# **Diseño de una aplicación con base CAD para el diseño de pilotes en parques fotovoltaicos**

**Design of a CAD-based application for the design of pilots in photovoltaic parks**

Jorge Enrique Figueredo Ramírez1, Rolando Esteban Simeón Monet2, Luis Acosta3

1Inel, Cuba, [jorge@hol.inel.une.cu](mailto:jorge@hol.inel.une.cu); 2 Universidad de Holguín, Cuba, [rsimeoncu@yahoo.com](mailto:rsimeoncu@yahoo.com); Universidad de Holguín, Cuba, luis.acosta@uho.edu.cu

RESUMEN

Cuba produce el 96 % de su energía eléctrica con el uso de combustibles fósiles, por ello es una prioridad potenciar el uso de las fuentes renovables de energía para elevar la independencia energética del país. La energía solar fotovoltaica posee mayores perspectivas de desarrollo en Cuba, el potencial registrado de radiación solar es de cinco kWh promedio por m2/día. Por ello, se instalarán 700 000 kW en parques solares fotovoltaicos conectados al Sistema Eléctrico Nacional (SEN), respondiendo a la Política para el Desarrollo Perspectivo de las Fuentes Renovables y el Uso Eficiente de la Energía y los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución del VII Congreso. La empresa Inel de Holguín se dedica a la proyección de obras para el desarrollo del SEN, uno de los objetos más diseñados son los parques solares fotovoltaicos, cimentados a base de pilotes. El diseño de los pilotes se complejiza por el uso de herramientas dispersas, que no brindan una solución integral a través del análisis y selección de la variante de diseño óptima. Constituye el problema científico de la investigación ¿cómo obtener las dimensiones óptimas del diseño de los pilotes de un parque solar fotovoltaico? Se propone desarrollar un algoritmo para el diseño de los pilotes en los parques solares fotovoltaicos, integrado a un entorno CAD, sustentado en un procedimiento que determine los parámetros geométricos óptimos de los pilotes y aseguren una solución factible en lo técnico, económico, social y medioambiental.

Palabras clave: pilotes; parque solar fotovoltaico; algoritmo; entorno CAD

**ABSTRACT**

Cuba produces 96% of its electric power with the use of fossil fuels, so it is a priority to promote the use of renewable energy sources to increase the country's energy independence. Photovoltaic solar energy has greater prospects for development in Cuba, the recorded potential of solar radiation is five kWh average per m2/day. Therefore, 700 000 kW will be installed in photovoltaic solar parks connected to the National Electric System (NES), responding to the Policy for the Perspective Development of Renewable Sources and the Efficient Use of Energy and the Guidelines for the Economic and Social Policy of the Party and the Revolution of the VII Congress. The company Inel of Holguín is dedicated to the projection of works for the development of the SEN, one of the most designed objects are the photovoltaic solar parks, based on piles. The design of the piles is complicated by the use of scattered tools, which do not provide an integral solution through the analysis and selection of the optimal design variant. It constitutes the scientific problem of the investigation how to obtain the optimum dimensions of the design of the piles of a solar photovoltaic park? It is proposed to develop an algorithm for the design of piles in solar photovoltaic parks, integrated into a CAD environment, based on a procedure that determines the optimal geometrical parameters of the piles and ensure a feasible solution in the technical, economic, social and environmental.

Keywords: piles; solar photovoltaic park; algorithm; CAD ambient.

1. INTRODUCCIÓN

El empleo de las energías renovables a nivel mundial, en lugar de los combustibles fósiles, ha ido en incremento por su efecto en la reducción de los gases de efecto invernadero y otros tipos de contaminación ambiental. Un reporte de la red mundial de políticas en energía renovable REN21 expone que las adiciones de capacidad instalada de energía renovable marcaron un nuevo récord en el 2016, con 161 gigawatts (GW) añadidos, lo que aumentó el total mundial en casi un 9% en comparación con el 2015 (REN21, 2017). Como evidencia de la importancia estratégica que adquiere el uso de las energías renovables a nivel mundial están las inversiones en este sector, que alcanzaron la cifra de $249,8 miles de millones de dólares, por tanto, el mundo añade más capacidad de energía renovable al año que la capacidad neta que añade para todos los combustibles fósiles combinados (REN21, 2017). Este tipo de energías conlleva beneficios climáticos, ambientales, de salud pública, económicos y sociales.

En Cuba, según una publicación del periódico Granma con fecha 24 de septiembre de 2018 (ibid., 2018), la independencia energética es una prioridad para el país. En este sentido, el 21 de junio de 2018 fue aprobada la Política para el Desarrollo Perspectivo de las Fuentes Renovables y el Uso Eficiente de la Energía, para ampliar el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía disponibles y elevar la eficiencia energética. En Cuba se produce el 96 % de la energía eléctrica con el uso de combustible fósil, esto convierte a la economía en dependiente de la importación y con elevados costos de generación eléctrica (Granma, 2018). Debido a ello, en los próximos 15 años, se invertirán más de 3 500 millones de dólares para el desarrollo de las fuentes renovables de energía, con los objetivos de elevar la independencia energética; garantizar una plataforma en la cual pueda asentarse todo lo proyectado a futuro, la sostenibilidad en el tiempo y contribuir a la protección del medio ambiente. Esto se sustenta en los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución, para el período 2016-2021, del VII Congreso del Partido, donde se instituye el desarrollo y el uso de las energías renovables en los lineamientos 102, 202, 204, 206 y 215. Específicamente el lineamiento 206 expone “concebir las nuevas inversiones, el mantenimiento constructivo y las reparaciones capitalizables con soluciones para el uso eficiente de la energía, instrumentando adecuadamente los procedimientos de supervisión” (ibid. 2017).

De las fuentes de energía renovables existentes (solar térmica, eólica, hidroeléctrica, geotérmica, de la biomasa, maremotriz, proveniente del hidrógeno y solar fotovoltaica) posee mayores perspectivas de desarrollo en Cuba la solar fotovoltaica. De acuerdo a datos publicados por el periódico Granma (2018) el potencial registrado de radiación solar en Cuba es de aproximadamente cinco kWh promedio por metro cuadrado por día, por ello desde el 2013 hasta la fecha se han construido ocho parques solares fotovoltaicos con una potencia total de 12 000 kW, y se trabaja en la construcción de siete nuevos parques con 10 000 kW de potencia. Como parte de la política se instalarán 700 000 kW en parques solares fotovoltaicos, conectados al Sistema Eléctrico Nacional (SEN), ubicados en áreas cercanas a los centros de consumo.

En la provincia Holguín, la empresa Inel de la Unión Eléctrica Nacional, se dedica a la proyección de obras dirigidas al perfeccionamiento, ampliación y desarrollo del SEN. Unos de los objetos de obra diseñados constituyen los parques solares fotovoltaicos, donde el diseño de estas estructuras se realiza fundamentalmente mediante el uso de softwares, manuales que contienen esquemas, tablas, formularios y ábacos; los cuales van arrojando las dimensiones y el refuerzo que deben tener los pilotes, de acuerdo a diversas combinaciones de carga y factores, como son el tipo de pilote, las características del terreno de emplazamiento y los esfuerzos a los que estará sometido.

Los paneles solares fotovoltaicos están formados por células interconectadas entre sí y selladas con un recubrimiento de vidrio y un respaldo impermeable, y un bastidor que le confiere resistencia y rigidez. Estos sistemas se ubican generalmente en zonas rurales, debido a que el coste del suelo rústico es menor, lo que permite centrales solares de mayor extensión en superficie donde se alcanzan potencias mayores y economías de escala. Además, con las condiciones topográficas y de vegetación adecuadas, en campo abierto las placas pueden orientarse de forma óptima, sin las servidumbres derivadas de la configuración y orientación de un edificio o de las sombras que puedan proyectar otras construcciones próximas; también se facilita y abarata el mantenimiento, al poder planificar una ordenación en planta que permita un fácil acceso a los equipos y una mejor seguridad del recinto (adaptado de Sánchez Carratalá, 2012).

La cimentación de los paneles solares fotovoltaicos es a base de pilotes o también llamados pilarotes; como el viento puede soplar en el plano del entramado en ambos sentidos, lo habitual es que los pilotes se coloquen verticales, aunque en algún caso (p.ej., si parte de la instalación se encuentra a resguardo de una colina o de alguna edificación grande) podría plantearse el hincarlos con una cierta inclinación respecto a la vertical. Los pilotes deben dimensionarse de forma que sean capaces de resistir los esfuerzos de cálculo a los que se ven sometidos, pero también de manera que no se produzca la rotura del terreno contra el que actúan.

Luego de obtener una versión inicial del diseño, es necesario chequear la estabilidad del pilote según los criterios establecidos, y en caso de que no cumpla con alguno de ellos, variar el mismo. Este proceso se realiza de forma manual, o empleando algún software o tablas previamente confeccionadas en Excel por el proyectista. Cuando finalmente se obtiene un diseño seguro y racional, se procede al dibujo y acotado de los diferentes planos con la ayuda del AutoCAD, ya que el mismo no tiene incorporado un módulo específico para estos fines. Debido a que las herramientas con las que se cuentan se encuentran dispersas, hoy en día, el proceso de diseño de los pilotes de los parques solares fotovoltaicos se hace largo y engorroso, lo que puede dar lugar a errores, y complejiza el proceso de brindar soluciones para un mismo problema. Esto trae consigo que no se obtengan las mejores soluciones en cuanto a seguridad, economía y optimización del tiempo de duración de los proyectos.

Lo expuesto es la situación problémica, que justifica la necesidad de reducir el tiempo de proyección de los pilotes de los parques solares fotovoltaicos, a partir del diseño de una herramienta que permita optimizar tiempo, recursos, calidad y tenga la capacidad de valorar diversas variantes de diseño para tomar la decisión más adecuada. En este sentido, se define como problema científico: ¿cómo obtener las dimensiones óptimas del diseño de los pilotes de un parque solar fotovoltaico? Para ello, la investigación tiene como objetivo: diseñar una aplicación con base CAD para el diseño de pilotes en los parques fotovoltaicos; y se espera obtener como resultado: un algoritmo para el diseño de los pilotes en un parque solar fotovoltaico, empleando un lenguaje de programación.

**2. METODOLOGÍA**

La investigación se sustenta en métodos teóricos y empíricos, expuestos a continuación.

**Teóricos**

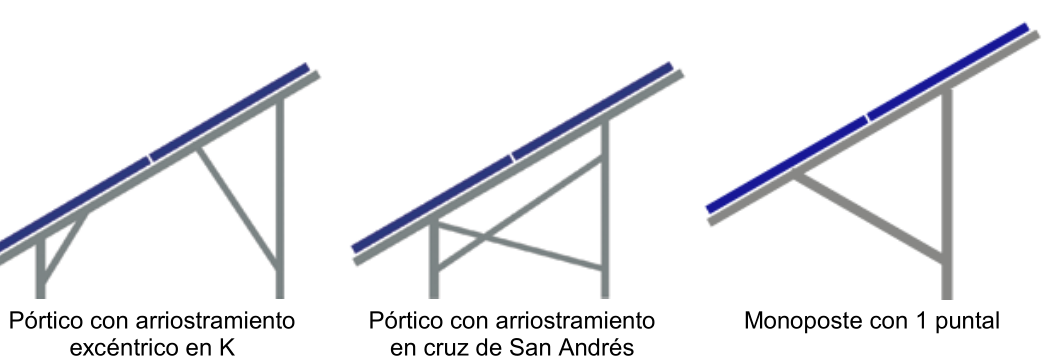
* Histórico-lógico, para el establecimiento del estado del arte del objeto de estudio, los antecedentes históricos, estado actual y tendencias que han caracterizado el proceso de diseño de pilotes de un parque solar fotovoltaico, así como, los modelos y metodologías existentes para ello.
* Análisis-síntesis, para la identificación de las principales variables que influyen en el diseño de pilotes de un parque solar fotovoltaico, así como su interrelación. Así como, en la determinación las etapas que componen las diferentes metodologías clásicas de diseño, estableciendo la relación entre ellas.
* Hipotético-deductivo, dirigido a la elaboración de la hipótesis de la investigación, así como a la determinación de las variables de la investigación y la adopción de la lógica investigativa.
* Sistémico-estructural, para conformar el aporte de la investigación como un enfoque sistémico que considere su estructura, componentes y relaciones que se dan entre ellos; así como su jerarquía y propiedades emergentes.
* Modelación, para la elaboración del algoritmo matemático para el diseño de los pilotes de un parque solar fotovoltaico y su implementación en diferentes casos de estudio, lo cual permite la comprobación de la validez del modelo y su estructuración de forma coherente, observando si será adecuado o no a partir de los resultados de la modelación.

**Empíricos**

* Entrevistas: para obtener información, mediante las consultas a especialistas, para la propuesta de una herramienta que automatice y optimice el diseño de pilotes de un parque solar fotovoltaico.
* Análisis documental: método empleado mediante la revisión de manuales para el diseño de pilotes de un parque solar fotovoltaico, así como la revisión de las normas y regulaciones que rigen dichos diseños.

**3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La disposición de las placas solares sobre el terreno exige la colocación de una estructura que les sirva de soporte, a la vez que asegure su correcta orientación. En Cuba, una de las alternativas más utilizadas para la disposición de estos sistemas fotovoltaicos es la colocación de las placas sobre una estructura fija, sin partes móviles, orientada de forma que se consiga la mayor producción posible a lo largo de todo el año, lo que depende del hemisferio y la latitud. Las placas se agrupan formando mesas, normalmente de 2 a 5 paneles de ancho y de longitud variable según la forma de la parcela y la planta de distribución. Estas mesas están soportadas por unas pequeñas estructuras de acero o aluminio cuyo elemento básico es un entramado plano de barras en dirección transversal, normalmente con 1 o 2 pilares. En la **figura 1** se muestran esquemáticamente varios tipos de entramado usados en estructuras de soporte fijas.



**Figura 1. Tipos de entramado usados en estructuras de soporte fijas**

**Fuente:** Sánchez Carratalá (2012)

Las cimentaciones de los entramados pueden ser superficiales, que son a base de zapatas de hormigón apoyadas o embebidas en el terreno, o profundas, mediante pilotes de pequeña longitud introducidos en el terreno. En Cuba, por una cuestión económica y medioambiental, la utilización de cimentaciones a base de pilotes perforados y fundidos in situ es el más común, ya que si se usan pilotes al desmantelar el campo basta con desmocharlos o extraerlos, sin mayor alteración al entorno.

A continuación, se presenta la modelación para el diseño de los pilotes de un parque solar fotovoltaico, a partir del análisis sistémico y modelación matemática del proceso de diseño.

**Análisis del proceso de diseño de cimentaciones a base de pilotes de un parque solar fotovoltaico**

El diseño y dimensionamiento de los pilotes perforados y fundidos in situ es una cuestión esencial para la viabilidad y la seguridad de las instalaciones. Es importante tener en cuenta que generalmente se trata de pilotes cortos de 1,2 a 2,5 m, por lo que las dimensiones del pilote se encuentran subordinadas a las características del suelo (presencia de tierra vegetal, la meteorización superficial o variabilidad espacial de las propiedades geotécnicas del terreno), que responden a las exigencias dadas por el proyecto. Se tiene que considerar su relación y equilibrio con otros subsistemas; con énfasis en el que representa los factores de seguridad, que son el resultado de la interacción de los subsistemas superiores y que además deben cumplir con determinadas exigencias **(figura 2)**. Estos elementos definen las variables e indicadores del modelo.

En el caso particular de la aplicación del análisis externo a la tarea de diseño de pilotes perforados y fundidos in situ **(figura 3)**, a partir del estudio de la literatura especializada, se define la siguiente composición de variables:

**Variables de coordinación:** ángulo de inclinación del terreno, el espesor de estrato 1, el peso específico del suelo, el ángulo de fricción y cohesión.

**Datos de entrada:** altura de la capa vegetal, nivel freático, espesor de los diferentes estratos.

**Variables de decisión:** ancho del pilote, largo del pilote.

**Indicadores de Eficiencia:** Factor de seguridad por punzonamiento, (FS) por cortante, reacción de fricción lateral, área de la sección y el volumen.

El modelo está caracterizado por 14 variables que tributan a cinco indicadores de eficiencia. Los dos últimos indicadores tienen en cuenta el factor economía y los tres primeros garantizan la seguridad y estabilidad de la estructura.

**Características del suelo**

**Dimensiones del pilote**

**Factores de seguridad**

**Figura 2. Análisis jerárquico del diseño de los pilotes**

**Variables de coordinación**

* Cantidad de estratos (n)
* Características físico-mecánicas del suelo (
* Comportamiento tenso deformacional del suelo
* Cargas actuantes (N, H. M)

**Datos de entrada**

* Comportamiento estructural de la cimentación
* Característica de los materiales de construcción y especificaciones constructivas (f’c, f`s y rec)

**Indicadores de eficiencia**

* Volumen de hormigón (VHORM)
* Área de acero de refuerzo (AACERO)
* Fricción lateral
* FS a la capacidad de carga (FSC)

**Proceso de diseño de cimentaciones aisladas de pilotes**

**Variables de decisión**

* Largo del pilote (L)
* Ancho del pilote (A)
* Profundidad de desplante (Df)

**Figura 3. Análisis externo del proceso de diseño de pilotes**

**Variables de coordinación:** cantidad de estratos; comportamiento tenso-deformacional del suelo; características físico-mecánicas del suelo, como el peso específico (γ), el ángulo de fricción interna (φ), cohesión (c), profundidad del nivel freático (NF), módulo de deformación edométrico (E), peso específico de los sólidos (Gs), índice de poros y espesor de los estratos (e); y cargas actuantes, como la carga vertical resultante a nivel de cimentación (N), cargas horizontales (H) y momentos flectores (M).

**Datos de entrada:** características de los materiales a utilizar y especificaciones constructivas, como la resistencia a compresión simple del hormigón (f’c), resistencia a tracción del acero (f`s) y recubrimiento del acero (rec); y comportamiento estructural de la cimentación.

**Variables de decisión:** largo del pilote, ancho de la base del pilote, y profundidad de desplante de la base de la cimentación.

Indicadores de eficiencia: Factor de seguridad por punzonamiento, (FS) por cortante, reacción de fricción lateral, área de la sección y el volumen.

**Modelo matemático conceptual para el** **diseño de cimentaciones a base de pilotes**

El modelo matemático se sustenta en un modelo teórico, cuyos principios se exponen a continuación.

Teniendo en cuenta todo lo anteriormente descrito y basándose en el flujograma general expuesto para el diseño de cimentaciones superficiales aisladas de hormigón, se define un modelo teórico que tiene las siguientes características:

1. Cimentación profunda con parte superficial de base circular, con pedestal céntrico de sección variable.
2. El momento flector mayor puede estar actuando en cualquier dirección, principalmente en sentido transversal a las filas de mesas.
3. Como material se utilizará el hormigón armado.
4. Comportamiento estructural flexible del cimiento.
5. Se utiliza como modelo para la determinación de la capacidad de carga el propuesto por Brinch-Hansen con sus respectivos coeficientes de influencia.
6. Se trabajará con un comportamiento tenso-deformacional lineal del suelo por debajo del nivel de cimentación. (Se cumple con la condición de linealidad)
7. Se considerará el análisis de deformaciones hasta una profundidad, desde la base de la cimentación, de tres veces el ancho.
8. La cantidad máxima de estratos serán dos.
9. Se contemplará la influencia del nivel freático a diferentes profundidades.
10. Sobre la cimentación no actuarán grandes excentricidades.

En las **figuras 4, 5 y 6** se representan mediante flujogramas las relaciones entre los elementos que intervienen en el proceso de diseño de las cimentaciones a base de pilotes. Las variables de decisión transitan por el proceso de diseño para lograr una combinación óptima, que junto con los demás factores presentes en el proceso permitan obtener un adecuado balance entre los aspectos técnicos, económicos, medioambientales y de seguridad.

Inicio

Datos de entrada

Determinación de los valores de cálculo para el estado límite de tipo geotécnico

(cargas actuantes y características físico-mecánicas del suelo)

Realizar el predimensionamiento

Escoger el método de análisis

A

**Figura 4. Flujograma de análisis externo del proceso de diseño de pilotes**

A

Diseño estático cálculo de empuje

Diseño sísmico cálculo de empuje total

Rankine

Coulomb

Terzaghi

Muller-Berslau

Mononobe-Okabe

Cálculo de las tensiones y momentos actuantes

Cálculo de las tensiones y momentos estabilizantes

Cálculo del FS a la capacidad de carga

FSc > carga actuante

No

Si

Definir las características de los materiales

Cálculo del refuerzo

Cálculo de las fuerzas cortantes debido a las fuerzas actuantes

B

**Figura 5. Flujograma de análisis externo del proceso de diseño de pilotes**

B

Cálculo de la fuerza cortante resistente

Tact≤Tresist

No

Cálculo del refuerzo necesario a cortante

Fin

**Figura 6. Flujograma de análisis externo del proceso de diseño de pilotes**

**Estados Límite**

Los estados límite de tipo geotécnico son los siguientes:

* Estabilidad global: cuando el conjunto de la estructura y su cimiento pierden su estabilidad sin que se produzcan fallos locales en la estructura; hace referencia a las posibles líneas de rotura (superficies de deslizamiento) que engloban a toda la cimentación o a parte de ella. Sólo puede omitirse en terrenos llanos y firmes.
* Hundimiento: cuando las cargas verticales van hacia abajo y se agota la suma de la resistencia del terreno a compresión en la punta del pilote y de la resistencia por rozamiento del terreno a lo largo del fuste, produciéndose movimientos longitudinales inadmisibles.
* Arranque: cuando las cargas verticales van hacia arriba y se agota la resistencia por rozamiento del terreno a lo largo del fuste, produciéndose movimientos longitudinales inadmisibles.
* Rotura transversal del terreno: cuando los empujes transversales producen presiones en el terreno que agotan su capacidad portante, produciéndose movimientos transversales y/o giros inadmisibles.

Hay otras formas de fallo menos frecuentes, pero que deben considerarse cuando puedan producirse: pérdida de capacidad portante por erosión o socavación del terreno; pérdida de capacidad portante por ataque ambiental al material del pilote; expansividad, colapsabilidad o heladicidad del terreno; licuefacción del terreno; daños en estructuras próximas por la hinca de pilotes en suelos cohesivos blandos, etc.

Los terrenos sobre los que se instalan los huertos solares tienen, en general, poca pendiente (inferior al 10%) y se entiende que se ha comprobado que se trata de terrenos que no han mostrado anteriormente ningún signo de inestabilidad. Además, las instalaciones de paneles fotovoltaicos transmiten al terreno en su conjunto unas cargas muy reducidas que difícilmente pueden dar lugar a problemas de estabilidad global, salvo en casos muy extremos. Por ello, dentro de los estados límite que hacen referencia al terreno,

sólo se estudiarán normalmente los de hundimiento, arranque y rotura transversal.

Por otra parte, la acción dominante es la debida al viento, que al poder ser de presión o de succión puede producir compresiones o tracciones, respectivamente, en la cimentación. Al tratarse de pilotes de reducido diámetro equivalente e hincados a muy poca profundidad, la resistencia por punta será muy pequeña, salvo que el pilote apoye en roca. En general, la situación más limitante para el terreno no será la de hundimiento, sino la de arranque, dado que en esta última ya no se cuenta con la resistencia por punta y, además, el coeficiente de rozamiento es menor en pilotes a tracción que a compresión; no obstante, lo anterior, puede

haber casos en que, debido al ocultamiento de unas mesas sobre otras, la situación más desfavorable sea la de compresión sobre el pilotaje, por lo que también habrá de ser objeto de estudio. En todo caso, deberá considerarse el posible efecto de las cargas alternativas de compresión-tracción sobre la resistencia por fuste. Por otra parte, deberá tenerse en cuenta la componente horizontal de la reacción debida al viento, que puede dar lugar a la rotura transversal del terreno.

Cuando los pilotes soportan una estructura rígida, puede tenerse en cuenta la capacidad de la estructura para repartir la carga entre los distintos pilotes, por lo que el estado límite de hundimiento o arranque sólo se produciría si hay varios pilotes que fallan de forma conjunta. Sin embargo, si los pilotes soportan una estructura flexible, como es nuestro caso, el estado límite correspondiente estará controlado por la capacidad portante del pilote más débil.

4. Conclusiones

Luego de leer el artículo se puede concluir que:

* La necesidad de lograr diseños rápidos, seguros y amigables con el medioambiente.
* Se logra un algoritmo de trabajo que facilita y viabiliza toda la cantidad de iteraciones a realizar.
* Se crea una herramienta de trabajo fácil de usar para cualquier persona con una noción mínima de construcción lo mismo en obra que a nivel de oficina.
* Se obtiene un diseño más económico en cuanto a gasto de utilidades y materiales.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REN21 (2017). *Avanzando en la transición mundial hacia la energía removable. Puntos destacados del reporte de REN21 sobre la situación mundial de las energías renovables 2017 en perspectiva*. Francia, París. Doi: <http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/07/17-8399_GSR_2017_KEY-FINDINGS_Spanish_lowres.pdf>.

Granma (2018). *Abre camino de la actualización*. Doi: <http://www.granma.cu/cuba/2014-11-06/abre-camino-de-la-actualizacion>

Sánchez Carratalá, C. (2012). *Bases para el proyecto de cimentaciones de pilotes hincados para estructuras de apoyo de placas en parques solares fotovoltaicos*. XVI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Doi: <https://www.aeipro.com/files/congresos/2012valencia/CIIP12_1404_1415.3811.pdf>

sobre los autores

**Jorge Enrique Figueredo Ramírez: Inel Holguín, Especialista B en Diseño de proyectos,** [jorge@hol.inel.une.cu](mailto:jorge@hol.inel.une.cu)

Rolando Esteban Simeón Monet: profesor del centro de estudios de la UHO Cad Cam.

Luis Acosta: profesor del departamento de construcciones de la UHO.