

ISSN 2523-6881

Volumen 4, Número 12 — Enero — Junio — 2020

Revista de
Energías
Renovables

ECORFAN®

ECORFAN-Perú®

Editor en Jefe

SERRANO-PACHECO, Martha. PhD

Directora Ejecutiva

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Diseñador Web

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

Diagramador Web

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Asistente Editorial

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

Traductor

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

Filóloga

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

Revista de Energías Renovables, Volumen 4, Número 12, de Enero a Junio 2020, es una revista editada semestralmente por Ecorfan-Perú. La Raza Av. 1047 No.-Santa Ana, Cusco-Perú. Postcode: 11500. WEB: www.ecorfan.org/republicofperu, revista@ecorfan.org. Editora en Jefe: SERRANO-PACHECO, Martha. PhD. ISSN: 2523-6881. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática Ecorfan. ESCAMILLA-BOUCHÁN Imelda, LUNA-SOTO, Vladimir, actualizado al 30 de Junio 2020.

Las opiniones expresadas por los autores no reflejan necesariamente las opiniones del editor de la publicación.

Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin permiso del Instituto Nacional de defensa de la competencia y protección de la propiedad intelectual.

Revista de Energías Renovables

Definición del Research Journal

Objetivos Científicos

Apoyar a la Comunidad Científica Internacional en su producción escrita de Ciencia, Tecnología en Innovación en el Área de Ingeniería y Tecnología, en las Subdisciplinas Energía solar y sus aplicaciones, Energías renovables y el cambio climático, Impacto ambiental, Plantas hidroeléctricas, Energías renovables contaminantes, Energía eólica, Energía geotérmica en el mundo

ECORFAN-México S.C es una Empresa Científica y Tecnológica en aporte a la formación del Recurso Humano enfocado a la continuidad en el análisis crítico de Investigación Internacional y está adscrita al RENIECYT de CONACYT con número 1702902, su compromiso es difundir las investigaciones y aportaciones de la Comunidad Científica Internacional, de instituciones académicas, organismos y entidades de los sectores público y privado y contribuir a la vinculación de los investigadores que realizan actividades científicas, desarrollos tecnológicos y de formación de recursos humanos especializados con los gobiernos, empresas y organizaciones sociales.

Alentar la interlocución de la Comunidad Científica Internacional con otros centros de estudio de México y del exterior y promover una amplia incorporación de académicos, especialistas e investigadores a la publicación Seriada en Nichos de Ciencia de Universidades Autónomas - Universidades Públicas Estatales - IES Federales - Universidades Politécnicas - Universidades Tecnológicas - Institutos Tecnológicos Federales - Escuelas Normales - Institutos Tecnológicos Descentralizados - Universidades Interculturales - Consejos de CyT - Centros de Investigación CONACYT.

Alcances, Cobertura y Audiencia

Revista de Energías Renovables es un Research Journal editado por ECORFAN-México S.C en su Holding con repositorio en Perú, es una publicación científica arbitrada e indizada con periodicidad trimestral. Admite una amplia gama de contenidos que son evaluados por pares académicos por el método de Doble-Ciego, en torno a temas relacionados con la teoría y práctica de la Energía solar y sus aplicaciones, Energías renovables y el cambio climático, Impacto ambiental, Plantas hidroeléctricas, Energías renovables contaminantes, Energía eólica, Energía geotérmica en el mundo con enfoques y perspectivas diversos, que contribuyan a la difusión del desarrollo de la Ciencia la Tecnología e Innovación que permitan las argumentaciones relacionadas con la toma de decisiones e incidir en la formulación de las políticas internacionales en el Campo de las Ingeniería y Tecnología. El horizonte editorial de ECORFAN-México® se extiende más allá de la academia e integra otros segmentos de investigación y análisis ajenos a ese ámbito, siempre y cuando cumplan con los requisitos de rigor argumentativo y científico, además de abordar temas de interés general y actual de la Sociedad Científica Internacional.

Consejo Editorial

CASTILLO - TÉLLEZ, Beatriz. PhD
University of La Rochelle

CERCADO - QUEZADA, Bibiana. PhD
Intitut National Polytechnique Toulouse

FERNANDEZ - ZAYAS, José Luis. PhD
University of Bristol

HERNANDEZ - ESCOBEDO, Quetzalcoatl Cruz. PhD
Universidad Central del Ecuador

RIVAS - PEREA, Pablo. PhD
University of Texas

ROCHA - RANGEL, Enrique. PhD
Oak Ridge National Laboratory

RODRÍGUEZ - MORALES, José Alberto. PhD
Universidad Politécnica de Madrid

VAZQUEZ - MARTINEZ, Ernesto. PhD
University of Alberta

VEGA - PINEDA, Javier. PhD
University of Texas

RODRIGUEZ - ROBLEDO, Gricelda. PhD
Universidad Santander

Comité Arbitral

CASTILLO - QUIÑONES, Javier Emmanuel. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

CASTILLO - TÉLLEZ, Margarita. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

DURÁN - MEDINA, Pino. PhD
Instituto Politécnico Nacional

FLORES - RAMÍREZ, Oscar. PhD
Universidad Politécnica de Amozoc

GÓMEZ - MERCADO, Abdiel
Instituto Tecnológico de Pachuca

HERNÁNDEZ - GÓMEZ, Víctor Hugo. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

HERRERA - ROMERO, José Vidal. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

MEJIAS - BRIZUELA, Nildia Yamileth. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

PÉREZ - ROBLES, Juan Francisco. PhD
Instituto Tecnológico de Saltillo

AGUILAR - VIRGEN, Quetzalli. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

RAMÍREZ - COUTIÑO, Víctor Ángel. PhD
Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica

Cesión de Derechos

El envío de un Artículo a Revista de Energías Renovables emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Artículo.

Los autores firman el Formato de Autorización para que su Artículo se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding Perú considere pertinentes para divulgación y difusión de su Artículo cediendo sus Derechos de Obra.

Declaración de Autoría

Indicar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en la participación del Artículo y señalar en extenso la Afiliación Institucional indicando la Dependencia.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo con el Número de CVU Becario-PNPC o SNI-CONACYT- Indicando el Nivel de Investigador y su Perfil de Google Scholar para verificar su nivel de Citación e índice H.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en los Perfiles de Ciencia y Tecnología ampliamente aceptados por la Comunidad Científica Internacional ORC ID - Researcher ID Thomson - arXiv Author ID - PubMed Author ID - Open ID respectivamente

Indicar el contacto para correspondencia al Autor (Correo y Teléfono) e indicar al Investigador que contribuye como primer Autor del Artículo.

Detección de Plagio

Todos los Artículos serán testeados por el software de plagio PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se mandará a arbitraje y se rescindirá de la recepción del Artículo notificando a los Autores responsables, reivindicando que el plagio académico está tipificado como delito en el Código Penal.

Proceso de Arbitraje

Todos los Artículos se evaluarán por pares académicos por el método de Doble Ciego, el arbitraje Aprobatorio es un requisito para que el Consejo Editorial tome una decisión final que será inapelable en todos los casos. MARVID® es una Marca de derivada de ECORFAN® especializada en proveer a los expertos evaluadores todos ellos con grado de Doctorado y distinción de Investigadores Internacionales en los respectivos Consejos de Ciencia y Tecnología el homólogo de CONACYT para los capítulos de America-Europa-Asia-Africa y Oceanía. La identificación de la autoría deberá aparecer únicamente en una primera página eliminable, con el objeto de asegurar que el proceso de Arbitraje sea anónimo y cubra las siguientes etapas: Identificación del Research Journal con su tasa de ocupamiento autoral - Identificación del Autores y Coautores- Detección de Plagio PLAGSCAN - Revisión de Formatos de Autorización y Originalidad-Asignación al Consejo Editorial- Asignación del par de Árbitros Expertos-Notificación de Dictamen-Declaratoria de Observaciones al Autor-Cotejo de Artículo Modificado para Edición-Publicación.

Instrucciones para Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

Área del Conocimiento

Los trabajos deberán ser inéditos y referirse a temas de Energía solar y sus aplicaciones, Energías renovables y el cambio climático, Impacto ambiental, Plantas hidroeléctricas, Energías renovables contaminantes, Energía eólica, Energía geotérmica en el mundo y a otros temas vinculados a las Ingeniería y Tecnología.

Presentación del Contenido

Como primer artículo presentamos, *Estudio del Contenido en gel del Material Encapsulante EVA, como una Medida de Calidad del Proceso de Laminación de Módulos Fotovoltaicos*, por SALAZAR-PERALTA, Araceli, PICHARDO-SALAZAR, José Alfredo, PICHARDO-SALAZAR, Ulises, con adscripción en el Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios No. 161 y el Centro de Estudios Tecnológicos Industrial y de Servicios No. 23, como segundo artículo presentamos, *Huella de carbono de una pavimentación con la metodología del ACV y SIMAPRO*, por ACEVES-GUTIERREZ, Humberto, LÓPEZ-CHÁVEZ, Oscar, MERCADO-IBARRA, Santa Magdalena y AREVALO-RAZO, José Luis, con adscripción en el Instituto Tecnológico de Sonora, como tercer artículo presentamos, *Eficiencia energética con Generación Distribuida Fotovoltaica (GD-PV); Caso de una Congeladora de Pescados y Mariscos en Campeche, México*, por CHAN-GONZALEZ, Jorge J., SHIH, Meng Yen, LEZAMA-ZÁRRAGA, Francisco, NOH-PAT, Felipe, con adscripción en la Universidad Autónoma de Campeche, como último artículo presentamos, *Monitoreo de instalación fotovoltaica usando bus CAN*, por LUJÁN-RAMÍREZ, Carlos Alberto, SANDOVAL-GÍO, Jesús, MORENO-SABIDO, Mario Renán, y ATOCHE-ENSEÑAT, José Ramón, con adscripción en el Instituto Tecnológico de Mérida.

Contenido

Artículo	Página
Estudio del Contenido en gel del Material Encapsulante EVA, como una Medida de Calidad del Proceso de Laminación de Módulos Fotovoltaicos SALAZAR-PERALTA, Araceli, PICHARDO-SALAZAR, José Alfredo, PICHARDO-SALAZAR, Ulises <i>Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán</i> <i>Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios No. 161</i> <i>Centro de Estudios Tecnológicos Industrial y de Servicios No. 23</i>	1-7
Huella de carbono de una pavimentación con la metodología del ACV y SIMAPRO ACEVES-GUTIERREZ, Humberto, LÓPEZ-CHÁVEZ, Oscar, MERCADO-IBARRA, Santa Magdalena y AREVALO-RAZO, José Luis <i>Instituto Tecnológico de Sonora</i>	8-20
Eficiencia energética con Generación Distribuida Fotovoltaica (GD-PV); Caso de una Congeladora de Pescados y Mariscos en Campeche, México CHAN-GONZALEZ, Jorge J., SHIH, Meng Yen, LEZAMA-ZÁRRAGA, Francisco, NOH-PAT, Felipe <i>Universidad Autónoma de Campeche</i>	21-31
Monitoreo de instalación fotovoltaica usando bus CAN LUJÁN-RAMÍREZ, Carlos Alberto, SANDOVAL-GÍO, Jesús, MORENO-SABIDO, Mario Renán, y ATOCHE-ENSEÑAT, José Ramón <i>Instituto Tecnológico de Mérida</i>	32-40

Estudio del Contenido en gel del Material Encapsulante EVA, como una Medida de Calidad del Proceso de Laminación de Módulos Fotovoltaicos

Study of the Gel Content of the EVA Encapsulant Material, as a Measure of the Quality of the Lamination Process of Photovoltaic Modules

SALAZAR-PERALTA, Araceli^{1†*}, PICHARDO-SALAZAR, José Alfredo², PICHARDO-SALAZAR, Ulises³

¹Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, Carretera Toluca Atlacomulco km 44.8, Ejido de San Juan y San Agustín, Jocotitlán, México.

²Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios No. 161, Exhacienda la Laguna S/N Barrio de Jesús 2a Sección, San Pablo Autopan, Toluca. Estado de México

³Centro de Estudios Tecnológicos Industrial y de Servicios No. 23. Avenida, Del Parque s/n, 52000 Lerma de Villada, México.

ID 1^{er} Autor: Araceli, Salazar-Peralta / ORC ID: 0000-0001-5861-3748, Researcher ID Thomson: U-2933-2018, CVU CONACYT ID: 30 0357

ID 1^{er} Cautor: José Alfredo, Pichardo-Salazar / ORC ID: 0000-0002-8939-9921

ID 2^{do} Coautor: Ulises, Pichardo-Salazar / ORC ID: 0000-0002-3758-2038

DOI: 10.35429/JRE.2020.12.4.1.7

Recibido 16 de Marzo, 2020; Aceptado 30 Junio, 2020

Resumen

El contenido en gel, es un ensayo que pone a prueba la resistencia del material de la capa de encapsulado del módulo, asegurando que las vías de conducción de corriente de las células queden aisladas herméticamente de las inclemencias ambientales. Para garantizar una buena laminación de un módulo fotovoltaico y por lo tanto, una larga vida útil del mismo es necesario que el grado de curado del encapsulante se encuentre entre el 65% - 90%. El objetivo de este trabajo fue estudiar el contenido en gel del EVA, después del laminado. La determinación del contenido en gel se realizó por medio del método de ensayo del proveedor EVASA, tomando muestras de EVA, después del proceso de laminación de los módulos fotovoltaicos. Los resultados obtenidos fueron de 73 a 96%. Se concluye que el contenido en gel es un parámetro que sirve para garantizar el proceso de laminación, ya que en el proceso de curado se forman enlaces químicos transversalmente entre las moléculas largas del EVA, las cuales antes de la reacción se encuentran unidas entre sí débilmente. Los porcentajes de contenido en gel, significan el porcentaje de EVA en el que ha tenido lugar dicha reacción.

EVA, Laminación, Contenido en gel, Módulo Fotovoltaico

Abstract

The gel content is a test that tests the resistance of the material of the module encapsulation layer, ensuring that the current conduction pathways of the cells are hermetically isolated from the inclement weather. In order to guarantee a good lamination of a photovoltaic module and therefore, a long service life of the same it is necessary that the degree of curing of the encapsulant be found between 65% - 90%. The objective of this work was to study the gel content of the EVA, after rolling. The gel content was determined using the EVASA supplier test method, taking EVA samples, after the lamination process of the photovoltaic modules. The results obtained were 73 to 96%. It is concluded that the gel content is a parameter that serves to guarantee the lamination process, since in the curing process chemical bonds are formed transversely between the long molecules of the EVA, which are weakly bound together before the reaction. The percentages of gel content, mean the percentage of EVA in which said reaction took place.

EVA, Lamination, Gel content, Photovoltaic module

Citación: SALAZAR-PERALTA, Araceli, PICHARDO-SALAZAR, José Alfredo, PICHARDO-SALAZAR, Ulises. Estudio del Contenido en gel del Material Encapsulante EVA, como una Medida de Calidad del Proceso de Laminación de Módulos Fotovoltaicos. Revista de Energías Renovables. 2020. 4-12: 1-7

*Correspondencia al Autor (correo electrónico: araceli.salazar@tesjo.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Los módulos fotovoltaicos están formados por una estructura tipo “sándwich”, compuesta por una capa protectora superior de vidrio, un gel siliconado de Etilen Vinil Acetato (EVA), resistente a la radiación ultravioleta con una alta transparencia, la celda fotovoltaica, el gel siliconado posterior, y una capa protectora colocada en el reverso conformada por una lámina TEDLAR (Fluoruro de polivinilo) PVF. La capa de EVA es afectada por su prolongada exposición a la radiación solar lo cual hace que sus propiedades ópticas, en especial su transmitancia cambie. Su función es la unión de los diferentes componentes y la protección de las células. Las propiedades requeridas son; buena transmisión a la radiación solar, estabilidad a altas temperaturas, alta resistividad, baja absorción de la humedad, alta resistencia a los rayos UV y elevada adherencia.

El proceso de laminación consiste en hacer un compacto de todos los materiales sin aire en su interior y con las capas de los distintos materiales adheridas entre sí. Se emplean equipos llamados ‘laminadoras’ que realizan un ciclo de calentamiento, vacío y presión para conseguir tal fin. El conjunto de materiales de laminación se coloca en una plataforma caliente (145°C) y se cierra la tapa del laminador quedando un sándwich, al mismo tiempo que se calienta se va haciendo el vacío. Cuando se alcanza el nivel de vacío deseado, baja un diafragma que hace presión sobre los materiales de laminación prensándolos.

El Etileno Vinil Acetato (EVA) es un copolímero termoplástico que consta de unidades repetitivas de acetato de vinilo y etileno, con presencia de grupos polares en su estructura, caracterizado por un fácil procesamiento, alta adhesión, buena flexibilidad y compatibilidad. De esta manera, la compatibilidad con otros polímeros, ceras, resinas, cargas, entre otros, depende del contenido de acetato de vinilo (VA) y del índice de fluidez, evidenciando una mejor compatibilidad aquellos con índice de fluidez elevado.

El contenido de acetato de vinilo está estrechamente relacionado con las propiedades del producto final del EVA, y puede encontrarse entre el 1 y el 28%, principalmente dependiendo del tipo de aplicación o uso al que esté destinado.

Sin embargo, el contenido promedio de acetato de vinilo en el copolímero es de 18%, con el fin de obtener un expandido con buena procesabilidad y versatilidad.

La síntesis a nivel industrial del copolímero EVA se retorna a hace aproximadamente 40 años, mediante la reacción a alta presión entre sus monómeros, el etileno y el acetato de vinilo (VA). La obtención de EVA por primera vez se remonta al año 1938 en los laboratorios de Dupont, en Estados Unidos, proceso que se dio únicamente a nivel experimental y del cual se tomó como referencia para la primera planta productora de EVA, surgida a principios del año 1960. Gracias a las propiedades que presentó el expandido, en la década de 1970 fue empleado en artículos como sandalias, por las ventajas significativas respecto a su densidad, fácil pigmentación y procesado, mayor durabilidad, costo competitivo y menor encogimiento. A partir de la década de 1980, se comenzó a utilizar en mayores aplicaciones como calzado deportivo, zapato casual, y diferentes partes como suelas, entresuelas, plantillas, piso, entre otras.

Principales propiedades. Cuando este copolímero es obtenido por el proceso de autoclave a alta presión, tiene como propiedades flexibilidad y suavidad, resistencia a bajas temperaturas, al agrietamiento, a la radiación UV y a la corrosión, y por su facilidad de ser prensado en caliente, es una resina con alta dureza y alta resistencia a la tracción. Las propiedades del E.V.A. dependen en gran medida del peso molecular y del contenido de acetato de vinilo. El incremento de acetato de vinilo produce que:

- La cristalinidad del EVA decrezca.
- La densidad del EVA aumente.
- El EVA se vuelva claro.
- El EVA se vuelva más flexible a bajas temperaturas.
- El EVA se vuelva más resistente al impacto.
- Si el contenido de acetato de vinilo es mayor a 50%, el EVA es amorfo y transparente Figura 1.

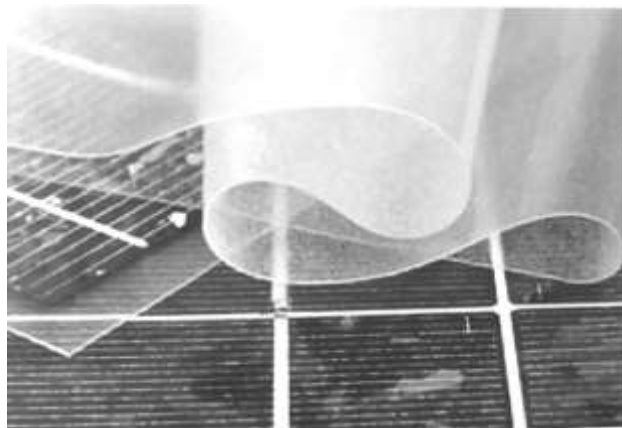


Figura 1 Película de Material EVA

Fuente: *Elaboración Propia*

Cuanto más porcentaje de acetato de vinilo (AV) mayor dilatación con calor.

Propiedades

- Excelentes propiedades ópticas
- Alta flexibilidad a bajas temperaturas
- Buena resistencia a la perforación y al impacto.
- Alta elasticidad y fácil procesamiento
- Buena resistencia a la flexión.
- Baja temperatura de contracción.
- Excelente aislante de ruidos.
- Buenas propiedades de absorción de vibración.
- Buena resistencia a la luz ultravioleta
- Alta resistencia mecánica con relación a su densidad.
- Excesiva plasticidad (cuando se estiran no se recuperan). (Marcillo Proaño, W. y Moreno Garrido, F. 2008).

En los módulos fotovoltaicos, la función del encapsulante EVA, es unir las células tanto con la cubierta frontal como con la posterior, de forma que el sándwich de materiales quede sellado Figura 2.



Figura 2 Estructura del panel

Fuente: *Elaboración Propia*

Además, de maximizar el acoplamiento óptico y proteger a las células de la humedad ya que constituye una barrera frente al oxígeno y vapor de agua. su índice de refracción está adaptado para minimizar la reflectancia producida en la interfaz. Asimismo relaja el estrés termomecánico, generado entre las células y la cubierta frontal.

El grado de curado se puede relacionar con el contenido en gel, siendo este el porcentaje de masa insoluble de la muestra. En este estudio, se utilizó EVA como encapsulante, a continuación se resumen las especificaciones que debe cumplir para que el grado de curado sea aceptable.

El encapsulante EVA inicialmente es un termoplástico, pero se le añade un agente de curado llamado peróxido para que pueda tener lugar el curado. Aunque no existen requerimientos del grado de curado estandarizados, los fabricantes recomiendan un nivel de curado que varía desde el 60% hasta el 90%. Es esencial superar el nivel mínimo de curado para garantizar una larga vida útil del módulo fotovoltaico.

Con el fin de comprobar que el grado de curado es suficiente, es necesario realizar el ensayo químico del contenido en gel del EVA una vez laminado. El cual se puede medir por (Extracción Soxhlet, DSC, etc.). El EVA que está curado no se disuelve, ya que es insoluble en el disolvente de dihidroxitolueno.

Descripción del Método

La forma tradicional de medir el grado de curado del encapsulante es utilizando el método primario (extracción Soxhlet). Las desventajas de este método son la necesidad del uso de sustancias tóxicas como el tolueno y la duración del ensayo, ya que se necesitan varios días para su realización. Para medir el grado de curado de una manera más rápida y sencilla, se utiliza el método secundario (DSC, etc.). Sin embargo, hay que tener en cuenta que el método secundario debe calibrarse con el método primario. El método primario consiste en procesar el EVA en un disolvente, de manera que el EVA que está curado no se disuelva ya que es insoluble en cualquier disolvente. Por lo tanto, para calcular el grado de curado, se divide la cantidad de residuo insoluble entre la masa inicial.

Es importante que desde que se haya realizado la laminación hasta que se haga el ensayo haya transcurrido el menor tiempo posible, periodo inferior a un día para que los resultados sean fiables, ya que con el paso del tiempo el peróxido que contiene el EVA se degrada. Por ello, desde la laminación hasta realizar el análisis de las muestras no deberán pasar más de 24 horas, las muestras deben de almacenarse en ambientes secos, con una humedad relativa inferior al 50%, a temperatura ambiente y en la oscuridad.

La persona que esté en contacto o que manipule las muestras tiene que usar guantes limpios para evitar contaminar las muestras. La metodología del laminado en este estudio fue la siguiente:

Laminado

- 1.1 Se conectó la laminadora a la fuente de energía.
- 1.2 Se colocaron las condiciones del laminado: temperatura $145\pm 3^{\circ}\text{C}$, vacío (tiempo de evacuación de 5 a 8 minutos, tiempo de prensado (6 a 8 minutos)).
- 1.3 Se introdujo el módulo en la laminadora Marca Spire.
- 1.4 Se evacuó el módulo durante 7 minutos.
- 1.5 El prensado se realizó durante 8'30 minutos.
- 1.6 El proceso completo del laminado del módulo fotovoltaico, se realizó a 145°C y durante 15'30 minutos. Figura 3.

Enseguida se resume el proceso:

El proceso completo de la laminación consistió en hacer un compacto de todos los materiales sin aire en su interior y con las capas de los distintos materiales adheridas entre sí, para ello se realizó un ciclo de calentamiento, vacío y presión. El conjunto de materiales de laminación se colocó en una plataforma caliente (145°C) y se cerró la tapa del laminador quedando un sándwich, al mismo tiempo que se calentó, se fue haciendo el vacío. Cuando se alcanzó el nivel de vacío deseado, se bajó el diafragma que hizo presión sobre los materiales de laminación prensándolos.



Figura 3 Cámara de proceso del Laminador marca Spire
Fuente: *Elaboración Propia*

- 1.7 Finalmente, se determinó el porcentaje de contenido en gel de acuerdo al siguiente procedimiento del proveedor EVASA.

Determinación del contenido en gel (EVASA)

Este ensayo pone a prueba la resistencia del material de la capa de encapsulado del módulo, asegurando que las vías de conducción de corriente de las células queden aisladas herméticamente de las inclemencias ambientales. En esta prueba se determinó el contenido en cinco puntos diferentes del módulo para sacar un promedio. El procedimiento fue el siguiente:

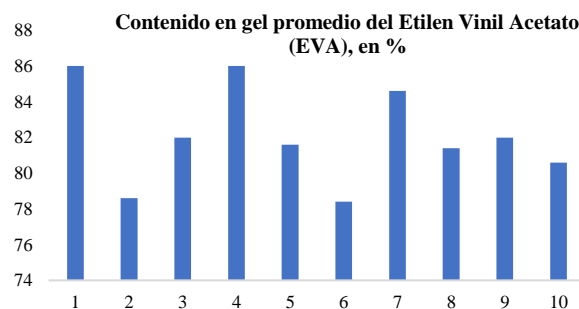
- 1.7.1 Se encendió el horno marca Memmert, y se ajustó a 105°C .
- 1.7.2 Se introdujeron en el horno los frascos de vidrio con sus respectivas tapas y papeles filtro (Whatman No.51) para cada muestra durante 2 horas
- 1.7.3 Se sacaron de la estufa los frascos, con los filtros y tapas y se colocaron en un desecador de vidrio.
- 1.7.4 Se tomaron muestras de EVA de 10 x10 cm en 5 puntos del laminado.
- 1.7.5 De cada sección se pesó 1 gramo de EVA y se registró como (W1).
- 1.7.6 Se prepararon 100 ml de tolueno para cada muestra.
- 1.7.7 Se pesaron 0.0865 gramos de Butil Hidroxi Tolueno (BHT).
- 1.7.8 Se disolvió el BHT en los 100 ml de Tolueno.
- 1.7.9 Se introdujeron las muestras de EVA en la disolución de tolueno y BHT, y se taparon los frascos.
- 1.7.10 Se colocaron los frascos en la estufa a $60^{\circ}\text{C} (\pm 5)$ durante 24 horas.

- 1.7.11 Tras 24 horas se retiraron los frascos de la estufa, y se quitaron sus respectivas tapas y dejaron reposar durante 1 hora.
- 1.7.12 Se pesaron cada uno de los papeles filtro y se registró el peso (W2).
- 1.7.13 En el área de campana de extracción de gases, se colocó un embudo de vidrio sobre un Matraz de Erlenmeyer de 1000 ml y se puso el papel filtro sobre el embudo y se filtraron cada una de las muestras por separado.
- 1.7.14 Se colocó una temperatura de 105°C en el horno y se secaron las muestras con el papel filtro respectivo.
- 1.7.15 Se sacaron las muestras con el papel filtro y se colocaron en un desecador
- 1.7.16 Se pesó el residuo junto con el papel filtro y se registró el peso (W3).
- 1.7.17 Se calculó el porcentaje de contenido en gel. Ec. 1

$$\% \text{ contenido en gel} = \frac{w3-w2}{w1} \times 100 \quad (1)$$

Resultados

- 1.8 Como puede observarse en la tabla 1, la temperatura de la laminadora durante las pruebas osciló de 143 a 147°C, hubo una variación $\pm 2^\circ\text{C}$, de acuerdo a la temperatura establecida para la prueba de 145°C. El tiempo se mantuvo en 15'30 en todos los ensayos.
- 1.9 El porcentaje de contenido en Gel en todo el estudio, osciló de 73 a 96%, valores dentro de especificación de acuerdo a lo establecido por el proveedor del EVA. Tabla 1.
- 1.10 El valor promedio de contenido en gel de todo el estudio se encontró dentro de especificación, entre 78.4 a 86%. Valores que indican que el proceso de curado del EVA fue adecuado, ya que en el proceso de curado se lleva a cabo una reacción química en la cual se forman enlaces químicos transversalmente entre las moléculas largas del EVA, las cuales antes de la reacción se encuentran unidas entre sí débilmente. Tabla 1, Gráfica 1.



Gráfica 1 Contenido en gel promedio del EVA

Fuente: Elaboración Propia

Muestra	Contenido en gel (%)	Contenido en gel (%) Promedio	Condiciones de laminación
1	86, 96, 83, 80, 85	86	Laminador 1 a 145°C, durante 15'30 minutos
2	76, 75, 73, 73, 96,	78.6	Laminador 1 a 146°C, 16 minutos
3	81, 82, 84, 86, 77	82	Laminador 1 a 143°C, 15'30"
4	86, 83, 87, 87, 87	86	Laminador 1 147°C, 15'30
5	79, 83, 79, 84, 83	81.6	Laminador 1 145°C, 15'30
6	79, 78, 77, 77, 81	78.4	Laminador 1. 145°C, 15'30
7	85, 83, 84, 85 86	84.6	Laminador 1. 145°C, 15'30
8	79, 83, 79, 83, 83	81.4	Laminador 1. 145°C, 15'30
9	82, 84, 82, 81, 81	82	Laminador 1. 145°C, 15'30
10	81, 79, 80, 82, 81.	80.6	Laminador 1. 145°C, 15'30

Tabla1Contenido en gel del EVA, después del proceso de laminación

Fuente: Elaboración Propia

Agradecimiento

Al Centro de vinculación Academia Industria (CCAI), del Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán.

Conclusiones

Se logró el procesamiento de laminación del módulo fotovoltaico con buena calidad, a la temperatura de 145°C durante 15'30 minutos, lo cual se pudo estudiar por medio de la determinación del contenido en gel del material encapsulante de Etilen vinil acetato, y por medio de un estudio visual, en el cual no se observaron burbujas en el material.

De este estudio se concluye que el proceso de laminación es un factor clave para asegurar que los módulos fotovoltaicos queden herméticamente sellados, lo cual contribuye directamente en la protección de sus componentes de las condiciones ambientales a las cuales estarán sujetos durante su vida útil.

Un buen proceso de laminación del módulo asegura la vida útil del módulo fotovoltaico en funcionamiento.

El contenido en gel es una medida eficiente para asegurar un buen proceso de laminación el cual se relaciona de forma directa con la vida útil del módulo fotovoltaico.

Después del laminado el Módulo fotovoltaico, no presentó burbujas las cuales pueden generar fisuras, esto indica que el proceso de laminación con el EVA fue bueno.

Este estudio sirvió para determinar que la eficiencia y calidad del producto fueron buenos, ya que el módulo fotovoltaico después del laminado fue sujeto a una prueba de degradación de choques térmicos y medición de potencia, antes y después del ensayo obteniéndose una variación del 3%.

Referencias

A. Gabor, M. Ralli, S. Montminy, L. Alegria, C. Bordonaro, J. Woods, L. Felton, "Soldering induced damage to thin Si solar cells and detection of cracked cells in modules," Proceedings of the 21st EUPVSEC, Dresden, Germany, 2006, pp. 2042– 2047

A. W. Czanderna and F. J. Pern, Encapsulation of PV modules using ethylene vinyl acetate copolymer as a pottant: a critical review, Solar Energy Material and Solar Cells, vol. 43, pp.101-181, 1996.

A. Ketola, K. R. McIntosh, A. Norris, and M. K. Tomalia, Silicones for photovoltaic encapsulation: In: Proceedings of the 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Feria Valencia, Spain, pp. 2969-2973, WIP-Munich, 2008.

BGI Research, Ethylene vinyl acetate (EVA) global market to 2015 -photovoltaic encapsulants to drive EVA demand in the future, 2011.

G. Oreski and G. M. Wallner, Aging mechanisms of polymeric films for PV encapsulation, Solar Energy, vol. 79, pp. 612-617, 2005.

H. Schmidhuber and K. Krannich, Why using EVA for module encapsulant if there is a much better choice? In: Proceeding of the 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Munich, Germany, pp. 662-663, 2001.

I. Kunze, S. Kajari-Schröder, X. Breitenmoser, B. Bjørneklett, "Quantifying the risk of power loss in PV modules due to micro cracks," Solar Energy Materials and Solar Cells 95, 2011, pp. 1131-1137.

Manuel Fernández Barrera. (2010). Energía Solar: Energía Fotovoltaica. Madrid: Liberfactory.

Marcillo Proaño, W. y Moreno Garrido, F. (2008). Diseño y Construcción de una Matriz para Fabricar Material Didáctico en Goma E.V.A. (Etil Vinil Acetato). F. J. Pern, Factors that affect the EVA encapsulant discoloration rate upon accelerated exposure, Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 41-42, pp.587-615, 1996.

M. Sander, S. Dietrich, M. Pander, M. Ebert, M. Karraß, R. Lippmann, M. Broddack and D. Wald, "Influence of manufacturing processes and sub-sequent weathering on the occurrence of cell cracks in PV modules," Pro-ceedings of the 28th EUPVSEC, Paris, France, 2013, pp. 3275-3279

R. F. M. Lange, Y. Luo, R. Polo, and J. Zahnd, The lamination of (multi) crystalline and thin film based photovoltaic modules, Progress in Photovoltaics: Research and Applications, vol. 19, pp. 127-133, 2011.

R. Kahtri, S. Agarwal, I. Saha, S.K. Singh, B. Kumar, "Study on Long Term Reliability of Photovoltaic Modules and Analysis of Power Degradation Using Accelerated Aging Tests and Electroluminescence Technique," in: Proceedings of the 1st International Conference on Silicon Photovoltaics, Frei-burg, Energy Procedia 8, 2011, 396–401.

S. Kajari-Schroder, I. Kunze, U. Eitner, M. Kuntges, Spatial and orientational distribution of cracks in crystalline photovoltaic modules generated by mechanical load tests, Solar Energy Materials and Solar Cells 95 (2011) 3054–3059

Huella de carbono de una pavimentación con la metodología del ACV y SIMAPRO

Carbon footprint of a paving with the ACV and SIMAPRO methodology

ACEVES-GUTIERREZ, Humberto†*, LÓPEZ-CHÁVEZ, Oscar, MERCADO-IBARRA, Santa Magdalena y AREVALO-RAZO, José Luis

Instituto Tecnológico de Sonora

ID 1^{er} Autor: *Humberto, Aceves-Gutierrez* / ORC ID: 0000-0001-9916-3114, Researcher ID Thomson: F-8970-2018, CVU CONACYT ID: 2811581

ID 1^{er} Coautor: *Oscar, López-Chávez* / ORC ID: 0000-0002-0568-2763

ID 2^{do} Coautor: *Santa Magdalena, Mercado-Ibarra* / ORC ID: 0000-0002-4417-0736 Thomson: H-3386-2018, CVU CONACYT ID: 258533

ID 3^{er} Coautor: *José Luis, Arevalo-Razo* / ORC ID: 0000-0002-0553-7515, arXiv Author ID: cesarcq, CVU CONACYT ID: 972613

DOI: 10.35429/JRE.2020.12.4.8.20

Recibido 3 de Marzo, 2020; Aceptado Junio 30, 2020

Resumen

Las actividades que desarrolla el ser humano son las responsables de las emisiones de gases de efecto invernadero que calientan el planeta y generan el cambio climático. El gas más conocido es el CO₂, causante del 63% del calentamiento, el cual está generando consecuencias en los procesos esenciales de nuestra naturaleza, como el caso de los ecosistemas, como los humedales, están en riesgo de desaparecer, el aumento de la temperatura media y la disminución de las precipitaciones, el aumento del nivel del mar, la disminución de los hielos del Ártico. La industria de la construcción es una de las formas mediante la cual el ser humano contamina y una de ellas es debido al crecimiento urbano y la demanda de infraestructura urbano, como las vialidades de los fraccionamientos urbanos. Este estudio tiene como propósito la determinación de los KG-CO₂/M² y los impactos ambientales que se generan en la construcción de un pavimento de carpeta asfáltica en fraccionamiento en Ciudad Obregón Sonora empleando la metodología de Ciclo de Vida (ACV) y el software Simapro 9.0, usando los volúmenes de obra requeridos. Los resultados obtenidos de 13.62080 Kg-CO₂/M².

Carpeta asfáltica, Pavimento, GEI, KG-CO₂/M²

Abstract

The activities carried out by human beings are responsible for the greenhouse gas emissions that heat the planet and generate climate change. The best known gas is CO₂, causing 63% of warming, which is generating consequences in the essential processes of our nature, as in the case of ecosystems, such as wetlands, are at risk of disappearing, the increase in temperature Average and decreasing rainfall, rising sea levels, decreased Arctic ice. The construction industry is one of the ways in which human beings pollute and one of them is due to urban growth and the demand for urban infrastructure, such as urban subdivision roads. The purpose of this study is to determine the KG-CO₂ / M² and the environmental impacts that are generated in the construction of an asphalt pavement in urban Development in Ciudad Obregón Sonora using the Life Cycle (ACV) methodology and the Simapro software. 9.0, using the required construction volumes. The results obtained of 13.6280 Kg-CO₂ / M².

Asphalt binder, Pavement, GHG, KG-CO₂ / M²

Citación: ACEVES-GUTIERREZ, Humberto, LÓPEZ-CHÁVEZ, Oscar, MERCADO-IBARRA, Santa Magdalena y AREVALO-RAZO, José Luis. Huella de carbono de una pavimentación con la metodología del ACV y SIMAPRO. Revista de Energías Renovables. 2020. 4-12: 8-20

*Correspondencia al Autor (correo electrónico: haceves_itson@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La construcción es uno de los mayores consumidores de materias primas. El sector cementero es responsable de alrededor del 5% de las emisiones de CO₂, principal gas productor del efecto invernadero y cambio climático, ya que el concreto es el material de construcción más empleado en el mundo y que cada año, la industria del concreto emplea 1.6 billones de toneladas de cemento, y cada una de ellas en su fabricación, emite 1 tonelada de CO₂ a la atmósfera. Adicionalmente en el proceso de construcción es común el empleo de maquinaria pesada lo que genera también emisiones de dióxido de carbono, situación que también se presenta con el transporte de los materiales al lugar de la obra lo que constituye un 6-8% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero para una obra (Growingbuildings, 2017).

De la litósfera se extraen el 60% de los materiales que se emplean en la construcción, también el 50% de las emisiones de CO₂ a la atmósfera provienen de la construcción y uso de los edificios, el 40% de la energía primaria consumida en el planeta y el 75% de la electricidad se utiliza en edificaciones, el 20% del agua dulce es consumida en el uso de los edificios y el 60% de los residuos sólidos se producen en la construcción y destrucción de los edificios (Casanovas, 2009).

El sector de la construcción comercial y residencial representa el 39% del dióxido de carbono (CO₂) emitido a la atmósfera la vez que genera el 30% de los residuos sólidos y el 20% de la contaminación de las aguas. Por lo que podríamos concluir que la mitad del CO₂ expulsado a la atmósfera está relacionado con la construcción de edificios a lo largo de todas sus fases: construcción, uso y posterior demolición. En consecuencia, el sector de la construcción tiene que desempeñar un papel importante en la reducción de la amenaza del cambio climático. (Growingbuildings, 2017).

Para reducir el impacto ambiental del sector de la construcción es importante el uso de materiales que para fabricarlo no requieran la utilización de combustibles fósiles y se eviten las altas emisiones de carbono como por ejemplo la madera.

Entre los principales gases de efecto invernadero el que más preocupa es el dióxido de carbono por su responsabilidad en el cambio climático y de acuerdo con OECC (2013), la concentración de CO₂ (dióxido de carbono) en la atmósfera ha aumentado por la actividad humana, fundamentalmente por el uso de combustibles fósiles y la deforestación, con una menor contribución de la producción de cemento, también señala que las concentraciones actuales de CO₂, CH₄ (metano) y N₂O (óxido nitroso) exceden sustancialmente el rango de concentraciones registradas en los testigos de hielo durante los últimos 800.000 años y el ritmo de incremento de las concentraciones en la atmósfera de CO₂, CH₄ y N₂O en el pasado siglo XX no tiene precedente en los últimos 22.000 años, ya que estas han aumentado desde 1750, excediendo los niveles preindustriales en 40%, 150% y 20%, respectivamente (figura 1) y finalmente el pH del agua oceánica ha decrecido 0,1 desde el comienzo de la era industrial, que corresponde a un aumento del 26% de concentración de iones hidrógeno.

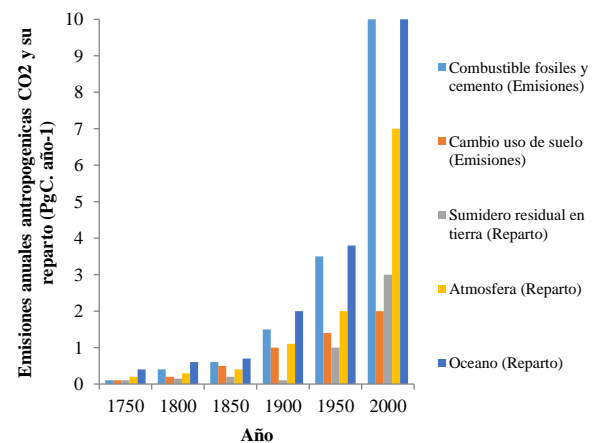


Figura 1 Emisiones anuales antropogénicas CO₂ y su reparto (PgC.año)

Fuente: OECC 2013

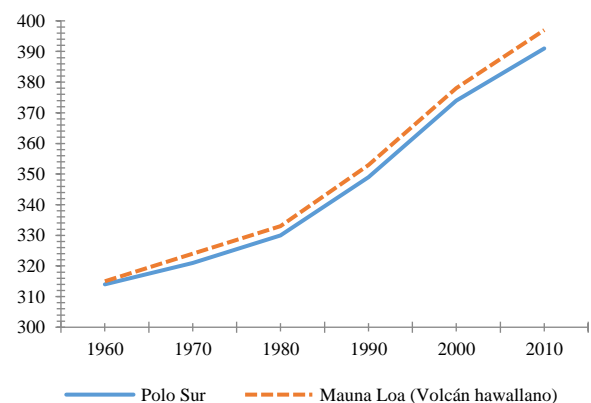


Figura 2 Evolución reciente de la concentración de CO₂ (ppm) en la atmósfera

Fuente: AEMA 2013

De acuerdo a la Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA), las posibilidades de evitar esta interferencia aumentan significativamente si nos situamos por debajo de 450 ppm de CO₂eq (Figura 2), las emisiones se han disparado desde mediados del siglo pasado, cuando había unas 310 ppm. Por tanto, el momento de actuar es ya, puesto que cada año que pasa sin hacerlo el problema se agrava y las soluciones se complican (y encarecen).

De acuerdo con la figura 3, las emisiones antropógenas totales de GEI han seguido aumentando entre 1970 y 2010 con mayores incrementos absolutos, entre 2000 y 2010, a pesar del creciente número de políticas de mitigación del cambio climático

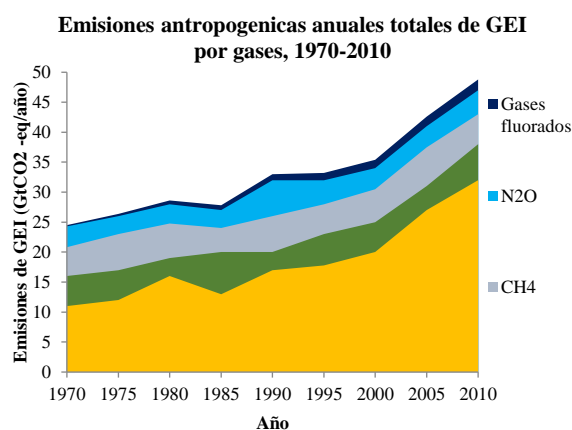


Figura 3 Emisiones antropógenas anuales totales de GEI por gases, 1970-2010
Fuente: IPCC 2015

Las emisiones de CO₂ procedente de la combustión de combustibles fósiles y los procesos industriales contribuyeron en torno al 78% del aumento total de emisiones de GEI de 1970 a 2010, con una contribución porcentual similar para el aumento experimentado durante el período de 2000 a 2010, provocado por el crecimiento económico y el demográfico continuaron siendo los motores más importantes de los aumentos en las emisiones de CO₂ derivadas de la quema de combustibles fósiles. (IPCC, 2015)

El impacto ambiental que las industrias tienen sobre el medio ambiente y los recursos naturales ha sido considerable, no tan sólo como resultado del crecimiento de la producción sino también gracias a que dicho crecimiento se concentró en sectores de alto impacto ambiental. (SEMARNAT, 2010).

La industria de la construcción incluye varias fuentes de contaminación que se pueden enmarcar en los distintos aspectos e impactos ambientales propios del sector económico y que modifican el componente abiótico de los ecosistemas, es decir, el suelo, el aire y el agua, Aparicio (2020), como los que se describen a continuación:

El suelo presenta alteración debido a los residuos que provienen que el vertido de desechos y escombros de la construcción con numerosos efectos negativos en el medio ambiente, entre otros: contaminación, utilización excesiva de materiales con la consecuente pérdida de recursos naturales, degradación de la calidad del paisaje y alteración de drenajes naturales, esto genera los impactos de acidificación, la eutrofización y eco toxicidad lo que provoca modificación generada al ecosistema (Acosta, 2002). Adicionalmente, el movimiento de tierra genera alteración de la geomorfología, la pérdida de cobertura vegetal ocasiona procesos de erosión más rápidos y en ocasiones, cuando se usan explosivos para excavaciones en la industria de la construcción, se pueden generar inestabilidad de los taludes (Arenas 2010).

En el aire ocurren alteraciones asociadas al polvo, el ruido, las emisiones de CO₂ derivadas del uso de combustibles fósiles, de minerales, trabajos de excavaciones, corte de taludes y operación de máquinas y herramientas, Medineckien, Kazimieras, Turskis (2010) resaltan que el uso de minerales como material de construcción genera finas partículas de polvo durante su proceso de degradación, de acuerdo con la dispersión, los más peligrosos de ellos son partículas duras de la clase 5°, las cuales no son detenidas por las vías respiratorias superiores de los humanos generando problemas en la membrana mucosa de la nariz, la tráquea, los bronquios, que despiertan reacciones inflamatorias y con el tiempo alteraciones crónicas y luego las personas contraen enfermedades de las vías respiratorias, como bronquitis, traqueítis y neumonía (esclerosis difusa de los pulmones).

Los combustibles fósiles (carbón, gas y petróleo) quemados para producir energía generan las emisiones que provocan cambios climáticos, ya que se libera el dióxido de carbono a las capas más bajas de la atmósfera donde se forma una barrera que atrapa el calor liberado por la tierra, generando lo que se conoce como efecto invernadero. Entre más dióxido de carbono hay en la atmósfera, más calor se acumula y este calentamiento provoca el cambio climático.

En relación con las consecuencias de los diferentes impactos ambientales en el aire algunos estudios han mostrado un importante número de casos de los efectos negativos del ozono, principalmente relacionados con el sistema respiratorio, como problemas en función pulmonar, crecimiento en el número de personas asmáticas, incremento de visitas a urgencias y los ingresos hospitalarios por problemas respiratorios (Ballester, 2005), esto debido a que la concentración de ozono en la atmósfera ha aumentado en casi ocho veces a la concentración atmosférica natural, generando dolor de cabeza, ardor en ojos, infecciones en la piel de las personas (Montaño & Sandoval, 2007).

La contaminación atmosférica se considera como cancerígena para las personas y se relaciona con el cáncer de pulmón, ahora un nuevo estudio epidemiológico publicado en *Environmental Health Perspectives* y desarrollado Turner, Krewski, Diver, Pope, Burnett, Jerret, Marshall, Gapstur (2017) quienes realizaron el seguimiento durante 22 años (de 1982 a 2004) a más de 600.000 personas adultas de Estados Unidos, que formaron parte del Estudio II de Prevención contra el Cáncer. El equipo científico relacionó la mortalidad por 29 tipos de cáncer con la exposición residencial a tres contaminantes ambientales: PM_{2,5}, dióxido de nitrógeno (NO₂) y ozono (O₃).

Las partículas PM_{2,5} se asociaron con la mortalidad por cáncer de riñón y vejiga, con un aumento del 14% y del 13%, respectivamente, por cada incremento de exposición de 4.4 µg/m³. Por otro lado, la exposición a NO₂ se asoció con la mortalidad por cáncer colorrectal, con un aumento del 6% por cada incremento de 6.5 ppb.

Según datos del Atlas Global del Carbono (2020), un proyecto de la red internacional de científicos Future Earth y la ONU, se obtuvo que en México se registraron 477 megatoneladas de dióxido de carbono (MtCO₂), por lo que es el país de América Latina que más emitió en 2018, según los datos más recientes, por delante de Brasil con 457MtCO₂ y 196 MtCO₂ de Argentina

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2012), existen pruebas contundentes de que las actividades humanas han transformado el clima mundial, provocando grandes y graves repercusiones en la salud pública, las cuales están relacionadas con los fenómenos meteorológicos catastróficos, la variabilidad de los climas, que afecta a los suministros de agua y alimentos, los cambios de la distribución de los brotes de enfermedades infecciosas o las enfermedades emergentes relacionadas con los cambios de los ecosistemas. Según la OMS ha estimado un número de muertes atribuible al cambio climático de 160,000 por año y considera que para el año 2050, las olas de calor serán más frecuentes y extremas en algunas zonas de Europa y América del Norte (González, Fernández & Gutiérrez, 2013).

Esta es la causa por la cual se considera muy importante buscar formas de reducir los gases efecto invernadero (GEI) en especial el CO₂ que es el más abundante después del vapor de agua.

Shen, Lu, Yao y Wu (2005) sostienen que la construcción es la principal fuente de contaminación ambiental en comparación con otras industrias, por otro lado, Bravo (2011) señala que el sector de la construcción genera el 36% de las emisiones de CO₂, en la comunidad económica europea y que es la industria que más energía que consume, más residuos genera y utilizando el 60% de los materiales que se extraen en el continente (Bravo, 2011).

Se ha informado que muy pocos desarrolladores privados y contratistas hacen esfuerzos por considerar al medioambiente y tomar en cuenta el reciclaje de los materiales de construcción y dan más importancia al tiempo de terminación de la obra. (Poon, Yu, Ng, 2001).

Zolfagharian, Nourbakhsh, Izary Ressay, Gheisari (2012) consideran que se debe de reforzar el nivel de conocimiento y la conciencia de todos aquellos que participan en los proyectos de obra, en los impactos ambientales negativos causados por los procesos de construcción. Gangoellés, Casals, Gassó, Forcada, Roca, Fuertes (2009), sostienen que al identificar los principales impactos medioambientales de los procesos de construcción se mejora la efectividad de los Sistemas de Gestión Ambiental en las organizaciones que lo tienen, sin embargo, los países desarrollados poseen pocos datos científicos sobre los impactos en el medioambiente producidos por los materiales de construcción y las tecnologías y es difícil tomar opciones informadas que conduzcan hacia la reducción de tales impactos (Pittet y Kotak, 2009).

Es por eso por lo que se debe tomar especial atención al sector de la construcción, para poder prever cuantas emisiones de CO₂ se podrían llegar a emitir.

Un fraccionamiento es la división de un predio en manzanas, lotes y/o súper manzanas que requiere del trazo y construcción de una o más vías públicas, así como la ejecución de obras de urbanización que le permitan la dotación de infraestructura, equipamiento y servicios urbanos, debiendo tener todos los lotes acceso a la vía pública (Secretaría de Infraestructura y Desarrollo Urbano, 2018).

En el estado de Sonora en 1990, el 79% de la población del estado vivía en localidades de 2 500 y más habitantes. En 2015, ese porcentaje fue de 87.4%, para una población de 2 millones 932 mil 821 habitantes (Ver Figura 4), según datos publicados por el INEGI (2016).

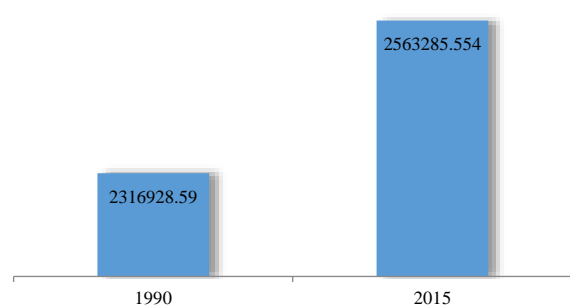


Figura 4 Crecimiento de la población urbana en Sonora
Fuente: INEGI 2016

El estado de Sonora se ha caracterizado por la concentración demográfica, producto de los flujos migratorios que han optado por buscar alternativas de mejores empleos e ingresos. Primero las actividades secundarias y ahora las terciarias han sido los principales atractivos de dichos movimientos demográficos, que se han alojado en ciertos puntos del territorio conocidos como centros de población.

Las ventajas de ubicación, así como la densidad y especialidad de las actividades no primarias han provocado diferenciados fenómenos de urbanización en el territorio. Este proceso de urbanización se ha caracterizado también por un intenso uso del suelo medido a través de la densidad de población (SIDUR, 2016).

La población que se concentra en localidades de más de 2,500 habitantes pasó de 451,003 habitantes en 1960, a 2'451,284 habitantes en 2015 quintuplicándose la población en estos 55 años. En términos relativos, la proporción de población estatal que se aloja en localidades mayores a 2,500 habitantes (grado de urbanización), se ha incrementado de 57% que se registró en 1960 a 87% en el año 2015, marcando una clara y creciente tendencia de urbanización.

De hecho, más de la mitad de la población de la entidad reside actualmente en ciudades mayores (figura 5) de 100,000 habitantes, con una proporción del 62% y cerca del 70% en localidades con poblaciones superiores a los 50,000 habitantes (Programa Sectorial de Infraestructura y Desarrollo Urbano Sustentable, 2016).

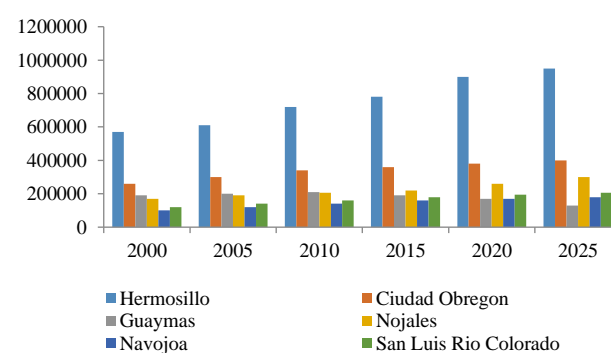


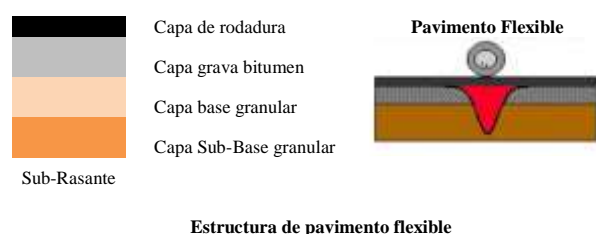
Figura 5 Crecimiento de la población en ciudades mayores a 100 000 habitantes

Fuente: Programa Sectorial de Infraestructura y Desarrollo Urbano Sustentables, 2016

Se entienden por infraestructura urbana las obras que dan el soporte funcional para otorgar bienes y servicios óptimos para el funcionamiento y satisfacción de la comunidad, son las redes básicas de conducción y distribución, como agua potable, alcantarillado sanitario, agua tratada, saneamiento, agua pluvial, energía eléctrica, gas y oleoductos, telecomunicaciones, así como la eliminación de basura y desechos urbanos sólidos (Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Chihuahua; Visión 2040, 2009).

Según el Reglamento de Edificaciones del municipio de Cajeme (2015), los desarrollos inmobiliarios, deberán tener las siguientes obras, vialidades, red de agua potable, red de alcantarillado sanitario, sistema para la conducción de aguas pluviales, entre otras obras. El pavimento en vialidades o calles se ha venido desarrollando conforme las necesidades y los descubrimientos de los materiales para construirlos, comenzando con la aparición de la piedra que utilizó el hombre debido a sus características, siendo Egipto, Grecia e Inglaterra las primeras en desarrollar métodos de pavimentación (Rama, 2006) y en 1905 fue cuando el concreto hidráulico empezó a utilizarse como material de pavimentación en los llamados pavimentos rígidos con el enfoque principal de crear caminos y rutas transitables para el transporte masivo entre las grandes ciudades del país (Patiño, Reyes, Camacho, 2015).

El Pavimento flexible (UNAM, 2010) es una capa de carpeta asfáltica proporcional a la superficie de rodamiento, donde las cargas de los vehículos van hacia las capas inferiores y se distribuyen por medio de fricción y cohesión de las partículas de los materiales; la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa. Las capas que forman un pavimento flexible son (Figura 5): carpeta asfáltica, base y sub-base, las cuales se construyen sobre la capa sub-rasante.



Estructura de pavimento flexible

Figura 6 Estructura de pavimento flexible
Fuente: UNAM 2009

En la investigación llevada a cabo se estudiaron trabajos previos relacionados con huella de carbono o las emisiones de CO₂ en la Industria de la Construcción donde destacan los siguientes: Evaluación del impacto ambiental de los pavimentos urbanos exteriores. Francalacci (2010), señala que los pavimentos pétreos de concreto in situ, son los que más ocasionan impacto ambiental (213 kgCO₂ / m², los empedrado con materiales pétreos los que menos impacto generan 14 kgCO₂eq / m²). Mercader, Ramírez, Olivares (2013) abordan un Modelo de cuantificación de las emisiones de CO₂ producidas en edificación derivadas de los recursos materiales consumidos en su ejecución, mientras que Güereca Carius Padilla, Herrera y Paz (2016) presentan un estudio relativo a la Evaluación de la Huella de Carbono con enfoque de Análisis de Ciclo de Vida para 12 Sistemas Constructivos de muros en los cuales encontraron que Muro de concreto de 10 cm espesor produce 139.67 Kg-CO₂ eq/m², mientras que el muro de block hueco o 15x20x40 63.11 Kg-Co₂ eq/m², y finalmente Hoyos (2018) en su estudio de determinación de la huella de carbono en la construcción de 3 tipos de Muro, aplicada a casas de interés social, México-Puebla.

De la misma manera se encontró información documentada respecto a las metodologías existentes para la determinación del cálculo de la huella de carbono o emisiones de CO₂, algunas de ellas fueron, Metodologías de cálculo de la huella de Carbono y sus potenciales implicaciones para América Latina (CEPAL, 2010) una más denominada 7 metodologías para el cálculo de emisiones de gases efecto invernadero (IHobe, 2013) y finalmente Enfoques Metodológicos para el cálculo de la huella de Carbono (Observación de la Sostenibilidad en España, 2017). Con el propósito de aumentar el conocimiento respecto a las emisiones en KgCO₂eq de la industria de la construcción y tomando en cuenta que los procesos de construcción de las vialidades de un fraccionamiento, con uso de pavimentos flexibles de carpeta asfáltica, son parte de la industria de la construcción específicamente en lo relativo a infraestructura urbana se decidió investigar la cantidad de emisiones que se tienen en la construcción de un pavimento de carpeta asfáltica del fraccionamiento Puente Real de Ciudad Obregón Sonora, de 5 cms de espesor con la estructura de la figura 6 y un área de 128,049.60 m² mediante la metodología de ACV y el Software Simapro 9.0.



Figura 7 Estructura del pavimento

Fuente: *Elaboración Propia*

El ACV es una herramienta para una mejor comprensión de las dimensiones del perfil ambiental de los productos, procesos y servicios y es adecuada para comparar los impactos medioambientales potenciales de dos o más productos semejantes y de ser necesario puede ser combinado con consideraciones económicas y sociales, y dependiendo de los procesos que contemple el ACV, puede tener distintos alcances, según Badilla, Elizondo, Fernández, Mora, Méndez y Quesada (2015).

- “De la cuna a la tumba”: Incluye la extracción de materias primas y el procesamiento de los materiales necesarios para la manufactura de componente, el uso del producto y finalmente su reciclaje y/o la gestión final. El transporte, almacenaje, distribución y otras actividades intermedias entre las fases del ciclo de vida también se incluyen cuando tienen la relevancia suficiente
- “De la cuna a la puerta”: El alcance del sistema se limita desde que se obtienen las materias primas hasta que el producto se pone en el mercado, a la salida de la planta de fabricación
- “De la puerta a la puerta”: Sólo se tienen en cuenta los procesos de fabricación

Se consideró como el objeto del estudio la unidad funcional 1m² de pavimento de carpeta asfáltica de 5 cm² de espesor con una estructura de la sub-rasante de 20 cms, una sub-base de 20 cms y una base de 15 cms, planteando la Hipótesis de que las emisiones en KG-CO₂/M² que producen los pavimentos de carpeta asfáltica se encuentran dentro del rango de 10-25 KG-CO₂.

Para desarrollar el estudio se utilizó la metodología de ACV hasta la fase de construcción (de la cuna a la puerta) eliminando las etapas de uso y de disposición final, a continuación, se muestra la metodología y el Software Simapro 9.0

Metodología

Para llevar a cabo este proyecto se contó con la participación de un alumno y de profesores investigadores de Ingeniería Civil del Instituto Tecnológico de Sonora, realizando los cálculos pertinentes para la obtención de resultados, los materiales y equipos usados fueron, la hoja electrónica Excel para la visualización de la explosión de insumos y para plasmar los datos creados para cuantificar las emisiones del CO₂ generado por la construcción, interpretación de resultados. Las fuentes de información fueron trabajos anteriores relacionados con el proyecto tales como tesis, artículos, revistas científicas, base de datos del gobierno mexicano, bibliografía electrónica en general.

Procedimiento:

1. La selección del fraccionamiento dentro de la ciudad ubicado al norte de Ciudad Obregón Sonora, El plano y los datos de la estructura del pavimento con todos los datos del proyecto anchos y longitudes de las calles (anexo 1).
2. Se procedió al cálculo de las cantidades de obra en cada etapa del proceso constructivo.
3. Se seleccionó la maquinaria de construcción adecuada para cada tipo de trabajo y se determinaron los rendimientos horarios para cada uno de ellos y se obtuvieron las potencias en HP de cada equipo
4. Con cantidades de obra y los rendimientos horarios se determinaron las horas de trabajo necesarias para cada etapa del proceso.
5. Con el número de horas y con la potencia de cada equipo se logró determinar la cantidad de consumo de combustible en litros, en este caso Diésel, el cual se convirtió de energía calorífica en Mega-joules MJ
6. Se establecieron como unidad funcional un m² de pavimento de 5ms (figura 7), en el cual se obtuvieron las cantidades de obra requeridas de unidades de volumen, usando los pesos específicos se convirtieron a unidades masa.

7. Con Google Maps se determinaron las distancias de los lugares de procedencia, obtención de los materiales, como agua, base, sub-base, cemento asfáltico entre otros.
8. Se estableció el esquema sistema producto(figura8)
9. Teniendo toda la información anterior se procedió al uso de Software SIMAPRO de la siguiente manera.
10. Se da de alta el proyecto y se seleccionaron las bibliotecas a usar y se describió el proyecto y se procedió a la integración de los procesos sus entradas y salidas referidas a materiales, procesos empleados y emisiones generadas y se integraron los materiales, los consumos generados por los transportes de los materiales a partir de su lugar de origen, se definieron los procesos del producto y luego en las fases del producto se procedió al ensamblaje, concluido esto se seleccionó la forma de analizar o calcular los impactos , teniendo las opciones de red, árbol, análisis , de las cuales en este proyecto se trabajó solo con las dos últimas del mismo, se seleccionó el producto y la metodología, en este caso ReCiPe 2016 Mid point, World 2010 y a partir de aquí se dieron los resultados en el apartado de caracterización de los impactos.

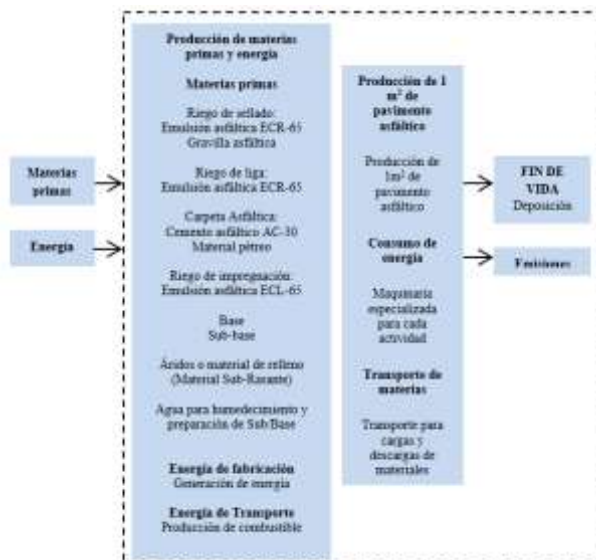
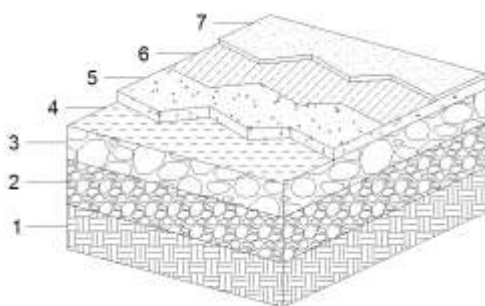


Figura 9 Esquema del sistema –producto
Fuente: Elaboración Propia



Materiales por capas	1	Sub-Rasante	20 cm
	2	Sub-Base	20 cm
	3	Base	15 cm
	4	Emulsión	1,15 L/m2
	5	Carpeta asfáltica	5 cm
	6	Emulsión	0,8 L/m2
	7	Tratamiento superficial	2 cm

Figura 8 Especificaciones de la estructura de un Pavimento asfáltico de 5 cm
Fuente: Elaboración Propia

Nombre de la Calle	Área (m2)	Cantidades de Obra de Fraccionamiento Puente Real							
		Carpeta asfáltica (m)	Carpeta Asfáltica (m3)	Base (m)	Base (m3)	Sub-Base (m)	Sub-Base (m3)	sub-rasante (m)	sub-rasante (m3)
Puente De Almonte	3065.57	0.04	122.62	0.15	459.84	0.15	459.84	0.2	613.11
Puente De Lustania	1522.66	0.04	60.91	0.15	228.4	0.15	228.4	0.2	304.53
Puente De Levante	2562.77	0.04	102.51	0.15	384.42	0.15	384.42	0.2	512.55
Puente De Rialto	2407.49	0.04	96.3	0.15	361.12	0.15	361.12	0.2	481.5
Puente De Astana	1206.99	0.04	48.28	0.15	181.05	0.15	181.05	0.2	241.4
Río Volga	2009.25	0.04	80.37	0.15	301.39	0.15	301.39	0.2	401.85
Puente De Malisco	1768.76	0.04	70.75	0.15	265.31	0.15	265.31	0.2	353.75
Río Lérez	4624.34	0.05	231.22	0.15	693.65	0.2	924.87	0.2	924.87
Río Amazora	1234.96	0.04	49.4	0.15	185.24	0.15	185.24	0.2	246.99
Azer	876.34	0.04	35.05	0.15	131.45	0.15	131.45	0.2	175.27
Río Mediterráneo	3086.15	0.04	123.45	0.15	462.92	0.15	462.92	0.2	617.23
Río Estenas	1321.53	0.04	52.86	0.15	198.23	0.15	198.23	0.2	264.31
Olanesbui	19806.84	0.05	990.34	0.15	2971.03	0.2	3961.37	0.2	3961.37
Río Guadalquivir	825.14	0.04	33.01	0.15	123.77	0.15	123.77	0.2	165.03
Caudal	487.1	0.04	19.48	0.15	73.07	0.15	73.07	0.2	97.42
Hacho	283.16	0.04	11.35	0.15	42.47	0.15	42.47	0.2	56.63
Sagasta	2914.98	0.04	116.6	0.15	437.25	0.15	437.25	0.2	583
Oviedo	2975.27	0.04	119.01	0.15	446.29	0.15	446.29	0.2	595.05
	128049.59		5485.31		19653.73		20875.29		26204.97

Tabla 1 Cantidades de obra fraccionamiento. Puente Real
Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 1 se observan los diferentes volúmenes de obra que se determinaron y que fueron necesarios para el estudio destacan el área pavimentada de 128049.99 m2 y los volúmenes de 26,204.97 m3 de sub-rasante y el volumen de sub-base de 20,875.29

En la tabla 2 se observa que las cantidades de diésel requeridas en cada una de las etapas del proceso constructivo para la pavimentación del Fraccionamiento Puente Real para la sub- base compactada se requiere 0.523 lts/m3, mientras que para la carpeta asfáltica son necesarios 0.0721 lts/m3.

Fraccionamiento puente real										
Horas de trabajo de maquinaria y consumos de combustible										
Concepto/ Volumen	Área	Volumen (M3)	Volumen De Acarreo	Rendimiento (M3/Hr)	Horas De Trabajo	Potencia	L/ Hora	F. Op.	Consumo de Diesel	Consumo De Diesel En Lit/M3
Volumen de Carpeta asfáltica		5485.3	6928.80	227.84	24.08	125	0.2	0.83	499.57	
Totales				24.08					499.57	0.07210
Base compactada		19653.72	25549.84							
Extender		19653.72		268	73.33	125	0.2	0.83	1521.70	
Humedecer		19653.72		200	98.27	205	0.2	0.83	3344.08	
Mezclar		19653.72		268	73.33	125	0.2	0.83	1521.70	
Totales					616.36				13355.41	0.52272
Sub-Base compactada		20875.28	28566.17							
Extender		20875.28		227.84	91.62	125	0.2	0.83	1901.21	
Humedecer		20875.28		200	104.38	205	0.2	0.83	3551.93	
Mezclar		20875.28		268	77.89	125	0.2	0.83	1616.28	
Totales					680.07				14135.13	0.55324
Riego impregnación	128049.6			15000	8.54	205	0.2	0.83	290.50	
Riego de sellado	128049.6			15000	8.54	205	0.2	0.83	290.50	
Totales					17.07				581.00	0.00454
Mejoramiento de capa sub-rasante		26204.97	35850.43							
Extender		26204.97		227.84	115.02	125	0.2	0.83	2386.61	
Humedecer		26204.97		200	131.02	205	0.2	0.83	4458.78	
Mezclar		26204.97		268	97.78	125	0.2	0.83	2028.93	
Totales					853.69				17743.98	0.49482
Colocación de Sello	128049.6		0.00	15000	8.54	175	0.2	0.83	247.99	
Compactación de la gravilla	128049.6		2560.99	125	20.49	100	0.2	0.83	340.10	
Totales					29.02				588.09	0.00459
Totales					2250.29				46903.18	

Tabla 2 Horas máquina y consumo combustible
Fuente: Elaboración Propia

Fraccionamiento puente real poder calorífico en MJ/M3/fase	
Fase	MJ
Carpeta asfáltica	2.59
Base Compactada	18.79
Volumen de Sub-Base	19.89
Riego impregnación con petrolizadora	0.16
Mejoramiento de capa sub-rasante	17.79
Compactación de la gravilla Con compactador liso	0.17

Tabla 3 Poder calorífico
Fuente: Elaboración Propia

En el fraccionamiento Puente Real las cantidades de poder calorífico para la unidad funcional de un m2 destacando el Volumen de Sub-Base con un valor de 19.89 MJ y la base compactada de 18.79 MJ, el valor menor es en los riegos de impregnación con .16 MJ.

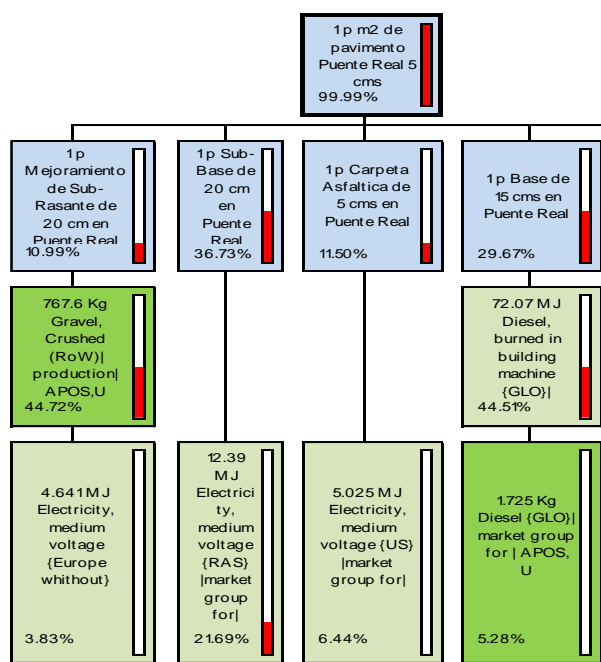


Figura 10 Aportaciones de las etapas del proceso constructivo y de materiales más representativos que intervienen Puente Real 5 cms. Simapro 9.0
Fuente: Elaboración Propia

La figura 10 muestra en qué porcentajes contribuyen a los impactos ambientales en la pavimentación del fraccionamiento San Rafael, las diferentes etapas del proceso constructivo como el caso de la Subbase con un 36.73% y 29.67% de la base y en una subetapa el consumo energético de electricity médium voltaje con 21.69%.

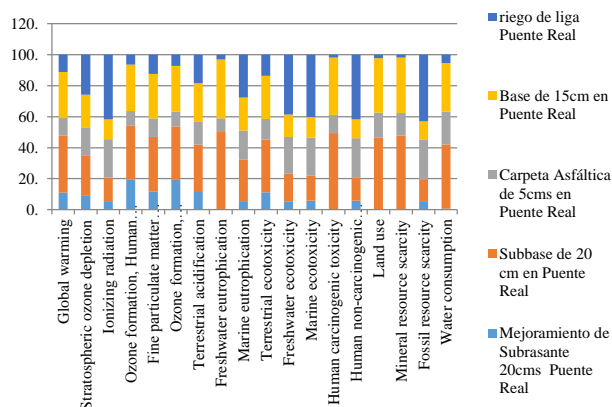


Figura 11 Gráfica de las categorías de los impactos ambientales en las diferentes etapas del proceso constructivo en el fraccionamiento Puente Real, 5 cms de espesor. Simapro 9.0 Fuente: Elaboración Propia

En la figura 11 en la categoría de global warning muestra un comportamiento similar al de Ozone formation y fine particulate matter formation mismas en las que más contribuyen es en sub-base y base, otra categoría que resalta es la Freshwater ecotoxicity y marine ecotoxicity la etapa que más contribuye es la de riego de liga, esto último se ha visto que tiene el mismo resultado que en los demás fraccionamientos.

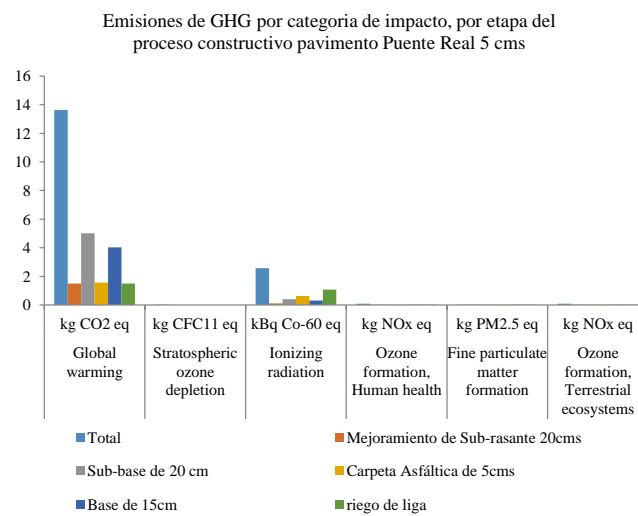


Figura 12 Gráfica de las categorías de los impactos ambientales asociados a los gases efecto invernadero del pavimento de 5 cm del fraccionamiento Puente Real Simapro 9.0
Fuente: Elaboración propia

En la figura 12 se resalta que las emisiones de CO₂ relacionadas con Global warming son las más representativas y son del orden de 13.5 Kg de CO₂, donde las etapas que más contribuyen son la base y la subbase, otra de las categorías destacable ionizing radiation en KBqCO-60eq que es por el orden total de 1 Kg, donde se ve que quién más contribuye es la etapa de Riego de liga.

Categoría de impacto	Unidad	Total	Mejoramiento de Sub-rasante 20cms	Sub-base de 20 cm	Carpeta Asfáltica de 5cms	Base de 15cm	riego de liga
Global warming	kg CO2 eq	13.628	1.49760748	5.00625117	1.567556204	4.0429559	1.513654
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	1E-05	1.27263E-06	3.7066E-06	2.6236E-06	3.022E-06	3.7E-06
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	2.5882	0.127375677	0.40832594	0.642872581	0.3306707	1.078922
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	0.0999	0.019421963	0.0350146	0.00921105	0.0298432	0.00645
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	0.0377	0.004412442	0.01328461	0.004467151	0.0108053	0.004692
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq	0.1028	0.019728646	0.03552332	0.009847027	0.0302811	0.007462
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	0.078	0.008847126	0.02385321	0.011396579	0.0195632	0.014318
Freshwater eutrophication	kg P eq	0.0004	1.80206E-06	0.00018789	3.04437E-05	0.0001422	1.18E-05
Marine eutrophication	kg N eq	4E-05	1.92543E-06	1.0395E-05	7.18361E-06	8.187E-06	1.05E-05
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	11.214	1.247698047	3.83156305	1.488050782	3.1100756	1.537027
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0.0108	0.000580138	0.00192744	0.00255725	0.0015566	0.00415
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	141.98	8.158622832	22.986927	34.91495942	18.77892	57.13641
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	2.3576	0.007289564	1.15779664	0.275225811	0.8757258	0.04159
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	115.03	6.716685488	17.249088	28.97565544	14.194704	47.89801
Land use	m2a crop eq	0.2489	0.000586103	0.11520454	0.040141364	0.0871135	0.005839
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	0.0056	2.32475E-05	0.00263581	0.000817931	0.0019948	9.87E-05
Fossil resource scarcity	kg oil eq	10.378	0.519257185	1.52629788	2.63168733	1.2435691	4.457104
Water consumption	m3	0.3613	0.002387859	0.14921206	0.077002395	0.1131055	0.019543

Tabla 4 Comparativo de los resultados de emisiones y otros cada etapa de construcción del fraccionamiento Pavimento de 5cms Simapro 9.0

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 4 se presentan una comparativa de los resultados de las emisiones, donde se resalta que Global warming tiene un valor de 13.628 kg de CO₂, eq, de la cual la subbase aporta 5.00 y la base 4.04 kg de CO₂, eq, Por otro lado, el ionizing radiation es de 2.58 Kg NOx eq.

Discusión y Conclusiones

En base a nuestros resultados se pudo observar que los grandes factores de emisión no influyen tanto como se pensaría, si no que el principal factor que lograr aumentar el total de emisiones es el volumen y la cantidad de material, ya que los elementos con mayor cantidad de peso y/o piezas son los que tienen un número de emisiones mayor.

A partir de la tabla 4 podemos concluir que:

1. El máximo valor en Kg-CO₂ eq por /m² se presenta en Global Warning valor se encuentra en el fraccionamiento Puente Real con un valor de 13.6280.

2. El valor menor en Kg-CO₂ eq por /m² se presenta en Freshwater Eutrophication con un valor de 0.000374.
3. La etapa de construcción que más aporta es la de subbase, donde el valor para Global warning con 5.00 de CO₂.

Considerando que el máximo valor de ellos en el Fraccionamiento de Puente Real se concluye que el impacto total que produce al considerar toda el área pavimentada del fraccionamiento y que aparece en la tabla 5.

Categoría de impacto	Unidad	Total puente Real 5 cms
Global warming	kg CO2 eq	13.628
Área pavimentada	kg CO2 eq	128049.587
Emisiones en fraccionamiento	Kg-CO ₂ /kg CO2 eq	1745060.399
Totales	kg CO2 eq	1745060.399
Totales	TON CO2 eq	1745.060

Tabla 5 Emisiones totales en Kg-CO₂ eq del fraccionamiento

Fuente: Elaboración Propia

Hipótesis planteada en el anexo metodológico, que señalan textualmente lo siguientes:

“Hi: En la construcción de un pavimento flexible en un fraccionamiento de Ciudad Obregón Sonora se emite entre 10 y 25 kgCO₂/m².”, por lo que se puede concluir que la hipótesis se acepta ya que el valor encontrado es de 13.6280 Kg-CO₂/m², y se encuentra dentro de los valores planteados.

Recomendaciones

1. Tomando en cuenta que la durabilidad del pavimento flexible y de acuerdo Wright y Dixon, el clima y medio ambiente donde se construirá un pavimento flexible, influye en su vida útil y es muy probable que dos de los factores más influyentes sean la temperatura y humedad, ya que bajo estas condiciones el pavimento flexible tiene un promedio de vida útil de 12.5 años y tomando que tiene mayor costo de mantenimiento y con un mayor impacto ambiental al ejecutar mantenimiento, se recomienda no construir con carpeta asfáltica.

2. Como la mayor contaminación se genera en el movimiento de tierras es conveniente, explorar la posibilidad de usar la técnica de estabilización del terreno con cal, principalmente en el caso de las arcillas expansivas, más en nuestro medio que existen muy comúnmente.
3. De acuerdo con el desarrollo de nuestro estudio, que señala que un pavimento rígido “son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina subbase” esto nos indica que podemos suprimir una de las capas que más contaminan la de la base en ambos resultados están contribuyendo con valores cercanos al 30% del total de las emisiones de KG-CO₂ eq, lo cual disminuirá a valores entre 8 y 9 kg-CO₂/m².
4. En los pavimentos rígidos usar Cemento ecológico, que genera menos emisiones Kg-CO₂/ton en su proceso de producción.
5. Realizar una mayor cantidad de estudios cambiando las variables del pavimento, como pueden ser, de concreto, estabilización de arcillas, con adoquín, empedrado, suelo cemento.

Referencias

- Acosta D. (2002). Reducción y Gestión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD). *Builders Guide* (to reuse an recycling 2006). Recuperado de: https://issuu.com/nelianaduran/docs/reciclaje_de_materiales_de_escombros_9ce808e173be90
- Aparicio, P (2020). Caracterización de impactos ambientales en la industria de la construcción. Sostenibilidad. *360° en Concreto*. Recuperado de: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/impactos-ambientales-en-la-industria-de-la-construccion>
- Arenas F (2010). los materiales de construcción y el medio ambiente. *UNED*. Recuperado de: https://huespedes.cica.es/gimadus/17/03_materiales.html
- Badilla, P., Elizondo, J., Fernández, T., Mora, F., Méndez, J., & Quesada, M. (2015). CO₂e: cálculo de huella de carbono para materiales de construcción en Costa Rica.
- Ballester, F. (2005). Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. *Revista Española de Salud Pública*, 79, 159-175.
- Bravo, R. (2011). El sector de la construcción genera el 36% de las emisiones de CO₂ en la Unión Europea. *dicyt* Recuperado de: <http://www.dicyt.com/noticias/el-sector-de-la-construccion-genera-el-36-de-las-emisiones-de-co2-en-la-union-europea>
- Casanovas, X. (2009). La construcción sostenible: una mirada estratégica. *Extraído el*, 13.
- Gangoles, M., Casals, M., Gassó, S., Forcada, N., Roca, X. & Fuertes, A. (2009). A methodology for predicting the severity of environmental impacts related to the construction process of residential buildings. *Building and Environment*, 44(3): 558-571, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.05.001>.
- González, Y., Fernández, Y., & Gutiérrez, T. (2013). El cambio climático y sus efectos en la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 51(3), 331-337.
- Growingbuildings. (2017). Construcción y emisiones de Co₂ a la atmósfera. <https://growingbuildings.com/construccion-y-emisiones-co2-a-la-atmosfera/>.
- INEGI. (2016). Población Urbana y rural. Cuentame. Recuperado de: http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur_urb.aspx?tema=P
- IPCC 2015. Cambio climático 2014. Informe de síntesis. Informe del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. *Organización Meteorológica Mundial (OMM)*. Recuperado de: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf

Medineckiene, M., Kazimieras E., Turskis, Z. (2010). Sustainable Construction Taking into Account the Building Impact on the Environment. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/228420911_Sustainable_Construction_Taking_into_Account_the_Building_Impact_on_the_Environment

Menghi, C. I. (2007). Calentamiento global: el riesgo oculto para la salud. *Revista argentina de microbiología*, 39(3), 131-132.

Mercader, M., de Arellano, A., & Olivares, M. (2012). Modelo de cuantificación de las emisiones de CO₂ producidas en edificación derivadas de los recursos materiales consumidos en su ejecución. *Informes de la Construcción*, 64(527), 401-414.

Montaño, N., & Sandoval, A. (2007). Contaminación atmosférica y salud.

OECC. Cambio Climático: Bases Físicas. GUÍA RESUMIDA DEL QUINTO INFORME DE EVALUACIÓN DEL IPCC. GRUPO DE TRABAJO I. Fundación Biodiversidad, Oficina Española de Cambio Climático, Agencia Estatal de Meteorología. Centro Nacional de Educación Ambiental. Recuperado de: https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/mini-portales-tematicos/guia-resumida-grupo-trabajoi_tcm30-376939.pdf

OMS (2012). 10 datos sobre el cambio climático y la salud. Cambio Climático. Recuperado de: https://www.who.int/features/factfiles/climate_change/es/

Patiño, N., Reyes, O., Camacho, J. (2015) Comportamiento a fatiga de mezclas asfálticas colombianas con adición de pavimento reciclado al 100 %. *Dialnet Plus*. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4996509>

Pittet D. & Kotak T. (2009), Environmental impact of building technologies, a comparative study in Kutch District, Gujarat State, India. *Paper presented at the Ecomaterials 4, Paths towards Sustainability conference*, November 2009, Bayamo, Cuba. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/30224238_Environmental_Impacts_of_Building_Technologies_A_Comparative_Study_in_Kutch_District_Gujarat_State_India

Poon C., Yu A. & Ng L. (2001), On-site sorting of construction and demolition waste in Hong Kong. *Resource, Conservation and Recycling*. Recuperado de: <http://ira.lib.polyu.edu.hk/handle/10397/8748>

Rama, F (2006). Breve Reseña Histórica. Estudio sobre la conservación de pavimentos urbanos y de sus deterioros. Recuperado de: http://www.franciscorama.com/docs/conservacion_historia_original.pdf

Reglamento de Edificaciones para el Municipio De Cajeme (2015). *Capítulo II. De los tipos de desarrollos Inmobiliarios*. Recuperado de: <http://transparenciav2.cajeme.gob.mx/Art85/XII%20LEYES%20Y%20REGLAMENTOS/REGLAMENTOS/Reglamento%20de%20Construccion%20para%20el%20Municipio%20de%20Cajeme.pdf>

Secretaría de Infraestructura y Desarrollo Urbano. Ley 254 “Ley de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano del Estado de Sonora”. Sección IV del Boletín Oficial del Estado de Sonora. México. 11 de junio del 2018. SEMARNAT (2010). Instituto Nacional de Ecología, Sistema Integrado de Regulación Directa y Gestión Ambiental de la Industria, Segunda edición, SEMARNAP / INE, México, 1997.

SEMARNAP (2000). Gestión ambiental hacia la Industria, 1ª edición, SEMARNAP, México.

SEMARNAT, Integración y actualización del Inventario Nacional de Generación de Residuos Peligrosos, 1ª edición, SEMARNAT, México, 2010. Recuperado de: http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D2_R_INDUSTRIA01_01&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce

SIDUR. (2016). Programa Sectorial de Infraestructura y Desarrollo Urbano Sustentables. Recuperado el 11 de 12 de 2019, de SIDUR: <http://estrategia.sonora.gob.mx/images/PSEEG/NormatividadPMP/Sectoriales/PS-SIDUR-16-21-SON.pdf>

Shen, L. Y., Lu, W. S., Yao, H., & Wu, D. H. (2005). A computer-based scoring method for measuring the environmental performance of construction activities. *Automation in Construction*, 14(3), 297-309. Recuperado de: https://scielo.conicyt.cl/pdf/ric/v29n3/en_art02.pdf

Secretaría de Infraestructura y Desarrollo Urbano. (2016). Programa Sectorial de Infraestructura y Desarrollo Urbano Sustentables, 2016. Boletín Oficial del Estado de Sonora. México.

Turner, M., Krewski, D., Diver, W., Pope, C., Burnett, R., Jerret M., Marshall J., Gapstur S. (2017). *Ambient Air Pollution and Cancer Mortality in the Cancer Prevention Study II*. Environ Health Perspect. NCBI resours,. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28886601>

UNAM, 2010. Concreto hidráulico permeable, una alternativa para la recarga de los mantos acuíferos del Valle de México. *Facultad de Ingeniería*. Recuperado de: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/529/A5.pdf>

World Resources Institute and the World Business Council for Sustainable Development. (2019). *About us*. junio 16, 2019, de GREENHOUSE GAS PROTOCOL. Recuperado de: <https://ghgprotocol.org/about-us>

Zolfagharian S., Nourbakhsh M., Irizarry J., Ressang A. & Gheisari M. (2012), Environmental impacts assessment on construction sites. Recuperado de: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784412329.176>

Eficiencia energética con Generación Distribuida Fotovoltaica (GD-PV); Caso de una Congeladora de Pescados y Mariscos en Campeche, México

Energy efficiency using Distributed Generation; a Fish and Seafood Freezer case in Campeche, Mexico

CHAN-GONZALEZ, Jorge J.†*, SHIH, Meng Yen, LEZAMA-ZÁRRAGA, Francisco, NOH-PAT, Felipe

Universidad Autónoma de Campeche, Campus V, Predio s/n por Av. Humberto Lanz Cárdenas y Unidad Habitacional Ecológica Ambiental, Col. Ex-Hacienda Kalá, CP 24085, San Francisco de Campeche, Cam., México

ID 1^{er} Autor: *Jorge J, Chan-Gonzalez* / ORC ID: 0000-0002-8638-1646, CVU CONACYT ID: 89415

ID 1^{er} Coautor: *Meng Yen, Shih* / ORC ID: 0000-0001-7475-6458, CVU CONACYT ID: 408617

ID 2^{do} Coautor: *Francisco, Lezama-Zárraga* / ORC ID: 0000-0003-3397-7881, Researcher ID Thomson: U-1229-2018, CVU CONACYT ID: 205493

ID 3^{er} Coautor: *Felipe, Noh-Pat* / ORC ID: 0000-0003-1981-8323, CVU CONACYT ID: 260889

DOI: 10.35429/JRE.2020.12.4.21.31

Recibido 09 de Abril, 2020; Aceptado 30 Junio, 2020

Resumen

En este artículo se presenta un estudio de eficiencia energética a una empresa congeladora de pescados y mariscos que posee una planta de Generación Distribuida Fotovoltaica (GD-PV) con una capacidad instalada de 60.32 kWp; se realizó una auditoría energética, se analizó la información de las principales variables eléctricas que actúan como protagonistas en la facturación del servicio de la empresa suministradora. La Generación Distribuida GD a partir de energías renovables se ha ido incrementado a nivel mundial como un medio eficaz para reducir los costos de la energía eléctrica y que además ayuda directamente a que las empresas sean más competitivas y favorecer el crecimiento económico. La Generación Distribuida Fotovoltaica (GD-PV) proporciona otros beneficios adicionales como la mitigación de gases de efecto invernadero y funcionar como una barrera en los techos que impide la ganancia de radiación solar en los edificios; y este hecho es particularmente relevante en un clima cálido-húmedo como lo tiene el estado de Campeche, México. El área sombreada por la planta GD-PV, evita que haya una ganancia térmica por techo, diaria de aproximadamente 236.62 kW. Con la planta GD-PV se evita la emisión a la atmosfera de 4,448.9 kg de CO₂ equivalente.

Generación distribuida, Eficiencia energética, Sistemas fotovoltaicos interconectados a red, Generación distribuida fotovoltaica

Abstract

In this article, an energy efficiency study is presented for the fish and seafood freezer company which possesses a Photovoltaic Distributed Generation (GD-PV) plant of 60.32 kWp installed capacity. An energy audit is performed which consists of analyzing the principal electric variables for the utility billing service. Distributed Generation (GD) from renewable energy has been increasing worldwide as an effective mean to reduce electrical energy costs. It also directly helps companies to be more competitive and promote economic growth. Photovoltaic Distributed Generation (GD-PV) provides other additional benefits such as greenhouse gas mitigation and functioning as a roof barrier that prevents gaining solar radiation in buildings. This fact is particularly relevant in a hot-humid climate such as the state of Campeche, Mexico. The shading area due to GD-PV prevents a daily roof thermal gaining of approximately 236.62 kW. Moreover, the GD-PV prevents the atmospheric emission of 4,448.9 kg of CO₂ equivalent.

Distributed generation, Energy efficiency, Grid-connected photovoltaic systems, Photovoltaic distributed generation

Citación: CHAN-GONZALEZ, Jorge J., SHIH, Meng Yen, LEZAMA-ZÁRRAGA, Francisco, NOH-PAT, Felipe. Eficiencia energética con Generación Distribuida Fotovoltaica (GD-PV); Caso de una Congeladora de Pescados y Mariscos en Campeche, México. Revista de Energías Renovables. 2020. 4-12: 21-31

*Correspondencia al Autor (correo electrónico: frlezama@uacam.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La Generación Distribuida GD a partir de energías renovables se ha ido incrementado a nivel mundial como un medio eficaz para reducir los costos de la energía eléctrica y que además ayuda directamente a que las empresas sean más competitivas y favorecer el crecimiento económico. La Generación Distribuida Fotovoltaica (GD-PV) proporciona otros beneficios adicionales como la mitigación de gases de efecto invernadero y funcionar como una barrera en los techos que impide la ganancia de radiación solar en los edificios y este hecho es particularmente relevante en un clima cálido-húmedo como lo tiene el estado de Campeche, México; y aún más cuando la GD-PV se está realizando en una empresa congeladora de pescados y mariscos y que uno de los mayores retos a vencer es el impedir las ganancias de calor, éstos y otros fundamentos pueden generar beneficios económicos netos para justificar el pago de la inversión inicial. Según la Ley de la Industria Eléctrica y el Manual de interconexión de Centrales de GD con capacidad menor a 0.5 MW, la GD se define como la generación de energía eléctrica que se encuentra interconectada a un circuito de distribución que contenga una alta concentración de Centros de Carga (CRE 2017).

La GD incluye aquella que se realiza por un generador exento, en otras palabras, el propietario de una o más centrales eléctricas con capacidad menor a 0.5 MW que no requieren permiso para generar energía eléctrica. La GD puede ser localizada en las instalaciones de los Centros de Carga o fuera de éstos (SENER, 2016). Se espera, a nivel mundial, que la energía solar fotovoltaica distribuida, se establezca en más del doble de su capacidad en los próximos cinco años, lo que representa casi la mitad de todo el crecimiento de la energía solar fotovoltaica.

Los sistemas GD-PV en hogares, edificios comerciales e industria arrojarán cambios sustantivos en los sistemas energéticos. Este rápido aumento en la capacidad que tendrán los consumidores en generar su propia electricidad, representa un nicho de oportunidades para los proveedores del servicio y los garantes políticos en todo el mundo.

Justificación

La energía eléctrica representa para las pequeñas y medianas industrias en México uno de los costos más elevados durante sus procesos de producción. En términos simples, en el año 2019 el costo de electricidad era el 5 por ciento de los ingresos de un hotel; ahora es del 15 por ciento. (Asociación Mexicana de Hoteles y Moteles)

Para el caso mexicano, en los últimos años los contratos de GD-PV han aumentado de manera importante. En 2017 se concretaron 29,676 contratos y en 2018 fueron 35,661; esto representa una tasa de crecimiento media anual de aproximadamente 20%. En capacidad representaron 211.65 y 233.56 MW, respectivamente (Monitor de información comercial e índice de precios de Generación Solar Distribuida en México, 2019). Figura 1.

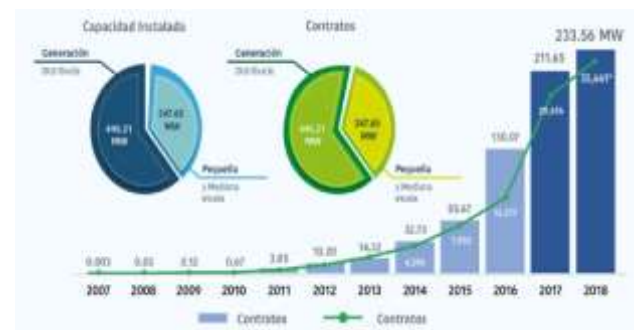


Figura 1 Evolución de contratos y capacidad instalada en México

Fuente: Monitor de información comercial e índice de precios de Generación Solar Distribuida en México

De esta misma fuente, de 2017 al primer semestre del año 2019, se presentan los estados que instalaron las mayores cantidades de GD-PV donde es muy claro que los estados de la república mexicana que mayor capacidad instalada acumulada son Jalisco, Nuevo León, CDMX, Chihuahua y Yucatán, figura 2. Observamos también de la figura 2 que el estado de Campeche posee una capacidad instalada acumulada muy pequeña, menor de 5 MW. Sin embargo, el estado de Campeche posee buen recurso de radiación solar; se cuenta con una irradiación que va de 4.5 a 6 kWh/m² al día. Datos proporcionados por NREL.

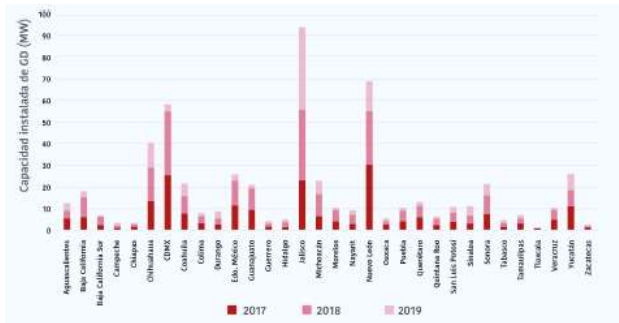


Figura 2 Evolución de la capacidad de GD-PV en México por estado

Fuente: Monitor de información comercial e índice de precios de Generación Solar Distribuida en México

Esta condición en Campeche de poseer buena irradiancia, necesidad energética y una pequeña capacidad instalada acumulada nos lleva a concluir que se abre un nicho de oportunidades importante en la instalación de Sistemas de generación distribuidas fotovoltaicas.

En adición, Campeche es un estado con clima húmedo-cálido; se ve en la necesidad de emplear grandes cantidades de energía eléctrica para los procesos de refrigeración (alta, media y baja temperatura). En el reporte que emite la Universidad Autónoma de Campeche a la Secretaria de Desarrollo Económico del estado de Campeche en 2019, indica que al menos el 60% del consumo eléctrico en casas-habitación, pequeñas y medianas industrias, Escuelas y Universidades, es empleado para los procesos de refrigeración en cualquiera de sus modalidades.

En ese sentido, un aspecto que se vuelve muy relevante es evitar la excesiva ganancia de calor en los espacios a refrigerar y particularmente evitar la ganancia de calor por radiación solar en techos y muros. Se sabe (Victorio Santiago Díaz et al, 2005) que aproximadamente de 50 a 60% de la ganancia total es debido a la radiación solar.

En aplicaciones de ingeniería en acondicionamiento de aire, se puede considerar una ganancia solar promedio por techo de 550 w/m², como la energía captada en un metro cuadrado de superficie, en posición horizontal con el sol en el cenit y considerando una atmósfera limpia con un grado de turbiedad bajo. Podemos inferir que un valor agregado de los sistemas GD-PV, en los climas cálidos-húmedos, e instalados en los techos es que evitan la ganancia de calor por radiación solar en los edificios.

Como consecuencia se requiere de menor energía eléctrica para los procesos de refrigeración. De esta forma se promueve la eficiencia energética.

Con lo que respecta a la eficiencia energética se tiene que de acuerdo con Deutsche Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit (GIZ-2014) en su guía de buenas prácticas para el ahorro y uso eficiente de la energía la define como: la obtención de los mismos bienes y servicios energéticos, pero con mucha menos energía, con la misma o mayor calidad de vida, con menos contaminación, a un precio inferior al actual, alargando la vida de los recursos y con menos conflicto

Objetivo

Demostrar que con al implementar Generación Distribuida con sistemas fotovoltaicos (GD-PV) se logra la eficiencia energética en una empresa congeladora de pescados y mariscos.

Hipótesis

Al implementar una planta GD-PV en una empresa congeladora se logra eficiencia energética y disminución de sus costos de producción; así como se evita la emisión a la atmosfera de CO₂ equivalente.

Planteamiento del problema

Se desea obtener la disminución del consumo energético de una planta congeladora de Pescados y Mariscos ubicada en el estado de Campeche. El estado de Campeche se encuentra ubicado geográficamente en la Península de Yucatán entre los paralelos 17°49' y 20°51' latitud norte; y entre los meridianos 89°06' y 92°27' oeste; El proceso mismo de congelación demanda altos valores de energía para poder congelar los productos que comercializa. Las condiciones ambientales en el lugar son factores importantes adversos durante éste proceso. La ubicación de la planta está 19°38'22"N 90°41'18"O a 20 metros de la costa con una temperatura promedio de 31±0.1°C y una humedad relativa de 75±1%, también promedio (INEGI, 2015), al nivel del mar. La empresa cuenta con 6 unidades de congelamiento de 7 toneladas de refrigeración (TR) ó 12 kW, cada una, es decir son 42 TR (72 kW); estos equipos son los que presentan la mayor demanda de energía.

También cuenta con una pequeña fábrica de hielo a escamas, de 9.3 kW. Tienen instalados otros equipos de menor capacidad como aires acondicionados tipo mini Split de una tonelada de refrigeración, iluminación y equipos misceláneos. Dada esta situación de demanda energética se planteó la posibilidad de instalar una planta de Generación Distribuida Fotovoltaica (GD-PV).

Descripción del Sistema de generación Distribuida Fotovoltaica (GD-PV).

Se trata de una planta generadora de energía eléctrica producida con módulos fotovoltaicos. Está constituida por 3 paneles fotovoltaicos compuestos, cada uno, de 5 cadenas de doce módulos de 260 Wp cada uno, conectados en serie y un panel de 4 cadenas con trece módulos (de las mismas características descritas anteriormente). Cada panel tiene su propio inversor. Son tres inversores de 15.6 kWp y uno de 13.5 kWp. En total son 232 módulos fotovoltaicos, con una capacidad instalada total de 60.32 kWp, figura 3. Cada módulo fotovoltaico tiene un área de 2 m².

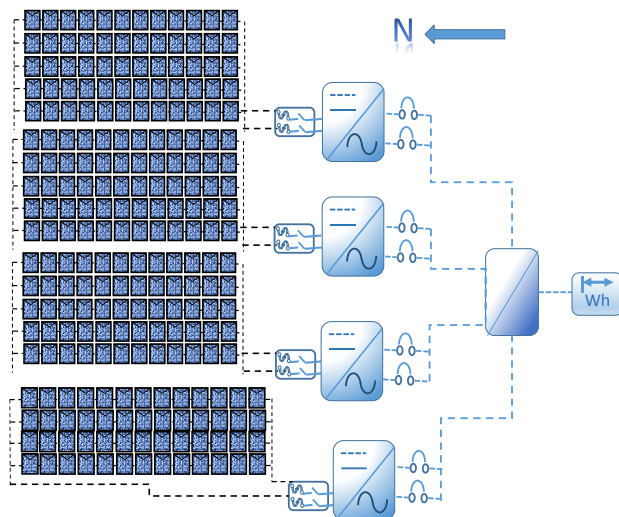


Figura 3 Diagrama esquemático de la planta de Generación Distribuida Fotovoltaica. Consta de 3 paneles 15.6 kWp y un panel de 13.5 kWp
Fuente: *Elaboración Propia*

La instalación fotovoltaica tiene una inclinación de 22 grados con respecto al plano horizontal; por lo que resulta que cada módulo sombrea un área de 1.85 m², en otras palabras, por toda la instalación fotovoltaica se produce un área de techo sombreada de aproximadamente 430 m².

La planta fotovoltaica se encuentra orientada totalmente hacia el sur, es correcta su declinación azimutal. Se observa que los módulos fotovoltaicos en su totalidad, están colocados prácticamente a ras de techo, lo que provoca que no exista circulación de aire entre los módulos, provocando que éstos se calienten de más, disminuyendo considerablemente sus eficiencias de producción (Agustín Castejón-2012). Figura 4.

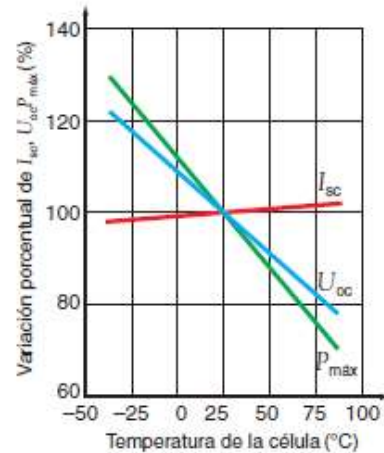


Figura 4 Variación porcentual del voltaje a circuito abierto, corriente de cortocircuito y la potencia máxima de un módulo fotovoltaico con respecto a la temperatura
Fuente: *Castejón 2012*

Por otra parte el techo de la congeladora tiene una barda perimétrica de un metro de alto y tampoco favorece una buena circulación del aire; por lo mismo no se favorece un buen enfriamiento de los módulos fotovoltaicos. Figura 5.



Figura 5 Vista parcial de la planta de Generación Distribuida Fotovoltaica (GD-PV) en Campeche. Se aprecia una barda perimetral y la nula separación de los módulos al techo, evitando el buen enfriamiento de los módulos
Fuente: *Elaboración Propia*

Rayenari D. C. et al, (2015) recomiendan que para que la instalación fotovoltaica tenga una mejor eficiencia en épocas pico (de marzo a agosto), se reajuste la inclinación a 10 o 15 grados.

Se puede ganar hasta 5% de eficiencia y se evita esfuerzos mecánicos a los módulos por su propio peso y por la nula circulación de viento (zona de estancamiento) Potter et al (2011). De igual forma se recomienda levantar los módulos, tomando como referencia la parte más baja de los módulos, por lo menos cincuenta centímetros con respecto del techo. Favorecerá la circulación de aire para enfriar los módulos y se evitará zonas de estancamiento. Se prevé un aumento de eficiencia global de un 5%.

Modelado Matemático de la ganancia de calor por el techo de la congeladora

De acuerdo con Víctor Lanz G. et al (2018), se tiene documentado que en climas cálidos húmedos la ganancia de calor en los techos de las edificaciones representa el 40% del calor recibido por un edificio a lo largo del día. Por lo que se hace muy importante cuantificar la ganancia de calor por techos. Se tienen las siguientes ecuaciones para cuantificar las ganancias de calor por techo, como un efecto combinado de conducción, convección y radiación (Çengel et al-2012).

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{habi-techo,conv+rad} = \dot{Q}_{cond,techo} \quad (1)$$

$$= \dot{Q}_{techo-amb,cond+rad}$$

$$\dot{Q}_{habi-techo,conv+rad} = h_i A (T_{habi} - T_{s,int}) + \varepsilon A \sigma (T_{habit}^4 - T_{s,int}^4) \quad (2)$$

$$\dot{Q}_{cond,techo} = k A \frac{T_{s,int} - T_{s,ext}}{L} \quad (3)$$

$$\dot{Q}_{techo-amb,cond+rad} = h_o A (T_{s,ext} - T_{amb}) + \varepsilon A \sigma (T_{s,ext}^4 - T_{amb}^4) - \alpha \dot{q}_{solar} \quad (4)$$

Donde \dot{Q} es el flujo de calor total, k conductividad térmica, α absorptividad, h coeficiente de transferencia de calor convectivo, σ la constante de Steffan-Boltzman, A área de transferencia de calor, \dot{q}_{solar} radiación solar y T temperatura. Se obtiene que por cada metro cuadrado de techo se recibe una radiación de 550 w/m²*día, y se tienen aproximadamente 430 m² de área sombreada por la planta fotovoltaica, entonces se puede estimar que se evita que haya una ganancia térmica por techo diaria de aproximadamente 236.62 kW.

Como referencia los equipos de acondicionamiento de aire tipo mini Split de una tonelada de refrigeración tienen una capacidad térmica de retirar calor de 3.54 kWh. Por lo tanto, antes de instalar la GD-PV la ganancia por calor por techos era muy elevada para el edificio en conjunto.

Metodología para el análisis de la eficiencia energética en los procesos de la empacadora

En el análisis de la eficiencia energética de la congeladora, fue necesario conocer la dinámica de los parámetros eléctricos involucrados en los procesos de funcionamiento de la Planta, por lo cual, realizamos un diagnóstico energético. Para este propósito se instaló un equipo analizador de la calidad de la energía y potencia eléctrica, trifásica marca FLUKE, modelo 430 Serie II, figura 6. Se muestran sus características técnicas en la tabla 1.

Parámetro	Intervalo	Resolución	Precisión
Vrms (CA+CC)	1 V a 1000 V fase a neutro	0,1 V	± 0,5 % de la tensión nominal
Pico de tensión	1 V pico de tensión a 1400 V pico de tensión	1 V	5 % de la tensión nominal
Factor de cresta de tensión		1,0 > 2,8	0,01 ± 5 %
Vrms½	1 V a 1000 V fase a neutro	0,1 V	± 1 % de la tensión nominal
Vfund	1 V a 1000 V fase a neutro	0,1 V	± 0,5 % de la tensión nominal
Amperios (CA+CC)	0,5 A a 600 A	0,1 A	± 0,5 % ± 5 cuentas
Frecuencia	51,00 Hz a 69,00 Hz	0,01 Hz	± 0,01 Hz
kWh kVAh, kvarh			± 1 % ± 10 cuentas
Factor de cresta de amperios	5 A a 6000	1 A	± 1 % ± 10 cuentas
Amps½	5 A a 6000 A	1 A	± 0,5 % ± 5 cuentas
Afund	5 A a 6000 A	1 A	± 0,1 % ± 5 cuentas

Tabla 1 Parámetros, intervalos de funcionamiento, resolución y precisión del equipo analizador de la calidad de la energía y potencia eléctrica, trifásico marca FLUKE, modelo 430 Serie II

Fuente Elaboración Propia



Figura 6 Analizador de la calidad de la energía y potencia eléctrica, trifásico marca FLUKE, modelo 430 Serie II
Fuente: Elaboración Propia

Metodología propuesta para la auditoría energética

De acuerdo con Lezama et al (2018), la metodología propuesta consta de las siguientes etapas:

1. Planeación. Consiste en programar las visitas al lugar, la preparación de materiales, herramientas, equipo de medición y del personal que realizará el trabajo de campo.
2. Investigación in situ. Acudir a las instalaciones de acuerdo con lo calendarizado para iniciar la inspección con ayuda de los planos eléctricos de cada área de trabajo y conectar el analizador de redes en la sección de la instalación o equipo que se desea estudiar.
3. Recopilación de la información. Realizar el levantamiento físico en las instalaciones mediante censo de carga (kW instalados). Asimismo, reunir los datos de consumos (kWh), demandas (kW) y factor de potencia (f.p.) mensuales durante un año a través de la factura de la compañía suministradora de energía eléctrica. En adición, extraer del analizador de calidad de la energía y potencia la información de consumos (kWh), demandas (kW), tensiones (Volts), corrientes (Amperes), factor de potencia (f.p.) y frecuencia (Hz) por cada fase y totales.
4. Análisis de la información. Analizar la información recopilada a través de hojas de cálculo, con tablas y gráficas que permitan describir en qué condiciones se encuentra funcionando el sistema eléctrico bajo estudio o si ocurre un fenómeno que lo esté perturbando.

5. Definir las propuestas de mejora que optimizarán los procesos internos a través del ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica.
6. Informe final. Realizar la Memoria Técnica Descriptiva del diagnóstico energético con las propuestas de ahorro y uso eficiente de la energía.

En la siguiente sección se presenta el análisis de la información recabada la cual nos proporcionará el comportamiento de las variables eléctricas de la instalación y de esta manera realizar propuestas de ahorro y uso eficiente de energía para la optimización de los procesos de la Planta congeladora.

Análisis de la información y resultados obtenidos

Luego de aplicar los primeros tres pasos de la metodología propuesta, el análisis de la información se realiza en hojas de cálculo Excel. Iniciamos con el análisis de las facturas de energía eléctrica mostradas en la tabla 2, en la que se reúne la información de consumos (kWh), demandas (kW) y factor de potencia (f.p.) mensuales durante un año obtenida de la factura de energía eléctrica que emite la compañía suministradora del servicio (en México es la Comisión Federal de Electricidad, CFE).

Periodo	Demanda máxima (kW)	Consumo total (kWh)	Factor de potencia (%)
Ene-19	82	35,520	82.15
Feb-19	73	31,680	81.25
Mar-19	83	30,560	81.27
Abr-19	106	40,400	81.41
May-19	85	33,360	80.85
Jun-19	98	41,360	82.44
Jul-19	83	32,640	81.08
Ago-19	86	34,000	81.61
Sep-19	76	31,040	81.33
Oct-19	76	29,760	81.42
Nov-19	84	32,880	82.15
Dic-19	78	31,600	79.90
Ene-20	80	35,863	82.19

Tabla 2 Análisis del historial de las facturaciones mensuales de la Congeladora
Fuente: Elaboración Propia

Se observa en la Tabla 2 que la mayor facturación se presenta en el mes de abril debido a las altas temperaturas ambientales y que la potencia instalada demanda mayor energía, principalmente en refrigeración y aire acondicionado.

Levantamiento o censo de cargas

Del levantamiento o censo de cargas, se obtiene la potencia instalada, la cual es la suma de la potencia en kW de todos los equipos eléctricos conectados a la instalación. El censo de carga se presenta en un cuadro de cargas, en el cual se determina el % de desbalance entre las tres fases. La tabla 3 presenta un cuadro de cargas general de toda la carga instalada y en cual fase está conectada cada carga.

Carga	kW fase A	kW fase B	kW fase C	kW total
6 Unidades de congelamiento	24	24	24	72
1 Fábrica de hielo	3.1	3.1	3.1	9.3
3 Minisplits de 1TR	3.6	3.6	3.6	10.8
Miscelanea	1.8	1.2	1.8	4.8
Alumbrado	2.7	2.1	3.6	8.4
Contactos	1.6	0.8	1.8	4.2
Total	36.8	34.8	37.9	109.5
		Potencia total instalada		109.5

Tabla 3 Potencia total instalada en el sistema eléctrico de la Congeladora

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con la NOM-001-SEDE-2012, el porcentaje de desbalance permitido entre fases en un sistema 3F-4H no debe exceder al 5%. Al aplicar la ecuación (5),

$$\% \text{ Desbalance} = \frac{kW_{mayor} - kW_{menor}}{kW_{mayor}} * 100 \quad (5)$$

se verifica que

$$\% \text{ Desbalance} = \frac{37.9 \text{ kW} - 34.8 \text{ kW}}{37.9 \text{ kW}} * 100 = 8.17$$

éste es un porcentaje mayor a lo permitido, por lo que se tuvo que realizar un análisis para reducir el % desbalance en el sistema eléctrico de la Planta congeladora.

A continuación, se hace la propuesta para reducir el % desbalance cambiando algunas cargas monofásicas a otra fase. Esta propuesta se muestra en la tabla 4 y se comprueba que el porcentaje de desbalance obtenido se reduce y es aceptable por la NOM-001-SEDE-2012. En la tabla 4 se muestran los cambios de carga a través del intercambio de fase que se proponen con las celdas marcadas en color azul.

Carga	kW fase A	kW fase B	kW fase C	kW total
6 Unidades de congelamiento	24	24	24	72
1 Fábrica de hielo	3.1	3.1	3.1	9.3
3 Minisplits de 1TR	3.6	3.6	3.6	10.8
Miscelanea	1.8	1.8	1.2	4.8
Alumbrado	2.7	2.1	3.6	8.4
Contactos	0.8	1.6	1.8	4.2
Total	36	36.2	37.3	109.5
		Potencia total instalada		109.5

Tabla 4 Potencia total instalada en el sistema eléctrico de la Congeladora. Se observa en color azul los cambios de carga en las fases para disminuir el % desbalance

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con la tabla anterior, tenemos:

$$\% \text{ Desbalance} = \frac{37.3 \text{ kW} - 36.2 \text{ kW}}{37.3 \text{ kW}} * 100 = 3.48$$

y este % desbalance es aceptado por la NOM-001-SEDE-2012.

Resultados del analizador de calidad de la energía y potencia eléctrica

La información obtenida de las mediciones fue analizada en hoja de cálculo Excel. Cada 10 minutos; el analizador de calidad de la energía (ver tabla 1) y potencia eléctrica guarda la información de las variables eléctricas de los datos medidos, siendo en total 1007 muestras por cada variable durante los ocho días que estuvo conectado al sistema eléctrico de la Planta Congeladora. La potencia máxima por día que demanda la instalación se muestra en la figura 7. Se observa que la mayor demanda se presenta en un horario nocturno, entre las 18:00 y las 21:00 horas, en el que el GD-PV no aporta potencia, por lo que la instalación la toma de la red de la CFE.



Figura 7 Potencia máxima por día que demanda la instalación eléctrica de la congeladora

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 5 ilustra la demanda máxima de cada día, en que se verifica que la medición que registra el medidor bidireccional de CFE para la facturación del mes es de 76.69 kW.

Fecha	kWmáx/día Fase A	kWmáx/día Fase B	kWmáx/día Fase C	kWmáx/día Total
25-ene	22.32	23.49	22.69	68.5
26-ene	21.37	22.18	21.8	65.24
27-ene	21	22.67	21.91	65.54
28-ene	25.41	26.7	25.14	76.02
29-ene	25.51	25.29	25.89	76.69
30-ene	21.04	22.62	21.36	64.68
31-ene	21.65	22.3	22.18	65.37
01-feb	22.02	21.81	22.11	65.84

Tabla 5 Demanda máxima durante los días de medición en el sistema eléctrico de la Congeladora

Fuente: Elaboración Propia

Fecha	kWh/día a Fase A	kWh/día Fase B	kWh/día Fase C	kWh/día Total
25-ene	412.586	412.586	412.586	1237.758
26-ene	408.268	434.27	426.821	1269.359
27-ene	412.552	441.682	434.008	1288.242
28-ene	425.193	460.211	437.593	1322.997
29-ene	435.247	471.07	453.865	1360.182
30-ene	399.014	424.189	408.864	1232.068
31-ene	386.912	409.476	394.205	1190.592
01-feb	420.762	445.31	428.693	1294.765

Tabla 6 Consumo total durante los días de medición en el sistema eléctrico de la Congeladora

Fuente: Elaboración Propia

La energía consumida por el sistema eléctrico durante el período de medición se muestra en la Tabla 6 y en la figura 8. Se observa un consumo casi uniforme durante los ocho días de medición.



Figura 8 Consumo total, presentado en barras, durante los días de medición en el sistema eléctrico de la Congeladora

Fuente: Elaboración Propia

Balance de energía eléctrica

Se realiza un análisis sobre el balance de energía eléctrica que produce la planta GD-PV, comparada con la energía que demanda la instalación eléctrica para verificar si el sistema es auto sostenible, es decir, si la planta GD-PV produce la energía total que requiere la congeladora o la planta GD-PV sólo cubre un porcentaje de la energía eléctrica que consume y el resto la toma de la red de CFE.

La tabla 7 muestra un déficit en la producción de energía con respecto a la que energía que demanda el sistema eléctrico, es decir, que aproximadamente el 25% de la energía requerida en la Planta congeladora es la que puede cubrir la planta GD-PV y que aproximadamente el 75% de la energía que consume la instalación la adquiere de la red eléctrica de la CFE.

Fecha	Balance de energía por día		Déficit de kWh
	kWh demandados	kWh generados	
25-ene	1237.758	301.6	936.158
26-ene	1269.359	301.6	967.759
27-ene	1288.242	301.6	986.642
28-ene	1322.997	301.6	1021.397
29-ene	1360.182	301.6	1058.582
30-ene	1232.068	301.6	930.468
31-ene	1190.592	301.6	888.992
01-feb	1294.765	301.6	993.165

Tabla 7 Balance de energía en el sistema eléctrico de la Planta congeladora durante los días de medición

Fuente: Elaboración Propia

Energía producida por la GD-PV

La energía producida por la GD-PV, E_{prod} en las 5.5 horas de radiación solar de un día solar (NREL, 2010), está dada por:

$$E_{prod} = W_{pico} \cdot hr_{rad} \cdot piezas_{módulo PV} \quad (6)$$

donde W_{pico} es la potencia pico de un módulo fotovoltaico en Watts, hr_{rad} son las horas de radiación solar en un día, y $piezas_{módulo PV}$ representa el número de módulos fotovoltaicos incluidos en la planta de GD-PV.

Derivado de lo anterior, la energía producida por la GD-PV está dada por:

$$E_{prod} = 0.260 \text{ kW (5.5 hr) (232 módulos)} = 331.76 \text{ kWh/día}$$

Estimación de CO₂ que se evita enviar al medio ambiente debido a la GD-PV

Dentro de un estudio de eficiencia energética, debe incluirse la cantidad de emisiones de bióxido de carbono (CO₂) que se liberan al medio ambiente debido a la generación de electricidad. En México, la Comisión Reguladora de Energía (CRE) y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) estiman anualmente el Factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional basado en el Artículo 12 del Reglamento de la Ley de Transición de Energía (Cámara de Diputados, 2017). El último factor publicado en el Diario Oficial de la Federación fue en el año 2017 siendo este de:

$$0.582 \text{ kg de CO}_2 / \text{kWh}$$

Además, se ha considerado un factor de emisión causado por la producción de energía con módulos fotovoltaicos; en los cálculos se utilizó un modelo de análisis denominado Modelo de Emisiones Globales para Sistemas integrados (GEMIS, 2018), el cual aplica un factor de:

$$0.135 \text{ kg de CO}_2 / \text{kWh}$$

Y Reich, et al. (2007), invita a elegir un valor entre un rango de emisiones entre:

$$0.030\text{-}0.317 \text{ kg de CO}_2 / \text{kWh}$$

De forma empírica escogemos el factor de GEMIS para nuestros cálculos, debido a que se encuentra dentro del rango de Reich.

Durante un mes de facturación, el total de la energía consumida por la Planta congeladora y que fue adquirida de la GD-PV es:

$$E_{cons} = 331.76 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} (30 \text{ días}) = 9952.8 \text{ kWh}$$

Entonces, las emisiones de CO₂ que se evita enviar al medio ambiente ϵ_{cons} por la energía que se consume a través de la GD-PV es:

$$\epsilon_{cons} = 0.582 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}} (9952.8 \text{ kWh}) = 5792.53 \text{ kg CO}_2$$

Las emisiones de CO₂ producidas ϵ_{prod} causadas por la producción de energía con la GD-PV son:

$$\epsilon_{prod} = 0.135 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}} (9952.8 \text{ kWh}) = 1343.63 \text{ kg CO}_2$$

Finalmente, las emisiones de CO₂ netas ϵ_{net} que se evita enviar a la atmósfera es la diferencia entre ϵ_{cons} y ϵ_{prod} :

$$\epsilon_{net} = \epsilon_{cons} - \epsilon_{prod} = 5792.53 \text{ kg CO}_2 - 1343.63 \text{ kg CO}_2 = 4448.9 \text{ kg CO}_2$$

Este es un dato significativo, muestra que se están dejando de emitir al medio ambiente 4.445 Toneladas de CO₂, el cual es un aporte revelador para la disminución de la huella de carbono.

Recomendaciones de eficiencia energética

Las medidas de eficiencia energética que se proponen en este estudio se enumeran a continuación:

- Para mejorar la eficiencia de la GD-PV en épocas pico, se recomienda un reajuste en la inclinación de los módulos del sistema entre un rango de 10 a 15 grados. Se puede ganar hasta 5% de eficiencia y se evita esfuerzos mecánicos a los módulos por su propio peso y por la presión ejercida por el aire (zona de estancamiento).
- Se recomienda levantar los módulos. Tomando como referencia la parte más baja de los módulos, se debe separar del techo una distancia mínima de 50 cm. Esta modificación favorecerá la circulación de aire para enfriar los módulos y se evitará zonas de estancamiento. Se prevé un aumento de eficiencia de un 5%.
- Para evitar pérdidas de eficiencia de la GD-PV debido al sombreado de los módulos, se debe disminuir la barda perimetral que rodea al sistema fotovoltaico a una altura máxima de 40 cm. Con esta acción, la eficiencia de la GD-PV aumentará un 2%.

- El sombreado producido por la planta GD-PV, evita que haya una ganancia térmica diaria por techo de aproximadamente 236.62 kW por día.
- Se debe modificar las conexiones de las cargas monofásicas en los tableros de distribución de acuerdo con la sugerencia descrita en secciones anteriores con el fin de reducir el % desbalance entre fases y evitar circulación de corriente por el neutro que provoca daños a la instalación, a los equipos y a las personas.
- Se recomienda sustituir los motores eléctricos de 12 kW y 9 kW debido a que son muy viejos y de baja eficiencia por motores de alta eficiencia para disminuir el consumo de dichos equipos en un 5%.
- Instalar variadores de velocidad en los 6 congeladores de 12 kW, para reducir los picos de potencia en los paros y arranques del compresor. Los congeladores representan la mayor carga de la GD-PV. Con esta acción se puede tener ahorros de consumo y demanda de un 15%.
- Con la planta GD-PV se evita la emisión a la atmosfera de 4,448.9 kg de CO₂ equivalente.

Agradecimiento

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma de Campeche el apoyo y el esfuerzo brindado, durante el desarrollo de este trabajo, a sus investigadores para que difundan los temas de investigación en los cuales están inmersos.

Conclusiones

En este artículo se presenta un estudio de eficiencia energética a una empresa congeladora de pescados y mariscos que posee una planta de Generación Distribuida Fotovoltaica (GDF-PV) a través de una auditoría energética, analizándola información de las principales variables eléctricas que actúan como protagonistas en la facturación del servicio de la empresa suministradora.

Se sugieren algunas recomendaciones que requieren inversión de capital y que al implementarlas se tendrán valores significativos de ahorro y uso eficiente de la energía en el sistema eléctrico de la Planta congeladora.

Se concluye que la metodología empleada es una guía de acciones que se deben realizar de manera ordenada y con un orden cronológico para asegurar la reducción de costos de consumos (kWh) y demandas (kW) de energía eléctrica a través de la aplicación de la eficiencia energética.

Referencias

Agustín Castejón, Germán Santamaría. (2012). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Edítex. ISBN eBook 978-84-9771-749-6.

Cámara de Diputados. “Reglamento de la Ley de Transición Energética”. Art. 12. Año 2017. Consultado en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/y/Reg_LTE_040517.pdf

Delgado A. J. S. Villalón, O. R. & Sánchez, M. M. L. (2020). Análisis tecno-económico de la operación en esquema de red inteligente y reserve energética en usuarios conectados a paneles fotovoltaicos. *Red internacional de Investigadores en Competitividad*, 13, 736-756.

DOF: 07/03/2017 *RESOLUCIÓN de la Comisión Reguladora de Energía por la que expide las disposiciones administrativas de carácter general, los modelos de contrato, la metodología de cálculo de contraprestación y las especificaciones técnicas generales, aplicables a las centrales eléctricas de generación distribuida y generación limpia distribuida.*

GEMIS. “Modelo de Emisiones Globales para Sistemas integrados”. Consultado en <https://ghgprotocol.org/Third-Party-Databases/GEMIS>

Global Energy Trade, reporte marzo-abril, (2020). *Monitor de información comercial e índice de Precios de Generación Solar Distribuida en México*. <https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/general/generacion-distribuida-potencial-de-crecimiento>

<http://www.beta.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=04>. INEGI (2015)

León Llanos J. A. (2020). Generación distribuida mediante el diseño de un Sistema fotovoltaico conectado a la red de distribución en el Instituto ISA-Chiclayo.

Lezama Zárraga, F. R., Andrade Durán, J. E., Ovando Sierra, J. C. & Castillo Téllez, M. Aplicación de Eficiencia Energética para optimizar el Sistema de Iluminación en una Institución de Nivel Superior. *Revista de aplicaciones de la Ingeniería*. ISSN 2523-6873. Edit. Ecorfan Bolivia, Vol. 2, No. 8, páginas 27-34. 2018.

Luis C. A., A. R., & María Beatriz, P. (2020). Proyectos fotovoltaicos en generación distribuida. ¿Rentabilidad Privada o Sustentabilidad Ambiental? *Revista politécnica*, 45(2), 31-40.

Mayra Robles López et al. *La eficiencia energética en microempresas mexicanas*. <https://www.uv.mx/iiesca/files/2017/03/19CA201602.pdf>

Merle Potter, David Wiggert, Bassem Ramadam, (2012). *Mecánica de Fluidos 4ª edición*. Editorial CENGAGE Learning, ISBN 13:978-607-519-450-9.

N.H. Reich, E.A. Alsema, W.G.J.H.M. van Sark, E. Nieuwlaar. "CO₂ Emissions of PV in the perspective of a renewable energy economy". 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, pp. 3538-3542. Milan, Italy. September 2007.

Ramos, E. (2020). La generación distribuida: el camino hacia la producción descentralizada de electricidad y pautas para su reglamentación. *Forseti*. *Revista de derecho*, 8(11), 07-35.

Rayenari D. C., J. Chan-González, Roger C., Jesús Contreras, M. Margarita Castillo-Téllez, Francisco Lezama, Víctor Lanz, J. Ortega (2015) *Sistema fotovoltaico interconectado a red instalado en el estacionamiento de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche*. Memorias del Congreso Nacional de Energía Solar.

Terol Calvo, S. (2020) *El acceso de la energía distribuida en conjuntos residenciales. Evaluación de sistemas fotovoltaicos comunitarios en la villa olímpica* (Doctoral dissertation).

U.S. Department of Energy. National Renewable Energy Laboratory, (2010). https://maps.nrel.gov/rede-mexico/?aL=wn05da%255Bv%255D%3Dt%26u-o1v1%255Bv%255D%3Dt%26u-o1v1%255Bd%255D%3D1%26mwBW5c%255Bv%255D%3Dt%26mwBW5c%255Bd%255D%3D2%26mwBW5c%255Br%255D%3Dt%26tpot_result_mexico_145835%255Bv%255D%3Dt%26tpot_result_mexico_145835%255Bd%255D%3D3%26tpot_result_mexico_145835%255Br%255D%3Dt&bL=clight&cE=0&IR=0&mC=21.861498734372567%2C-87.4951171875&zL=5

Víctor Lanz Gutierrez de Velazco, Manuel Cervera, (2018) *Auditorías Energéticas a las Instalaciones de la Universidad Autónoma de Campeche*, Comunicado Personal.

Victorio Santiago Díaz, Raúl Oscar. (2005) *Acondicionamiento termico de edificios/ Thermal Preparation of Buildings*. Editorial NOBUKO, ISBN 987-1135-94-7.

Yunus Çengel, Afshin J. Ghajar, (2011) *Transferencia de Calor y Masa 4ª edición*. Editorial McGraw Hill, ISBN 978-607-15-0540-8.

Monitoreo de instalación fotovoltaica usando bus CAN

Photovoltaic installation monitoring using CAN bus

LUJÁN-RAMÍREZ, Carlos Alberto†, SANDOVAL-GÍO, Jesús*, MORENO-SABIDO, Mario Renán, y ATOCHE-ENSEÑAT, José Ramón

Tecnológico Nacional de México / I.T. Mérida

ID 1^{er} Autor: *Carlos Alberto, Luján-Ramírez* / ORC ID: 0000-0002-8978-9188, Researcher ID Thomson: T-6838-2018, arXiv Author ID: clujan, CVU CONACYT ID: 296592

ID 1^{er} Coautor: *Jesús, Sandoval-Gío* / ORC ID: 0000-0001-5847-3669, Researcher ID Thomson: V-1930-2018, arXiv Author ID: jesus.sandoval, CVU CONACYT ID: 297308

ID 2^{do} Coautor: *Mario Renán, Moreno-Sabido* / ORC ID: 0000-0003-4690-7583, Researcher ID Thomson: T-3397-2018, arXiv Author ID: xacdc12, CVU CONACYT ID: 406193

ID 3^{er} Coautor: *José Ramón, Atoche-Enseñat* / ORC ID: 0000-0002-0214-7335, Researcher ID Thomson: Q-2005-2018, arXiv Author ID: jratoche, CVU CONACYT ID: 200715

DOI: 10.35429/JRE.2020.12.4.32.40

Recibido 03 de Abril, 2020; Aceptado 30 de Junio, 2020

Resumen

Este artículo aborda el problema de desarrollar un sistema para monitorear el comportamiento de módulos solares usando una red CAN. Se desea medir corriente, voltaje, y temperatura en distintas condiciones de operación de una instalación fotovoltaica, con el fin de obtener la información necesaria para posteriormente usarla en la determinación de su eficiencia energética. En el sistema propuesto, los datos de corriente, voltaje y temperatura son transmitidos a través una red CAN basada en dispositivos de la familia de microcontroladores de Microchip®. El diseño de la red se conforma de nodos esclavos encargados de llevar a cabo la adquisición de datos y conducirlos a un nodo maestro CAN Central. Este nodo maestro los recibe, se encarga de la temporización de las tareas y se conecta vía puerto serial a una computadora personal. El entorno de programación utilizado es el de MikroC® para dsPIC®. El proceso de envío de los datos se puede observar a través de la terminal USART del MikroC®, éstos se guardan en un archivo .txt para su posterior análisis con algún programa científico. Se reportan pruebas experimentales realizadas con un grupo de paneles comerciales bajo dos condiciones de operación: corto circuito y circuito abierto. Se muestran las gráficas, y para validar la información que aportan los datos adquiridos se verifican las relaciones entre las variables monitoreadas considerando el conocimiento obtenido de la literatura.

Monitoreo paneles solares, dsPIC, Red CAN

Abstract

This paper addresses the problem of developing a system to monitor the behavior of solar modules using a CAN network. It is desired to measure current, voltage, and temperature under different operating conditions of a photovoltaic installation, in order to obtain the necessary information to later use it to determine its energy efficiency. In this work, current, voltage and temperature data are transmitted over a CAN network based on devices from the Microchip® family of microcontrollers. The network design is made up of slave nodes in charge of carrying out data acquisition and leading them to a CAN Central master node. This master node receives them, oversees timing tasks and connects via serial port to a personal computer. The programming environment used is MikroC® for dsPIC®. The process of sending the data can be observed through the MikroC® USART terminal, these are saved in a .txt file for later analysis with a scientific software. Experimental tests carried out with a group of commercial panels are reported under two operating conditions: short circuit and open circuit. The graphs are shown, and to validate the information provided by the acquired data, the relationships between the monitored variables are verified considering the knowledge obtained from the literature.

Solar panels monitoring, dsPIC, Can Bus

Citación: LUJÁN-RAMÍREZ, Carlos Alberto, SANDOVAL-GÍO, Jesús, MORENO-SABIDO, Mario Renán, y ATOCHE-ENSEÑAT, José Ramón. Monitoreo de instalación fotovoltaica usando bus CAN. Revista de Energías Renovables. 2020. 4-12: 32-40

* Correspondencia del Autor (Correo electrónico: jesus.sg@merida.tecnm.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Una instalación fotovoltaica está formada por varios módulos solares que se conectan entre sí, por ejemplo, usando un grupo de microinversores en una instalación conectada a la red eléctrica o a un controlador de carga de baterías en un sistema aislado. La eficiencia energética de conversión de la instalación fotovoltaica depende de su punto de operación, el cual está determinado por ciertas variables como la cantidad de irradiación solar que recibe, la orientación del módulo respecto a esta radiación, así como de la temperatura en la que opera y las condiciones particulares de su sistema de carga (So, Jung, Yu, & Choi, 2007).

Es tema de gran interés determinar cuál es la eficiencia energética con el que se desempeña una instalación solar particular bajo diversas condiciones de operación (Li Vigni, y otros, 2015). Una contribución al abordaje de este problema es diseñar un sistema que pueda proporcionar los datos más importantes que se relacionan con el rendimiento de esa instalación. Estos son, en términos generales, la temperatura T y la irradiancia G , es decir, la cantidad de irradiación solar que recibe. Estos dos parámetros se presentan usualmente en las curvas características I-V y P-V, incluidas en las hojas de datos del fabricante de los módulos solares. Sin embargo, estas curvas solo son válidas bajo condiciones estándar de operación (SC) y cambian de forma conforme las condiciones ambientales progresan a lo largo del día (Castillo Atoche, y otros, 2015). Es deseable disponer de un sistema que pueda recabar suficiente información en tiempo real que pueda usarse para realizar un análisis del *performance* de la instalación (So, Jung, Yu, & Choi, 2007).

Dentro del ámbito del monitoreo de una instalación fotovoltaica se emplean distintos métodos, los cuales incluyen soluciones alámbricas e inalámbricas (Papageorgas, y otros, 2013), (Xie, Yang, Zhang, & Li, 2015), (Kang, Kang, & Choi, 2013), y (Rivai & Rahim, 2013). Los sistemas basados en redes inalámbricas orientan su aplicación a sistemas de grandes dimensiones y alejados de los centros de control, destinados, la mayoría de las veces, a satisfacer al usuario no experto en el tema que dispone de un dispositivo móvil y una conexión a internet. Son sistemas relativamente sensibles al ruido eléctrico y de limitada velocidad (Sarswat, Yadav, & Maurya, 2019) (Kekre & Gawre, 2017).

Por otro lado, los sistemas alámbricos se prefieren cuando los arreglos no son muy extendidos y se requiere mayor velocidad e inmunidad al ruido (Mohanraj, Thottungal, & Jaikumar, 2013).

Uno de los buses de campo más usados en la industria es el CAN (*Controller Area Network*) CAN tiene diferentes capas físicas que puede utilizar. La capa física más común es la CAN de alta velocidad. Esta está implementada con dos cables y permiten la comunicación con tasas de transferencia de hasta 1 Mbps. En una red CAN es posible interconectar hasta 110 nodos sin afectar la velocidad de transmisión (Bosch, 1991). Así, en la aplicación con una instalación fotovoltaica, es posible usar un nodo como elemento interfaz en la adquisición de los datos de cada módulo solar. Como se mencionó, CAN simplifica mucho el cableado ya que utiliza solamente 2 líneas de transmisión denominadas *CAN Low* y *Can Hight*.

En este trabajo se describe un sistema de adquisición de datos fiable, diseñado e implementado para medir y monitorear en tiempo real, las características más importantes que se relacionan con el rendimiento de un módulo solar, y/o sistema, haciendo uso de las ventajas de las redes CAN. Según (Núñez, Benítez, Proenza, Vázquez, & Diaz, 2020) las pérdidas de energía que ocurren en un sistema fotovoltaico pueden deberse principalmente a dos causas: las pérdidas operacionales y los fallos. Las primeras, que están siempre presentes en cualquier sistema fotovoltaico, se relacionan con las diferencias que existen en el ámbito práctico, entre la eficiencia nominal y la real.

Aquí entran las pérdidas de energía resistiva en los cables de conducción eléctrica y las pérdidas debido a la degradación de los componentes por efecto del ambiente y el envejecimiento. Los fallos están asociados al mal funcionamiento de, al menos, un componente del sistema y, en consecuencia, por salir de sus condiciones típicas de operación.

El sistema propuesto se utiliza para adquirir información de las condiciones de operación del sistema fotovoltaico, midiendo datos en el módulo solar conectado a la red y transferir los valores registrados a una computadora de supervisión para su almacenamiento y posterior procesamiento.

El alcance de este sistema de monitoreo va más allá de mostrar solamente una gráfica en una interfaz de usuario.

La presentación de este trabajo se organiza de la siguiente manera:

1. **Materiales.** Se muestran los materiales y recursos tecnológicos empleados en el diseño del sistema de monitoreo.
2. **Método.** Se precisa el método empleado en el diseño e implementación del prototipo.
3. **Resultados.** Se detalla el procedimiento experimental para comprobar el adecuado funcionamiento del sistema.
4. **Conclusiones.** Se destacan las conclusiones alcanzadas en esta investigación.
5. **Agradecimientos.** Se mencionan las colaboraciones que apoyaron el desarrollo del proyecto.

Materiales

El bus CAN

El bus CAN es uno de los buses de campo más utilizado actualmente. El protocolo CAN fue diseñado por Bosch en 1986 para aplicaciones de la industria automotriz como una forma de lograr una comunicación serial de gran robustez. (Bosch, 1991). A partir de 1994, se han desarrollado y estandarizado otros protocolos de alto nivel a partir de CAN, como CANopen® y DeviceNet®, y su uso se ha extendido a otras industrias. Mediante la implementación de una red CAN se pueden comunicar varias estaciones con otras sin el inconveniente de agregar carga computacional al controlador principal.

Cada estación de la red puede funcionar como dispositivos de sensado, actuación, despliegue de información, controladores, entre otras cosas. (Mohanraj, Thottungal, & Jaikumar, 2013). Las principales características de la comunicación mediante bus CAN incluyen una velocidad de hasta 1Mbps, esquema multimaestro, con capacidad de autodiagnóstico y reparación de errores. La arquitectura distribuida de la red permite fácil mantenimiento y bajo costo.

Una de las más apreciadas ventajas es la alta inmunidad al ruido de interferencia electromagnética ya que emplea un alambrado con señales diferenciales con dos niveles de voltaje: un '0' lógico dominante y un '1' lógico recesivo. No existe una línea específica de reloj para generar sincronización; ésta se obtiene a partir de los flancos de las propias señales.

Controlador digital de señales dsPIC

El Circuito Integrado (CI) dsPIC30f4013, es un Controlador de Señales Digitales (DSC) a 16 bits de la familia Microchip® con una arquitectura de alto rendimiento basada en RISC (Microchip Technology Incorporated, 2007).

Los dsPIC se comenzaron a producir a gran escala a finales de 2004. Son los primeros PIC con buses de datos de 16 bits. Reúnen todas las posibilidades de los anteriores PIC y añaden varias operaciones de DSP (*Digital Signal Processing*) implementadas en hardware, como multiplicación con suma de acumulador (*multiply-accumulate*, MAC), barrel shifting, *bit reversion* o multiplicación 16x16 bits.

Algunas características del dsPIC30f4013 se presentan en la Tabla 1.

Característica	Cantidad
Eeprom	1024 B
Sram	2KB
Memoria De Programa	48KB
Entradas/Salidas	30
Timers	5 de 16bits
Adc	12 bits, 200 ksp/s y 13 canales
Interfaz	CAN I2C SPI UART x2

Tabla 1 Características del DSPIC30F4013. Fuente: dsPIC30F3014/4013 Data Sheet. Microchip Technology Inc. 2010



Figura 1 Sensor de corriente de efecto Hall, modelo ACS714

Fuente: www.pololu.com



Figura 2 Sensor de temperatura, modelo DS18B20
Fuente: Maxim Integrated Products Inc.

Monitor de tensión

El circuito integrado que se utilizó para la monitorización del voltaje en cada módulo fotovoltaico es el INA114AP, que es un amplificador de instrumentación que ofrece una excelente precisión (Burr-Brown Corporation, 2020). El proceso de muestreo está basado en un simple divisor de tensión, aprovechando la alta impedancia del amplificador de instrumentación.

Monitor de corriente

Para obtener el valor de la corriente que produce cada módulo solar, se utilizó el sensor de corriente ACS714 de -30 amperes a +30 amperes. En la Figura 1 se muestra el modelo del sensor de corriente ACS714. Este dispositivo utiliza el principio del efecto Hall para sensar la intensidad de la corriente que genera cada módulo fotovoltaico, proporcionando un valor de voltaje proporcional a la corriente que circula a través de este. De acuerdo con (Allegro, 2013), la sensibilidad en la salida es de 66 a 185 mV/A.

Monitor de temperatura

Se utiliza el sensor de temperatura de precisión DS18B20. Este proporciona lecturas con una resolución de 9 a 12 bits (Maxim Integrated Products, Inc., 2019). Como puede verse en la Figura 2, presenta 3 terminales (VCC, GND, y Data). El encapsulado del sensor tiene un cuerpo metálico que es ideal para utilizarlo en exteriores. La comunicación se hace a través de una sola línea (One Wire Bus), es decir, se requiere de una sola línea de datos. La colocación del sensor se ubica en la parte posterior de la estructura de los paneles.

Metodología

Diseño del sistema

El sistema se construye a partir del diagrama a bloques que se presenta en la Figura 3. Cada elemento de la red se construye a alrededor del Circuito Integrado (CI) dsPIC30f4013.

Para utilizar el bus CAN en el dsPIC, se debe conectar un transceptor ya que este DSC no lo integra. Dentro de la gama básica de integrados de Microchip, está el MCP2551 (Microchip Technology Inc., 2007). Este es un transceptor CAN de alta velocidad que puede funcionar a velocidades de hasta 1 Mbps.

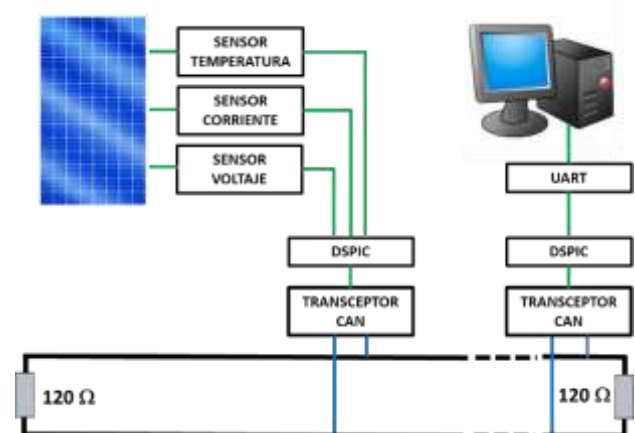


Figura 3 Esquema general del sistema
Fuente: Elaboración Propia

El MCP2551 sirve de interfaz entre un controlador CAN y el bus físico y proporciona capacidad de transmisión y recepción diferencial, además de ser completamente compatible con ISO 11898. Adicionalmente es adecuado para sistemas de 12 V y 24 V. Posee entrada externa de control en pendiente para reducir las emisiones RFI, implementa los requisitos de capa física ISO 11898, detección dominante permanente, un funcionamiento en espera de baja corriente y una alta inmunidad al ruido gracias a la implementación de un bus diferencial.

Es necesario un transceptor para cada nodo (ver Figura 4). El funcionamiento es el siguiente: el módulo CAN se implementa en el microcontrolador como una interfaz serie, utilizada para la comunicación con otros módulos CAN u otros dispositivos del propio microcontrolador (Stoneking, 2002).

Para interconectar a la vez todos los nodos de la red en un mismo punto, es necesario crear terminales utilizando *jacks* RJ-45. Solo se conectan 2 pines comunes en todas y cada una de las terminales, de correspondencia a las líneas CAN Low y CAN High.

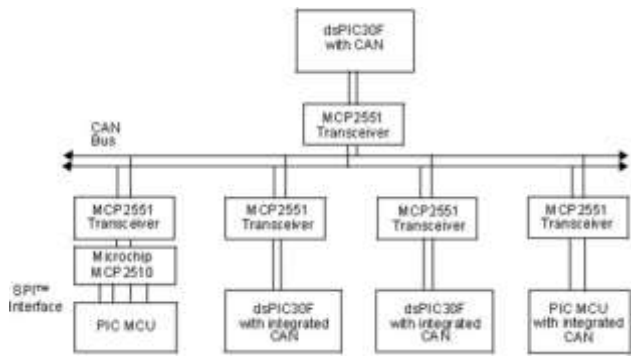


Figura 4 Implementación de la red CAN usando dispositivos de la familia PIC
Fuente: Microchip Inc

La programación de los dispositivos se realizó con mikroC PRO®. Este es un completo compilador de ANSI C para los dispositivos PIC de Microchip® desarrollado por MikroElektronika®. Es una excelente solución para el desarrollo de códigos, es un ambiente de desarrollo con editor de texto, bibliotecas con múltiples funciones para diversos módulos y herramientas incorporadas para agilizar enormemente el proceso de programación.

Pruebas experimentales

Las pruebas experimentales se llevaron a cabo en el Laboratorio de Energías Renovables de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Yucatán con coordenadas: Latitud: 21° 02' 54" Norte, Longitud: 89° 38' 35" Oeste, Altura: 6,27 msnm. Durante el desarrollo experimental se emplearon 4 paneles fotovoltaicos del tipo Sunmodule SW 50 poly RMA.

La Tabla 2 muestra los datos de la hoja del fabricante (Solar World AG, 2012), bajo condiciones estándar de prueba (STC: G=1000W/m², T=25°C, AM 1.5). Se espera una reducción de la eficiencia en el comportamiento con carga parcial a 25°C: A 200 W/m² se alcanza el 95 % (+/- 2 %) de la eficiencia bajo STC.

Característica	Símbolo	Valor	Unidades
Máxima potencia	Pmax	50	W
Voltaje a circuito abierto	Voc	22.1	V
Voltaje en el punto de máxima potencia	Vmpp	18.2	V
Corriente de corto circuito	Isc	2.95	A
Corriente en el punto máximo de potencia	Imp	2.75	A

Tabla 2 Características generales del panel solar Sunmodule SW 50 poly RMA Data sheet
Fuente: SolarWorld AG. 5/2010



Figura 5 Implementación de la red CAN en cuatro módulos de 50W en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 5 se muestra la instalación de todo el sistema que constituye la Red CAN.

Cabe recordar que el sensor de temperatura se adapta a la parte posterior de cada panel, la salida de voltaje de cada panel en la entrada del circuito divisor de voltaje en la tarjeta de adquisición, el sensor de corriente en serie con alguna carga, que puede ser una resistencia variable de potencia, y el nodo central a la computadora.

El día 14 de abril de 2019 se hizo la primera medición comenzando a las 6:00 horas y concluyendo a las 20:00. Se tomaron lecturas cada 5 minutos y se observaron dos condiciones de operación: salida de los módulos en corto circuito y circuito abierto. Estas condiciones se operaron desde los dsPIC usando un circuito de control formado por un relevador y un transistor MOSFET de potencia conectados a un puerto digital. El nodo central va solicitando a cada nodo esclavo los datos de temperatura, tensión y corriente en intervalos de tiempo de cinco minutos. Se permite un tiempo de entre uno y dos minutos para la estabilización térmica del panel acoplado a la respectiva carga en cada proceso de medida.

El nodo central dispone de un LCD donde se puede apreciar la medición de temperatura en valor decimal, el de voltaje y la corriente. Adicionalmente, se tomaron medidas de la irradiancia en forma paralela con un piranómetro desarrollado previamente y descrito en (Sandoval Gío, Luján Ramírez, Sandoval Curmina, & Chan Sosa, 2018).

Al hacer la medición el día 18 de abril del 2019, la temperatura promedio de los 4 módulos solares fue de 40.65°C , mientras que el voltaje promedio fue de 19.05 v, y de acuerdo con la Tabla 2 que muestra el voltaje a circuito abierto en condiciones estándar, es decir, a 25°C ofrece 22.1 volts. Entonces, se puede concluir, que el incremento de la temperatura en un módulo solar reduce la tensión de salida en circuito abierto Voc.

Una característica importante es que se pueden conectar/desconectar nodos a la red sin afectar el funcionamiento de los demás. Hay que considerar, sin embargo, que conforme aumenta la distancia, disminuye la velocidad del bus. La velocidad máxima del bus CAN se obtiene a 40 metros utilizando en los extremos terminales dos resistencias de $120\ \Omega$, de acuerdo con el ISO 11898-2.

Resultados

A partir de los experimentos realizados se procedió validar los datos obtenidos en la medición de un panel fotovoltaico relacionando las diferentes variables en dos condiciones de operación: el panel en corto circuito y en circuito abierto. Existe amplia información en la literatura que desarrollan extensamente las relaciones anteriormente citadas (Xiao, Yu, Yang, & Que, 2014), (Löper, y otros, 2012). Se muestran a continuación las gráficas obtenidas en este procedimiento experimental.

Se observa en la Gráfica 1 la evolución de la temperatura T (en $^{\circ}\text{C}$) y la irradiancia G (en W/m^2) en diferentes momentos del día.

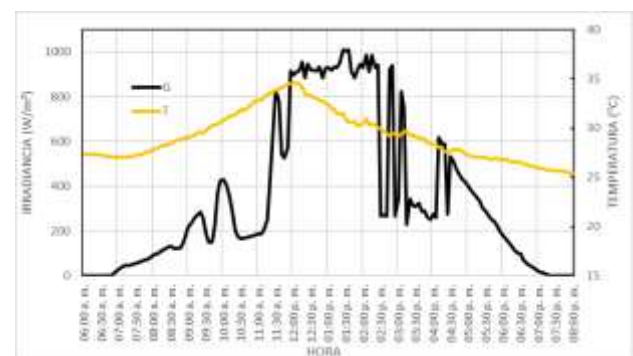
En la Gráfica 2 se muestra la muy cercana relación entre la irradiancia G y la corriente de corto circuito Isc, ya descrita por otros autores en la literatura (Kaundal, Mondal, Sharma, & Bansal, 2015). La curva de dispersión de la Gráfica 3 demuestra con claridad esta dependencia.

La poca variación de la tensión Voc con la irradiancia G se ilustra en la Gráfica 4.

La relación entre Voc y G se describe en (Shariar, Mohammed, Rahman, & Islam, 2011), y puede observarse en la Gráfica 5.

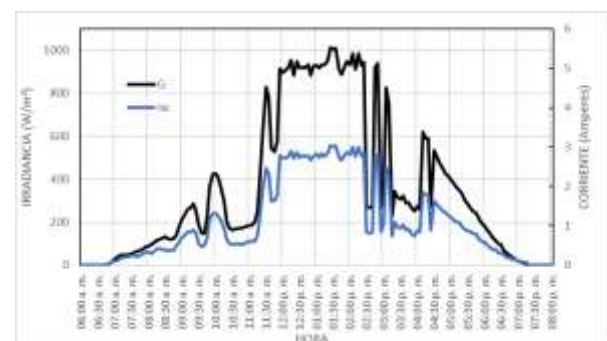
La Gráfica 6 muestra el efecto de relación entre Voc y la temperatura T durante el intervalo de tiempo en el que la irradiancia tiene una poca variación relativa, esto es, entre las 12:00 y las 14:30 hrs. Este efecto de dependencia inversa se encuentra documentado en (Shariar, Mohammed, Rahman, & Islam, 2011) y (Löper, y otros, 2012).

Dada la programabilidad del sistema, es posible rediseñar los experimentos para diferentes escenarios que destaquen por su mayor complejidad, los cuales son tópicos de gran interés para la investigación de varios autores. Ver a (Prieto, Pernia, Nuno, Diaz, & Villegas, 2014), (Li Vigni, y otros, 2015), y (Robinson Rodríguez, Jutinico Alarcón, & Jiménez Moreno, 2013).



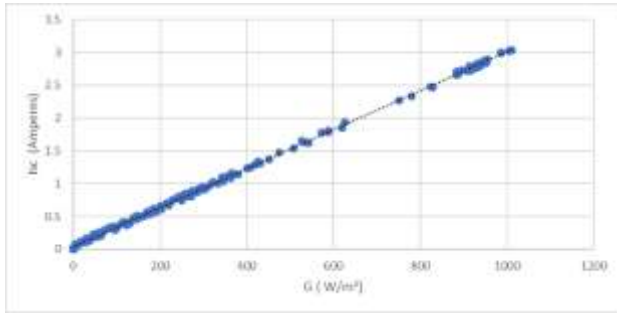
Gráfica 1 G y T medidos el día 14 de abril de 2019

Fuente: Elaboración Propia



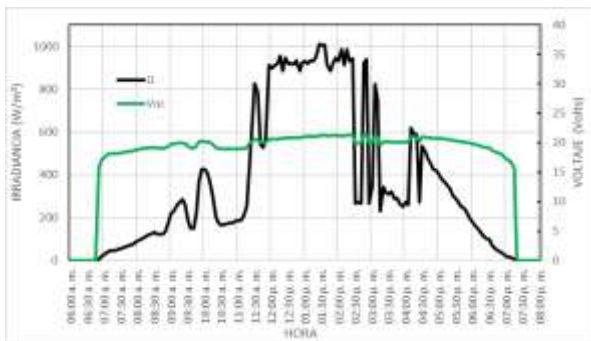
Gráfica 2 G e Isc medidos el día 14 de abril de 2019

Fuente: Elaboración Propia



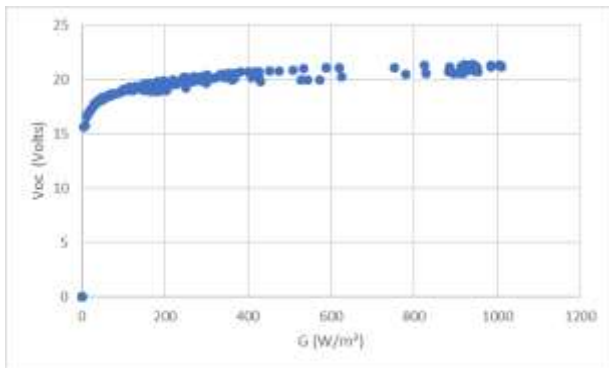
Gráfica 3 Curva de dispersión entre I_{sc} y G . Datos medidos el día 14 de abril de 2019

Fuente: Elaboración Propia



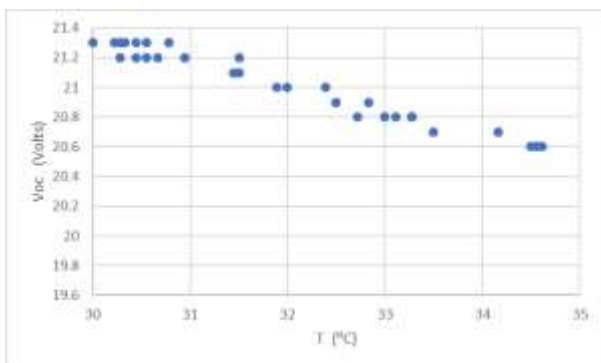
Gráfica 4 V_{oc} y G medidos el día 14 de abril de 2019

Fuente: Elaboración Propia



Gráfica 5 Curva de dispersión entre V_{oc} y G . Datos medidos el día 14 de abril de 2019

Fuente: Elaboración Propia



Gráfica 6 Curva de dispersión de V_{oc} y T , de entre las 12:00 y 14:30 hrs., medidos el día 14 de abril de 2019

Fuente: Elaboración Propia

Conclusiones

Se ha diseñado un sistema de monitoreo de un arreglo fotovoltaico de paneles solares interconectados usando una red CAN, en el cual la información de tensión y corriente de salida, temperatura, son enviados a un controlador de señales digitales (DSC) para su posterior procesamiento. La red CAN ha sido construida con dispositivos de la familia Microchip. Se ha diseñado un programa para integración de los datos a un archivo .txt para el tratamiento de la información en Excel de Microsoft. Se ha validado la información obtenida mediante un análisis de comportamiento de la relación de las variables usando una base de conocimiento tomada de distintos autores en la literatura.

Con la información obtenida con este sistema es posible procesar los datos obtenidos para analizar diferentes escenarios incluyendo tópicos relacionados a la reconfiguración en la conexión de los paneles, estudios de eficiencia bajo distintos tipos de carga, pronóstico energético, y respuesta de la red a transitorios.

Dada la flexibilidad del sistema, también es posible crear redes mixtas e interconectar con otro tipo de redes, por ejemplo, inalámbricas que utilizan módulos XBee® bajo el estándar ZigBee®.

Agradecimientos

Agradecemos al Tecnológico Nacional de México / I. T. Mérida por todo el apoyo referente a los instrumentos y equipos de medida, y a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán por el acceso a las instalaciones de su Laboratorio de Energías Renovables.

Referencias

Allegro. (2013). *ACS714. Fully integrated Hall effect based linear current sensor datasheet*. Worcester, Massachusetts, USA: Allegro microsystems.

Bosch, R. (1991). *CAN specification version 2.0*. Stuttgart, Germany.

Burr-Brown Corporation. (2020). *INA114AP Precision instrumentation amplifier Datasheet*. Dallas, Texas, USA.: Texas Instruments.

- Castillo Atoche, A., Vázquez Castillo, J., Ortégón Aguilar, J., Carrasco Álvarez, R., Sandoval Gío, J., & Colli Menchi, A. (2015). A high-accuracy photovoltaic emulator system using ARM processors. *Solar Energy*, 389-398.
- Kang, M., Kang, H., & Choi, E. (2013). Monitoring technology available for measuring multiple-photovoltaic panel arrays. *Proceedings of the TENCON Spring Conference*, (págs. 17-19). Sydney, Australia.
- Kaundal, V., Mondal, A., Sharma, P., & Bansal, K. (2015). Tracing of shading effect on underachieving SPV cell of an SPV grid using wireless sensor network. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 475-484.
- Kekre, A., & Gawre, S. K. (2017). Solar photovoltaic remote monitoring system using IOT. *International Conference on Recent Innovations in Signal processing and Embedded Systems (RISE)* (págs. 619-623). Bhopal, India: IEEE.
- Li Vigni, V., La Manna, D., Riva Sanseverino, E., Di Dio, V., Romano, P., Di Buono, P., . . . Giaconia, C. (2015). Proof of Concept of an Irradiance Estimation System for Reconfigurable Photovoltaic Arrays. *Energies*, 6641-6657.
- Löper, P., Pysch, D., Richter, M., Hermle, M., Janz, S., Zacharias, M., & Glunz, S. (2012). Analysis of the Temperature Dependence of the Open-Circuit Voltage. *SiliconPV 2012 Conference*. (págs. 135-142). Leuven, Belgium.: Elsevier Ltd.
- Maxim Integrated Products, Inc. (2019). *DSB18B20. Programmable resolution 1-Wire digital thermometer datasheet*. San José, California, USA.: Maxim.
- Microchip Technology Inc. (2007). *MCP2551. High-Speed CAN Transceiver Data Sheet*. Chandler, AZ, USA.: Microchip Technology Inc.
- Microchip Technology Incorporated. (2007). *dsPIC30F3014/4013 Data Sheet*. Chandler, AZ, USA.: Microchip Technology Incorporated.
- Mohanraj, M., Thottungal, R., & Jaikumar, K. (2013). A CAN bus based system for monitoring and fault diagnosis in wind turbine. *International Conference on Emerging Trends in VLSI, Embedded System, Nano Electronics and Telecommunication System (ICEVENT)* (págs. 1-3.). Tiruvannamalai, India: IEEE.
- Núñez, J., Benítez, I., Proenza, R., Vázquez, L., & Diaz, D. (2020). Metodología de diagnóstico de fallos para sistemas fotovoltaicos de conexión a red. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 94-105.
- Papageorgas, P., Piromalis, D., Antonakoglou, K., Vokas, G., Tseles, D., & Arvanitis, K. (2013). Smart Solar Panels: In-situ monitoring of photovoltaic panels based on wired and wireless sensor networks . *Energy Procedia*, 535-545.
- Prieto, M., Pernia, A., Nuno, F., Diaz, J., & Villegas, P. (2014). Development of a Wireless Sensor Network for Individual Monitoring of Panels in a Photovoltaic Plant. *Sensors*, 2379–2396.
- Rivai, A., & Rahim, N. (2013). A low-cost photovoltaic (PV) array monitoring system. *Proceedings of the 2013 IEEE Conference on Clean Energy and Technology (CEAT)* (págs. 169–174). Lankgwari, Malaysia: IEEE.
- Robinson Rodríguez, D., Jutinico Alarcón, A., & Jiménez Moreno, R. (2013). Monitoring system for global solar radiation, temperature, current and power for a photovoltaic system interconnected with the electricity distribution network in Bogota. *Proceedings of the 56th International Midwest Symposium on Circuits and Systems* (págs. 4-7). Columbus, OH, USA: IEEE.
- Sandoval Gío, J., Luján Ramírez, C., Sandoval Curmina, V., & Chan Sosa, I. (2018). Sistema para el monitoreo remoto y análisis estadístico de la información energética disponible para optimizar el uso de arreglos de paneles solares. *Revista de Tecnologías Computacionales*, 10-17.
- Sarswat, S., Yadav, I., & Maurya, S. (2019). Real Time Monitoring of Solar PV parameter using IoT. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 267-271.

Shariar, K., Mohammed, M., Rahman, M., & Islam, M. (2011). *Fabrication & Characterization of Natural Dye Sensitized Solar Cell (NDSC)*. Gazipur, Bangladesh.: University of Technology, Gazipur, Bangladesh.

So, J., Jung, Y., Yu, G., & Choi, J. (2007). Performance results and analysis of 3kW grid-connected PV systems. *Renew Energy*, 1858–1872.

Solar World AG. (2012). *Sunmodule SW 50 poly RMA data sheet*. USA: Solar World AG.

Stoneking, R. (2002). *A Simple CAN Node Using the MCP2510 and PIC12C67X*. Chandler, AZ. USA.: Microchip Technology Inc.

Xiao, C., Yu, X., Yang, D., & Que, D. (2014). Impact of solar irradiance intensity and temperature on the performance of compensated crystalline silicon solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 427-434.

Xie, Z., Yang, W., Zhang, X., & Li, Z. (2015). The Study of Solar Monitoring System . *International Forum on Energy, Environment Science and Materials (IFEESM 2015)* (págs. 164-168). Shenzhen, China: Atlantis Press.

Instrucciones para la Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

[Título en Times New Roman y Negritas No. 14 en Español e Inglés]

Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1^{er} Autor†*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1^{er} Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2^{do} Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3^{er} Coautor

Institución de Afiliación del Autor incluyendo dependencia (en Times New Roman No.10 y Cursiva)

International Identification of Science - Technology and Innovation

ID 1^{er} Autor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1^{er} Autor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 1^{er} Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1^{er} Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 2^{do} Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 2^{do} Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 3^{er} Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 3^{er} Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

(Indicar Fecha de Envío: Mes, Día, Año); Aceptado (Indicar Fecha de Aceptación: Uso Exclusivo de ECORFAN)

Resumen (En Español, 150-200 palabras)

Objetivos
Metodología
Contribución

Indicar 3 palabras clave en Times New Roman y Negritas No. 10 (En Español)

Resumen (En Inglés, 150-200 palabras)

Objetivos
Metodología
Contribución

Indicar 3 palabras clave en Times New Roman y Negritas No. 10 (En Inglés)

Citación: Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Autor†*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2do Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3er Coautor. Título del Artículo. Revista de Energías Renovables. Año 1-1: 1-11 (Times New Roman No. 10)

* Correspondencia del Autor (ejemplo@ejemplo.org)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Texto redactado en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

¿Cuál es su valor agregado respecto de las demás técnicas?

Enfocar claramente cada una de sus características

Explicar con claridad el problema a solucionar y la hipótesis central.

Explicación de las secciones del Artículo

Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente

[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

Desarrollo de Artículos en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

En el *contenido del Artículo* todo gráfico, tabla y figura debe ser editable en formatos que permitan modificar tamaño, tipo y número de letra, a efectos de edición, estas deberán estar en alta calidad, no pixeladas y deben ser notables aun reduciendo la imagen a escala.

[Indicando el título en la parte inferior con Times New Roman No. 10 y Negrita]

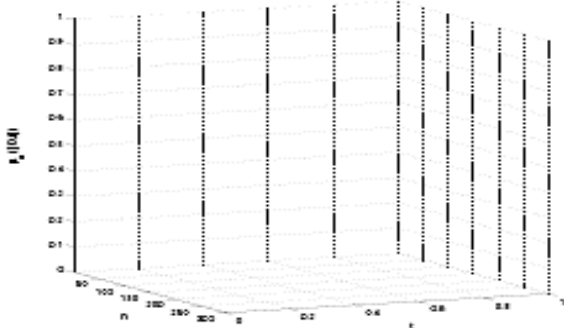


Gráfico 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

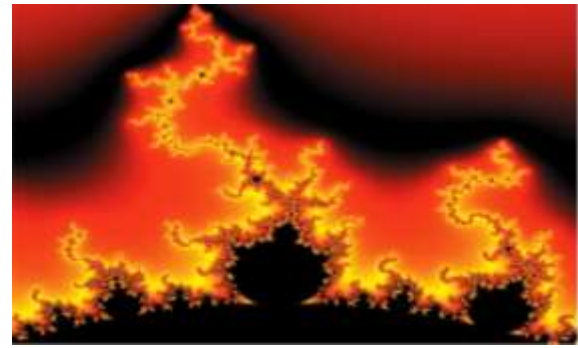


Figura 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

Tabla 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

Cada Artículo deberá presentar de manera separada en **3 Carpetas**: a) Figuras, b) Gráficos y c) Tablas en formato .JPG, indicando el número en Negrita y el Titulo secuencial.

Para el uso de Ecuaciones, señalar de la siguiente forma:

$$Y_{ij} = \alpha + \sum_{h=1}^r \beta_h X_{hij} + u_j + e_{ij} \quad (1)$$

Deberán ser editables y con numeración alineada en el extremo derecho.

Metodología a desarrollar

Dar el significado de las variables en redacción lineal y es importante la comparación de los criterios usados

Resultados

Los resultados deberán ser por sección del Artículo.

Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

Agradecimiento

Indicar si fueron financiados por alguna Institución, Universidad o Empresa.

Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Autor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2do Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3er Coautor. Título del artículo. Revista de Energías Renovables. Año (Times New Roman No.8)

Conclusiones

Explicar con claridad los resultados obtenidos y las posibilidades de mejora.

Referencias

Utilizar sistema APA. No deben estar numerados, tampoco con viñetas, sin embargo en caso necesario de numerar será porque se hace referencia o mención en alguna parte del Artículo.

Utilizar Alfabeto Romano, todas las referencias que ha utilizado deben estar en el Alfabeto romano, incluso si usted ha citado un Artículo, libro en cualquiera de los idiomas oficiales de la Organización de las Naciones Unidas (Inglés, Francés, Alemán, Chino, Ruso, Portugués, Italiano, Español, Árabe), debe escribir la referencia en escritura romana y no en cualquiera de los idiomas oficiales.

Ficha Técnica

Cada Artículo deberá presentar un documento Word (.docx):

Nombre de la Revista

Título del Artículo

Abstract

Keywords

Secciones del Artículo, por ejemplo:

1. *Introducción*
2. *Descripción del método*
3. *Análisis a partir de la regresión por curva de demanda*
4. *Resultados*
5. *Agradecimiento*
6. *Conclusiones*
7. *Referencias*

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencias

Requerimientos de Propiedad Intelectual para su edición:

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Originalidad del Autor y Coautores

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Aceptación del Autor y Coautores

Reserva a la Política Editorial

Revista de Energías Renovables se reserva el derecho de hacer los cambios editoriales requeridos para adecuar los Artículos a la Política Editorial del Research Journal. Una vez aceptado el Artículo en su versión final, el Research Journal enviará al autor las pruebas para su revisión. ECORFAN® únicamente aceptará la corrección de erratas y errores u omisiones provenientes del proceso de edición de la revista reservándose en su totalidad los derechos de autor y difusión de contenido. No se aceptarán supresiones, sustituciones o añadidos que alteren la formación del Artículo.

Código de Ética – Buenas Prácticas y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

Declaración de Originalidad y carácter inédito del Artículo, de Autoría, sobre la obtención de datos e interpretación de resultados, Agradecimientos, Conflicto de intereses, Cesión de derechos y distribución.

La Dirección de ECORFAN-México, S.C reivindica a los Autores de Artículos que su contenido debe ser original, inédito y de contenido Científico, Tecnológico y de Innovación para someterlo a evaluación.

Los Autores firmantes del Artículo deben ser los mismos que han contribuido a su concepción, realización y desarrollo, así como a la obtención de los datos, la interpretación de los resultados, su redacción y revisión. El Autor de correspondencia del Artículo propuesto requisitara el formulario que sigue a continuación.

Título del Artículo:

- El envío de un Artículo a Revista de Energías Renovables emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Artículo, salvo que sea rechazado por el Comité de Arbitraje, podrá ser retirado.
- Ninguno de los datos presentados en este Artículo ha sido plagiado ó inventado. Los datos originales se distinguen claramente de los ya publicados. Y se tiene conocimiento del testeo en PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se procederá a arbitrar.
- Se citan las referencias en las que se basa la información contenida en el Artículo, así como las teorías y los datos procedentes de otros Artículos previamente publicados.
- Los autores firman el Formato de Autorización para que su Artículo se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding Perú considere pertinentes para divulgación y difusión de su Artículo cediendo sus Derechos de Obra.
- Se ha obtenido el consentimiento de quienes han aportado datos no publicados obtenidos mediante comunicación verbal o escrita, y se identifican adecuadamente dicha comunicación y autoría.
- El Autor y Co-Autores que firman este trabajo han participado en su planificación, diseño y ejecución, así como en la interpretación de los resultados. Asimismo, revisaron críticamente el trabajo, aprobaron su versión final y están de acuerdo con su publicación.
- No se ha omitido ninguna firma responsable del trabajo y se satisfacen los criterios de Autoría Científica.
- Los resultados de este Artículo se han interpretado objetivamente. Cualquier resultado contrario al punto de vista de quienes firman se expone y discute en el Artículo.

Copyright y Acceso

La publicación de este Artículo supone la cesión del copyright a ECORFAN-Mexico, S.C en su Holding Perú para su Revista de Energías Renovables, que se reserva el derecho a distribuir en la Web la versión publicada del Artículo y la puesta a disposición del Artículo en este formato supone para sus Autores el cumplimiento de lo establecido en la Ley de Ciencia y Tecnología de los Estados Unidos Mexicanos, en lo relativo a la obligatoriedad de permitir el acceso a los resultados de Investigaciones Científicas.

Título del Artículo:

Nombre y apellidos del Autor de contacto y de los Coautores	Firma
1.	
2.	
3.	
4.	

Principios de Ética y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

Responsabilidades del Editor

El Editor se compromete a garantizar la confidencialidad del proceso de evaluación, no podrá revelar a los Árbitros la identidad de los Autores, tampoco podrá revelar la identidad de los Árbitros en ningún momento.

El Editor asume la responsabilidad de informar debidamente al Autor la fase del proceso editorial en que se encuentra el texto enviado, así como de las resoluciones del arbitraje a Doble Ciego.

El Editor debe evaluar los manuscritos y su contenido intelectual sin distinción de raza, género, orientación sexual, creencias religiosas, origen étnico, nacionalidad, o la filosofía política de los Autores.

El Editor y su equipo de edición de los Holdings de ECORFAN® no divulgarán ninguna información sobre Artículos enviado a cualquier persona que no sea el Autor correspondiente.

El Editor debe tomar decisiones justas e imparciales y garantizar un proceso de arbitraje por pares justa.

Responsabilidades del Consejo Editorial

La descripción de los procesos de revisión por pares es dado a conocer por el Consejo Editorial con el fin de que los Autores conozcan cuáles son los criterios de evaluación y estará siempre dispuesto a justificar cualquier controversia en el proceso de evaluación. En caso de Detección de Plagio al Artículo el Comité notifica a los Autores por Violación al Derecho de Autoría Científica, Tecnológica y de Innovación.

Responsabilidades del Comité Arbitral

Los Árbitros se comprometen a notificar sobre cualquier conducta no ética por parte de los Autores y señalar toda la información que pueda ser motivo para rechazar la publicación de los Artículos. Además, deben comprometerse a mantener de manera confidencial la información relacionada con los Artículos que evalúan.

Cualquier manuscrito recibido para su arbitraje debe ser tratado como documento confidencial, no se debe mostrar o discutir con otros expertos, excepto con autorización del Editor.

Los Árbitros se deben conducir de manera objetiva, toda crítica personal al Autor es inapropiada.

Los Árbitros deben expresar sus puntos de vista con claridad y con argumentos válidos que contribuyan al que hacer Científico, Tecnológica y de Innovación del Autor.

Los Árbitros no deben evaluar los manuscritos en los que tienen conflictos de intereses y que se hayan notificado al Editor antes de someter el Artículo a evaluación.

Responsabilidades de los Autores

Los Autores deben garantizar que sus Artículos son producto de su trabajo original y que los datos han sido obtenidos de manera ética.

Los Autores deben garantizar no han sido previamente publicados o que no estén siendo considerados en otra publicación seriada.

Los Autores deben seguir estrictamente las normas para la publicación de Artículos definidas por el Consejo Editorial.

Los Autores deben considerar que el plagio en todas sus formas constituye una conducta no ética editorial y es inaceptable, en consecuencia, cualquier manuscrito que incurra en plagio será eliminado y no considerado para su publicación.

Los Autores deben citar las publicaciones que han sido influyentes en la naturaleza del Artículo presentado a arbitraje.

Servicios de Información

Indización - Bases y Repositorios

RESEARCH GATE (Alemania)
GOOGLE SCHOLAR (Índices de citas-Google)
MENDELEY (Gestor de Referencias bibliográficas)
HISPANA (Información y Orientación Bibliográfica-España)

Servicios Editoriales

Identificación de Citación e Índice H
Administración del Formato de Originalidad y Autorización
Testeo de Artículo con PLAGSCAN
Evaluación de Artículo
Emisión de Certificado de Arbitraje
Edición de Artículo
Maquetación Web
Indización y Repositorio
Traducción
Publicación de Obra
Certificado de Obra
Facturación por Servicio de Edición

Política Editorial y Administración

1047 Avenida La Raza -Santa Ana, Cusco-Perú. Tel: +52 1 55 6159 2296, +52 1 55 1260 0355, +52 1 55 6034 9181; Correo electrónico: contact@ecorfan.org www.ecorfan.org

ECORFAN®

Editor en Jefe

SERRANO-PACHECO, Martha. PhD

Directora Ejecutiva

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Diseñador Web

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

Diagramador Web

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Asistente Editorial

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

Traductor

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

Filóloga

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

Publicidad y Patrocinio

(ECORFAN® Republic of Peru), sponsorships@ecorfan.org

Licencias del Sitio

03-2010-032610094200-01-Para material impreso, 03-2010-031613323600-01-Para material electrónico, 03-2010-032610105200-01-Para material fotográfico, 03-2010-032610115700-14-Para Compilación de Datos, 04 -2010-031613323600-01-Para su página Web, 19502-Para la Indización Iberoamericana y del Caribe, 20-281 HB9-Para la Indización en América Latina en Ciencias Sociales y Humanidades, 671-Para la Indización en Revistas Científicas Electrónicas España y América Latina, 7045008-Para su divulgación y edición en el Ministerio de Educación y Cultura-España, 25409-Para su repositorio en la Biblioteca Universitaria-Madrid, 16258-Para su indexación en Dialnet, 20589-Para Indización en el Directorio en los países de Iberoamérica y el Caribe, 15048-Para el registro internacional de Congresos y Coloquios. financingprograms@ecorfan.org

Oficinas de Gestión

1047 Avenida La Raza -Santa Ana, Cusco-Perú.

Revista de Energías Renovables

“Estudio del Contenido en gel del Material Encapsulante EVA, como una Medida de Calidad del Proceso de Laminación de Módulos Fotovoltaicos”

SALAZAR-PERALTA, Araceli, PICHARDO-SALAZAR, José Alfredo, PICHARDO-SALAZAR, Ulises

Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán

Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios No. 161

Centro de Estudios Tecnológicos Industrial y de Servicios No. 23

“Huella de carbono de una pavimentación con la metodología del ACV y SIMAPRO”

ACEVES-GUTIERREZ, Humberto, LÓPEZ-CHÁVEZ, Oscar, MERCADO-IBARRA, Santa Magdalena y AREVALO-RAZO, José Luis

Instituto Tecnológico de Sonora

“Eficiencia energética con Generación Distribuida Fotovoltaica (GD-PV); Caso de una Congeladora de Pescados y Mariscos en Campeche, México”

CHAN-GONZALEZ, Jorge J., SHIH, Meng Yen, LEZAMA-ZÁRRAGA, Francisco, NOH-PAT, Felipe

Universidad Autónoma de Campeche

“Monitoreo de instalación fotovoltaica usando bus CAN”

LUJÁN-RAMÍREZ, Carlos Alberto, SANDOVAL-GÍO, Jesús, MORENO-SABIDO, Mario Renán, y ATOCHE-ENSEÑAT, José Ramón

Instituto Tecnológico de Mérida

