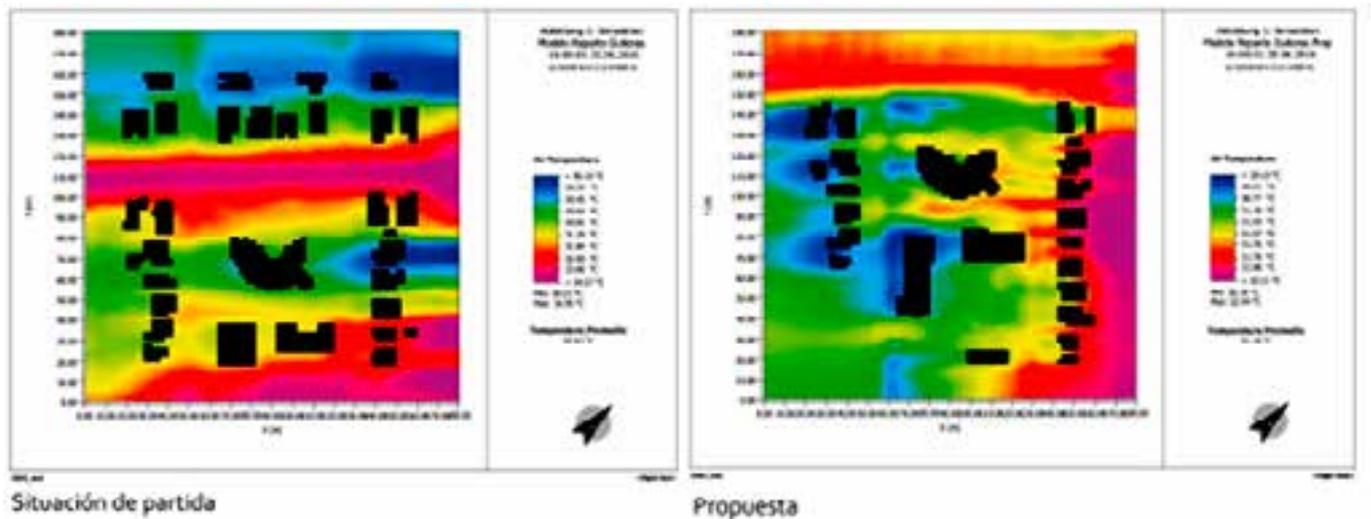


Fig. 12. Mapas de temperaturas generados por la aplicación Leonardo de ENVI-met a las 16:00 horas del día 25/06/2016, en la situación de partida y transformada. Espacio Público 4. Reparto Antonio Guiteras.

4. Discusión

A pesar de que los mayores problemas detectados en los espacios estudiados se relacionan con la movilidad, la accesibilidad y el uso del espacio urbano, todos los casos presentan excesivas e innecesarias superficies asfaltadas y escasez de vegetación, de manera tal que las propuestas de transformación sugieren reducir las superficies asfaltadas, sustituyéndolas por hormigón y otros materiales, así como césped, incrementar los árboles y adicionar galerías de circulación conectando edificios desarticulados para proporcionar sombra en las plazas.

Todos los mapas de temperatura resultantes de la simulación con ENVI-met antes y después de la transformación de los espacios muestran reducción de las temperaturas, el PPD y el PMV. Los mejores resultados se obtienen en la intersección vial del municipio «10 de Octubre» (caso 1), con temperaturas menores de hasta 4 °C entre las 3:00 p.m. y las 5:00 p.m., mientras que la reducción de las temperaturas en las plazas resulta de hasta 2 °C en el horario de la tarde. Las mayores diferencias con respecto al PPD y el PMV también resultan mayores durante la tarde (entre las 4:00 p.m. y las 6:00 p.m.).

5. Conclusiones

Las simulaciones del ambiente térmico en espacios urbanos exteriores antes y después de la propuesta de transformación demuestran que es posible mejorar la temperatura en los cuatro casos que han sido objeto de estudio, cambiando los elementos que han sido considerados en el modelo teórico como parámetros modificadores de la influencia de la geometría en el microclima urbano, específicamente, el albedo y la vegetación, que es uno de los recursos más efectivos y económicos.

Se demuestra que es posible mejorar el ambiente térmico urbano mediante acciones de diseño.

Referencias bibliográficas

- ALCÁZAR, S. (2015). «Efecto de las cubiertas ajardinadas sobre el microclima de verano». Tesis de Doctorado, Universidad Politécnica de Madrid, 2015. <https://dialnet.unirioja.es>
- BRUSE, M. (2016). *ENVI-met 4.0. Manual Contents*. Berlin: Institute of Geography of the University of Mainz, 2009. Online version: <http://www.ENVI-met.com/htmlhelp/helpindex.htm> (Consultado el 10 diciembre de 2016).
- GONZÁLEZ COURET, D.; O. Sánchez Martínez (2016). «Towards a more resilient urban morphology in Havana». In: PLEA 2016 Los Angeles - 36th International Conference on Passive and Low Energy Architecture. *Cities, Buildings, People: Towards Regenerative Environments*. Los Angeles, USA, July 2016. Los Angeles: University of Pomona.
- GONZÁLEZ, J. (2011). «Evaluación microclimática por cambio de uso de suelo en la Ciudad de México utilizando el modelo ENVI-met». Tesis de Diploma, Universidad Veracruzana, 2011.
- JÖRG, S. (2007). «Simulación de microclimas urbanos en la metrópoli tropical Maracaná/Rio de Janeiro-caso de estudio». Tesis de Doctorado, Cologne: University of Applied Sciences, 2007.
- TUMINI, I. (2012). «El Microclima urbano en los espacios abiertos. Estudio de casos en Madrid». Tesis de Doctorado, Universidad Politécnica de Madrid, 2012. <https://www.researchgate.net>

ESTRATEGIA PARA SUMINISTRAR ENERGÍA RENOVABLE TODO EL AÑO A PAÍSES CAÑEROS

Por **Dr. C. Jorge Lodos Fernández***, **Dra. C. Elena Vigil Santos**** e **Ing. Ricardo Campo Zabala*****

* Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), Carretera Central y Vía Blanca, Guanabacoa, La Habana.

E-mail: jorgelodos@ceniai.inf.cu

** Facultad de Física, Universidad de La Habana, Colina Universitaria, Vedado, Plaza, La Habana 10 400, Cuba.

E-mail: evigil@fisica.uh.cu

*** Filial La Habana, Asociación de Técnicos Azucareros de Cuba (ATAC), Calle 19, No. 9, entre N y O, Vedado, La Habana 4, Código Postal 10400.

E-mail: camposabala@gmail.com

Resumen

En 27 países de Latinoamérica y el Caribe existen Centrales que procesan 1 500 MMTM anuales de caña y producen 450 MMTM de bagazo. El Central, quemando bagazo, cubre sus necesidades de vapor (calor) y electricidad con baja eficiencia y solo durante la zafra. Esto no atrae a distribuidores de electricidad que la compren a un precio adecuado y el Central no invierte para mejorar su eficiencia energética ni producir energía todo el año.

Se propone considerar la caña de alta fibra como «energética» y utilizarla como combustible después de zafra, quemándola entera sin pasarla por el Central, para evitar operarlo todo el año. Esto permite construir nuevas bioeléctricas de alta eficiencia con tecnología existente, que producirían sesenta y cinco veces más electricidad, venderían a la Red 470 000 GWh, salvarían 350 MMTM de «Créditos de carbón» y sustituirían 100 MMTM de combustible fósil anualmente. Las emisiones tendrían considerablemente menos óxidos de nitrógeno y de azufre que las de los combustibles fósiles.

Se reduce el costo del azúcar, se convierte en permanente el empleo temporal del equipamiento, la tecnología y los trabajadores agrícolas y energéticos, y se minimizan las pérdidas de electricidad por transmisión y distribución. El balance de divisas mejora al sustituir combustibles fósiles importados por locales.

Palabras clave: biomasa, caña de azúcar, caña energética y energía renovable.

STRATEGY TO SUPPLY ALL-YEAR ROUND RENEWABLE ENERGY TO SUGARCANE COUNTRIES

Abstract

There are sugar mills in 27 Latin American and Caribbean countries that process 1500 million tons of sugar cane per year and produce 450 million tons of bagasse. Bagasse is the fuel the sugar mills use to cover their heat and power needs. Power is produced with low efficiency and during sugarcane season only. Therefore, electricity distributors are not attracted to buy it at a good price and, as a consequence, sugar mills are not interested in investing to improve power efficiency and to produce it all year round.

It is proposed to consider high-fiber cane as «energy» cane to be used as fuel out of the sugar season and to be burnt whole, without extracting its juice, to avoid mill work out of season. New Biopower Plants could be built with up-to-date existing technology and high efficiency that allow 65 times more electricity and sell 470 000 GWh to the grid. The electricity potentially substitutes 100 million tons of fossil fuel and saves 350 million tons of carbon credits every year. Emissions will contain far less nitrogen and sulfur oxides than the ones from fossil fuels.

Sugar mills will reduce sugar cost. Temporal use of existing agricultural equipment, technology and workers would be extended to the whole year. Project minimizes transmission and distribution losses. Hard currency country balance will be improved with the substitution of imported fuel by local ones.

Keywords: biomass, sugarcane, energy cane, renewable energy.

1. Introducción

La industria del azúcar de caña en Latinoamérica y el Caribe comprende unas 600 fábricas en 27 países. Se procesan anualmente unos 1500 millones de toneladas métricas (MMTM) de caña para producir 70-80 MMTM de azúcar, 40-50 MMTM de alcohol [International Sugar Organization, 2018] y unas 450 MMTM de bagazo, la biomasa que queda al extraer el jugo de la caña. El bagazo es la fuente de vapor (calor) y electricidad del proceso, por lo que todas las fábricas tienen un área energética [Rein, 2012] (Tabla 1).

La potencialidad energética del bagazo es superior a la energía real que genera en la inmensa mayoría de las fábricas de azúcar de la región. Esto se debe a que, como regla, no hay compradores para la extra-electricidad, porque la industria azucarera es:

1. Cíclica (trabaja medio año y no puede sustituir capacidades de Termoeléctricas), y
2. Continua (no puede adaptarse a picos eléctricos o caídas de demanda).

Debido a esto, los distribuidores de electricidad no la consideran como un aliado estratégico y solo están dispuestos a pagar por el poco kWh «cañero», que eventualmente se produce, 5-6 centavos. Esto hace que la industria produzca solo la energía que consume durante la campaña

azucarera, teniendo como objetivo el no tener que comprar electricidad externa. Así, en la caldera solo se produce el vapor que requiere el proceso (se trabaja con baja eficiencia), o habría que desechar bagazo, cuya manipulación y almacenamiento son complejos, generan gastos y peligro de incendio. En el turbogenerador de contrapresión, de menor precio y que no condensa, se reduce la presión del vapor de la caldera y se genera vapor de calentamiento y la electricidad que consume el proceso. Si «sobra» alguna electricidad, puede venderse a cualquier precio, pues su costo está incluido en el del azúcar. Las bioeléctricas asociadas a fábricas de azúcar de caña, de alta eficiencia y que trabajan todo el año, lo hacen con bagazo en la campaña azucarera y, el resto del año, generalmente con carbón, como en Guatemala y la India, por ejemplo [International Sugar Organization, 2014]. La inversión es atractiva a costa de producir energía no renovable alrededor de 50 % del tiempo. No existe una estrategia para superar esta situación, aprovechar la energía total que contiene el bagazo y extender la producción de electricidad renovable a todo el año, en forma económicamente atractiva [International Council of Science ICSU, 2014].

El objetivo de este trabajo es formular una estrategia para utilizar variedades de caña y tecnologías de combustión conocidas, que permitan aprovechar el contenido energético del bagazo durante la zafra y producir energía renovable y rentable todo el año.

Tabla 1. Potencial energético ilustrativo de la caña en la región

Indicador	Campaña usual		Campaña adicional	
Extensión	~150 días		~150 días	
Caña	Azucarera		Energética	
Consumo, toneladas	1 500 000 000		750 000 000	
Indicador	Actual	Futuro	Actual	Futuro
Potencia instalada, MW	14 000	90 000	0	90 000
MW térmicos para proceso	25 000	20 000	0	0
MW eléctricos para proceso	12 000	10 000	1500	1500
MW para autoconsumo	0	9000	0	9000
MW para vender	2000	51 000	0	79 500
Venta, GWh	7200	183 600	0	286 200
Venta total anual	7200 GWh (actual) y 469 800 GWh (futuro)			

^a Algunas Bioeléctricas operan todo el año con bagazo comprado y carbón.

^b La fábrica de azúcar compra esta electricidad a la Red.

3. La estrategia energética

En los últimos 20 años se han dedicado importantes esfuerzos a desarrollar variedades de caña con alto contenido de fibra para la producción de derivados. Esta caña tiene el doble de fibra y bagazo que las variedades de caña azucareras, se acerca a las variedades originales y, correspondientemente, tiene menos jugo y azúcar, requiere menos atenciones culturales y crece en suelos más pobres, con rendimientos similares y una mayor eficiencia en la conversión de la radiación solar. Aun cuando en algunos casos se les ha llamado «energéticas», el término se relaciona más con la producción de alcohol a partir de su fibra (celulosa), sustituyendo alimentos como materia prima, que a la producción de energía en sí [Matsuoka *et al.*, 2014, y Carvalho-Netto *et al.*, 2014]. Cuando se ha sugerido utilizarlas para apoyar la generación de vapor en el proceso azucarero, siempre se procesa en la fábrica de azúcar y se utiliza su bagazo como un combustible eventual, añadido para compensar desbalances [Campo-Zabala, 2006].

La estrategia que se propone prevé considerar la caña de alto contenido de fibra como «energética» para producir electricidad y convertir las áreas energéticas de las fábricas de azúcar en «Bioeléctricas», con altos parámetros de operación y eficiencia; que trabajen con bagazo cuando procesan caña «azucarera», y quemem directamente caña «energética» el resto del año, lo que es totalmente novedoso. La estrategia debe considerar, para que sea viable: 1. Gestionar la caña energética, 2. Disponer de más vapor para producir electricidad, 3. Introducir turbogeneradores de extracción-condensación, 4. Evaluar técnico-económicamente los resultados y 5. El impacto medioambiental [Lodos, J., 2015].

4. Gestionar la caña energética

Las variedades existentes de caña de alto contenido de fibra se evaluarán como «energéticas» y se adaptarán a las condiciones de suelos y clima de los sitios del Caribe y del continente americano donde crece la caña de azúcar. Como resultado, se propondrán sistemas para la extensión de las variedades con recomendaciones para la preparación del suelo, siembra, cultivo, irrigación, drenaje, fertilización, protección, cosecha y manipulación de las mismas. Aunque la caña cosechada en los sitios puede servir de semilla para su extensión, su cantidad será insuficiente. Por ello, se gestionará la instalación de «Bio-fábricas», como la existente en Cuba, para suministrar masivamente vitro-plántulas vigorosas libres de patógenos. El precio de la caña energética pudiera ser similar al de la caña azucarera, aun cuando su costo será inferior.

5. Disponer de más vapor para producir electricidad

Elevar la eficiencia de generación de la caldera de ~70 % actual a más de 85 % con tecnología conocida, y reducir el consumo del proceso de ~50 % actual a ~40 %, sin grandes inversiones, aporta 50 % de vapor sobrante para producir electricidad. El diseño del horno para quemar directamente «briquetas» de caña energética evita:

1. Procesar caña energética en la fábrica fuera de zafra limitando su mantenimiento.

2. Producir «miel» de poca pureza con precio incierto que no compensa su costo.
3. Gastar energía en extraer, procesar y concentrar el jugo de la caña energética.

Habría que estudiar la cinética de secado de las briquetas que entregan las cosechadoras y las condiciones de su almacenamiento. Las pruebas preliminares indican que almacenarla una semana baja su humedad de 65 % a 50 %, que es la del bagazo.

6. Introducir turbogeneradores de extracción-condensación

El 50 % de vapor sobrante mencionado es capaz de producir hasta 25 % más de electricidad al condensarse. Por ello hay que sustituir los turbogeneradores de contrapresión por los de extracción-condensación, que condensan el vapor que no va a proceso. Son más caros, pero su costo se paga con la extra-electricidad que producen.

7. Evaluar técnico-económicamente los resultados

Cuando llegue el momento de implementar los resultados de la estrategia, se necesitarán tres importantes financiamientos para: 1. Extender la caña energética, 2. Construir las Bioeléctricas y 3. Enfrentar las inversiones inducidas [Macdonald, A., 2016].

7.1. Extender la caña energética

Durante la campaña con caña energética, en la región se procesarían 750 MMTM de ella, previamente sembrada en 11,5 MM de nuevas hectáreas, aunque en suelos de menor exigencia de riego y fertilización. La extensión de las nuevas variedades energéticas exigirá un financiamiento de unos 20 000 MMUSD, que se recuperarían vendiendo la caña energética a la Bioeléctrica, a un precio similar al de la caña azucarera.

7.2. Construir las Bioeléctricas

El índice de inversión de la Bioeléctrica como expansión del área energética de la fábrica, estará entre 1300 y 1500 USD/kW de potencia instalada. Algunas facilidades podrán ser utilizadas, y las calderas y turbo generadores existentes se venderán como equipos de segunda mano. La inversión en la Bioeléctrica será de unos 120 000 MMUSD, que se recuperarían con la venta de la electricidad.

7.3. Inversiones inducidas

Incluyen la construcción de Bio-fábricas con un costo de ~1 MMUSD cada una, que se recupera con la venta de vitro-plantas, la reducción del consumo de vapor y electricidad de la fábrica de azúcar y la conexión a la Red eléctrica, por ~5 MMUSD cada una, para un total de ~6000 MMUSD, que se recuperarán con la venta de la electricidad.

7.4. Resultados

El costo y el ingreso ilustrativos asociados a la producción de electricidad en una Bioeléctrica de 90 MW asociada a una fábrica de azúcar de 10 000 toneladas de caña diarias de capacidad, aparecen en la tabla 2. El negocio se hace atractivo para un precio de 9,0 centavos por kWh,

inferior al que actualmente pagan los distribuidores de electricidad en las Bioeléctricas existentes [International Sugar Organization, 2014] y comparable con el del kWh fotovoltaico [Stolik, 2018]. Además, pudiera gestionarse una reducción fiscal de impuestos, al menos mientras se reembolsa el préstamo.

La Estrategia pudiera aplicarse en cada sitio en tres a cinco años, compatible con el desarrollo de la caña energética y la construcción de las Bioeléctricas. La inversión de 120 MMUSD se ejecuta en 24 meses, con 25 % de capital social (30 MMUSD), 75 % de deuda (90 MMUSD), 5 % de interés y siete años de reembolso, logrables en inversiones para utilidades. Bajo estas condiciones, la inversión se recupera en siete años, con una tasa interna de retorno del orden de 15 %. Ya constituida la Bioeléctrica, los ingresos por venta de electricidad serán del mismo orden de magnitud que los ingresos por la venta del azúcar y alcohol, convirtiendo a la fábrica de azúcar de caña en una real e importante productora de alimento y energía.

Se abriría un nuevo y muy importante frente de negocios con oportunidades para inversores, financistas, agencias del medioambiente, empresarios cañeros y azucareros, distribuidores de electricidad, suministradores de

ingeniería y de equipos agrícolas y energéticos, ejecutores de proyectos «llave en mano» (EPC), operadores y administradores de plantas (O&M), con una magnitud del orden de 150 000 MMUSD.

Otras ventajas serían convertir en permanente el empleo de equipos, tecnología y trabajadores agrícolas, utilizar la experiencia existente en operación de áreas energéticas e incorporar tierras ociosas de baja calidad, a la producción. La comunidad se beneficiaría, además, por el acceso a electricidad a bajo costo. También mejorará el balance de divisas de cada país al sustituir combustibles fósiles importados por combustibles locales.

Para extender la caña energética y definir la reducción de su humedad durante el almacenaje según sus condiciones climáticas, se pueden utilizar las Estaciones Cañeras existentes en la mayoría de los países del área. La adecuación del horno de la caldera a quemar bagazo y caña energética eficientemente, tiene que ser coordinada con los fabricantes de calderas, que deben asumir su costo ante las perspectivas de negocios que les abre la estrategia. Todo esto se facilita en la región porque se trata de mejorar fábricas existentes, donde las diferencias entre países, idiomas y culturas ya fueron superadas.

Tabla 2. Indicadores ilustrativos de una Bioeléctrica de 90 MW, anexa a una fábrica de azúcar de 10 000 t de caña/día de capacidad

Indicador	Unidades	Año 3	Año 9	Año 10
Caña energética	25 U\$/t por 675 000 t	16 875,0	16 875,0	16 875,0
Salario medio	20 000 U\$/año, 50 trabajadores	1000,0	1000,0	1000,0
Mantenimiento	1-5 % anual de la inversión	1200,0	3600,0	6000,0
Insumos	~5 % del costo	1100,0	1300,0	1500,0
Agua	0.20 U\$/m ³ por 200 m ³ /hora	300,0	300,0	300,0
Otros gastos	~5 % del costo	1100,0	1300,0	1500,0
Costo de operación		21 575,0	24 375,0	27 175,0
Ventas	90 U\$/MWh 470 GWh	42 300,0	42 300,0	42 300,0
Ganancia bruta, mil U\$		20 725,0	17 925,0	15 125,0
Ganancia retenida para pago de deuda, mil U\$		17 400,0	13 230,0	0,0
Ganancia antes de impuestos, mil U\$		3325,0	4695,0	15 125,0
Impuesto sobre la ganancia, 25 %, mil U\$		831,3	1173,7	3781,3
Dividendos. Mil U\$		3241,7	3521,3	11 343,7
Intereses	5 % de la deuda, mil U\$	4500,0	630,0	0
Reembolso	Mil U\$/año	12 900,0	12 600,1	0

8. El impacto medioambiental

La electricidad vendida salvaría unos 350 MMTM de «Créditos de carbón» y sustituiría 100 MMTM de combustible fósil. El humo tendrá menos hollín y menos óxidos de nitrógeno y azufre que en las Termoeléctricas. Mejorar el acceso a energía distribuida de bajo costo en las poblaciones rurales, las más vulnerables y de menor consumo en la región, contribuye al concepto de «energía sostenible para todos» y mejora su calidad de vida.

9. Conclusiones

Como resultado de la estrategia se dispondrá de caña energética para operar todo el año las bioeléctricas. La potencialidad de la región permitiría vender 470 000 GWh, salvar 350 MMTM de «Créditos de carbón» y sustituir 100 MMTM de combustible fósil. La Estrategia pudiera implementarse en cada sitio en tres a cinco años, compatible con el desarrollo de la caña energética y la construcción de las bioeléctricas. Se necesitarán 11,5 MMha de tierras de baja calidad para la caña energética, cuyo precio será similar al de la azucarera, y unos 150 000 MMUSD para sembrarla, construir las bioeléctricas y asumir las inversiones inducidas. La inversión se recupera en siete años con una TIR de 15 %.

10. Bibliografía

CAMPO-ZABALA, R. (2006). «Caña energética cubana (*Saccharum spp*) y sus perspectivas para la producción de Biomasa», en Memorias del IX Congreso Latinoamericano de Botánica, República Dominicana, 19-25 de junio.

- CARVALHO-NETTO, O. ET AL. (2014). «The potential of the energy cane as the main biomass crop for the cellulosic industry». *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 1:20.
- INTERNATIONAL COUNCIL OF SCIENCE ICSU (2014). «Committee On the way to the UNCCC COP 21: ICSU LAC Office contribution for the ICSU's position on Global Climate Change. Sustainable Energy for All». Annual Report.
- INTERNATIONAL SUGAR ORGANIZATION (2014). «Outlook for Co-generation in Cane Sugar Industries», MECAS (14)17, November.
- INTERNATIONAL SUGAR ORGANIZATION (2018). *2018 Sugar Year Book*. ISBN 978-92-990045-9-3.
- LODOS, J. (2015). «La estrategia de desarrollo de Bioeléctricas dos años después: 2013-2015», en Memorias de Diversificación 2015, Sección Energía. 4 páginas.
- MACDONALD, A. Y EQUIPO TÉCNICO DE LA EMPRESA MIXTA BIOPOWER S.A. (2016). «Anexo II de la Resolución 224/2014 del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente». 36 páginas.
- MATSUOKA, S., A. KENNEDY, E. DOS SANTOS, A. TOMAZELA Y L. RUBIO (2014). «Energy Cane: Its Concept, Development, Characteristics, and Prospects», *Advances in Botany*, Volume 2014, Article ID 597275.
- REIN, P. (2012). *Ingeniería de la caña de azúcar*, 1ª edición en español. ISBN 978-3-87040-142-9. Verlag Dr. Albert Bartens KG, Berlín, Alemania.
- STOLIK, D. (2018). «Energía fotovoltaica, autos y autobuses eléctricos». En revista *Energía y Tú*. No. 84, octubre-diciembre, pág. 16. La Habana: Ed. Cubasolar.

HOTELES DE CONSUMO ENERGÉTICO CASI NULO. POTENCIALIDADES Y RESTRICCIONES PARA CUBA

Por M. Sc., Arq. Natalí Collado Baldoquín *, Dr. C., Arq. Luis Alberto Rueda Guzmán **,
Dra. Cs., Arq. Dania González Couret***

*, ** y *** Facultad de Arquitectura, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae.
E-mail: *ncollado@arquitectura.cujae.edu.cu, **rueda@tesla.cujae.edu.cu,
***dania@arquitectura.cujae.edu.cu

Resumen

La concepción de *edificios de consumo de energía casi nulo* (nZEB) podría representar una aspiración más sostenible dentro de la política de construcción en Cuba. Esta definición europea ha sido muy poco analizada en el contexto nacional. En Cuba, el turismo es un sector clave en la economía que necesita ser cada día más rentable y con bajo impacto ambiental. El presente trabajo tiene como objetivo definir las principales potencialidades y restricciones para aplicar este enfoque en hoteles de ciudad. Los métodos empleados permiten discutir los elementos claves que definen estos tipos de edificaciones según la literatura internacional; analizar casos internacionales de edificios declarados con consumo casi nulo o de alta eficiencia energética, principalmente aquellos que se ubican en regiones cálidas-húmedas o que están destinados al alojamiento turístico; así como caracterizar una muestra de los hoteles en la ciudad de La Habana y principalmente su política energética.

Como principales resultados se definen las principales potencialidades y restricciones que se presentan en la actualidad para la aplicación en Cuba del enfoque nZEB. Los casos analizados muestran que es posible lograr nZEB en climas cálidos húmedos y en edificios altos consumidores como los hoteles, a partir de una optimización del diseño de la edificación apropiado a cada contexto urbano, el uso de tecnologías eficientes energéticamente y el empleo de fuentes renovables de energía. Los hoteles analizados en La Habana duplican los consumos de los referentes internacionales, lo que demuestra la necesidad de cambiar los estándares presentes de ahorro energético, puesto que no ha habido cambios sustanciales en los consumos de estos edificios.

Palabras clave: *Hoteles de ciudad, edificios de consumo de energía casi nulo, eficiencia energética, fuentes renovables de energía.*

NEARLY ZERO ENERGY HOTELS. POTENTIALITIES AND RESTRICTIONS FOR CUBA

Abstract

«Nearly Zero Energy Buildings» (nZEB) conception could represent a more sustainable aspiration within Cuban construction policy. This European definition has been widely discussed even though in the national context has been quite less analysed. Although tourism in Cuba is a key sector in the economy, it is needed to be more profitable and with a lower environmental impact. The aim of this paper is to define the main potentialities and restrictions for enforcing this international approach in the Cuban city hotels. To reach this goal, the key elements of the nZEB definition are discussed, as well as study cases of low energy hotels or low energy buildings in hot and humid climate are analysed. It is presented as well, a characterization of a sample of Havana Hotels, focussed mainly in its energy policies.

The study case prove that it is possible to achieve nZEB in warm and humid climates as well as in high consumer buildings such as hotels. The optimization of the building design being suitable to each urban context, the use of energy efficient technologies and the use of renewable sources of energy, it is considered

the main strategic resources to reach this goal. The hotels analysed in Havana double the consumption of the international referents, which demonstrates the need to change the current energy saving standards since there have been no substantial changes in the consumption of these buildings. The renewable energy sources are currently a profitable technique to implement, fundamentally the solar energy and energy cogeneration.

Keywords: *Hotels on cities, nearly Zero Energy Buildings, energy efficiency, renewable energy sources.*

1. Introducción

A pesar de ser Cuba un país pequeño con una economía en desarrollo, sus emisiones de CO₂ resultan altas en relación con el suministro total de energía primaria [IEA, 2017]. De acuerdo con SIER-OLADE [SIER, 2017], los principales consumos energéticos en el país ocurren en sectores muy vinculados con el ambiente construido como el residencial (49 %), el industrial (27 %), así como los servicios públicos y el comercio (20 %). Los hoteles cubanos constituyen parte de las edificaciones con mayores consumos energéticos y se considera que cuentan con casi el doble del costo energético con respecto a edificaciones similares en el ámbito internacional [Cabrera, 2016].

Cuba ha ido desarrollando acciones encaminadas a mitigar el calentamiento global y a garantizar la seguridad energética. Dentro de las últimas decisiones se encuentra la aspiración oficialmente establecida desde el 2016 en el «Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta el 2030», de cubrir 24 % de la demanda energética nacional (eléctrica) mediante fuentes renovables de energía (FRE). También desde 2014 se estableció la aplicación de licencias energéticas destinadas a controlar y promover soluciones más eficientes. Actualmente, el decreto-ley «Desarrollo de energía renovable y eficiencia energética» se encuentra en discusión, lo que permitiría incrementar la generación a partir de FRE mediante productores individuales o institucionales. No obstante, las principales acciones todavía se encuentran a nivel discusión o solución a escala de país, y todavía no se ha exigido un cambio importante en los principales consumidores, como son las edificaciones.

Dentro de las medidas adoptadas internacionalmente para solventar este problema se encuentran las regulaciones para establecer «Edificios de consumo energético casi nulo» (nZEB según sus siglas en inglés). Estas normas definen que las edificaciones deben tener un adecuado diseño pasivo, aprovechando los recursos naturales como la iluminación y ventilación natural, tienen que contar con equipamientos altamente eficientes y deben poseer tecnologías para generar energía a partir de fuentes renovables [Directiva..., 2002 y 2010]. Estas directivas del bloque europeo han sido lo suficientemente imprecisas para que cada región o país especifique los requerimientos que deben cumplir las edificaciones de acuerdo con sus condiciones particulares de clima, infraestructura, tradiciones, entre otras [Sartori *et al.*, 2012].

Este enfoque internacional podría ser el paso que todavía no se ha asumido en el país para disminuir el consumo

de una importante parte de los consumidores energéticos. No obstante, si bien sería necesario cuestionarse las soluciones actuales de eficiencia energética de las edificaciones en Cuba, también habría que replantearse parte de las aspiraciones que se promueven desde contextos foráneos, con el fin de lograr soluciones endógenas.

El presente trabajo tiene como objetivo determinar las principales potencialidades y restricciones con que se cuenta hoy para establecer este enfoque en los hoteles, tomando como caso de análisis una muestra de los que se encuentran en la ciudad de La Habana. Para ello se discuten los elementos clave que establece esa directiva europea, y se analizan cómo se han implementado en casos de estudios. También se presenta una caracterización de la situación actual de los hoteles en La Habana y se discuten algunas de las acciones que actualmente se consideran como parte de la política energética de estas instituciones.

2. Materiales y métodos

El presente trabajo parte de discutir la definición de los «Edificios de consumo energético casi nulo» según la directiva europea de eficiencia energética de las edificaciones, a partir de una investigación teórica y el análisis documental. Para ello se analizan los elementos claves identificados en el estudio bibliográfico: el rango de consumo establecido, los sectores considerados en el balance energético, el indicador y el monto de la cobertura generada mediante fuentes renovables de energía (FRE), la normalización de las mediciones, los factores de ponderación y los métodos de cálculo del balance energético.

Como segunda etapa se consideran y evalúan las buenas prácticas y ejemplos reconocidos que han cumplido con esta directiva en contextos cálidos húmedos como el de Cuba o en hoteles. El consumo energético de una muestra de hoteles en La Habana es posteriormente caracterizado a partir de la información recopilada, con el fin de discutir la situación actual de estas edificaciones en relación con los referentes internacionales. Los casos son analizados fundamentalmente en tres aspectos determinantes en los consumos: el diseño pasivo de la edificación, los equipamientos y el uso de sistemas de generación a partir de FRE.

La tercera etapa consiste en discutir los resultados previos, identificando los problemas y potencialidades que hoy pudiera representar para Cuba establecer estándares similares a los definidos en la directiva europea.

3. Resultados

Enfoque de edificios de consumo energético casi nulo

Los edificios de consumo energético casi nulo (nZEB, según sus siglas en inglés) quedan regulados de acuerdo con las directivas nacionales o regionales que definen requisitos preestablecidos de las edificaciones, fundamentalmente de la envolvente, y metodologías para determinar el balance energético de los espacios. De forma general se calcula la cantidad de energía primaria consumida en un año, a la cual se le sustrae el monto de generación a partir de fuentes renovables de energía (FRE) en el mismo período y el resultado debe cumplir el rango establecido (kWh/m²/año) [D'Agostino, 2015]. Este valor puede variar entre países, por ejemplo, en la definición nZEB de Estonia, a un edificio residencial se le permite un máximo de energía primaria entre 50 y 100 kWh/m² (incluyendo electrodomésticos), mientras que en Rumanía rango admitido se encuentra entre 93 y 217 kWh/m² (sin considerar los electrodomésticos) [Ecofis..., 2015].

Esto también demuestra que la determinación de los sectores a considerar dentro del balance energético (consumo y generación) es uno de los requerimientos que también difieren en los distintos estados miembros de la Unión Europea (UE). La directiva energética establece la consideración obligatoria del consumo en calefacción, climatización, agua caliente y ventilación para los edificios residenciales, así como la iluminación para otros tipos de edificaciones [Ecofis..., 2015]. Sin embargo, en varias definiciones nacionales se asume también el consumo de los sistemas auxiliares (seguridad, contra-incendio, elevadores), así como se tienen en cuenta además los electrodomésticos en países como Austria, Estonia y Finlandia. Otros aspectos menos contemplados son la movilidad eléctrica y el sistema de tratamiento de agua de lluvia [Sartori *et al.*, 2012].

Las regulaciones europeas han estipulado también que cada país debe definir su propio indicador y el monto de la cobertura generada mediante FRE en los edificios, y cuánta energía es preferible proveerla mediante la red nacional, inclusive, a partir de fuentes renovables que se puedan explotar a nivel de país. Actualmente existen distintos parámetros que regulan el mínimo de su uso, e incluso algunos países como Francia o la región flamenca de Bélgica permiten distintas posibilidades en su cumplimiento [Groezinger, *et al.*, 2014] (Ver tabla 1).

Otros elementos que también varían en el balance energético son la métrica del balance¹, los factores de ponderación y la normalización de los objetos analizados. Dentro de las métricas más utilizadas en las distintas metodologías se encuentran las emisiones de carbono, la energía final y la energía primaria². Los factores de ponderación en el balance energético son utilizados para lograr la equivalencia entre los distintos portadores y para transformar la energía final en primaria. Algunos países como Suiza también utilizan estos valores para limitar el empleo de recursos naturales como la biomasa³ [Ecofis..., 2015]. El rango de energía que determina cada país viene referido a una superficie construida determinada en un año (kWh/m²/año); sin embargo, son también diferentes las opciones que cada metodología utiliza para la normalización de las mediciones.

¹ La métrica del balance se refiere a la unidad de medida que permite evaluar a los edificios [Torcellini *et al.*, 2006].

² La diferencia entre estas últimas dos métricas radica en que la energía primaria ya tiene multiplicado un valor de ponderación que asume, entre otros elementos, las pérdidas por transformación energética, transportación, etc., mientras que la energía final es el valor de consumo sin considerar estas pérdidas energéticas.

³ En este caso tiene un valor de ponderación bajo, con el fin de que se prefiera invertir en otras FRE con valores más altos de conversión.

Tabla 1. Principales indicadores de cubrimiento de FRE definidos por algunos países europeos [Groezinger, *et al.*, 2014]

Parámetro	Región o país	Indicadores asumidos
Cantidad de generación según el área del edificio y el tipo de FRE	Región flamenca de Bélgica	La cantidad varía según el tipo de FRE. Para los edificios residenciales tiene que ser ≥ 10 kWh/m ² de área útil/año
	Irlanda	10 kWh/m ² /año (Agua caliente y calefacción) y 4 kWh/m ² /año (Electricidad)
A partir de distintos escenarios y fórmulas	Rumanía	En cada plan nacional aparecen la fórmula y distintos parámetros a considerar como la forma y altura de los edificios
	Lituania	
A partir de un determinado porcentaje de cobertura	Bulgaria	15 %
	Chipre	25 % (energía primaria)
	Dinamarca	Entre 51 y 56 % (para el 2020)
	Alemania	Varía según el tipo de FRE (entre 15 y 50 %)
	Hungría	25 %
	Italia	50 % (del uso de la calefacción, climatización y agua caliente)
	Eslovaquia	50 %
Eslovenia	25 % (de la energía final usada)	
No cuenta con rangos establecidos	Región Capital de Bruselas en Bélgica	El requerimiento de empleo de las FRE no aparece recogido dentro de las definiciones nacionales, pero su uso está implícitamente requerido en los métodos de balance o debido a los bajos rangos de consumo de energía no convencional
	Dinamarca	
	Países Bajos	

Dentro de las utilizadas se encuentran el área de uso, el área neta y el área tratada (con calefacción o climatización). Otras metodologías también asumen como unidad los edificios y la cantidad de personas [Ecofis..., 2013].

El método para el cálculo del balance energético también es un elemento que difiere entre las distintas metodologías. Para Europa los tres tipos reconocidos según la ISO 13790 (2007) son el método mensual de estado casi estable (utilizado en Bélgica), el método simple de cálculo horario (utilizado en Francia y Finlandia) o métodos de simulación dinámica [Santos *et al.*, 2014]. Investigaciones previas que han abordado las diferencias entre algunos procedimientos [Carlier, 2016] han concluido que los resultados varían significativamente, debido a la cantidad de suposiciones en los valores que se definen y la metodología del balance, así como los elementos de la geometría del espacio que se asumen como variables para estimar el consumo energético.

Las diferencias entre estos elementos en los balances energéticos permiten reafirmar la diversidad y peculiaridad de opciones que existen actualmente para definir que un edificio cumple con la categoría de nZEB. También se confirma que no son factibles las comparaciones numéricas entre distintas alternativas, sin entender en profundidad las consideraciones y metodologías asumidas para definir el consumo y generación energética. Estas experiencias europeas permiten afirmar que el rango del consumo energético *casi nulo*, parte de valoraciones socio-económicas a nivel nacional al sopesar la necesidad de disminuir los consumos de los edificios, y las implicaciones socio-económicas y técnicas, así como el impacto medioambiental que ello implica.

Estudio de casos. Hoteles y edificios en contexto tropical con un bajo consumo energético

El estudio de casos persigue caracterizar cuáles son los principales referentes internacionales de los edificios con bajo consumo energético, o casi nulo. Se consideraron aquellos ejemplos que fueran hoteles o que se ubicaran en contextos con climas similares al de Cuba.

En contextos cálidos y húmedos existen muy pocos ejemplos de nZEB. Importantes análisis de algunas de estas referencias lo constituyen los estudios liderados por François Garde y Donn [Garde y Donn, 2014; Garde *et al.*, 2014], en los cuales se evalúan distintas edificaciones clasificadas de acuerdo con el consumo energético principal en el acondicionamiento de los espacios: climatización, calefacción o ambas. La mayor parte de los ejemplos incluidos dentro del primer grupo cuentan con funciones similares como centros de educación, de investigación o de oficinas (Figs. 1 y 2). También es notorio que esos casos se encuentran en contextos abiertos o con muy pocas restricciones urbanas, lo que les otorga mayor libertad en cuanto al aprovechamiento de los recursos energéticos, pero también al uso de técnicas pasivas como la ventilación e iluminación natural. La demanda energética final ronda entre 15 y 70 kWh/m²*año⁴, teniéndose en cuenta la

⁴ Debido a los factores de ponderación, en la mayoría de los casos el consumo de energía primaria duplica al consumo de energía final, estando en un rango entre 50 y 220 kWh/m²*año. Se asume el área neta como referencia de normalización.

iluminación y los equipamientos, además de los aspectos obligatorios señalados por las directivas europeas. El uso de la climatización se restringe a los locales técnicos como servidores o laboratorios, o a los espacios de uso común, solo en los períodos más calurosos del año. La mayoría de los espacios son ventilados de forma natural, aunque también se emplea como estrategia enfriar previamente el aire que entra al interior.

El estudio realizado por Garde *et al.* [2014] demuestra que en 100 % de los casos se utilizan técnicas pasivas como optimizar la forma del edificio, envolventes avanzadas y protección solar. También hacen un alto uso de la vegetación en la parcela, de la ventilación natural y de la protección contra el deslumbramiento. A partir del empleo de las fuentes renovables de energía (FRE) los casos analizados pueden cubrir completamente la demanda energética en un año. Los sistemas solares fotovoltaicos son los más empleados, aunque también se usan en casi 25 % los de otras FRE, como la solar térmica, las turbinas eólicas y las calderas de biomasa.

Los hoteles considerados, en su gran mayoría forman parte del proyecto internacional «Nearly Zero Energy Hotels», dirigido fundamentalmente a fomentar la remodelación de hoteles existentes de pequeñas y medianas empresas con vistas a mejorar su rendimiento energético [Tsoutos, *et al.*, 2018]. Cuentan con entre 20 y 520 habitaciones, además de tener servicios variados como restaurantes, cafeterías, piscinas, spa, gimnasio y salones de conferencias. El 40 % de los ejemplos se encuentran en contextos urbanos, aunque en su mayoría este no presenta restricciones por tratarse de tramas abiertas (Figs. 3 y 4).

El consumo de energía primaria promedio⁵ es de 126 kWh/m²/año, mientras que a partir de FRE se logra generar como promedio 40 % de esa demanda [Tsoutos, *et al.*, 2018]. El estudio demostró, además, que las funciones de los hoteles no relacionadas con el alojamiento⁶ pueden triplicar los consumos de aquellas en que sí están vinculados⁷, y por lo cual es recomendado, incluso, definir índices independientes para cada uno de estos sectores.

Dentro de las medidas adoptadas en los casos de estudio que permitieron mayores ahorros energéticos, se encuentra la inserción de FRE (lo que representa cerca de 40 % de ahorros), sistema de manejo de edificio (19 %) y medidas relacionadas con la eficiencia de los sistemas HVAC como los cambios en los equipamientos, mejoramiento de la envolvente y aislamiento de los conductos (18 %). Dentro de las FRE, los sistemas utilizados con mayor efectividad fueron la solar térmica, las bombas de calor geotérmica y la solar fotovoltaica [Tsoutos, *et al.*, 2018]. El tiempo promedio de recuperación de estas inversiones se estima en diez años.

⁵ Para este consumo se asumió la calefacción o climatización, refrigeración, agua caliente sanitaria, ventilación, iluminación y equipamientos.

⁶ Se consideran funciones de no alojamiento a gran parte de los servicios de los hoteles como cocina, lavandería, piscinas, spa, sauna y salones técnicos, entre otras.

⁷ Según el estudio citado, dentro de las funciones de alojamiento se consideran todas las habitaciones de huéspedes, oficinas y áreas comunes como la recepción, los restaurantes, bares y salones de reuniones.



Fig. 1. Centro Educativo ENERPOS, Isla La Reunión. Edificio y esquema de principales soluciones [Franco, 2016].

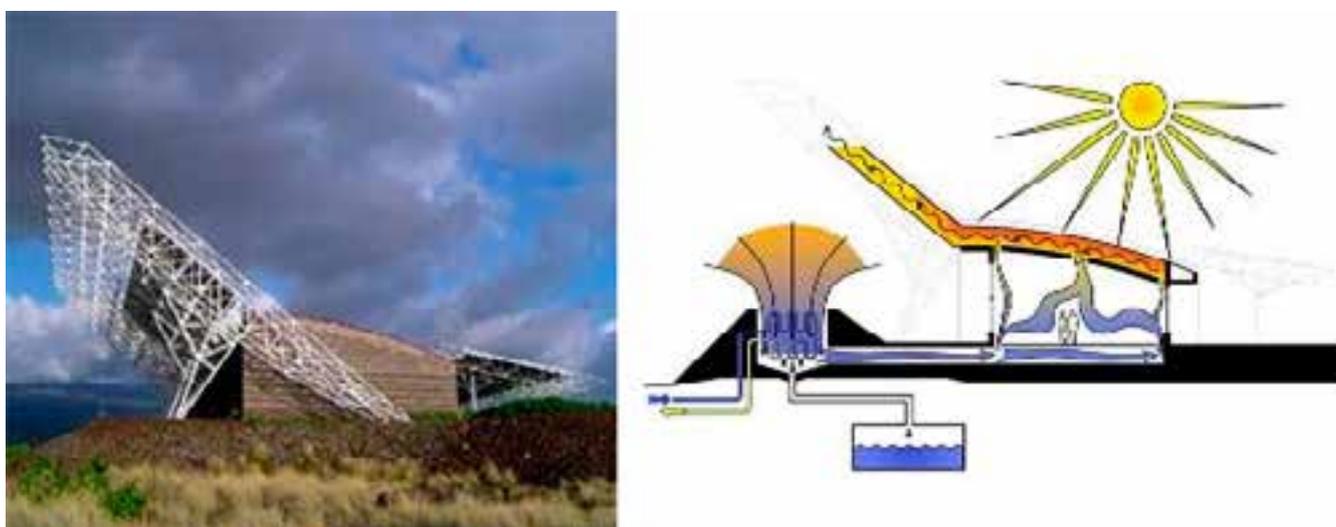


Fig. 2. Centro de Energía de Gateway, Hawaii. Edificio y esquema de ventilación natural mediante enfriamiento del aire exterior con aguas profundas [Hawaii, 2018].



Fig. 3. Hotel Arkadi, Grecia. Hotel de ciudad con 64 habitaciones que cubre 50 % de su energía mediante FRE (solar fotovoltaica y térmica).



Fig. 4. Hotel Ibsicos Garden Blue Star, Grecia. Hotel de ciudad con 324 camas que cubre 50 % de su energía mediante FRE (solar fotovoltaica y térmica).

Las medidas de ahorro energético por parte de los hoteles fueron asumidas a la par de otras para disminuir el impacto ambiental, que también influyen en el ahorro energético. Dentro de las más frecuentes se encuentran el ahorro y reciclaje de agua, el uso de materiales locales certificados y la promoción de una cultura ambientalmente más responsable en los huéspedes y trabajadores.

Estudio de casos. Hoteles en La Habana

Se evaluaron 54 hoteles de diferentes tamaños y categorías hoteleras, ubicados en distintos contextos de la ciudad de La Habana (Ver Figs. 5-7). El periodo de análisis fue de 2013 a 2016, aunque no en todos los casos se pudo contar con la información completa del consumo de los portadores energéticos, las habitaciones días ocupadas o la superficie construida y climatizada.

Actualmente la gran mayoría de los hoteles registran con minuciosidad los consumos mensuales y(o) diarios de portadores energéticos y en algunos casos, incluso por horas del día. No se contó con valoraciones de los datos compilados que permitieran entender puntuales irregula-

ridades ocasionadas por reparaciones, cambios de tecnologías u otros.

El cumplimiento energético actual se basa en los planes establecidos por cada cadena hotelera, que no tienen una valoración integral de los componentes que intervienen en el consumo, como los equipamientos, la forma del edificio, el volumen de climatización y su tipo, entre otros. La política actual no fomenta inversiones para mejorar eficiencia energética, y propicia en ocasiones asumir reducciones del consumo que atentan contra la correcta explotación del edificio. Los indicadores de eficiencia energética se correlacionan con las habitaciones días ocupadas. Dicho indicador ya ha sido criticado [Cabrera, *et al.*, 2003], debido a que no refleja la influencia de los consumos energéticos de los servicios, no tiene en cuenta las variaciones de volumen y área de las habitaciones, ni considera la influencia de la temperatura en la variación de los consumos mensuales.

Los portadores energéticos presentes en las edificaciones hoteleras son variados y se reflejan en la Tabla 2. Esta ponencia analiza solo el comportamiento del consumo electro-energético debido a la influencia que tiene el diseño de la edificación en dicho consumo.



Fig. 5. Hoteles analizados según la cantidad de habitaciones.

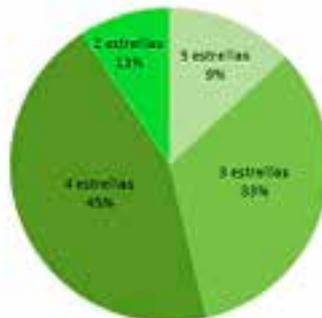


Fig. 6. Hoteles analizados según la categoría hotelera.

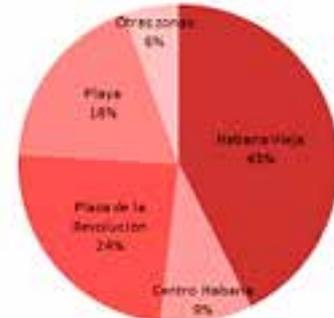


Fig. 7. Hoteles analizados según el municipio donde se ubican.

Tabla 2. Principales portadores energéticos y sus usos en los hoteles

Portadores energéticos	Principales usos de los mismos en los hoteles
Diésel	Calentamiento del agua y para la cocción con vapor a partir del uso de calderas. Generación de electricidad a partir del grupo electrógeno. Para el transporte náutico aquellos que lo comprendan dentro de sus servicios, para el transporte administrativo, transporte de carga y servicios, y el mantenimiento de las áreas verdes
Gasolina (especial, regular y(o) motor)	Transporte náutico, aquellos que lo comprendan dentro de sus servicios, para el transporte administrativo, transporte de carga y servicios y el mantenimiento de las áreas verdes
Petróleo combustible (fuel oil)	Generación de electricidad a partir del grupo electrógeno
Gas licuado del petróleo (GLP)	Calentamiento del agua y para la cocción con vapor a partir del uso de calderas o calentadores de gas
Gas manufacturado	Calentamiento del agua y para la cocción con vapor a partir del uso de calderas o calentadores de gas; también se puede utilizar para la cocción de alimentos
Agua	Todo consumo de agua en el edificio, para el uso en las habitaciones, en las cocinas y lavanderías, piscinas y aire centralizado
Electricidad	Alimenta esencialmente a todo el equipamiento eléctrico, la iluminación y el clima

El 54 % de los hoteles analizados (29 casos) han aumentado progresivamente el consumo de electricidad, fundamentalmente en los dos últimos años considerados (2015 y 2016). Esto puede estar condicionado al incremento del turismo en Cuba y en la capital en ese período. Otro factor determinante puede ser el deterioro paulatino de las instalaciones y los equipamientos.

El 30 % de los hoteles (16 casos) han tenido un comportamiento errático en el consumo de electricidad, sin poderse detectar una aparente tendencia a lo largo de los años estudiados. El 16 % de los hoteles (nueve casos) han disminuido su consumo energético en el período analizado. Solo en uno de estos se conoce sobre la aplicación de políticas para mejorar la eficiencia energética a partir del cambio de luminarias a tecnología LED. Otra causa probable de esta disminución en el consumo es el aumento de habitaciones fuera de orden o a reparaciones parciales en las edificaciones, como muestra la disminución de las Habitaciones Días Ocupadas.

Excepto cuatro hoteles, en los cuales los mayores consumos fueron principalmente en los meses invernales, la gran mayoría de los casos analizados (93 %) presentan los mayores consumos entre mayo a octubre, y particularmente julio y agosto son los que tienen en su mayoría los consumos más elevados. Este resultado coincide con estudios precedentes [Rueda, 2003], en los cuales se confirma que los mayores consumos en los hoteles vienen dados por la climatización, cuya demanda aumenta en los meses

con mayores temperaturas. (Ver Fig. 8) Al parecer, el incremento de las Habitaciones Días Ocupadas (HDO) no es más determinante que la temperatura, puesto que ambos mantienen una relación inversa (Ver fig. 9).

Los consumos totales anuales se encontraron en un rango entre 113 900 y 816 200 kWh para los hoteles con menos de 50 habitaciones, entre 207 300 y 1 354 200 kWh para aquellos con más de 50 y menos de 100 habitaciones, y entre 658 200 y 14 709 200 kWh en los hoteles con más de 100 habitaciones (Ver Figs. 10 y 11).

Los 20 hoteles más pequeños de la muestra no cuentan con los datos de HDO, por lo que no se incluyeron dentro del análisis de los indicadores de consumo. El rango de consumo basado en kWh /HDO ha sido definido por algunas cadenas hoteleras entre 14 y 60 kWh / HDO, según Cabrera Gorrín *et al.* (2003) [19]. El estudio realizado permite afirmar que 61 % de los hoteles con la información disponible sobrepasa el indicador mayor recomendado, y que todos exceden el valor mínimo⁸.

Los indicadores a partir de superficie no están establecidos en Cuba, de manera que no existe una norma que establezca sobre qué área se deben analizar los consumos. Tomando en cuenta el área construida total de diez de los edificios se puede afirmar que el promedio de consumo es de 230 kWh / m² / año en el periodo analizado. Sería ne-

⁸ El análisis se basa en los valores mensuales de consumo electro-energético y de habitaciones días ocupadas en el período analizado.

cesario evaluar estos índices en otros casos de estudios y profundizar en otros rasgos propios de la arquitectura hotelera cubana, como los puntales y la cantidad de locales climatizados. No obstante, este estudio preliminar demuestra que los consumos actuales están muy por encima de los alcanzados en los estudios de casos de nZEB internacionales (Ver fig. 12).

Los principales problemas detectados en el diseño de las edificaciones analizadas derivan del poco uso de las técnicas reconocidas para el diseño en clima cálido y húmedo. Existe poco uso de la ventilación natural como parte de las técnicas de enfriamiento pasivo, evidenciándose ello en el diseño de los tipos de carpintería o en el cierre de espacios (como patios y galerías) originalmente

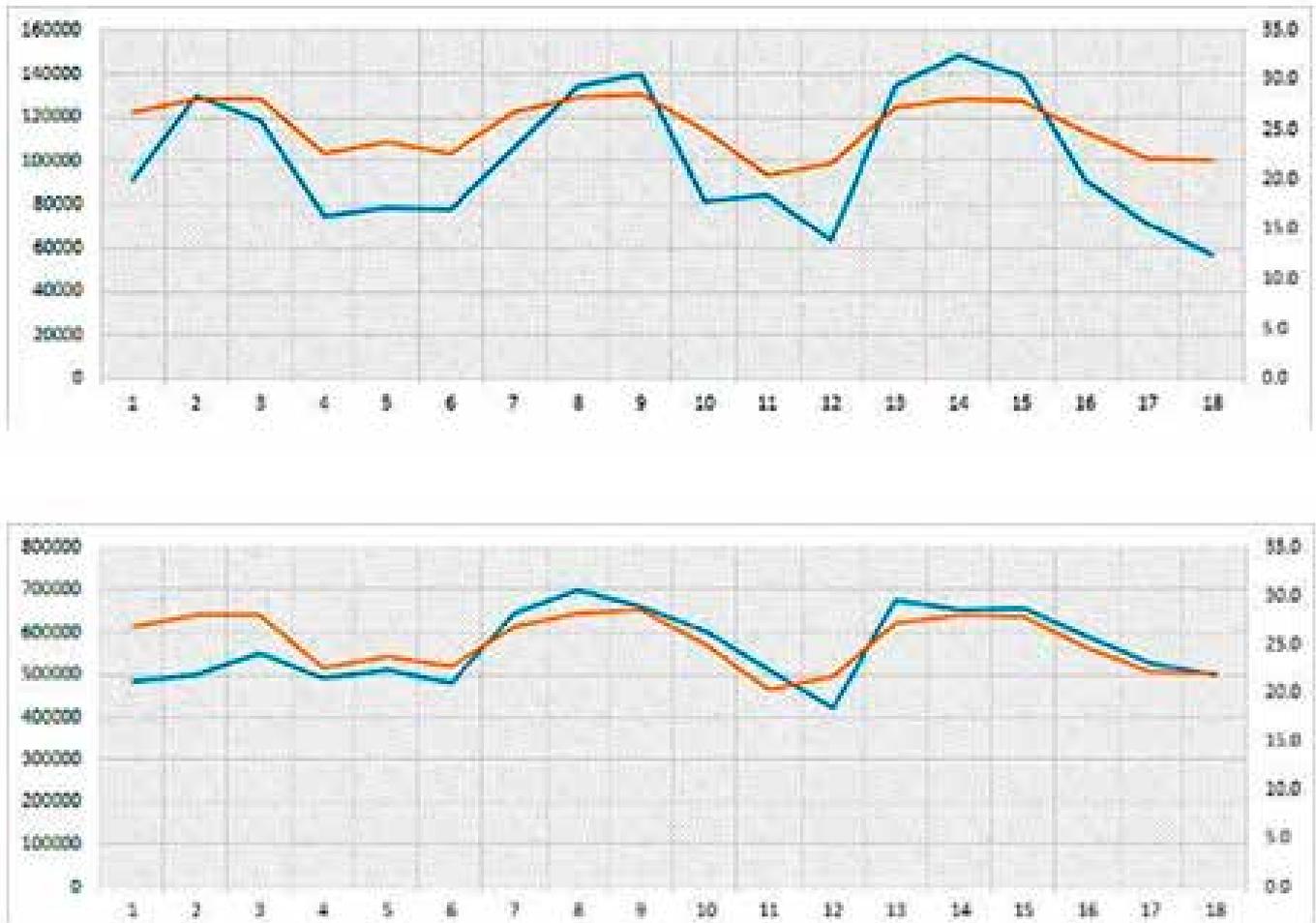


Fig. 8. Comportamiento del consumo electro-energético en kWh (azul) y la temperatura media (naranja) de dos casos de estudio.

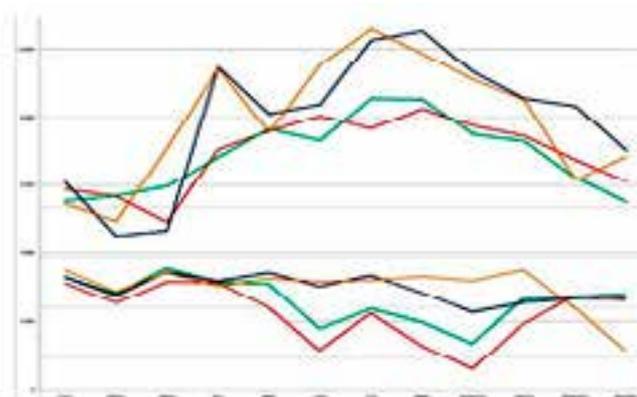


Fig. 9. Comportamiento del consumo electroenergético en kWh (superior) y las habitaciones días ocupadas (inferior) durante el 2013 (rojo), 2014 (verde), 2015 (azul) y 2016 (naranja) en un caso de estudio.

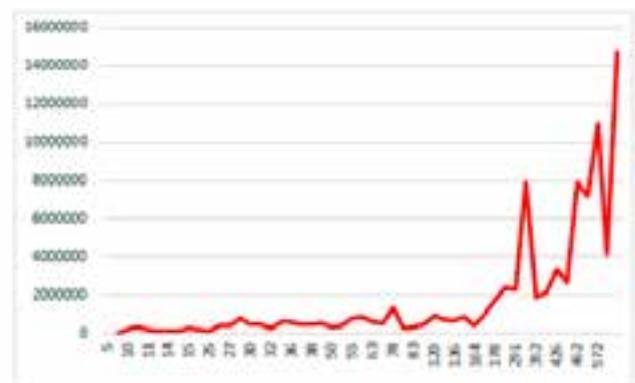


Fig. 10. Consumo medio anual (kWh) de la muestra de hoteles analizados.

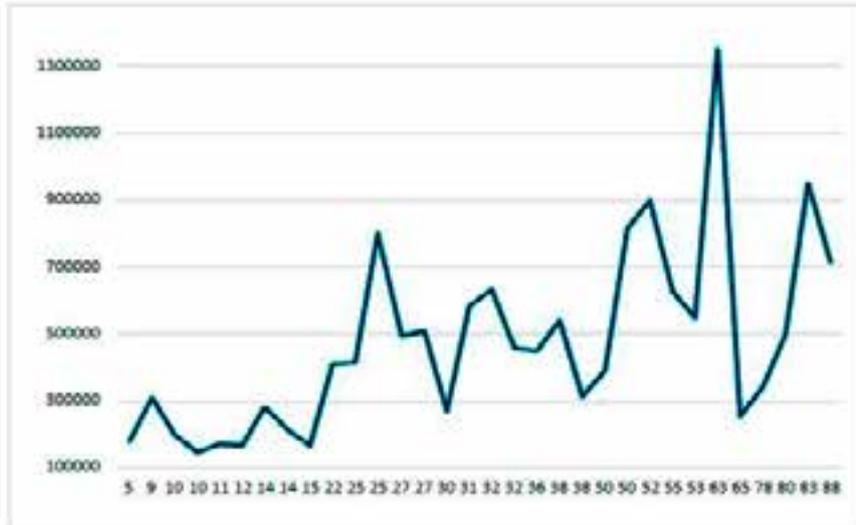


Fig. 11. Consumo medio anual (kWh) de los hoteles analizados con menos de 100 habitaciones.

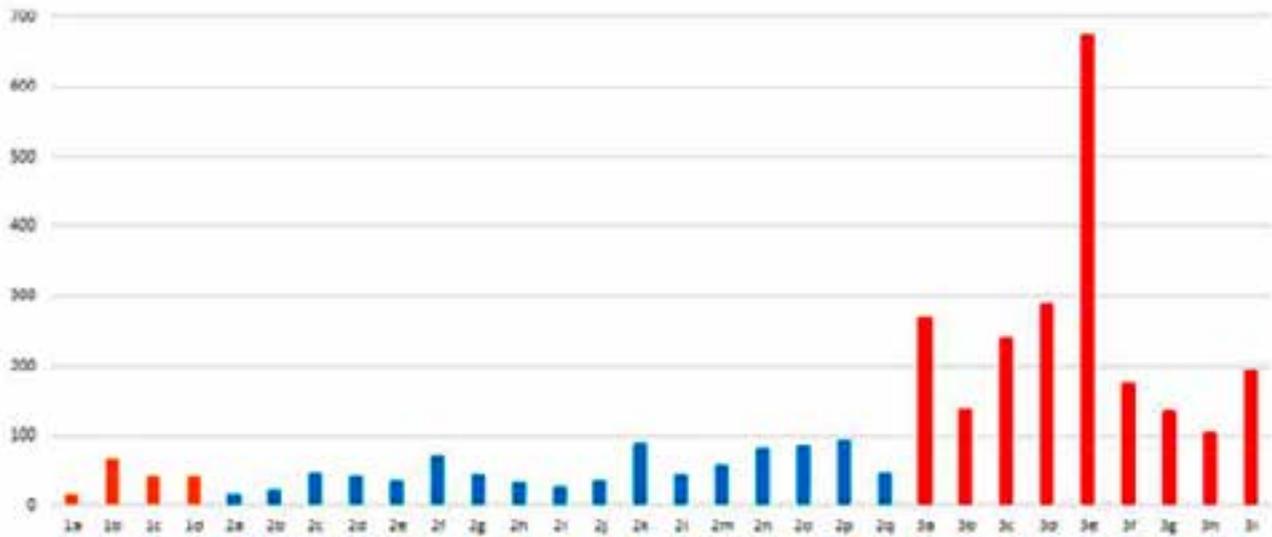


Fig. 12. Consumo de energía final según indicadores de kWh /m²/año en los casos analizados: nZEB clima cálido húmedo (naranja), hoteles europeos nZEB (azules) y hoteles cubanos (rojos). Se utilizó un factor de ponderación de 2,5 para convertir los datos de energía primaria final, en aquellos casos que no se contaba con este valor.

concebidos para estar en contacto directo o con una alta permeabilidad, con el exterior, unido a la poca protección contra la radiación solar, inclusive en vanos acristalados, espacios climatizados con altos puntales y superficies altamente expuestas al sol con poco aislamiento térmico, como las cubiertas.

Además de sus altos consumos, el uso de las FRE es casi nulo en los hoteles de ciudad en La Habana. Menos de 10 % utilizan estas tecnologías, fundamentalmente restringida a los sistemas de cogeneración a partir del aprovechamiento de los equipos centralizados de climatización para el uso de agua caliente.

4. Discusión

Potencialidades y restricciones para aplicar el enfoque de nZEB en hoteles en Cuba

A pesar de las aspiraciones nacionales de disminuir el consumo de energía convencional, en Cuba todavía no se

ha planteado una estrategia para reducir el consumo y generar energía en las edificaciones. La principal limitante para asumir la meta de «edificios de consumo energético casi nulo» en el contexto nacional, sería la ausencia de definiciones nacionales con respecto al rango de consumo de las edificaciones y cuánta energía proveniente de fuentes renovables estas deben generar. Si bien no fue un objetivo de este trabajo analizar las normativas actuales de eficiencia energética y su aplicación en los hoteles, el dato de consumo de las edificaciones demuestra que están muy por encima del rango de lo que se consideran como edificios altamente eficientes en condiciones parcialmente similares a los casos cubanos (según la función o el clima).

Las potencialidades y restricciones que se presentan son, por tanto, los principales elementos a considerar para futuras discusiones acerca de la aplicación de este enfoque en el país.

Potencialidades

- En Cuba, el marco legislativo y normativo se encuentra en proceso de discusión en diferentes sectores con el fin de incentivar el uso de la FRE en las edificaciones, mejorar las normativas de eficiencia energética y controlar los proyectos que se están construyendo. Actualmente se considera que es el momento clave para definir metas superiores en el uso energético en las edificaciones, como pudiera ser establecer una directiva nacional de «edificios de consumo energético casi nulo».
- La Universidad ha sido reconocida a nivel nacional, como el recurso para fomentar la investigación e innovación en los sectores empresariales y de producción. A partir de proyectos internacionales, próximamente se contará con equipamientos que permitirán realizar evaluaciones más integrales del impacto energético de las edificaciones.
- Los hoteles han constituido y son en Cuba un referente en la construcción, inclusive en aquella popular. Utilizar estas edificaciones como ejemplos positivos de bajo impacto ambiental puede constituir una herramienta clave para su difusión y aplicación en otros sectores de la construcción.
- Se ha demostrado que los consumos en funciones no relacionadas directamente con el alojamiento pueden triplicar el de las edificaciones hoteleras. Los hoteles en contextos urbanos, fundamentalmente aquellos céntricos, pueden aprovechar la infraestructura de servicio propia de la ciudad para disminuir la carga energética de la instalación. Esto es factible, además, por contar con mercados como el turismo cultural que disfruta de la ciudad, de manera que solo necesita habitaciones para dormir. Esta podría ser adicionalmente una estrategia para potenciar la economía urbana.
- Se ha demostrado que la inversión para mejorar la eficiencia energética en los hoteles, y para insertar tecnologías de generación a partir de fuentes renovables de energía en casos internacionales, ha logrado disminuir los costos energéticos de la instalación y ofrecer un período de recuperación de la inversión alentador para los explotadores. También el positivo impacto ambiental ha sido una estrategia de marketing eficaz para un nuevo mercado internacional.
- El clima en La Habana permite disminuir los consumos por climatización si se aprovechan recursos pasivos como la ventilación natural, sin afectar el contexto y la imagen urbana.
- Los principales sistemas de generación a partir de FRE que han demostrado tener mayores impactos en el consumo de energía convencional, como la solar térmica y la solar fotovoltaica son factibles de aplicar en Cuba por los altos índices de radiación solar. El empleo de pequeñas turbinas eólicas pudiera representar un ahorro energético importante, fundamentalmente en la zona costera de La Habana, donde existen los mayores potenciales de viento según el mapa eólico de la Isla. Otras estrategias de cambio de equipamientos son igualmente aplicables en el contexto nacional, y ya han demostrado propiciar eficaces ahorros como el paso a la tecnología LED.

Restricciones

- Las condiciones en el contexto nacional todavía no son suficientes para fomentar mejores acciones de eficiencia energética en las edificaciones. Se necesitan nuevas regulaciones y mecanismos financieros, así como una mayor comprensión de la problemática energética para transitar de los análisis de nivel de país hacia la escala local y de forma más integral.
- La mayoría de los ejemplos analizados como nZEB son edificaciones de baja altura en terrenos amplios con pocas restricciones urbanas, lo que permite un uso más extensivo de las FRE. Para el caso de los hoteles de ciudad en La Habana, en los cuales la mayoría de los edificios cuentan con un coeficiente de uso de suelo mayor que los casos analizados, será necesario que se realice un uso más intensivo de las FRE, lo que puede condicionar la necesidad de tecnologías más eficientes y, por tanto, más costosas.
- La infraestructura tecnológica del país todavía no está suficientemente desarrollada lo cual, sumado a las restricciones comerciales debido al bloqueo de Estados Unidos, generan una desventajosa dependencia de tecnologías foráneas. Incluir tecnologías sobre FRE y de eficiencia energética con tecnologías foránea, podría generar mayores gastos energéticos en los análisis de ciclo de vida que deberían ser considerados.

5. Conclusiones

Establecer una regulación sobre los «edificios de consumo energético casi nulo» debe ser el próximo paso para integrar las soluciones relativas a la eficiencia energética de las edificaciones en Cuba.

Las condiciones culturales, climáticas y tecnológicas específicas requieren de la redefinición para el contexto nacional de una directiva que ha sido concebida por y para el Bloque Europeo. Dentro de los elementos claves que se deben precisar para el caso de Cuba, y luego profundizar específicamente para los hoteles, se encuentran el rango admitido de consumo por tipo de edificación, los sectores energéticos que se deben considerar, los tipos e indicadores para medir el impacto de la generación por fuentes renovables de energía, la métrica del balance y la metodología de cálculo.

Los casos internacionales analizados y discutidos como nZEB en clima cálido húmedo utilizan como primer recurso para disminuir los consumos energéticos la reducción del uso de la climatización y la optimización del diseño pasivo. Esto implica, fundamentalmente, la protección contra la radiación solar, permitiendo emplear la ventilación natural previamente filtrada, o enfriada en la medida de lo posible. El uso de FRE en estos ejemplos permite cubrir 100 % de la demanda, aunque se trata de edificios que han sido construidos como ejemplos paradigmáticos, por lo cual no todas las soluciones podrían ser económicamente viables para replicar en otras edificaciones con clima similares.

Los hoteles clasificados por nZEB que han sido estudiados demuestran que es posible transformar edificios ya construidos para cumplir altos estándares energéticos a partir de inversiones en la envolvente del edificio, cambios

de equipamientos y la inserción de FRE. Estas experiencias recomiendan además establecer indicadores diferenciados para el sistema de alojamiento y para el resto de las funciones.

Los hoteles analizados en La Habana muestran que la política actual de eficiencia energética no es suficiente para alcanzar mejores resultados en los próximos años. Los índices utilizados no responden a las principales causas del consumo, así como no existe todavía una voluntad de incluir, como parte de las acciones de ahorro energético, equipamientos para generar energía mediante fuentes renovables. Los consumos energéticos actuales en kWh/m²/año están alejados de los referentes internacionales, por lo que resulta necesario tomar acciones lo antes posible.

La discusión de las potencialidades *versus* las restricciones actuales demuestra que es factible aplicar las medidas de «edificios de consumo energético casi nulo» en las edificaciones cubanas.

Reconocimientos

Este proyecto ha recibido financiación del proyecto VLIR-UOS (CU2017TEA435A103) para el desarrollo de la investigación. Los autores desean agradecer al apoyo de la Universidad de Ghent, especialmente del grupo de investigación «Building Physics, Construction and Services». También se reconoce la contribución realizada por los estudiantes de 5to año 2016 – 2017, que realizaron trabajos docentes bajo la tutoría de los autores.

Referencias bibliográficas

- «Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y de su Consejo, de 16 de diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética de los edificios». Diario Oficial de las Comunidades Europeas. 2003.
- «Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y de su Consejo, de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición)». Diario Oficial de las Comunidades Europeas. 2010.
- «Hawaii Gateway Energy Center». n.d. The American Institute of Architects [Consulta: julio 2018]. Disponible en Web: <http://www.aiatopten.org/node/142>
- CABRERA GORRÍN, OSMEL (2016). *Reflexiones sobre el consumo energético en el sector hotelero cubano*. [en línea] [Consulta: marzo 2016] Disponible en web: www.monografias.com
- CABRERA GORRÍN, OSMEL, ET AL. (2003). «Indicadores de Eficiencia Energética En Hoteles Turísticos en Cuba». En *Eco Solar 6*. La Habana: Ed. Cubasolar.
- CARLIER, MARGAUX (2016). «Nearly zero-energy building definitions in selected countries». Supervisores: Kurnitski, Ahmed, Ampe y Tetaert. Tesis de maestría. Universidad de Gante.
- D'AGOSTINO, DELIA (2015). «Assessment of the Progress towards the Establishment of Definitions of Nearly Zero Energy Buildings (NZEBs) in European Member States». *Journal of Building Engineering*, 2015, pp. 20-32.
- ECOFIS REPORT (2013). «Towards nearly zero energy buildings. Definition of common principles under the EPBD. Final report». 2013. [Consulta: febrero 2017]. Disponible en Web: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/nzeb_full_report.pdf
- ECOFIS REPORT (2017). «Nearly zero energy buildings definitions across Europe». 2015. [Consulta: octubre 2017]. Disponible en Web: http://bpie.eu/uploads/lib/document/attachment/128/BPIE_factsheet_nZEB_definitions_across_Europe
- FRANCO, MAXIMILIEN, ET AL. (2006) «Environmental design and performance of the ENERPOS building, Reunion island, France». [Consulta: diciembre 2017]. Disponible en Web: <http://task40.iea-shc.org/data/sites/1/publications/DC-TP12-Garde-2011-06.pdf>
- GARDE, FRANÇOIS ET AL. (2014). «Design of Net Zero Energy Buildings: Feedback from International Projects». *Energy Procedia*, 2014, vol 61, pp. 995-998.
- GARDE, FRANÇOIS, Y MICHAEL DONN (2014). «Solution Sets and Net Zero Energy Buildings. A Review of 30 Net ZEBs Case Studies Worldwide». IEA Task 40/Annex 52. Towards Net Zero Energy Solar Buildings. International Energy Agency.
- GROEZINGER, ET AL. (2014). «Overview of Member States information on NZEBs Working version of the progress report - final report». ECOFYS. 2014.
- IEA (2017). *IEA Energy Atlas* [en línea]. s. d. [Consulta: octubre 2017]. Disponible en Web: <https://www.iea.org/statistics/ieaenergyatlas>
- RUEDA GUZMÁN, LUIS ALBERTO (2003). «Influencia del diseño en la carga térmica y el consumo de energía en habitaciones de hoteles con destino sol y playa en Cuba». Tutor: Dania González Couret. Tesis de doctorado, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Ciudad de La Habana.
- SANTOS, P., R; MARTINS, H. GERVÁSIO, Y DA SILVA L. SIMÕES (2014). «Assessment of Building Operational Energy at Early Stages of Design – A Monthly Quasi-Steady-State Approach». *Energy and Buildings*, Agosto 2014, vol. 79, pp. 58-73.
- SARTORI, IGOR; NAPOLITANO ASSUNTA; VOSS, KARSTEN (2012). «Net zero energy buildings: A consistent definition framework». *Energy and Buildings*, 2012, Vol 48, num. 13, pp. 220-232.
- SIER (2017). *Matriz de electricidad*. [en línea]. s. d. [Consulta: octubre 2017]. Disponible en Web: <http://sier.olade.org/consultas/tablero-matriz-electricidad.aspx?or=549&ss=2&v=3>
- TORCELLINI, P., S. PLESS Y M. DERU (2006). «Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition». *ACEEE Summer Study Pacific Grove*, 2006 [Consulta: agosto 2017]. Disponible en Web: <http://www.osti.gov/bridge>. 2006.
- TSOUTOS, ET AL. (2018) n.d. «Nearly Zero Energy Hotels in Europe. Glasgow Projects and Tools for Hoteliers». [Consulta: julio 2018]. Disponible en Web: www.nezeh.eu

Por una ganadería sostenible y climáticamente inteligente en América Latina

Varadero, Matanzas, República de Cuba

12 al 16 de octubre 2020

El Instituto de Ciencia Animal de Cuba (ICA) y la Asociación Cubana de Producción Animal (ACPA) tienen el grato placer de invitarlos a participar en el

VII CONGRESO INTERNACIONAL DE PRODUCCIÓN ANIMAL TROPICAL

que se celebrará del 12 al 16 de octubre de 2020 en Varadero, Matanzas, Cuba.

En esta ocasión se unirán el IX Encuentro de Jóvenes Agropecuarios, INTERJOVEN 2020, evento científico de los jóvenes del ICA que se inserta con sus temáticas y eje central

Los jóvenes comprometidos con la ciencias agropecuarias

y el II Simposium Internacional de Tithonia diversifolia en coordinación con el Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria de Cali (CIPAV), Colombia.

CONVOCATORIA XIV Taller Internacional CUBASOLAR 2020

Del 4 al 8 de mayo de 2020
Cayo Coco, Ciego de Ávila, Cuba



<http://www.cubasolar.cu> <http://www.eventocubasolar.com>

La Sociedad Cubana para la Promoción de las Fuentes Renovables de Energía y el Respeto Ambiental (Cubasolar) convoca a la decimocuarta edición del Taller Internacional CUBASOLAR 2020, a celebrarse en el hotel Playa Paraíso, situado en la cuarta isla más grande del archipiélago cubano, nombrada Cayo Coco, perteneciente a la provincia de Ciego de Ávila.

El evento tiene como objetivo contribuir a la construcción consciente de un sistema energético sostenible basado en las fuentes renovables de energía y el respeto ambiental, propiciar y promover el diálogo e intercambio de experiencias y prácticas entre especialistas y personas interesadas en las temáticas de energía, agua y alimentación, así como en la cooperación y la transferencia de conocimientos y tecnologías.

En el Taller se incluyen conferencias magistrales y talleres, en los que participarán autoridades de gobierno, investigadores, educadores, especialistas, gestores, empresarios, profesionales, productores, usuarios de tecnologías y demás personas que trabajan por la sostenibilidad de nuestro planeta.

Temas centrales del evento

La soberanía alimentaria y las fuentes renovables de energía.
El abasto de agua y las fuentes renovables de energía.
El turismo y las fuentes renovables de energía.
Soberanía energética, medioambiente y desarrollo local sostenible.
Educación, cultura e información energéticas para la sostenibilidad.

Curso taller

Contenido esencial del Taller será el desarrollo de cursos talleres sobre las temáticas de agua, energía y alimentación, asociadas al uso de fuentes renovables de energía, y la educación y comunicación energética y ambiental. El curso se ofrece sin costo adicional, se acredita en coordinación con la Universidad de la provincia sede y se estructura a partir de diferentes formas organizativas que se integran como parte del programa del evento: conferencias magistrales, tres talleres y visitas de campo, favoreciendo un aprendizaje activo que permite la amplia participación y el intercambio sobre las temáticas, y el conocimiento de la experiencia cubana en el actual contexto de desarrollo social y económico del país.

Taller 1: Energización local

- Tecnologías renovables para el desarrollo local.
- Redes energéticas locales.
- Ahorro y eficiencia energética.
- Hábitat inclusivo, sustentable y resiliente.
- Programa de energía sustentable en la Estrategia de Desarrollo Municipal; autoabastecimiento energético municipal con fuentes renovables de energía (FRE).
- El turismo y las fuentes renovables de energía.
- Comunicación y educación energéticas para la sostenibilidad.

Taller 2: Movimientos o Redes de Biogás, agua y saneamiento

- Biogás como fuente renovable de energía, para pequeña, mediana y gran escalas: Incidencia en los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) y la Tarea vida.
- Aplicación del biol y biosol en los sistemas de producción agroecológicas con FRE.
- Cosecha de aguay tratamiento de las aguas residuales empleando las FRE.
- Uso racional del agua y la energía en armonía con el medio ambiente.
- Saneamiento ambiental y drenaje pluvial en el autoabastecimiento local.
- Vinculación Universidad-Sociedad-tecnología, para potenciar el empleo del biogás, reúso y la gestión del agua en los sistemas a ciclo cerrados.
- Promoción, comunicación, género, equidad, cultura y jóvenes profesionales, en el contexto de las redes y movimientos relacionados con los temas de biogás, agua y saneamiento ambiental.

Taller 3: Alimentación sostenible: agroecología, resiliencia y consumo responsable

- Soberanía alimentaria y fuentes renovables de energía.
- Biodiversidad, agroecología y resiliencia socioecológica.
- Educación gastronómica y consumo responsable.
- Permacultura, reciclaje, conservación de alimentos y ciclos cerrados.
- Alimentación, salud y nutrición.
- Comunicación, género, equidad, educación y cultura alimentaria, en el contexto de las redes y movimientos de la alimentación buena, limpia y justa.

Los delegados nacionales deben dirigir sus trabajos al correo siguiente:
cubasolar2020@cubasolar.cu.

Los delegados extranjeros deben visitar la página web del evento
<http://www.eventocubasolar.com>

Seguir las instrucciones de la misma para el envío de sus trabajos.

