

Diseño de estaciones de carga solar para bicicletas eléctricas

Design of solar charging stations for electric bikes

Pablo Andrés Cordero Alvarado¹

Cordero-Alvarado, P. Diseño de estaciones de carga solar para bicicletas eléctricas. Tecnología en marcha. Edición especial Movilidad Estudiantil 7. Abril, 2020. Pág.36-53.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i6.5166>

¹ Costarricense. Ingeniero en Producción Industrial. Kraft Heinz, Pavas, San José. Costa Rica. Correo electrónico: pcordero054@gmail.com



Palabras clave

Energías renovables; paneles solares; bicicletas eléctricas; ángulo Azimuth.

Resumen

Las energías renovables tienen un gran potencial en la disminución de las emisiones al ambiente de contaminantes derivados del petróleo. Siendo la energía solar la energía renovable más abundante en la Tierra, su aprovechamiento será el eje guía para la propuesta de diseño de este estudio, tomando como principales factores: la ubicación de las estaciones, inclinación de los paneles solares y orientación del sistema fotovoltaico. La propuesta es una estación estándar de carga eficiente para bicicletas eléctricas, utilizando el diseño de parámetros para sistemas fotovoltaicos y el diseño de aspectos arquitectónicos; por lo cual, el prototipo puede ser replicado en cualquier localización del mundo. El proyecto planteado representa 339 litros de gasolina al año no consumidos, lo cual tiene un efecto anual de 0,8 toneladas en el carbono liberado al ambiente.

Keywords

Renewable energy; solar panels; electric bicycles; Azimuth angle.

Abstract

Renewable energies have an enormous potential in reducing emissions of petroleum-derived pollutants. As solar energy is the most abundant renewable energy on Earth, its utilization will be the guiding axis for the design proposal of this study, taking as main factors: the location of the stations, the tilt of the solar panels and the orientation of the photovoltaic system. The proposal of this study is a standard efficient solar charging station for electric bicycles, using the design of parameters for photovoltaic systems and the design of architectural; so, this prototype can be replicated anywhere in the world. The proposed design represents 339 liters of gas per year not consumed, which has an annual effect of 0,8 ton of carbon emitted to the environment.

Introducción

Debido a un aumento sostenido en el consumo energético, se prevé que para el 2030 la demanda de energía eléctrica se haya incrementado en un 75%, aumentando así los precios del petróleo [1], el cual es la principal fuente de energía en el mundo y, la primera causa de generación de gases de efecto invernadero [2].

El consumo mundial diario de aproximadamente 86 millones de barriles de petróleo es reflejo de la gran dependencia de esta fuente agotable [3], así como también lo es la adaptación de los sistemas de transporte y, la enorme variación en el precio de productos y servicios. De acuerdo a lo mencionado anteriormente, sumado al aumento en los procesos de investigación y desarrollo en el tema de energía fotovoltaica [4], los últimos años han traído consigo un descenso en los precios de los paneles fotovoltaicos monocristalinos, paralelamente a un aumento significativo en la eficiencia de ellos, teniendo actualmente un promedio de 20% en contraste al 10% en el año 2011 [5].

Aunque la eficiencia de los paneles solares es baja [6], la energía fotovoltaica es ahora, después la hidroeléctrica y la eólica, la tercera mayor fuente en capacidad instalada de energía renovable en el mundo [7]. Además, se considera que el 80% de eficiencia esperada en los módulos fotovoltaicos para el 2040 [8], vendrá acompañado con una disminución en los

precios de los paneles, dada la producción en masa y facilidad en conversión de energía en términos de espacio, poco mantenimiento y bajo costo, pues cada Watt tiene un costo máximo aproximado de \$8 en el periodo de recuperación de la inversión [9].

Dado que el precio del transporte varía proporcionalmente al inestable precio de los hidrocarburos [10], se han generado diversas alternativas para mitigar los efectos ambientales del petróleo, una de ellas es el uso de movilidad eléctrica con el aprovechamiento de la energía solar.

El uso de movilidad eléctrica trae consigo una disminución en las emisiones y en el consumo de combustible [11], pues, en general los vehículos eléctricos cuentan con una eficiencia de 90%, comparada al 30% de los vehículos tradicionales [12]. Con respecto a esto, en la Universidad de York existe el Sustainable Energy Initiative (SEI) para promover este tipo de movilidad sustentable, a través de programas de incentivos a quienes usen vehículos eléctricos y, cobrando altas tasas de parqueo a quienes usen vehículos de combustión [13].

El SEI también ha promovido el uso de estaciones de carga para carros eléctricos, alimentadas a partir de energía solar, contando así con todo un proceso ecoamigable. Sin embargo, sólo se ha creado una estación y no se cuenta con una guía o procedimiento descrito de cómo replicar tal iniciativa. Dado esto, surge la necesidad de estandarizar un proceso de diseño de sistemas fotovoltaicos para estaciones de carga para movilidad eléctrica.

Con respecto a Costa Rica, dada su cercanía al ecuador terrestre [14], además de la incidencia casi perpendicular de los rayos solares y su promedio de radiación solar de 1700kWh/m², hacen que el país se muestre como una excelente opción para el aprovechamiento de la energía solar [15]. Aún más, el Laboratorio SESLab del Instituto Tecnológico de Costa Rica podría contar con un diseño de estaciones de carga para bicicletas eléctricas, ya que, debido al crecimiento de las instalaciones del campus principal de Tecnológico de Costa Rica, se podría crear un sistema de movilización dentro del campus en Cartago.

Metodología

Este estudio se llevó a cabo en la Universidad de York en Toronto, Canadá. Para esto, se utilizó una estructura de 5 fases, iniciando en la fase 1 con el establecimiento de las metas y limitaciones del estudio.

En la fase 2 se realizó una revisión del estado del arte en torno a estaciones de carga solar para vehículos y bicicletas eléctricas y, sistemas fotovoltaicos, determinando así las principales consideraciones que se deben tomar al momento de diseñar una estación de carga solar, para continuar en la fase 3 con un análisis más profundo sobre el diseño y la viabilidad para aprovechar este tipo de estructuras en Costa Rica, siendo un país donde la energía solar no ha sido explotada, como sí lo ha sido la hidroeléctrica.

La propuesta de diseño es generada en las fases 4 y 5, describiendo la forma en que se establecen los parámetros de los sistemas fotovoltaicos, una definición de un diseño arquitectónico, una propuesta de diseño eléctrico y, un análisis de factibilidad ambiental y económico. En la figura 1 se muestra de forma gráfica la metodología seguida.

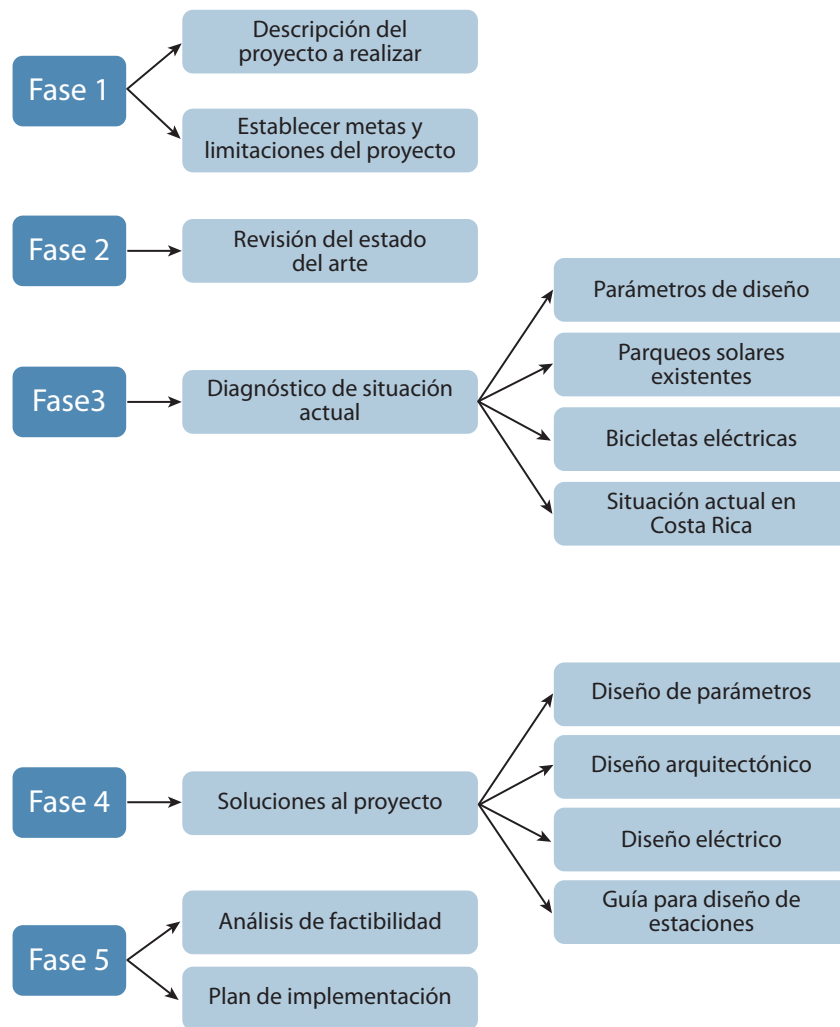


Figura 1. Pasos de la metodología

Resultados y discusión

Bicicletas eléctricas

Las bicicletas eléctricas han venido a apoyar el transporte con bajo impacto ambiental de distancias cortas a bajo costo. El motor auxiliar de ellas ayuda a acelerar y mantener la velocidad de movimiento mientras una persona pedalea o no, destacando así su gran utilidad en lugares con terrenos irregulares o con mucho viento, aspectos que dificultan el uso de bicicletas tradicionales.

Según el Nordic Folkecenter [16], en general, las “e-bikes” pesan aproximadamente 4kg más que las bicicletas convencionales y siguen el mismo patrón de diseño que las tradicionales. En algunos tipos de bicicletas eléctricas, el motor puede ser apagado, de tal modo, la bicicleta está en la capacidad de ser controlada totalmente por el usuario, en el cuadro 1 se resumen los principales tipos de bicicletas según el Nordic Folkecenter.

Cuadro 1. Clasificación de las bicicletas eléctricas

Categoría	Descripción
Pedal asistido	El motor es regulado de acuerdo a la frecuencia y fuerza del pedaleo mediante el uso de sensores, además los frenos de la bicicleta pueden desactivar el motor.
Demanda de poder	El motor es activado por un acelerador que puede ser controlado por una o ambas manos del usuario, tal y como se observa en los scooters.
Demanda de poder y pedal asistido	Esta categoría surge como una combinación de las bicicletas Pedelecs y de las bicicletas de demanda de poder, por lo cual, se puede controlar el aceleramiento de forma manual (demanda de poder) o automática (Pedelecs).

Fuente: [16]

Según el Nordic Folkecenter [17], se debe prestar atención primordialmente a la batería con la está proveída la bicicleta eléctrica. Este elemento representa mayoritariamente el costo del sistema en su conjunto, por lo cual, la batería es un aspecto decisivo. La batería más recomendada es la de litio, dada su relación precio-eficiencia, además de la fácil disposición después de su vida útil.

Destaca también la vida útil de la batería, debido a que, un mismo mecanismo de funcionamiento de batería no asegura la misma vida útil, la cual, suele ser de 3 años para las baterías de litio. Con respecto a esto, las baterías están diseñadas para ser descargadas una cierta cantidad de veces antes de que necesiten ser reemplazadas, por lo cual, la intensidad de uso de la bicicleta es un factor adicional a considerar.

El rendimiento de la batería también es un factor crítico, pues, así como existen baterías que pueden correr por 25km con una carga completa, existen otras que pueden recorrer distancias de 135km, aumentando el peso y tamaño de la batería.

Energías renovables en Costa Rica

El suministro de energía en Costa Rica depende principalmente de las reservas hidroeléctricas con las que se cuenta en el país. Existe la desventaja de depender de factores naturales como lo es el régimen de lluvias, el caudal de los ríos y el fenómeno del Niño; que está produciendo sequías debido a las bajas precipitaciones en la región centroamericana desde el 2011, afectando así la generación eléctrica.

Para el primer trimestre de 2016, la matriz energética de Costa Rica estuvo representada mayoritariamente por energía hidroeléctrica, siendo su aporte de un 65,62%, seguida de la energía eólica con un 15,60%. La figura 2 muestra que, de esta matriz, sólo el 0,02% de energía es producida con a partir de fotones solares, fuente abundante en el trópico. Además, se muestra que aún existe dependencia de productos derivados del petróleo. La matriz energética es una representación gráfica-cuantitativa de toda la energía que una región o país puede ofrecer.

Aporte de cada fuente a la matriz energética nacional

Primer trimestre 2016

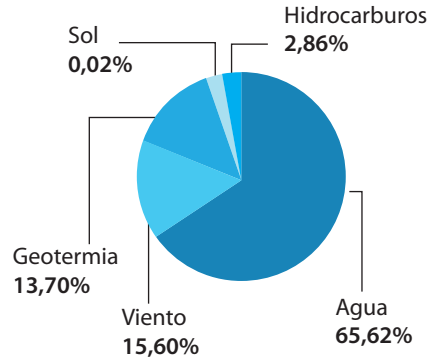


Figura 2. Matriz energética de Costa Rica Fuente: [1]

En 2012, Costa Rica se propuso que para el 2021, tendrá su matriz energética completamente limpia, es decir, no depender de hidrocarburos en lo absoluto. Para esto, el país se ha integrado al Programa de Energías Renovables y Eficiencia Energética de Centroamérica (4E), buscando así implementar estrategias de energías renovables mediante la inversión en el sector. Con estos esfuerzos, el Índice de Desempeño en Arquitectura Energética Global del Foro Económico Mundial, sitúa a Costa Rica en la novena posición mundial y, el mejor posicionado de América Latina según WWF en el Índice de Sostenibilidad Energética.

Según el software SolarGis, la radiación solar anual en Costa Rica varía entre 1300 kWh/m² a 2100 kWh/m² tal y como se muestra en la figura 3, además, siendo el promedio en Cartago de 1900 kWh/m², Si se compara este valor con los 1300 kWh/m² reportados en Toronto, efectivamente Costa Rica tiene potencial para aprovechamiento de la energía solar que el país norteamericano.



Figura 3. Irradiación horizontal en Costa Rica. Fuente: [18]

La radiación percibida en un lugar específico depende entre otros factores de la nubosidad, la altitud sobre el nivel del mar y contenido total de ozono en la atmósfera, por lo cual, es conveniente comparar entre diversas fuentes la radiación reportada.

Causas del bajo uso de la movilidad eléctrica en Costa Rica

El cambio a la adopción de transporte eléctrico no sólo se basa en el principio de disminuir las emisiones de los gases de efecto invernadero, si no también existe una diferencia notable en la eficiencia de estos vehículos comparados con los basados en combustión interna. La eficiencia de los vehículos tradicionales ronda el 30% mientras que la eficiencia de los eléctricos es de 90%

Desde el año 2013 en Costa Rica se viene gestando el proyecto de Ley de incentivos al transporte eléctrico, permitiendo favorecer así a aquellas personas o entidades que migren del transporte tradicional a la movilidad eléctrica, contemplando carros, motocicletas, bicicletas y demás vehículos que se enchufen para cargar su batería. Sin embargo, aunque el proyecto recibió la aprobación en el primer cuatrimestre del 2016 por parte de la Comisión de Gobierno y Administración de la Asamblea Legislativa, sigue pendiente en la agenda del Plenario bajo el expediente 19744.

El lento avance de este proyecto de Ley retrasa el impulso que el Gobierno de Costa Rica estaría dando al recurrir a esta novedosa forma de transporte. Dentro de los beneficios que se encuentran contemplados en esta Ley se encuentra la exoneración del 100% en el impuesto de consumo, impuesto de ventas y el impuesto sobre el valor aduanero del 1%, además del parqueo gratuito en zonas reguladas con parquímetros y en los “Parqueos Azules” que deberán establecerse en los centros comerciales.

Aunque el proyecto de Ley de Incentivos, propone a su vez el no pago del marchamo por 5 años, el costo de los vehículos eléctricos es muy alto, en comparación con los vehículos de combustión interna. A modo de ejemplo, para el 2013 en Costa Rica, cerca de 300 carros eléctricos circulaban en el país, con precios desde los \$21000 a los \$106000. Los costos de adquisición de bicicletas eléctricas también son mayores a los de bicicletas convencionales, en un factor de 25% [19].

El costo de las baterías eléctricas de este tipo de movilidad es un factor importante para explicar el bajo uso de la movilidad eléctrica, ya que en general, estas baterías son mucho más caras que las baterías tradicionales. Por ejemplo, El Financiero [20] afirma que, a pesar del ahorro en gasolina, la batería de un carro o motocicleta eléctrica debe sustituirse cada tres o cinco años, y estas tienen un precio que ronda los \$2300 y \$3900, dependiendo si es de plomo o litio, siendo estas últimas las más eficientes y costosas.

Por último, Costa Rica no destaca como un país productor de vehículos eléctricos, ni tampoco se encuentra geográficamente cercano a uno de ellos, por lo cual, el costo de importación incrementa sustancialmente el costo de adquisición de un vehículo [21].

Exceptuando la zona norte del paisaje costarricense, el relieve no se caracteriza por extensas planicies. Precisamente este es un factor que afecta el desempeño de los vehículos bajo la categoría de movilidad eléctrica y que es una de las principales causas de su rechazo en la sociedad costarricense [22]. De acuerdo con [12], existe un consumo adicional de 25% de energía eléctrica cuando el terreno presenta inclinaciones sucesivas de más de 15 grados.

Concepción de diseño

La propuesta de diseño presentada en este estudio para las estaciones de carga solar de bicicletas eléctricas fue concebida con base en 8 criterios descritos en el cuadro 2.

Cuadro 2. Criterios de diseño de la estación de carga propuesta

Criterio	Descripción
Seguridad	Seguridad para personas y bicicletas que utilicen o estén cerca de la estación.
Ubicación, integración	Ubicación estratégica cerca de edificios y zonas concurridas en la localización. Integración con sistemas de movilidad existentes.
Modular	Los parámetros de la estación son estandarizados, contemplando posibles expansiones o variantes del diseño propuesto.
Fácil instalación	La instalación debe ser fácil de instalar, utilizando la menor cantidad de mano de obra y maquinaria.
Duración	Se debe aprovechar al máximo la vida útil de los módulos fotovoltaicos, la cual, en general, se encuentra en 25 años.
Belleza	Un diseño que sea estéticamente bonito a simple vista.
Funcional	Todos los componentes de la estación estén justificados en cuanto a su aprovechamiento para un funcionamiento eficiente.

Parámetros de diseño

Localización de la instalación

La localización de la instalación es un factor determinante a la hora de ubicar la estación de carga. La elección de la localización depende entre otros factores, del acceso a rayos solares y ventilación en la zona. Por lo cual, la determinación de esta ubicación puede ser un factor iterativo, considerando estudios de sombras para iterar, por ejemplo. La localización geográfica siempre debe ser encontrada y para encontrarla, basta con usar *Google Maps*.

Estudio de sombras

La identificación y erradicación de sombras es el proceso por el cual, se asegura que la instalación fotovoltaica operará eficientemente. Aunque una sombra afecte un pequeño sector de un solo panel, en general, todo el sistema percibirá una disminución en la eficiencia. Uno de los softwares más utilizado para el análisis de sombras es HelioScope, por lo cual, en la figura 4 se presenta un procedimiento descrito a través de un diagrama de flujo para conducir este tipo de análisis con tal software.

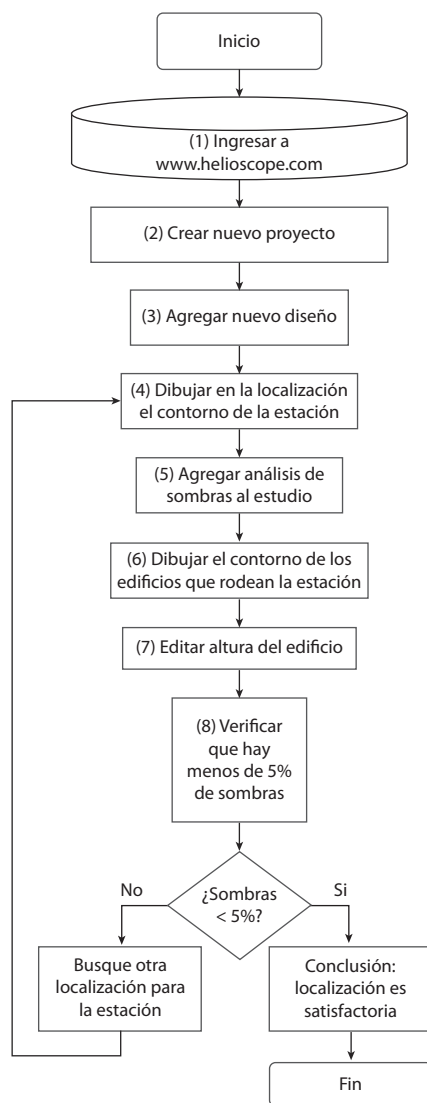


Figura 4. Procedimiento para cálculo de sombras con HelioScope.

Orientación horizontal de los paneles solares

La orientación horizontal de los paneles solares es el resultado del movimiento del sol alrededor de la tierra. Se sabe que, si un sistema fotovoltaico se encuentra en el hemisferio norte, este debe estar orientado hacia algún punto en el sur y, si la estructura fotovoltaica está en el hemisferio sur, debe mirar hacia algún punto en el norte.

La dirección óptima a la cual deben estar dirigidos los paneles solares se basa en el ángulo Azimuth. Cabe destacar que se ha definido que el norte es 0° Azimuth y el Sur es 180° Azimuth. El uso de Azimuth se debe a que, en general, existe una diferencia entre el norte verdadero y el norte magnético (ver figura 5)

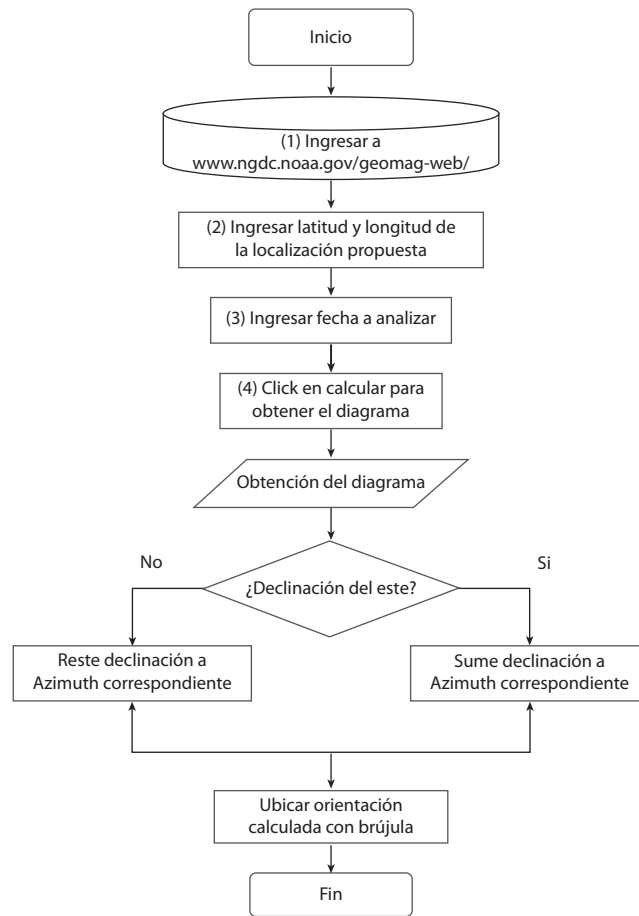


Figura 5. Procedimiento para cálculo de orientación óptima.

Inclinación de los paneles solares

Para el cálculo de la inclinación se recomiendan dos formas distintas de obtener inclinaciones recomendadas.

1. Inclinación teórica: La inclinación a la que deben estar colocados los paneles solares debe igualar la latitud geográfica de la latitud propuesta.
2. Uso de SolarGis: Dada la precisión de los cálculos realizados con este programa, este software es comúnmente usado para el diseño de los parámetros de sistemas fotovoltaicos. El diagrama de flujo de la figura 6 explica cómo usar tal programa para obtener la inclinación recomendada.

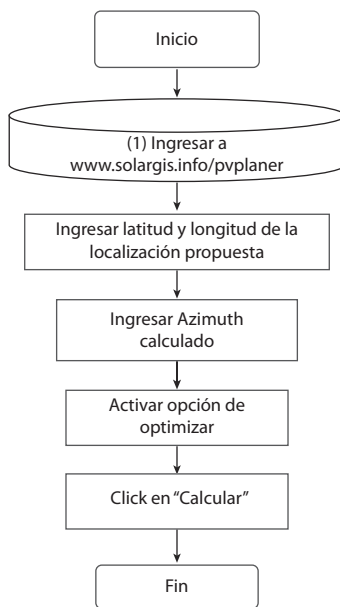


Figura 6. Procedimiento para cálculo de inclinación óptima con SolarGis.

Diseño arquitectónico

Para el diseño arquitectónico de la estación de carga, es necesario contar con las dimensiones y cantidades de los equipos eléctricos que serán elegidos para el proyecto. Sin embargo, dado que los equipos quedan a elección del usuario, el diseño propuesto recomienda una caja de almacenamiento similar a la mostrada en el figura 7 y las medidas, dependerán de la amplitud de los equipos.



Figura 7. Gabinete eléctrico recomendado para la estación de carga.

Fuente: [23]

Básicamente, los equipos eléctricos que estarán ubicados en el interior de la caja de almacenamiento son: inversor, controlador de carga y banco de baterías. Cabe destacar que, las dimensiones de los equipos eléctricos están muy estandarizadas en el mercado.

El diseño arquitectónico propuesto se basa en el de la figura 8. Utilizando así, los paneles solares como techo para las bicicletas.



Figura 8. Diseño arquitectónico base.
 Fuente: [24]

El layout de la instalación propuesta es presentado en la figura 9, donde se observa que el diseño propuesto contempla el criterio “Modularidad”, por lo tanto, es posible incrementar la cantidad de bicicletas por estación, en aumentos de 350 centímetros, adicionando así 5 bicicletas a la estación.

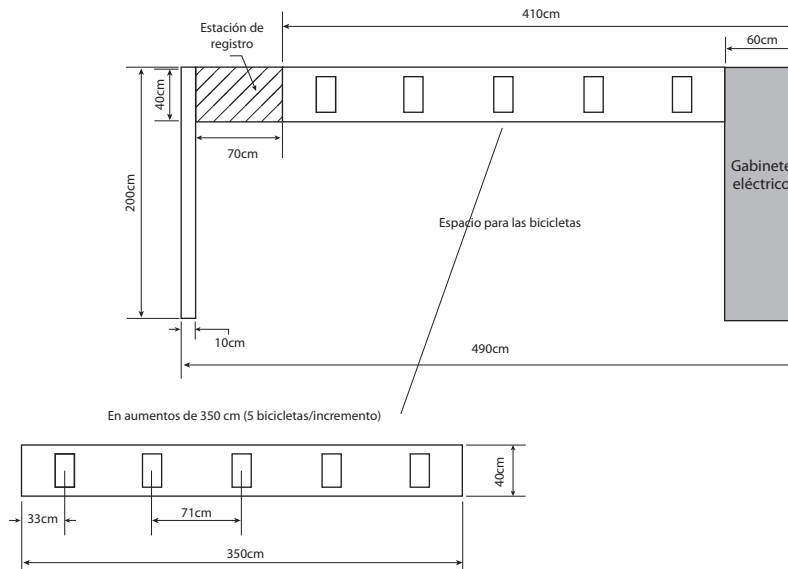


Figura 9. Layout propuesto para la estación de carga solar.

Además, se contempla la existencia de una estación de registro, con esto, podrá monitorearse quién y en qué momento, utiliza las bicicletas mediante un lector RFID. La información resultante en cada estación podrá utilizarse después, para llevar a cabo estudios de aprovechamiento de tales recursos.

El cálculo de la altura de la mesa de registro se puede determinar a criterio personal o, hacerlo con el software: “Methods, Standards & Work Design”, asegurándose así, un diseño ergonómicamente viable. En la figura 10 se ilustra con un diagrama de flujo, cómo conducir esta determinación con el programa mencionado.

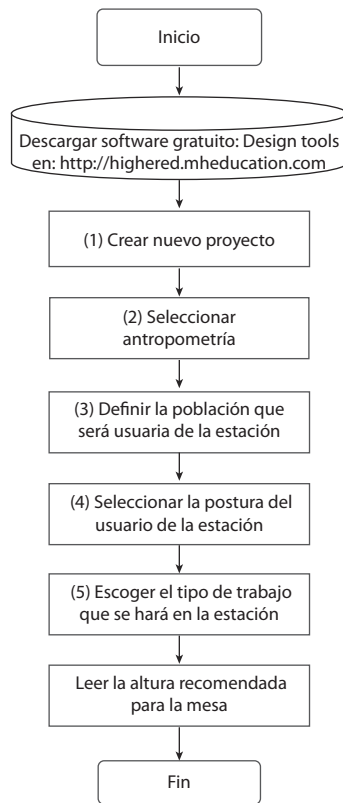


Figura 10. Procedimiento para utilizar Desing Tools.

Para construir una estación de carga como la propuesta en esta guía, será necesario utilizar los materiales que se listan a continuación:

- Paneles solares, baterías, inversor, controlador de carga
- Lector RFID, mesa de metal
- Cable eléctrico, receptáculos eléctricos
- Perfiles de aluminio, tornillos y soldadura
- Estructura metálica de sostén, gabinete eléctrico
- Cemento, arena y piedra, pintura, minio, rodillos y felpas.

La cantidad de paneles solares, baterías, inversor, controlador de carga y receptáculos debe ser determinada con cálculos de diseño eléctricos. Para determinar el área necesaria para operar correctamente la estación de carga de bicicletas eléctricas utilice el Método de Guerchet, mostrado por las Ecuaciones 1, 2, 3 presentadas a continuación.

Superficie estática (Ss) = Área basal de la estación	1
Superficie de evolución (Se) = (2*Ss) * 0,25	2
Superficie total (St) = 2*Ss + Se	3

Análisis ambiental de la propuesta

La relevancia de este proyecto es la búsqueda de la mitigación de los efectos ambientales durante el transporte de personas. Por lo cual, el análisis de factibilidad mostrado, incluye un análisis de tal factor, utilizando el software RETScreen Expert creado por el Gobierno Canadiense para la administración de las energías limpias.

En general, el diseño eléctrico contempla la radiación en el sitio, cantidad y especificaciones de los objetos a cargar, especificaciones de los equipos eléctricos y nivel de servicio deseado. La capacidad de un sistema fotovoltaico depende del diseño eléctrico que se genere (que está fuera de los límites de este estudio), utilizando sistemas de 8k kW de poder, con RETScreen Expert (ver figura 11), se obtiene que se ahorran 339,6 litros de gasolina al año para producir la misma cantidad de energía a usar, es decir, en total no se consumirán 8490 litros de gasolina durante el periodo de vida útil de las estaciones de carga (limitada a los 25 años de vida útil de los paneles solares).

Esta cantidad de combustible efectivamente permite observar el efecto amigable que tiene este proyecto en la no liberación de carbono al ambiente, mediante dióxido de carbono y otros gases contaminantes, resultantes de la quema de gasolina en motores de combustión interna.

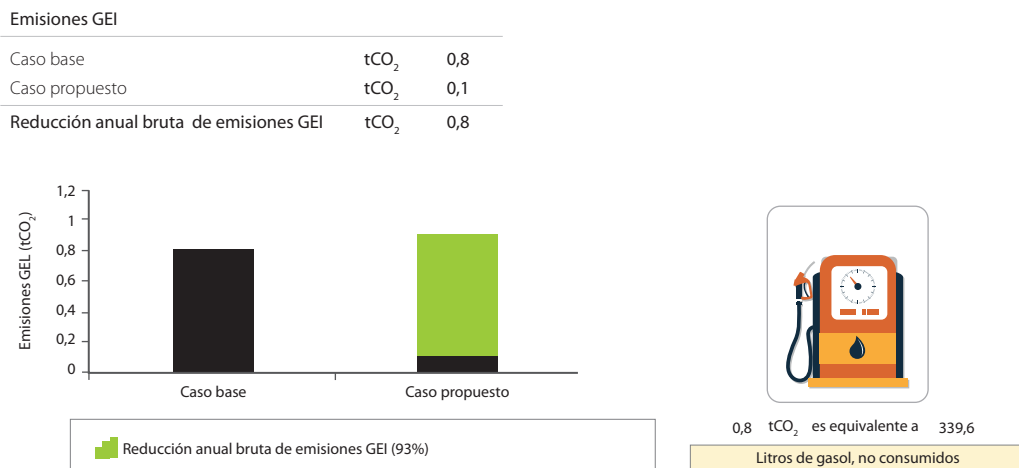


Figura 11. Gasolina no consumida al usar producción solar.

Fuente: [15].

Además, RETScreen Expert utiliza otros ejemplos para ilustrar el efecto en el ambiente que tiene la utilización de esta propuesta de 4 estaciones de carga solar para bicicletas eléctricas. Tal y como se muestra en la figura 12, la ejecución de este proyecto es equivalente a la conservación de 0,1 hectáreas de bosque absorbiendo dióxido de carbono, es decir, 1000 metros cuadrados de bosque que no se está talando en el país.

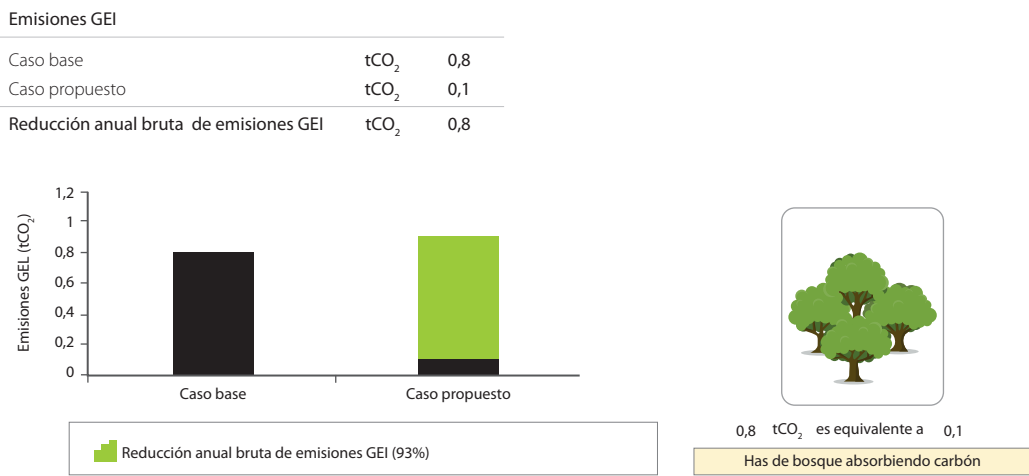


Figura 12. Bosque no talado al usar producción eléctrica solar.
Fuente: [15].

Plan de implementación

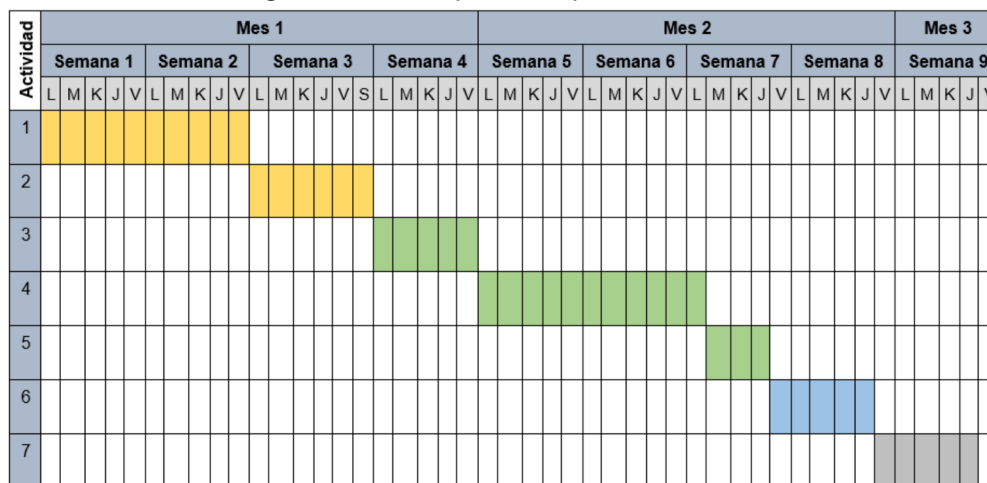
En el cuadro 3, se definen las actividades, recursos, responsables y duración en semanas de cada actividad propuesta para las propuestas planteadas en este estudio.

Cuadro 3. Actividades a realizar en la implementación de las soluciones

N	Actividad	Duración	Recursos
1	Crear base y sostén de concreto para las estaciones de carga	2	Cemento, arena, piedra.
2	Instalar estructura metálica de sostén del sistema fotovoltaico	1	Estructura de sostén, tornillos, soldadura, aislante
3	Instalación y conexión de los módulos fotovoltaicos	1	Módulos fotovoltaicos
4	Instalación de los equipos en el gabinete, lector RFID y colocación de la mesa de registro	2	Baterías, controlador de carga, inversor, lector RFID, mesa de registro, gabinete
5	Conexión de los enchufes a la salida de energía del sistema eléctrico	0,5	Enchufes, cableado, aislante eléctrico
6	Pintura de la estructura metálica	1	Pintura, Minio
7	Periodo de pruebas	1	Formato de pruebas

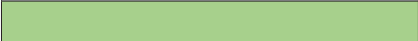


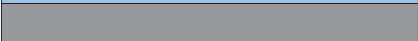
Adicional, en el cuadro 4 se presenta el Diagrama de Gantt recomendado para la implementación de las soluciones propuestas en este proyecto.

Cuadro 4. Diagrama de Gantt para la implementación de soluciones



La simbología del color utilizado para el cronograma mostrado en el cuadro 4 se explica a continuación en el cuadro 5.

Cuadro 5. Simbología de color usado en cuadro 4

Simbología de color	Tipo de trabajo	Tipo de riesgo
	Eléctrico	Alto
	Constructivo	Medio
	Detalles menores	Bajo
	Inspección	Bajo

Fuente: Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica

Conclusiones

1. Los principales factores que influyen en el diseño de una estación de carga solar son la orientación horizontal e inclinación de paneles solares, localización del sistema, presencia de sombras y radiación en el sitio, condiciones climáticas y eficiencia de componentes.
2. Como consecuencia del poco incentivo político y presencia de profesionales en el tema fotovoltaico, sólo el 0,02% de la matriz energética de Costa Rica es representado por sistemas fotovoltaicos, mientras existe un potencial teórico de 10000 megavatios, una radiación mínima anual de 1300 kWh/m² y la aprobación de la Ley de generación eléctrica distribuida.
3. Se propone una guía para el diseño de estructuras para la carga solar de bicicletas, lo cual permite replicar el diseño en cualquier localización en el mundo, con sólo la determinación de los parámetros de diseño y el cálculo de los aspectos eléctricos.

4. El uso de sistemas de transporte amigables con el medio ambiente tiene el potencial de disminuir las emisiones de dióxido de carbono, más aún si estos elementos son alimentados a partir de fuentes de energía sustentables. El cambio en el uso de vehículos de combustión a vehículos eléctricos propone un aumento en eficiencia de 60%.
5. El proceso de implementación recomendado para el proyecto propuesto se compone de 7 principales actividades que pueden ser desarrolladas en 9 semanas.

Referencias

- [1] La Nación (2016). *Proyecto bajaría tributos solo a vehículos eléctricos de enchufe*. Recuperado de http://www.nacion.com/nacional/transportes/Proyecto-bajar-tributos-vehiculos-electricos_0_1561243865.html
- [2] La Nación (2014). *Abre primera electrolinera pública*. Recuperado de http://www.nacion.com/nacional/infraestructura/Abre-primer-electrolinera-publica_0_1560243979.html
- [3] La Nación (2014, 01 de Junio). *Paneles solares conquistan más techos costarricenses*. Recuperado de http://www.nacion.com/tecnologia/avances/Energia_solar-electricidad-paneles_solares-Costa_Rica-demanda-Instituto_Costarricense_de_Electricidad_0_1418058235.html
- [4] Energy Informative (2015, 18 de Mayo). *Which Solar Panel Type is Best?* Recuperado de <http://energyinformative.org/best-solar-panel-monocrystalline-polycrystalline-thin-film/>
- [5] Delta Volt (2016). *Paneles Solares, Tipos y Eficiencias*. Recuperado de <http://deltavolt.pe/energia-renovable/energia-solar/paneles-solares>
- [6] D. Chiras (2010). *Solar Electricity Basics: A Green Energy Guide*. New Society Publishers.
- [7] D. Chiras (2006). *The Homeowner's Guide to Renewable Energy*. Society Publishers.
- [8] MIT Technology Review (2016, 03 de Marzo). *First Solar's Cells Break Efficiency Record*. Recuperado de <https://www.technologyreview.com/s/600922/first-solars-cells-break-efficiency-record/>
- [9] The Eco Experts (2016). *Most efficient solar panels 2016*. Recuperado de <http://www.theecoexperts.co.uk/which-solar-panels-are-most-efficient>
- [10] La Nación (2016, 21 de Abril). *Costa Rica duplica generación de energía con viento en 5 años*. Recuperado de http://www.nacion.com/nacional/servicios-publicos/Pais-duplica-generacion-energia-viento_0_1556044410.html
- [11] La Nación (2014, 25 de Noviembre). *Vehículos producen mitad de emisiones de gases de Costa Rica*. Recuperado de http://www.nacion.com/vivir/ambiente/Vehiculos-generan-mitad-emisiones-gases_0_1453454668.html
- [12] Research Gate (2014). *Electric vehicle's electricity consumption on a road with different slope* Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437114000831>
- [13] York University (2016). *Sustainable Energy Initiative | York University* Recuperado de <http://sei.info.yorku.ca/>
- [14] National Centers for Environmental Information (2016). *NCEI Geomagnetic Calculators*. Recuperado de <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#declination>
- [15] Gobierno de Canadá (2016, 29 de Septiembre). *RETScreen*. Recuperado de <http://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465>
- [16] Nordic Folkecenter for Renewable Energy (2016). *Electric Bikes*. Recuperado de http://www.folkecenter.net/gb/rd/transport/two-three-wheels/electrical_bikes/
- [17] Nordic Folkecenter for Renewable Energy (2013). *E-Mobility Center* [Brochure]. Recuperado de: www.folkecenter.net
- [18] SolarGis (2016). *Solargis apps*. Recuperado de <http://solargis.info/>
- [19] La Nación (2013, 04 de Agosto). *Conozca los pro y contras de los vehículos eléctricos e híbridos*. Recuperado de http://www.elfinancierocr.com/negocios/vehiculos_electricos-vehiculos_hibridos-Toyota-Reva_0_346765342.html
- [20] El Financiero (2016, 25 de Febrero). *Luz verde a energía solar*. Recuperado de https://www.larepublica.net/noticia/luz_verde_a_energia_solar/

- [21] El Mundo CR (2016, 28 de Abril). *Proyecto de Ley exonerará de impuestos y marchamo a vehículos eléctricos*. Recuperado de <http://www.elmundo.cr/proyecto-ley-exonerara-impuestos-marchamo-vehiculos-electricos-5-anos/>
- [22] La Nación (2013, 06 de Julio). *Carros híbridos y eléctricos se abren paso en Costa Rica*. Recuperado de http://www.nacion.com/economia/Carros-hibridos-electricos-Costa-Rica_0_1352064817.html
- [23] Hammond Manufacturing (2017). *Electrical Enclosures*. Recuperado de <https://www.hamfmg.com/electrical>
- [24] AdvanSolar (s. f.). *Bornes de recharge solaires pour véhicules électriques*. Recuperado de <http://www.advansolar.com/>