

Volumen 3, Número 11 — Julio — Septiembre - 2019

ISSN 2523-6784

# Revista de Innovación Sistemática



## **ECORFAN®**

### **Editor en Jefe**

IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. MsC

### **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 Innovación Sistemática**, Volumen 3, Número 11, de Julio a Septiembre 2019, es una revista editada trimestralmente por Ecorfan-Taiwán. Taiwan, Taipei. YongHe district, ZhongXin, Street 69. Postcode: 23445. WEB: [www.ecorfan.org/taiwan](http://www.ecorfan.org/taiwan), [revista@ecorfan.org](mailto:revista@ecorfan.org). Editor en Jefe: IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. MsC ISSN: 2523-6784. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática Ecorfan. ESCAMILLA-BOUCHÁN Imelda, LUNA-SOTO, Vladimir, actualizado al 30 de Septiembre 2019

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 Innovación Sistemática**

## **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 Electromagnetismo, fuentes de distribución eléctrica, innovación en la ingeniería eléctrica, amplificación de señales, diseño de motores eléctricos, ciencias materiales en las plantas eléctricas, gestión y distribución de energías eléctricas.

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 Innovación Sistemática es un Research Journal editado por ECORFAN-México S.C en su Holding con repositorio en Taiwan, 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 Electromagnetismo, fuentes de distribución eléctrica, innovación en la ingeniería eléctrica, amplificación de señales, diseño de motores eléctricos, ciencias materiales en las plantas eléctricas, gestión y distribución de energías eléctricas 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 Ciencias de 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**

DE LA ROSA - VARGAS, José Ismael. PhD  
Universidad París XI

MEJÍA - FIGUEROA, Andrés. PhD  
Universidad de Sevilla

LÓPEZ - HERNÁNDEZ, Juan Manuel. PhD  
Institut National Polytechnique de Lorraine

DIAZ - RAMIREZ, Arnoldo. PhD  
Universidad Politécnica de Valencia

LARA - ROSANO, Felipe. PhD  
Universidad de Aachen

ROBLEDO - VEGA, Isidro. PhD  
University of South Florida

HERNÁNDEZ - PRIETO, María de Lourdes. PhD  
Universidad Gestalt

CENDEJAS - VALDEZ, José Luis. PhD  
Universidad Politécnica de Madrid

LÓPEZ - LÓPEZ, Aurelio. PhD  
Syracuse University

GUZMÁN - ARENAS, Adolfo. PhD  
Institute of Technology

## **Comité Arbitral**

PURATA - SIFUENTES, Omar Jair. PhD  
Centro Nacional de Metrología

ALCALÁ - RODRÍGUEZ, Janeth Aurelia. PhD  
Universidad Autónoma de San Luis Potosí

GARCÍA - VALDEZ, José Mario. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

AGUILAR - NORIEGA, Leocundo. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

GONZÁLEZ - LÓPEZ, Juan Miguel. PhD  
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

GONZALEZ - MARRON, David. PhD  
Instituto Tecnológico de Pachuca

ZAVALA - DE PAZ, Jonny Paul. PhD  
Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada

URBINA - NAJERA, Argelia Berenice. PhD  
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

ALONSO - CALPEÑO, Mariela J. PhD  
Instituto Tecnológico Superior de Atlixco

FERREIRA - MEDINA, Heberto. PhD  
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

ÁLVAREZ - GUZMÁN, Eduardo. PhD  
Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada

## **Cesión de Derechos**

El envío de un Artículo a Revista de Innovación Sistemática 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 Taiwan 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 mandara 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 Electromagnetismo , fuentes de distribución eléctrica, innovación en la ingeniería eléctrica, amplificación de señales , diseño de motores eléctricos, ciencias materiales en las plantas eléctricas, gestión y distribución de energías eléctricas y a otros temas vinculados a las Ciencias de Ingeniería y Tecnología

## **Presentación del Contenido**

Como primer artículo presentamos, *Diseño de un sistema fotovoltaico para la reducción de usuarios de tarifa DAC*, por SÁNCHEZ-CORTEZ, José Alfonso, CASTILLO-RAMÍREZ, Carlos Eduardo, VÁZQUEZ-BALDAZO, Luis Guillermo y GONZALEZ-MORALES, Amparo, con adscripción en la Universidad Tecnológica de Altamira, como segundo artículo presentamos, *Efecto del proceso de combustión sobre la eficiencia total de una central térmica de vapor*, por JIMENEZ-GARCIA, Juan A., DURAN-GARCIA, Maria D., TORRES-TOVAR, Rigoberto y GASPAR-SANCHEZ, Noé, con adscripción en la Universidad Autónoma del Estado de México, como tercer artículo presentamos, *Sistema Aerodinámico para un Sistema Eólico de Baja Potencia*, por LINARES-ENRÍQUEZ, Alejandro & MARTINEZ-ZEPEDA, Ivan, con adscripción en el Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco, como último artículo presentamos, *Circuito de arranque suave para un motor monofásico de corriente alterna conectado a un Sistema Fotovoltaico*, por BRAVO-TAPIA, Jeremías, GARCÍA-MARTÍNEZ, Eric, RAMOS-GUZMÁN, Francisco y ESTÉVEZ-MARTÍNEZ, Yoxkin, con adscripción en el Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio.

## Contenido

Artículo	Página
<b>Diseño de un sistema fotovoltaico para la reducción de usuarios de tarifa DAC</b> SÁNCHEZ-CORTEZ, José Alfonso, CASTILLO-RAMÍREZ, Carlos Eduardo, VÁZQUEZ-BALDAZO, Luis Guillermo y GONZALEZ-MORALES, Amparo <i>Universidad Tecnológica de Altamira</i>	1-9
<b>Efecto del proceso de combustión sobre la eficiencia total de una central térmica de vapor</b> JIMENEZ-GARCIA, Juan A., DURAN-GARCIA, Maria D., TORRES-TOVAR, Rigoberto y GASPAR-SANCHEZ, Noé <i>Universidad Autónoma del Estado de México</i>	10-18
<b>Sistema Aerodinámico para un Sistema Eólico de Baja Potencia</b> LINARES-ENRÍQUEZ, Alejandro & MARTINEZ-ZEPEDA, Ivan <i>Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco</i>	19-26
<b>Circuito de arranque suave para un motor monofásico de corriente alterna conectado a un Sistema Fotovoltaico</b> BRAVO-TAPIA, Jeremías, GARCÍA-MARTÍNEZ, Eric, RAMOS-GUZMÁN, Francisco y ESTÉVEZ-MARTÍNEZ, Yoxkin <i>Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio</i>	27-39

## Diseño de un sistema fotovoltaico para la reducción de usuarios de tarifa DAC

### Design of a photovoltaic system for reducing “DAC” rate users

SÁNCHEZ-CORTEZ, José Alfonso†\*, CASTILLO-RAMÍREZ, Carlos Eduardo, VÁZQUEZ-BALDAZO, Luis Guillermo y GONZALEZ-MORALES, Amparo

*Universidad Tecnológica de Altamira*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *José Alfonso, Sánchez-Cortez* / ORC ID: 0000-0002-8762-1154, CVU CONACYT ID: 500152

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Carlos Eduardo, Castillo-Ramírez* / ORC ID: 0000-0003-2378-4226, CVU CONACYT ID: 1001435

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Amparo, González-Morales* / ORC ID: 0000-0003-2378-4226, CVU CONACYT ID: 1001435

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Luis Guillermo, Vázquez-Baldazo* / ORC ID: 0000-0001-5616-5339, CVU CONACYT ID: 1019622

DOI: 10.35429/JSI.2019.11.3.1.9

Recibido 02 de Junio, 2019; Aceptado 30 de Septiembre, 2019

#### Resumen

El incremento en los costos por consumo de energía eléctrica ha ido al alza, afectando considerablemente la economía de los usuarios, dentro de las tarifas de usuarios residenciales se encuentra la tarifa DAC (Servicio Doméstico de Alto Consumo). Un análisis económico en las tarifas de consumo de electricidad indica que, a partir del 1 de enero de 2019, el costo por cada kWh que se utiliza en tarifa DAC corresponde a \$ 5.121 esto significa que un usuario DAC paga más del 200% que un usuario 1C por cada kWh consumido. Para ello se ha diseñado un sistema fotovoltaico para interconexión a la red, este sistema permite a los usuarios cambiar de tarifa DAC a tarifa 1C y en consecuencia permitirá reducir sus costos por el servicio de energía eléctrica, dicho sistema puede ser instalado en cualquier jardín, y además de generar energía eléctrica, los productos fotovoltaicos serán 2: un columpio y un gazebo, con una capacidad instalada de 1.1 kWh, mismos que proveerá de un servicio de descanso y relajación.

#### Tarifa DAC, Tarifa 1C, kWh

#### Abstract

The increase in costs for electricity consumption has gone up, significantly affecting the economy of users, within the tariffs of residential users is the “DAC” rate (that means high consumption domestic rate). An economic analysis of electricity consumption rates indicates that, as of January 1st, 2019, the cost per kWh used in the “DAC” tariff corresponds to \$ 5.121 MXN, which means that a “DAC” user pays more than 200% than a user 1C rate for each kWh consumed. For this purpose, a photovoltaic system has been designed for interconnection to the network, this system allows users to change from “DAC” rate to tariff 1C, and consequently will allow the reduction of these costs about the electric power service, this system can be installed in any yard, besides generating electricity, the photovoltaic products will be 2: a swing and a gazebo, with an installed capacity of 1.1 kWh, which will provide a rest and relaxation service.

#### Tarifa DAC, Tarifa 1C, kWh

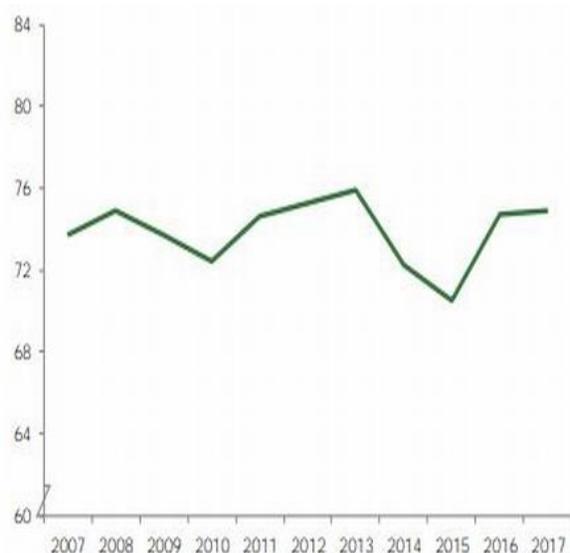
**Citación:** SÁNCHEZ-CORTEZ, José Alfonso, CASTILLO-RAMÍREZ, Carlos Eduardo, VÁZQUEZ-BALDAZO, Luis Guillermo y GONZALEZ-MORALES, Amparo. Diseño de un sistema fotovoltaico para la reducción de usuarios de tarifa DAC. Revista de Innovación Sistemática. 2019. 3-11:1-9

\*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: jsanchez@utaltamira.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer Autor.

## Introducción

En 2017 el consumo de energía en el país se incrementó un 31.6% respecto al año anterior, y el consumo *per cápita* en este mismo año se incrementó un 0.2% respecto al 2016, es decir que se registró un consumo de 74.89 GJ, el incremento de la población fue el principal factor del incremento de energía, ya que la población mexicana creció un 1.0% entre el 2016 y 2017 pasando de 112.27 a 123.52 millones. (SENER, Balance Nacional de Energía, 2018) La siguiente grafica demuestra lo mencionado.



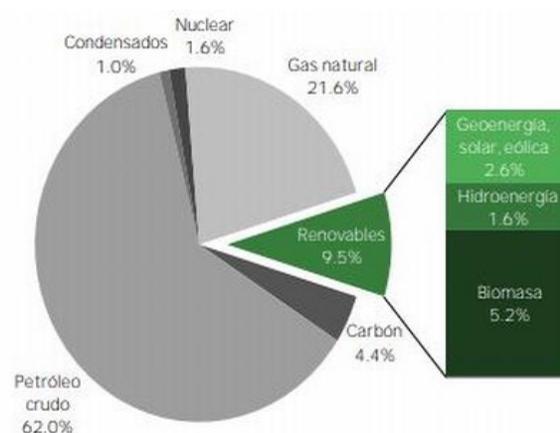
**Gráfico 1** Consumo de energía "per cápita" (en GJ) por habitante

De acuerdo con el Balance Nacional de Energía 2017 "El petróleo crudo es el energético que ocupó la fracción más grande de la producción nacional, con 4,354.89 PJ". Esto representa el 62.0 % de producción de energía mediante distintos recursos. En cambio, las energías renovables representan un porcentaje más bajo, el 3.9%. (SENER, Balance Nacional de Energía 2017, 2018) México tiene un gran potencial para el desarrollo de centrales fotovoltaicas y generación distribuida, en el 2017 se registró un incremento del 36.7% respecto al 2016. (SENER, Balance Nacional de Energía, 2018).

## Consumo de energía a nivel nacional.

El consumo energético a nivel nacional no es proporcionado, por ende, las tarifas de consumo tienen la misma afectación, dentro otros factores el más importante son las temperaturas, en zonas cálidas se incrementa la tarifa y el consumo respecto a zonas templadas.

Un informe publicado en 2018 cita lo siguiente: "El consumo en la primera zona llega a ser 2 o 3 veces mayor comparado en zonas templadas. Un rasgo muy importante que evaluar es el equipamiento de sistemas que necesitan electricidad, dado que se utilizan diferentes equipos para cada zona según la necesidad.



**Gráfico 2** Porcentaje de fuentes de energía en México

## Tarifa DAC

Comisión Federal de Electricidad define lo siguiente: "Esta tarifa se aplicará a los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, individualmente a cada residencia, apartamento, apartamento en condominio o vivienda, considerada de alto consumo o que por las características del servicio así se requiera." (Comisión Federal de Electricidad, 29) Cuando un usuario "entra" en tarifa DAC es porque ha rebasado el consumo mensual (en kWh) establecido de acuerdo con su tarifa y región.

El aumento de usuarios que se encuentran en tarifa DAC es alarmante, son diversos los factores:

- Uso de electrodomésticos antiguos y/u obsoletos, que consumen mucha más energía que los actuales.
- Fugas de energía causado de una instalación eléctrica mala o deficiente.
- Mala educación energética.
- Uso excesivo de equipos de aire acondicionado.

En zonas cálidas del país es más frecuente el incremento de usuarios en DAC, debido a las altas temperaturas del verano, en los meses más calurosos de esta temporada se han registrado hasta 40°C a la sombra, por ende, los usuarios que disponen de aire acondicionado hacen uso de este y (*en ocasiones hacen uso excesivo de este aparato*), en este último caso, el consumo normal sumado a esta carga excesiva (*o de más*) provoca un *incremento considerable en el consumo de energía* y su repercusión es directa en la factura de energía.

### Tarifas de CFE

A partir del 1o de enero de 2019, el costo por cada kWh que se utiliza en casa corresponde: a \$ 5.121 (respectivo a que la tarifa de la zona en DAC) tabla 1; es decir 25% más respecto a hace un año, y 10% respecto al mes anterior. Retomando el costo del kWh en el mes de enero en la tarifa DAC (\$5.121) comparando este con el costo de la energía en la tarifa 1C:

- (\$ 0.796 por cada uno de los primeros 75 kWh
- \$ 0.960 por cada uno de los siguientes 100 kWh \$ 2.813 por cada kilowatt-hora adicional a los anteriores)

Se puede observar que la tarifa DAC es por lo menos 54.93% más cara que la tarifa 1C. (Cortez, 2019)

Región	Cargo fijo	Cargo por energía consumida (\$/kWh)
Central	\$ 107.58	\$ 5.469
Noro Este	\$ 107.58	\$ 5.121
Norte y Noreste	\$ 107.58	\$ 4.993
Sur y Peninsular	\$ 107.58	\$ 5.070

**Tabla 1** Tarifas de CFE según la región

### Costo de tarifas a nivel nacional.

El factor principal causante del a tarifa DAC es que los usuarios sobrepasan el consumo (en kW/h) establecido por CFE. Cada usuario recibe una cantidad de kW de acuerdo con su tarifa y el precio varía acorde a la región del país.

Debido a que es muy elevado el costo de esta tarifa (ya que los usuarios que se encuentran dentro de ella pagan hasta un 200% más de las tarifas habituales) que afecta severamente su economía.

De entre las múltiples opciones para erradicar esta situación, una de ellas es:

- Hacer eficientes al máximo los aparatos consumidores actuales del hogar. Esto significa eliminar aparatos viejos por modernos que ahorran energía, y mantener durante un largo tiempo un consumo bajo para reducir el promedio anual que le daría entrada a la tarifa subsidiada.
- Esto va de la mano con la correcta forma de utilizar la energía eléctrica y evitar desperdiciarla, se refiere a: evitar dejar cargadores conectados, apagar las lámparas que no se estén utilizando, reducir los tiempos de uso del aire acondicionado etc.

### Soluciones

Una de las soluciones más frecuente es la instalación de sistemas fotovoltaicos. De acuerdo con la configuración que más le convenga al usuario, este sistema permite generar su propia energía y la que no es utilizada por el cliente:

Se almacena en un banco de baterías, (que sirve como respaldo energético) o bien, se inyecta a la red de la compañía suministradora de energía (En base al Manual de interconexión de centrales de generación con capacidad menor a 0.5 MW, capítulo 2 Generación distribuida, subtema: Actividades de los generadores cito lo siguiente: “Venta de excedentes de la energía eléctrica: Se refiere a la generación de energía eléctrica que excede la satisfacción de las necesidades de los Centros de Carga, y que es inyectada a las Redes Generales de Distribución para ser vendida”). (Comision Reguladora de Energía., 2017)

### Objetivos

- Realizar análisis energéticos y evaluar si realmente el usuario necesita un sistema fotovoltaico o si no, proporcionarle otras opciones.
- Proporcionar a los usuarios con tarifa DAC una solución óptima, factible y adecuada a su necesidad.

### Contribución de la investigación

Las instalaciones fotovoltaicas comunes normalmente se implementan en techos, azoteas etc. De acuerdo con las necesidades energéticas de los usuarios, será el dimensionamiento del sistema fotovoltaico (sea aislado o interconectado), por ende, requiere un espacio destinado para todo el equipo de la instalación. Si la casa o lugar no dispone de este espacio, será muy complicado realizar la instalación o se tendrá que hacer modificaciones estructurales, lo que conlleva a una inversión extra para el usuario.

En ocasiones por “recomendación” y/o elección propia del cliente, este hace uso de “kits” o “paquetes solares” que le prometen disminuir su consumo de energía y por ende a reducir el pago de su tarifa de energía. Por lo general, cuando esta elección es así, sin antes haber realizado un estudio (y posteriormente un diagnóstico) energético, el cliente adquiere este “paquete” para “resolver” el consumo excedente de energía, la mayoría de las veces, estos van dirigidos a los aires acondicionados, el cual es el equipo que más energía consume en un hogar (considerando los factores de uso)

En este caso, el problema es que el cliente va a invertir en un sistema que solo va a “atacar” una parte del problema y no lo va a solucionar por completo. Es por ello, se recomienda realizar los estudios previos a una instalación de este tipo y darle la solución al cliente que realmente necesita.

### Concepto del gazebo.

Se ha idealizado o conceptualizado como producto de penetración en el mercado de consumo, siendo este primero un gazebo (de dimensiones similares a lo que se comercializan) de PTR (perfil tubular rectangular) en cuyo techo, o parte superior estará cubierto con material fotovoltaico, con una capacidad instalada de 1.1 kW

Este dispositivo (ya instalado) permitirá al usuario disfrutar de una zona de descanso y relajación que este le brindará y, por otro lado, el dispositivo estará generando energía eléctrica limpia. (Ruiz, 2018). Se estima una producción de 1.10 kW que se va a inyectar a la red de CFE. Con este producto se pretende atacar tres factores importantes:

- Que el usuario salga de tarifa DAC.
- Proporcionar una zona de confort y descanso mientras genera energía eléctrica limpia.
- Erradicar los espacios inutilizables por los módulos fotovoltaicos convencionales.

### Desarrollo del proyecto

Durante el primer semestre del año 2018 en la zona conurbada de Tamaulipas, que comprende a los municipios de: Tampico, madero y Altamira la cantidad de usuarios dentro de tarifa DAC que se registró por municipio (en promedio) fue la siguiente: (México., 2018)

Municipio	Promedio de usuarios en DAC
Altamira	540
Tampico	153
CD Madero	122

**Tabla 2** Cantidad de usuarios en DAC

Siendo el municipio de tampico el que contaba con más usuarios “afectados”, teniendo en cuenta esta problemática, se decidió optar por la realización de este proyecto, cuya intención principal es brindar una solución a estos usuarios principalmente y así ayudarlos a salir de esta problemática. A partir de aquí se comienza con la planeación, diseño y elaboración del primer prototipo “teórico” donde estarán participando alumnos de la Universidad Tecnológica de Altamira, de la carrera de Energías Renovables, nivel de Ingeniería. Esto con la finalidad de promover en los alumnos el logro de habilidades medibles a lo largo de sus estudios, que los sumerjan en un clima real de prácticas. Durante el desarrollo de este proyecto, los alumnos fueron obteniendo y puliendo habilidades tales como:

- Conexiones eléctricas.
- Corte y soldado de piezas metálicas.
- Uso de softwares de diseño en 3D ®.
- Uso de equipo fotovoltaico (módulos, inversores, aparatos de medición, etc.)

Una de las características de este prototipo es que será “desmontable” (la mayoría de sus partes) facilitando así su traspotación, es preciso decir que solo personal autorizado podrá hacer el desmantelamiento y traspotación de los equipos hacia donde el usuario indique, por lo tanto, la seguridad de los usuarios no será comprometida.

El desarrollo del artículo se plantea seccionado en 5 partes y son las siguientes:

- Estudio del lugar
- Ubicación.
- Memoria de cálculo.
- Normativa utilizada.
- Factor económico. (Amortización)

### Estudio del lugar

Los aspectos importantes para el desarrollo y funcionamiento óptimo del proyecto son los siguientes: cantidad de HPS, clima, localización.

 Insolación promedio a 22°

4.99 h

 Insolación promedio en ángulo óptimo

5.17 h

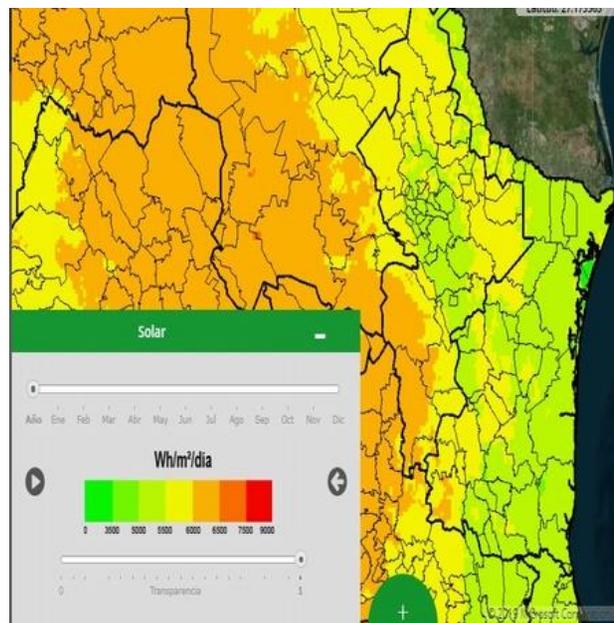
**Figura 1** Horas Pico Solar (Altamira, Tamps.)

Estos datos serán necesarios al momento de realizar los cálculos y el dimensionamiento correspondiente del proyecto, y así obtener el máximo rendimiento de la instalación.



**Figura 2** Medido de irradiancia en la zona

Este este caso, el proyecto se llevará a cabo en la ciudad de Altamira Tamaulipas, en donde el recurso solar es abundante, esto no quiere decir que el proyecto solo es exclusivo y/o destinado a Altamira, sino a todo el estado, cuenta con un recurso solar muy valioso, el estado de Tamaulipas recibe en promedio 3500 Wh/m<sup>2</sup>/día. ((SENER), 2019)



**Figura 3** Recurso Solar de Tamaulipas

### Ubicación

Se desarrollará en las instalaciones de la universidad tecnológica de Altamira, en el laboratorio de máquinas eléctricas., siendo aquí donde se desarrollará la mayor parte del proyecto.



**Figura 4** Ubicación y vista aérea de la universidad

## Memoria de cálculo

Para diseñar una instalación fotovoltaica acorde a las necesidades del cliente, es preciso realizar cálculos matemáticos con mucha exactitud, ya que esto nos permitirá tener un rendimiento óptimo de la instalación y a la postre evitar pérdidas de energía. Es importante recalcar que, la capacidad mínima de un sistema voltaico interconectada a la red requerida por CFE es de 0.5 KW. (eléctrica., 2011)

## Datos del módulo

Para el concepto del gazebo se diseñará una instalación teórica de 1.11 KWh, en este caso los módulos se instalarán en la misma estructura del gazebo, por lo cual no será necesario una estructura adicional. Se utilizarán 3 módulos fotovoltaicos de las siguientes características:

- Modelo: RSM72-6-370M.
- Marca: RISEN ENERGY.
- Tipo: Monocristalina PERC.

Este módulo está aprobado y certificado por el FIDE.

Datos técnicos	Valores
Potencia STC	370
Voltaje máximo	39.8
Corriente máxima	9.3
Voltaje en circuito abierto	48.4
Corriente en corto circuito	9.9
Numero de celdas	72
Coefficiente de temperatura.	-0.29%/°C

**Tabla 3** Datos del módulo fotovoltaico

## Elección del inversor

Para este caso, se necesitará un inversor de corriente de DC/AC, en donde solo se usará un string o cadena debido tamaño de la instalación, como dato principal; se toma la potencia nominal de cada módulo, la que se multiplica por el número de módulos instalados y un factor de protección, en este caso del 25% más de potencia. Entonces el cálculo se realiza con la siguiente formula:

$$PT = W_p * M * f.p \quad (1)$$

Donde:

- (1)  $W_p$  = Potencia del modulo
- (2)  $M$  = Numero de módulos.
- (3)  $f.p$  = Es un factor de protección del 1.25%

Para este caso, se utiliza como dato la corriente en corto circuito del módulo cuyo valor en este caso es de: 9.9 amperes, otro dato a recordar es la cantidad de strings, en este caso solo es uno.

## Normativa

Para realizar este cálculo se debe tener en cuenta el uso y cumplimiento de la norma oficial mexicana: NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas, Artículo 690, sección 8. En esta sección se realizará el cálculo para obtener los conductores adecuados para el sistema, se utilizará conductor (de cobre o aluminio) tipo USE-2 XLPE en cumplimiento con la NOM-001-SEDE-2012 (instalaciones eléctricas). Para esto se realizará el cálculo y se muestra a continuación.

Datos	Valores
Potencia total	1387.5
Voltaje de operación	110
Amperes del sistema	12.6136364
Caída de tensión (5%)	5.5
Resistividad del cobre	0.01786
Longitud de línea.	15
Número de líneas.	2
Sección del conductor	12 AWG

**Tabla 4** Cálculo del conductor

## Factor Económico (amortización)

Tomando como ejemplo a un usuario con un consumo teórico de 850 kwh promedio mensual, acorde a la tarifa 1c, dicho usuario sufriría un cambio de tarifa, de 1c a tarifa DAC. Para este ejemplo se utilizó el periodo de facturación del año 2018, y en base a este se realizó un estudio económico.

En la siguiente tabla se muestra un análisis anual de facturación ya con la tarifa DAC, en donde se puede apreciar que el pago por esta tarifa es más del doble de costo que la tarifa "1C". En promedio, en la tarifa DAC se paga un coste por servicio de \$4,477.63 mientras que el promedio de pago en la tarifa "1C" es de \$1,926.80. (si se incluye la instalación de un sistema fotovoltaico de 1.1kw.)

Mes	Zona Geográfica (CFE)	Cargo Fijo	(\$/kWh)	kWh	Total
Enero	Norte y Noreste	107.58	\$4.99	850	\$4,244.05
Diciembre	Norte y Noreste	105.82	\$4.60	850	\$3,910.85
Noviembre	Norte y Noreste	105.82	\$4.60	850	\$3,910.85
Octubre	Norte y Noreste	105.17	\$4.39	850	\$3,731.50
Septiembre	Norte y Noreste	105.62	\$4.34	850	\$3,687.30
Agosto	Norte y Noreste	106.68	\$4.49	850	\$3,819.05
Julio	Norte y Noreste	104.77	\$4.46	850	\$3,794.40
Junio	Norte y Noreste	102.8	\$4.36	850	\$3,707.70
Mayo	Norte y Noreste	102.79	\$4.14	850	\$3,521.55
Abril	Norte y Noreste	102.45	\$4.15	850	\$3,523.25
Marzo	Norte y Noreste	102.24	\$4.33	850	\$3,677.95
Febrero	Norte y Noreste	100.77	\$4.16	850	\$3,539.40

**Tabla 5** Costos de tarifa DAC. (Periodo 2018)

Ahora bien, el costo por kWh en la tarifa "1C" resulta mucho más económico que la tarifa anterior, en la siguiente tabla se muestra el coste por kWh en las 4 formas: Consumo básico, Consumo intermedio bajo, Consumo intermedio alto y Consumo excedente.

Basico	Inter 1	Inter 2	EXC
\$ 0.80	\$ 0.96		\$ 2.81
\$ 0.79	\$ 0.96		\$ 2.80
\$ 0.79	\$ 0.96		\$ 2.80
\$ 0.79	\$ 0.96		\$ 2.80
\$ 0.70	\$ 0.82	\$ 1.05	\$ 2.80
\$ 0.70	\$ 0.82	\$ 1.05	\$ 2.80
\$ 0.70	\$ 0.82	\$ 1.05	\$ 2.80
\$ 0.70	\$ 0.82	\$ 1.05	\$ 2.80
\$ 0.70	\$ 0.82	\$ 1.05	\$ 2.80
\$ 0.79	\$ 0.96		\$ 2.80
\$ 0.79	\$ 0.96		\$ 2.80

**Tabla 6** Costo por consumo tarifa "1C" (periodo 2018)

Ahora bien, para este caso se va a implementar la generación eléctrica que proveerá de gazebo, cuyo propósito es "sacar" al usuario de la tarifa DAC, como ya se mencionó este proporcionara 1.1 kW para atacar este problema. La siguiente tabla muestra los datos y generación mensual.

kW	HSP	Mes	Mes	Generación
1.1	4.38	Enero	31	149
1.1	3.99	Diciembre	31	136
1.1	4.45	Noviembre	30	146
1.1	5.27	Octubre	31	179
1.1	5.75	Septiembre	30	189
1.1	6.37	Agosto	30	210
1.1	6.86	Julio	31	233
1.1	6.26	Junio	30	206
1.1	7.27	Mayo	31	247
1.1	6.27	Abril	30	206
1.1	6.27	Marzo	31	213
1.1	5.41	Febrero	28	166

**Tabla 7** Generación mensual (kWh) gazebo

Con la generación del gazebo frente al consumo del usuario de tarifa DAC, el resultante de consumo sería bajara y por ende el excedente.

Consumo	Basico	Inter 1	Inter 2	EXC
701	75	100	0	526
714	75	100		539
704	75	100		529
671	75	100		496
661	150	150	150	361
640	150	150	150	340
617	150	150	150	317
644	150	150	150	344
603	150	150	150	303
644	150	150	150	344
637	75	100		462
684	75	100		509

**Tabla 8** Consumo después de la instalación

Con base en todos los datos anteriores, se respalda el estudio económico que se expresa a continuación en las siguientes tablas, la comparación de precios de la tarifa DAC (mostrada en la tabla 5) a los precios de la tarifa "1C" muestra un ahorro significativo, centrando la atención en la columna "total" de ambas tablas (5 y 9) nos damos cuenta de ello, en el mes de enero, en la tarifa DAC, el costo por consumo de energía supera los cinco mil pesos, mientras que con la tarifa "1C" el costo es menor a los dos mil pesos.

Basico	Inter 1	Inter 2	EXC	Total	Ahorro
\$ 59.70	\$ 96.00	\$ -	\$ 1,479.64	\$1,896.99	\$3,150.90
\$ 59.48	\$ 95.60	\$ -	\$ 1,510.28	\$1,931.81	\$2,727.53
\$ 59.48	\$ 95.60	\$ -	\$ 1,482.26	\$1,899.31	\$2,760.03
\$ 59.48	\$ 95.60	\$ -	\$ 1,389.79	\$1,792.05	\$2,658.49
\$ 104.55	\$ 123.30	\$ 157.50	\$ 1,011.52	\$1,620.37	\$2,779.42
\$ 104.55	\$ 123.30	\$ 157.50	\$ 952.68	\$1,552.11	\$3,001.73
\$ 104.55	\$ 123.30	\$ 157.50	\$ 888.23	\$1,477.36	\$3,045.68
\$ 104.55	\$ 123.30	\$ 157.50	\$ 963.89	\$1,565.12	\$2,855.06
\$ 104.55	\$ 123.30	\$ 157.50	\$ 849.01	\$1,431.85	\$2,772.38
\$ 104.55	\$ 123.30	\$ 157.50	\$ 963.89	\$1,565.12	\$2,640.70
\$ 59.48	\$ 95.60	\$ -	\$ 1,294.52	\$1,681.53	\$2,703.49
\$ 59.48	\$ 95.60	\$ -	\$ 1,426.22	\$1,834.30	\$2,388.30

**Tabla 9** Costos tarifa "1C" (periodo 2018)

El ahorro del pago en tarifa DAC por 1C es significativo, en la siguiente tabla se registra el pago mensual y posteriormente el anual de la tarifa DAC.

Tarifa DAC	
Mes	Pago mensual
Enero	\$ 5,047.89
Diciembre	\$ 4,659.34
Noviembre	\$ 4,659.34
Octubre	\$ 4,450.54
Septiembre	\$ 4,399.79
Agosto	\$ 4,553.85
Julio	\$ 4,523.04
Junio	\$ 4,420.18
Mayo	\$ 4,204.23
Abril	\$ 4,205.81
Marzo	\$ 4,385.02
Febrero	\$ 4,222.60
Total, Anual	\$ 53,731.62

**Tabla 10** Pago DAC

Y la siguiente muestra el pago mensual y anual en la tarifa 1C.

Tarifa 1C

Mes	Pago mensual
Enero	\$ 1,896.99
Diciembre	\$ 1,931.81
Noviembre	\$ 1,899.31
Octubre	\$ 1,792.05
Septiembre	\$ 1,620.37
Agosto	\$ 1,552.11
Julio	\$ 1,477.36
Junio	\$ 1,565.12
Mayo	\$ 1,431.85
Abril	\$ 1,565.12
Marzo	\$ 1,681.53
Febrero	\$ 1,834.30
Total, Anual	\$ 20,247.92

**Tabla 11** Pago 1C

Y, por último, tenemos lo que registra el ahorro que implica cambiar de DAC a 1C.

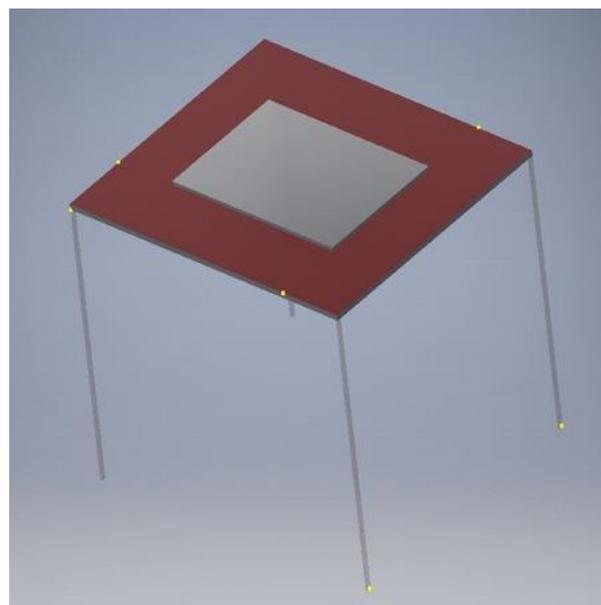
Ahorro total	
Enero	\$ 3,150.90
Diciembre	\$ 2,727.53
Noviembre	\$ 2,760.03
Octubre	\$ 2,658.49
Septiembre	\$ 2,779.42
Agosto	\$ 3,001.73
Julio	\$ 3,045.68
Junio	\$ 2,855.06
Mayo	\$ 2,772.38
Abril	\$ 2,640.70
Marzo	\$ 2,703.49
Febrero	\$ 2,388.30
Ahorro anual	\$ 33,483.70

**Tabla 12** Ahorro con Gazebo

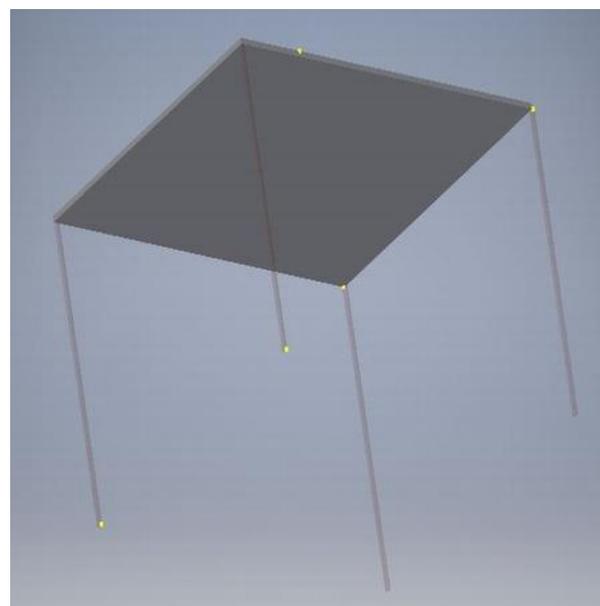
Como se aprecia en la anterior, el cliente se ahorraría más de treinta mil pesos al año. El costo de la inversión al instalar el gazebo es de  $\pm$  \$47,000.00 y el tiempo de retorno de la inversión hacia el cliente es de 1.5 años, que está dentro del periodo establecido por FIDE, de acuerdo con la revista "Eficiencia energética" y cito: "Financiamientos atractivos. Plazo de los créditos hasta por cinco años, con periodo simple de recuperación de hasta siete años para usuarios con tarifa 2, y de hasta 10 años para usuarios con tarifa 3, OM y HM" (elèctrica., 2018)

### Diseño Preliminar

La siguiente figura muestra la parte superior del gazebo, en donde la parte sombreada con color café representa el techo y la parte de color gris representa los paneles. Este diseño preliminar fue elaborado en el software de diseño mecánico Inventor®.



**Figura 5** Vista superior del boceto



**Figura 6** Vista inferior del boceto



**Figura 7** Vista lateral del boceto

## Resultados

Actualmente se cuenta con 3 usuarios con tarifa DAC, se están realizando diagnósticos energéticos y evaluaciones para determinar si necesita un prototipo del “gazebo” o mejorar su condición energética (chequeo de instalación eléctrica, uso que le da a la energía, aparatos obsoletos etc.) De ser elegibles para un gazebo se comenzará con los trámites pertinentes que conlleva un sistema interconectado.

El desarrollo del proyecto ha aportado nuevos conocimientos a todos los involucrados, ingenieros, alumnos, docentes auxiliares etc. La proyección a futuro es comercializar un catálogo de gazebos personalizados y optimizados según la necesidad del cliente.

## Agradecimientos

Agradecimientos a la Rectoría de la Universidad, a cargo del Ing. Isaac Rebaj SevcoVICIUS.

A la dirección de la carrera de Energías Renovables, quienes han facilitado todo lo necesario y han hecho posible el desarrollo del proyecto, reconocimientos especiales a las siguientes personas:

Director de la carrera de mecánica y energías renovables: Ing. Juan H. Almazán Covarrubias. Por el apoyo prestado, las instalaciones, material eléctrico y fotovoltaico, así como los equipos.

Al ingeniero: M.C José Alfonso Sánchez Cortez. Principal responsable del proyecto, quien ha gestionado todos y cada uno de los puntos a desarrollar y quien también ha colaborado con la redacción de este artículo.

Dra. Amparo González Morales. Por ser la responsable de la supervisión y edición de este artículo, así como su directa colaboración en el proyecto.

T.S.U Eduardo Castillo Ramirez y T.S.U Luis Guillermo Vázquez Baldazo por su apoyo y directa colaboración.

## Conclusiones

Seguir trabajando en este proyecto, aprender sobre “la marcha” todo lo necesario y sobre todo “pulir” detalles en el mismo para que así, este muy próxima su comercialización.

Ayudar a todos los usuarios posibles a salir de esta tarifa, ayudarlos en su economía y concientizarlos sobre una correcta educación energética.

## Referencias

(SENER), S. d. (2019). *Inventario Nacional de Energías Limpias*. Obtenido de INEL: <https://dgel.energia.gob.mx/inel/mapa.html?lang=es>

(2019 de Agosto de 29). Obtenido de Comisión Federal de Electricidad.

*Comisión Feder.* (28 de Agosto de 2019). Obtenido de <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRECasa/Tarifas/TarifaDAC.aspx> Comisión Reguladora de Energía. (2017).

Cortez, J. A. (2019). *Parasol Solar*. Altamira.

eléctrica., F. p. (2011). *Financiamiento para la Generación de Energía Eléctrica con Sistemas Fotovoltaicos*. 3.

eléctrica., F. p. (2018). *Eficiencia Energetica. INCORPORACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AL PROGRAMA ECO-CRÉDITO EMPRESARIAL*, 6-8.

México., G. d. (19 de 06 de 2018). *Gobierno de México*. Obtenido de Gobierno de México.: <https://datos.gob.mx/busca/dataset/usuarios-y-consumo-de-electricidad-por-municipio-a-partir-de-2018>

SENER. (2018). *Balance Nacional de Energía*. México.

SENER. (2018). *Balance Nacional de Energía 2017*. México: Secretaría de Energía.

## Efecto del proceso de combustión sobre la eficiencia total de una central térmica de vapor

### Effect of combustion processes on the total efficiency of a steam thermal power plant

JIMENEZ-GARCIA, Juan A.†\*, DURAN-GARCIA, Maria D., TORRES-TOVAR, Rigoberto y GASPAR-SANCHEZ, Noé

*Universidad Autónoma del Estado de México*

ID 1<sup>er</sup> Autor: Juan A., Jimenez-Garcia / ORC ID: 0000-0002-7303-1284, Researcher ID Thomson: G-2711-2018, CVU CONACYT ID: 241737

ID 1<sup>er</sup> Coautor: Maria D., Duran-Garcia / ORC ID: 0000-0003-3584-4783, Researcher ID Thomson: J-9111-2013

ID 2<sup>do</sup> Coautor: Rigoberto, Torres-Tovar / ORC ID: 0000-0001-8734-3839, CVU CONACYT ID: 353766

ID 3<sup>er</sup> Coautor: Noé, Gaspar-Sanchez / ORC ID: 0000-0000-4597-8865. CVU CONACYT ID: 232164

DOI: 10.35429/JSI.2019.11.3.10.18

Recibido 04 de Junio, 2019; Aceptado 30 de Septiembre, 2019

#### Resumen

En la presente investigación se desarrollo un modelo de simulación del cálculo térmico del hogar del generador de vapor de una central termoeléctrica de vapor de 350 MW, que opera bajo un ciclo Rankine con recalentamiento y regeneración. Se realizó un análisis, modificando algunos parámetros de la combustión (flujo de aire y combustible) y se determinaron las temperaturas alcanzadas por los productos de la combustión a la salida del hogar del generador de vapor, empleando el método de sustituciones sucesivas, aplicadas a la metodología del cálculo térmico, con un criterio de paro del error relativo aproximado de  $\epsilon_{ra} < 1 \times 10^{-8}$ . Se encontró que las temperaturas alcanzadas por los gases de combustión a la salida del hogar del generador de vapor para los regímenes del 100%, 75%, 50% y 25% son: 1492.4°C, 1379.3°C, 1238.0°C y 980.0 °C, respectivamente. Respecto al efecto del dosado de aire sobre la eficiencia térmica del ciclo, se observa que ésta se incrementa ligeramente con el incremento del dosado. Siendo la eficiencia térmica máxima del ciclo del 35.8%

**Ciclo Rankine, Combustión, Eficiencia, Transferencia de calor**

#### Abstract

In the present investigation, a simulation model of the thermal calculation of the steam generator's steam generator 350 MW, operating under a Rankine cycle with superheat and regeneration, was developed. An analysis was carried out, modifying some parameters of the combustion (air and fuel flow) and the temperatures reached by the products of the combustion at the exit of the steam generator's home were determined, using the method of successive substitutions, applied to the thermal calculation methodology, with a stopping criterion of the approximate relative error of  $\epsilon_{ra} < 1 \times 10^{-8}$ . It was found that the temperatures reached by the combustion gases at the steam generator's outlet for the 100%, 75%, 50% and 25% regimes are: 1492.4 ° C, 1379.3 ° C, 1238.0 ° C and 980.0 ° C, respectively. Regarding the effect of air dosing on the thermal efficiency of the cycle, it is observed that it increases slightly with the increase of the dosage. Being the maximum thermal efficiency of the cycle of 35.8%

**Rankine Cycle, Combustion, Efficiency, Heat transfer**

**Citación:** JIMENEZ-GARCIA, Juan A., DURAN-GARCIA, Maria D., TORRES-TOVAR, Rigoberto y GASPAR-SANCHEZ, Noé. Efecto del proceso de combustión sobre la eficiencia total de una central térmica de vapor. Revista de Innovación Sistemática. 2019. 3-11: 10-18

\*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: juan.jimenez.uaem@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer Autor.

## Introducción

A nivel mundial, se emplean distintas tecnologías para la generación de energía eléctrica, en centrales térmicas se genera el 66.7% (40.8% en carboeléctricas, 21.6% en centrales de ciclo combinado y 4.3% centrales que queman combustóleo), el 16.4% en hidroeléctricas, 10.6% en nucleoeeléctricas, 2.1% con biocombustibles y 4.2% otras tecnologías (Solar, eólica, geo termoeeléctricas y mareomotriz) (IEA, 2016).

Debido a las medidas de sustentabilidad y cambio climático, se promueve el uso de energías limpias para la generación de energía eléctrica, desincentivando el uso de combustibles fósiles. De 2014 a 2015 a nivel mundial, se redujo el uso de carbón mineral en 7.6%, el combustóleo en -10.6%, fuentes nucleares -0.4%, paralelamente la generación hidroeléctrica se redujo en -1.9%, no obstante, otras tecnologías limpias incrementaron su aportación como la eólica en +16%, solar +17.8%, biocombustibles +2.5%, (IEA, 2016).

La generación bruta de energía eléctrica en México por tipo de tecnología en 2012 se constituyó por 45.6% Ciclo combinado, 20.6% termoeeléctricas convencionales, 12.9% carboeléctricas, 12% hidroeléctricas, 3.4% Nucleoeeléctrica, 2.7% otras fuentes (geotérmica, eólica y solar fotovoltaica), así como 2.4%, Turbogas y 0.4% Combustión interna. (CFE, 2014a). En los últimos años, se ha observado que la tendencia nacional es instalar centrales de ciclo combinado debido a la alta disponibilidad del gas natural, así como la conversión de las centrales termoeeléctricas convencionales ya existentes.

En 2014, la Comisión Federal de Electricidad (CFE), poseía un fuerte programa de conversión de centrales termoeeléctricas convencionales a duales (dualidad para quemar combustóleo o gas natural en el generador de vapor), que son proyectos de oportunidad, debido a los precios fluctuantes de combustóleo y a la alta disponibilidad de gas natural a corto plazo, estudios han demostrado su factibilidad y rentabilidad económica (CFE, 2014b).

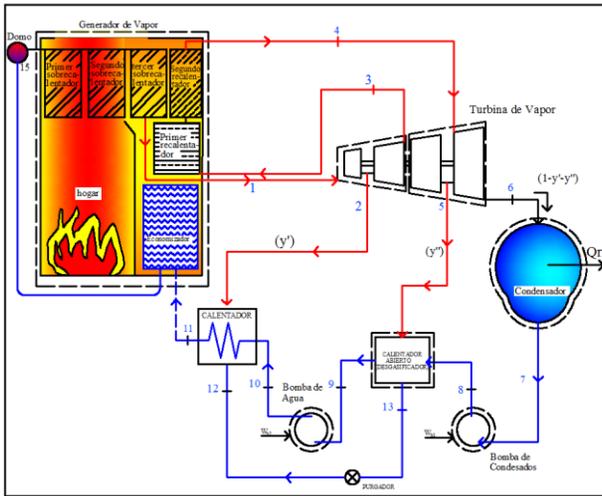
Sin embargo, existen cuestiones técnicas para la conversión que requieren total conocimiento de los regímenes de operación de las centrales termoeeléctricas en cuestión, en especial sobre los procesos de combustión dado que una reconversión implica modificar los parámetros térmicos del proceso de combustión y que afecta las características de la flama y la temperatura de los gases en la cámara de combustión, lo que impacta sobre la transferencia de calor en las superficies intercambiadoras como lo son las paredes del hogar y específicamente los recalentadores de vapor.

Así pues, analizando el contexto antes mostrado, se observa la importancia de realizar una optimización sobre los sistemas convencionales de generación de energía eléctrica (Montiel et al, 2019), particularmente en las CT de Combustóleo, ya que estas aún representan un porcentaje importante de la generación total aun cuando se han implementado políticas para realizar la conversión de las centrales termoeeléctricas a gas natural (CFE, 2012a).

## Caso de Estudio

La central termoeeléctrica analizada, cuenta con una potencia instalada de 700 MW, con dos unidades de 350 MW. Cada unidad con una potencia nominal de 332.5 MW, con generadores de vapor con capacidad de producción de vapor principal de 325.4 Kg/s a 541°C y 288 Kg/s de vapor recalentado a 541°C. La presión nominal del domo del generador de vapor es de 183 Bar y la presión de vapor recalentado es de 40 Bar.

Se emplea combustóleo con una composición química de 83.64 %C, 11.3% Hidrogeno, 4.2% Azufre y 0.86% N+O. (CFE, 1987), se considera un ciclo Rankine con Recalentamiento y dos Regeneraciones para el análisis, cuyo diagrama simplificado y esquemático, se presenta en la figura 1.



**Figura 1** Diagrama Esquemático de la central termoeléctrica analizada

Fuente: Elaboración Propia

### Metodología del cálculo térmico de la cámara de combustión

En el presente estudio se incorpora el análisis de proceso de la combustión en el hogar del generador de vapor, considerando variables independientes como el flujo de combustible, la relación aire- combustible y la fracción de gases de recirculación, en función de estas variables se determinan las propiedades de los gases de combustión como son su temperatura y flujo másico, lo que permitirá en los apartados siguientes realizar el análisis de la transferencia de calor.

La ecuación principal para el cálculo de intercambio de calor en hogares, conocida como ecuación de Gurvich (CKTI, 1973; Mullinger y Jenkins, 2007), se obtiene de la relación entre la temperatura relativa de los gases en salida del hogar ( $\theta_{hogar}$ ), el número de Boltzman ( $BO$ ), el número de Bugar efectivo ( $B\dot{u}$ ) y el parámetro  $M$ , que considera la distribución de temperaturas respecto a la altura del hogar y depende de la posición relativa del núcleo de la llama. Para su cálculo se utiliza la ecuación empírica que se define como (CKTI, 1998):

$$\theta_{hogar} = \frac{T_{hogar}}{T_a} = \frac{BO^{0.6}}{M \cdot BU^{0.3} + BO^{0.6}} \quad (1)$$

La temperatura  $\theta_{hogar}$ , es la relación entre la temperatura de los gases de salida del hogar  $T_{hogar}$  y la temperatura de flama adiabática de los productos de la combustión  $T_a$

Alternativamente, la temperatura de los gases de combustión a la salida del hogar del generador de vapor analizado, se escribe como (CKTI, 1973):

$$T_{hogar}'' = \frac{T_a}{1 + M \cdot BU^{0.3} \cdot \left( \frac{5.67 \cdot \Psi_{promedio} \cdot A_{paredes} \cdot T_a^3}{10^{11} \cdot \phi B_{calc} (VC)_{promedio}} \right)^{0.6}} \quad (2)$$

Donde,  $\Psi_{promedio}$  es el valor promedio del coeficiente de eficiencia térmica de las paredes del hogar y  $A_{paredes}$  es el área de las paredes del hogar,  $B_{calc}$  es el flujo de combustible suministrado a la cámara de combustión del generador de vapor,  $\phi$  es el coeficiente de conservación de calor en el hogar,  $(VC)_{promedio}$  es el calor específico promedio de los productos de la combustión para  $1 \text{ kg}$  de combustible.

Las ecuaciones (2), permite también determinar la temperatura del núcleo de la llama  $T_a$ , el cual se puede considerar como un parámetro de diseño puesto que esta temperatura determina las propiedades termodinámicas de los gases de combustión. El cálculo de la temperatura de los gases de combustión a la salida del hogar y sus propiedades termodinámicas son necesarias para realizar el cálculo de la transferencia de calor en la zona de sobrecalentadores. Más información sobre la metodología se encuentra en Jiménez (2015). Modelo de simulación del cálculo térmico del hogar del generador de vapor.

Para realizar el modelo de simulación del cálculo térmico del hogar del generador de vapor de 350 MW, se considera que el objetivo de esta simulación es conocer las propiedades termodinámicas de los gases de combustión a la salida del hogar (Calvo et al. 2019).

Para llevar a cabo el trabajo, se desarrolló una programación en macros de Excel en Visual Basic Applications, que permiten realizar los cálculos necesarios a fin de predecir las temperaturas de salida de los gases y vapor de agua en cada uno de los elementos del generador de vapor y del ciclo Rankine con recalentamiento y regeneración de la central termoeléctrica, que se muestra en la figura 2.

Para simplificar el cálculo térmico del hogar y lograr una interface más amigable con el usuario, se creó un formulario, cuya caratula se puede apreciar en la figura 2, en el que, se emplean las ecuaciones del calculo térmico de la cámara de combustión, con los que se determina la temperatura de los gases de combustión a la salida del hogar del generador de vapor.

Se emplea el método de aproximaciones sucesivas y se establece un criterio de paro, de un error relativo aproximado de  $\epsilon_{ra} < 1 \times 10^{-8}$ , entre iteraciones, lo que garantiza que el resultado tiene un error menor a 0.000000001%.

El formulario de usuario de la figura 3, permite elegir diferentes configuraciones de las variables independientes como son: el exceso de aire en la mezcla aire – combustible, la fracción de gases de combustión que se recirculan al hogar del generador de vapor, cantidad de combustóleo que se inyecta a los quemadores del hogar e incluso la composición química del combustible.

Figura 2 Formulario de usuario, para el cálculo térmico del hogar del generador de vapor de 350 MW

La central termoeléctrica Villa de Reyes trabaja en un ciclo cerrado, lo que propicia que exista una dependencia directa entre los cálculos térmicos, de transferencia de calor en los sobrecalentadores y el ciclo Rankine, por ello, para realizar la simulación del cálculo térmico del hogar, es necesario, definir los tipos de variables y las consideraciones tomadas, para tal propósito:

- a) **Variables independientes**, son aquellas variables de operación independientes, que se utilizan para iniciar la simulación del ciclo en su totalidad, entre ellas se encuentran: la presión del domo del generador de vapor, flujo másico de combustóleo, flujo másico de agua de alimentación y la fracción de gases de recirculación.
- b) **Variables semilla**, en el cálculo térmico del hogar, es necesario considerar un valor semilla, para la temperatura adiabática de la flama en el hogar del generador de vapor, que por recomendaciones de la literatura es de 1323 K (Polupan, et al., 2002a), para realizar una primera iteración. Posteriormente los valores recalculados se ingresan de forma iterativa a la rutina programada a fin de encontrar su valor correspondiente. El diagrama de flujo del cálculo iterativo del cálculo térmico de la cámara de combustión se muestra en la figura 3.

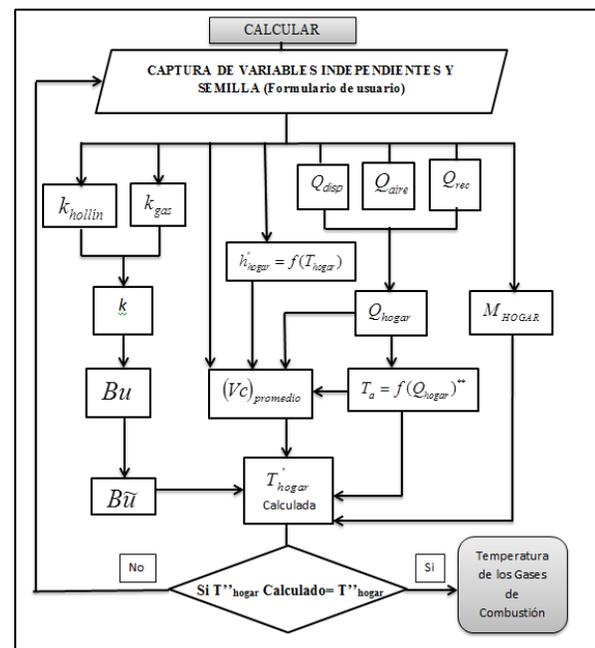


Figura 3 Diagrama de flujo del cálculo térmico del hogar del generador de vapor de 350 MW

Los resultados obtenidos del modelo termodinámico desarrollado se validan comparándolos directamente con los datos de operación proporcionados por el fabricante a los regímenes de carga de 100%, 75%, 50% y 25% (CFE, 1987).

Asimismo, para realizar el cálculo térmico del hogar, se tomaron las siguientes consideraciones:

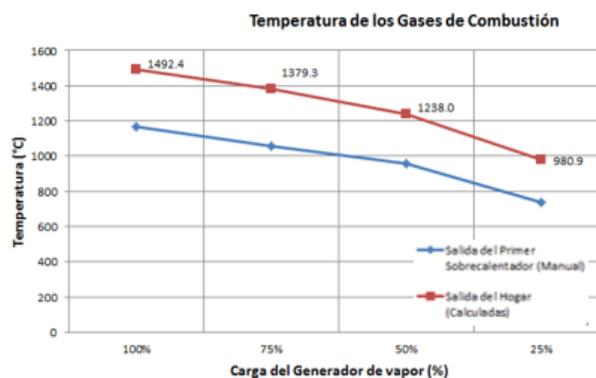
- Se considera que el flujo de agua de alimentación es constante.
- El agua de alimentación se suministra a una temperatura ambiente de 32°C, según lo establece el manual de operación de la central termoeléctrica.
- La composición química molar del combustible suministrado se considera de: C=83.64%, S=4.2%, N=0.37%, H=11.3%, O= 0.49%. Como lo establece el manual de operación de la central termoeléctrica, aunque el formulario de usuario (Ver figura 5) permite actualizar dicha composición química si fuera necesario
- El combustóleo se suministra al hogar del generador de vapor a una temperatura de 135 °C. Según recomendaciones de operación de la central termoeléctrica.
- Para lograr un combustión completa del combustóleo en el generador de vapor, se permite seleccionar en el formulario de usuario una inyección de exceso de aire mínimo del 5% y máxima de 1.55%
- Para el presente estudio, se considera despreciable la caída de presión del lado de los gases de combustión. La caída de presión de lado del vapor se interpola en base a los parámetros establecidos en el MOGV para los regímenes de carga del 100%,75%,50% y 25%., ya que en la presente investigación no se centra en el estudio hidráulico del sistema.
- La geometría del hogar del generador de vapor y de los quemadores, para caracterizar el proceso de la combustión se considera constante y se toman con base en lo establecido en el manual de operación y construcción del generador de vapor.
- Se establecen límites superiores e inferiores para los valores de las variables independientes en el ciclo térmico, esto es, se consideran siempre su valor, dentro del régimen máximo y mínimo establecido en el MOGV, para evitar condiciones peligrosas de operación.

El cálculo térmico del hogar se realizó a cargas parciales (100%, 75%, 50%, 25%) con el fin de comparar los resultados calculados con los establecidos en el MOGV. La figura 4, muestra la temperatura de los gases de combustión a la salida del hogar, calculada con la ayuda del UserForm del cálculo térmico del hogar del generador de vapor de 350 MW.

Para realizar la simulación del cálculo térmico se emplearon los parámetros de la tabla 1 para los valores de las variables independientes.

Variable independiente/Carga Parcial	100%	75%	50%	25%
Flujo másico de combustibles [T/h] ( $\beta_{comb}$ )	77.53	59.17	41.58	20.37
Exceso de aire( $\alpha$ )	1.05	1.05	1.30	1.15
Fracción de recirculación de gases(r)	0.20	0.30	0.40	0.35
Agua de alimentación [T/h] ( $m_a$ )	1097.4	763.7	512.2	271

**Tabla 1** Variables independientes empeladas para el cálculo térmico del hogar a cargas parciales

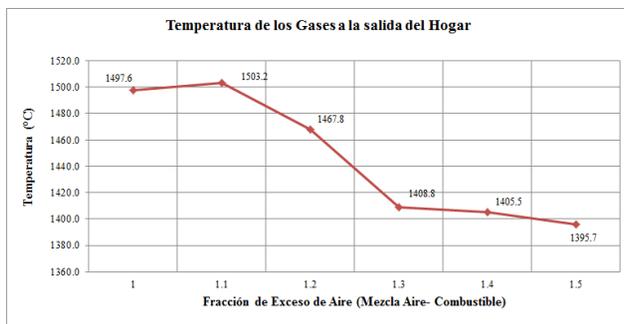


**Figura 4** Tendencia de la temperatura de los gases a la salida del hogar, calculadas VS la temperatura de los gases a la salida del primer sobrecalentador, establecida en el MOGV

Por otra parte, en la figura 5 se muestra, la influencia que tiene el exceso de aire de la mezcla de aire-combustible, sobre la temperatura alcanzada por los gases de combustión. Podemos apreciar, que la mezcla con la que se presenta la mayor temperatura de los gases a la salida del hogar es con un  $\alpha=1.10$ , lo cual, concuerda con la literatura, que recomienda valores de aire teórico entre 1.10 a 1.15, para garantizar la quema del combustible en su totalidad.

Se observa, que la máxima temperatura calculada para los gases de combustión es de 1503.2 °C con un exceso de aire de  $\alpha=1.10$ . Sin embargo, para el exceso de aire estequiométrico de  $\alpha=1.0$ , la temperatura de los gases de combustión es menor, siendo de 1497.6°C, ya que en este régimen, parte del combustible no reacciona debido a la falta de aire en el proceso, lo que se conoce como combustión incompleta.

La temperatura de los gases de combustión disminuye conforme se aumenta el exceso de aire en el proceso de la combustión, esto, debido al aumento del volumen de los productos de la combustión en la zona de combustión activa del hogar del generador de vapor, que contribuye a distribuir la temperatura en el hogar, provocando temperaturas menores de los productos de la combustión a la salida del mismo.



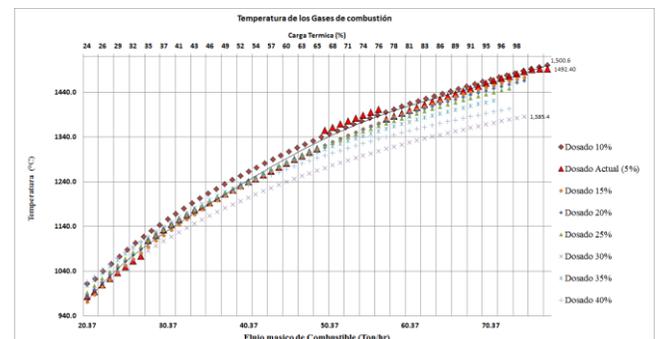
**Figura 5** Temperatura de los gases a la salida del hogar del generador de vapor, para diferentes excesos de aire

Por otra parte, el mismo *UserForm cálculo térmico del hogar* (figura 5.3), permite también establecer la fracción de gases de combustión a la salida del economizador del generador de vapor, que se recirculan a la cámara de combustión, con la finalidad de aumentar la eficiencia térmica del generador. De manera particular en el MOGV, se especifican fracciones de recirculación que van desde el 20% hasta el 60%, según el régimen de operación. Para las simulaciones realizadas en este apartado, se emplean las fracciones de recirculación establecidas en la tabla 1.

Es importante mencionar que el modelo del cálculo térmico, se ajusta adecuadamente a todos los regímenes de carga contras los que se comparan los resultados, por ello es factible emplear la metodología para cualquier régimen de carga diferente, ya que basta con modificar los valores de las variables independientes en el formulario (figura 2), para obtener resultados bajo condiciones de quemado diferentes.

## Efecto del Dosado de aire

Para realizar el presente análisis, se consideran ocho diferentes valores de dosado de aire, desde el 10% de exceso de aire hasta el 40% de exceso de aire, así como el dosado establecido para la operación del generador de vapor a diferentes regímenes de operación. Se busca el dosado de aire óptimo, que permita liberar toda la energía del combustible, a la vez de minimizan las pérdidas derivadas de las imperfecciones de la combustión y del exceso de aire. En la figura 6, se aprecia que el aumentar el dosado de aire en el proceso de la combustión, ocasiona que la temperatura de los productos de la combustión a la salida del hogar del generador de vapor (estado  $T_a$ ), disminuya. Esto debido al incremento en el flujo másico de gases de combustión, ya que existe mayor cantidad de aire.



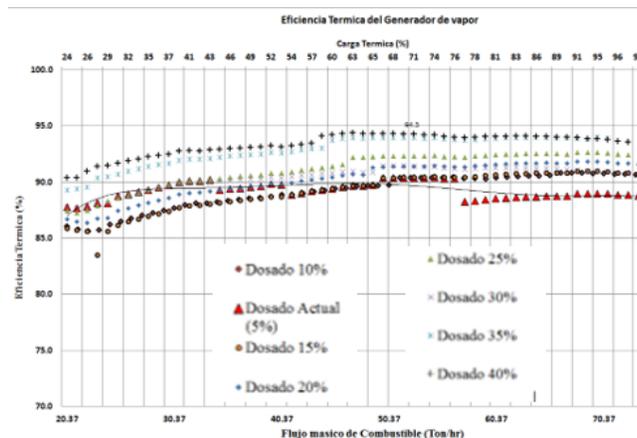
**Figura 6** Temperatura de los gases de combustión a diferentes dosados de aire

Se encontró que la temperatura máxima calculada de los gases de combustión es de 1500.6°C, con un dosado de aire del 1.1, que es 8.2°C superior a la temperatura de los gases de combustión calculada para el régimen actual de operación de la central termoeléctrica, que emplea para este régimen de carga, un dosado de 1.05. Al incrementar el exceso de aire al hogar del generador de vapor, la temperatura de los gases de combustión a la salida del hogar del generador de vapor decrece, hasta llegar a 1385.4°C, cuando el dosado suministrado alcanza el 1.4 de exceso de aire y el generador de vapor opera al 100% de carga térmica.

Sin embargo, no siempre obtener la mayor temperatura de los gases de combustión a la salida del hogar del generador de vapor proporciona los mejores valores de eficiencia, ya que ésta es una combinación de las características del flujo de gases y vapor, así como de las temperaturas, ya que ambos participan en el proceso de intercambio de calor.

Por lo que la eficiencia del generador de vapor muestra un incremento con el incremento del exceso de aire, ya que se mejora la turbulencia y la mezcla de los productos de la combustión en la zona de quemadores, lo que compensan la menor temperatura de los gases de combustión en el hogar del generador a carga parcial y permite mantener el rendimiento global del generador de vapor e incluso mejorarlo (Fernández, 2005).

En otras palabras, el incremento en el exceso de aire al hogar del generador de vapor, aun con la disminución en la temperatura de los gases de combustión a la salida del hogar del generador de vapor, es benéfico para el rendimiento térmico del generador de vapor, porque mejorar el proceso de transferencia de calor lo que se muestra en la figura 7.



**Figura 7** Eficiencia térmica del generador de vapor a diferentes dosados de aire

La eficiencia máxima del generador de vapor calculada para el dosado de aire del 40% es de 94.3% y se encuentra en el régimen de carga del 67%, lo que se puede apreciar en la figura 6.

## Conclusiones

Después de desarrollar el modelo del cálculo térmico del hogar, donde se realizó un análisis, modificando algunos parámetros de la combustión se concluye que la metodología de cálculo térmico del hogar presentada en la presente investigación, predice adecuadamente la temperatura de los productos de la combustión a la salida del hogar del generador de vapor, empleando el métodos de sustituciones sucesivas con un criterio de paro del error relativo aproximado de  $\varepsilon_{ra} < 1 \times 10^{-8}$ .

Con la metodología del cálculo térmico del hogar, se determinó que las temperaturas de los gases de combustión a la salida del hogar del generador de vapor para los regímenes del 100%, 75%, 50% y 25% son: 1492.4°C, 1379.3°C, 1238.0°C y 980.0 °C, respectivamente.

En la misma etapa, derivado del análisis del efecto del dosado de aire sobre la temperatura de los gases de combustión a la salida del hogar, se determinó que el dosado de aire que contribuye a producir la temperatura de los gases de combustión más alta es el de  $\alpha = 1.10$ . Siendo la máxima temperatura calculada de 1503.2°C, para el régimen de carga del 100% y un dosado de  $\alpha = 1.10$ .

Finalmente, en la etapa del análisis de sensibilidad se pudo concluir que el efecto del dosado de aire sobre el modelo del cálculo térmico del hogar y el ciclo de la central térmica que:

- El incremento en el dosado de aire al hogar del generador de vapor ocasiona que la temperatura de los gases de combustión disminuya, y que el flujo de gases de combustión aumente. No obstante, el dosado de aire que produce la temperatura máxima de los gases de combustión es  $\alpha = 1.10$ , siendo ésta de 1500.6°C, a régimen de operación del 100% y con una eficiencia térmica de ciclo de 34.77%. Sin embargo, con un dosado de aire de  $\alpha = 1.40$ , se alcanza una eficiencia térmica máxima del ciclo de 35.55% a régimen de operación del 100%, aun cuando la temperatura de los gases de combustión a la salida del hogar sea de 1385.4°C. Con lo que se concluye, que el dosado de aire, afecta a la temperatura que alcanzan los gases de combustión, la cantidad de flujo másico de éstos y modifica las características físicas como turbulencia y velocidad, que afectan directamente a la transferencia de calor en los elementos subsecuentes.
- Incrementar el dosado de aire hasta  $\alpha = 1.40$ , incrementa la eficiencia térmica del generador de vapor. Siendo la eficiencia térmica máxima del 94.3%, para un régimen de carga del 67%.

- c. Respecto al efecto del dosado de aire sobre la eficiencia térmica del ciclo, se observa que ésta se incrementa ligeramente con el incremento del dosado. Siendo la eficiencia térmica máxima del ciclo del 35.8% al régimen de carga del 80%. Sin embargo, se observa que el incremento en la eficiencia térmica del ciclo es más significativa debido al régimen de operación de la central, siendo los regímenes mayores al 75%, lo que presentan mayores eficiencias térmicas.
- d. Para el caso de la eficiencia exergética del ciclo, ésta se incrementa conforme lo hace el dosado de aire desde  $\alpha=1.10$  hasta  $\alpha=1.40$ , para un mismo régimen de carga. La eficiencia exergética máxima calculada fue de 30.4% y se encontró en un régimen de operación del 66.6% con un dosado de aire de  $\alpha=1.40$ . La eficiencia exergética a partir del régimen de carga del 66.6%, se comporta de una manera muy uniforme.
- e. Con lo anterior, se concluye que, el incremento en el dosado de aire en la mezcla de aire combustible en el generador de vapor, contribuye a incrementar la eficiencia térmica del generador de vapor y las eficiencias térmica y exergética del ciclo. Sin embargo, como ya se dijo con anterioridad por cuestiones medioambientales el dosado de aire debe permanecer por debajo de  $\alpha=1.20$ . Por lo tanto, con base en los resultados obtenidos en la presente investigación se recomienda ampliamente emplear dosados de aire en el rango del  $\alpha=1.05$  al 1.15, que cumplen con la limitante medioambiental y permiten una buena combustión, así como, que con esta medida, se producen los gases de combustión a la salida del hogar del generador de vapor a mayor temperatura.

Calvo-González, A. E., Reyes-Becquer, N., Aballe-Infante, L., López-García, E., Domínguez-Machado, R., Santé-Heredia, V., & Fernando-Mfumo, A. (2019). Cálculo térmico normativo de calderas digitalizado para el análisis de regímenes estacionarios. *Ingeniería Mecánica*, 22(2), 100-107.

Cengel, Y. A. & Boles, M.A. (2012). *Termodinámica* (6 Ed). México: Mc Graw Hill.

CFE. (2012a). *Works Program and Investment Electricity Sector 2012 - 2016 Mexico D.F*: Programming Branch, Planning Coordination, CFE.

CFE. (2012b). *Costs and Benchmarks for formulating investment projects Electricity Sector*. México D.F.

CFE. (1987). *Manual del Operación de la central termoeléctrica villa de reyes. San Luís Potosí*, México: Comisión Federal de Electricidad.

CKTI. (1973). *Thermal calculation of steam generator Regulatory Method* (2 ed). Sankt Petersburg: CKTI.

CKTI. (1998). *Thermal calculation of steam generator Regulatory Method* (3 ed.) Sankt Petersburg: CKTI.

Duran M. (2004). *Thermoeconomic optimization of combined cycle gas turbine using genetic algorithms*, Tesis Doctoral, UPM, Madrid 2004.

Ebenhocha R., Matha D, Marathe S., Cortes P. & Molins C. (2015). Comparative Levelized Cost of Energy Analysis. *Energy Procedia* 80 (2015), 108 – 122.

Ganapathy, V., (1981). Estimate nonluminous radiation heat transfer coefficients. *Hydrocarbon Processing*, 235.

Ganapathy, V. (1982). *Applied Heat Transfer. Tulsa OK: Penn Wll Book*.

Habib, M. A., Said, S. A. & Al-Zaharna, I. (1999). Thermodynamic optimization of reheat regenerative thermal-power plants. *Applied Energy*, 63.

## Referencias

Bejan, A. & Kraus, A. (2003). *Heat transfer Handbook*, U.S.A.: John Wiley y Sons, Inc.

- Jiménez, J. (2015). *Análisis Exergético y Termoeconómico de un sistema de generación de energía, estudio del caso del generador de vapor de 305 MW instalado en la central termoeléctrica Villa de Reyes*. Tesis Doctoral. México. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Kitto, J., & Stultz, S. (2005). *Steam its generation and use* (41 Edition), USA: The Babcock y Wilcox Company.
- Kwak, H. Y., Kim, D. J., & Jeon, J. S. (2003). Exergetic and thermoeconomic analyses of power plants. *Energy*, 28, pp. 343-360.
- Montiel-Bohórquez, N. D., & Pérez, J. F. (2019). Generación de Energía a partir de Residuos Sólidos Urbanos. Estrategias Termodinámicas para Optimizar el Desempeño de Centrales Térmicas. *Información tecnológica*, 30(1), 273-284.
- Moran M. (1997). Second Law application in thermal system design. In Boehm, R. (Ed.), *Developments in the Design of thermal Systems*. New York: Cambridge University Press.
- Moran, M. & Shapiro H. N. (2008). *Fundamentals of engineering thermodynamics*. (6th Ed.). USA: John & Sons Inc.
- Moran M. (2005). Engineering Thermodynamics. In: Kreith, F. & Go swami D. Y., (Ed.). *The CRC handbook of Mechanical Engineering*. USA: The CRC press. Ch 2.
- Mullinger P. & Jenkins B. (2008). *Industrial Process Furnaces, Principles and Design*, Ed. Elsevier.
- Narula, R. G. (1995). Salient design considerations for an ideal combined cycle power plant. *Heat Recovery Systems y CHP*, pp. 97-104.
- Ndlovu, M. & Majozi, T. (2014). Design and Optimization of Power Plant Utility Systems, *Computer Aided Chemical Engineering*, 34, 567-572.
- Rovira A. (2004). *Desarrollo de un Modelo para la Caracterización Termoeconómica de Ciclos Combinados de Turbinas de Gas y de Vapor en Condiciones de Carga Variable*, Tesis Doctoral, UPM, Madrid, 2004.
- SENER. (2017). Balance Nacional de Energía 2016. SENER. México.
- Zhao, W., Zhang, T. & Tang, X. (2012). Application of Power Electronic Technology in Optimizing the Operation of Thermal Power Plants. *Advances in Mechanical and Electronic Engineering*, 177.

## Sistema Aerodinámico para un Sistema Eólico de Baja Potencia

### Aerodynamic System for a Low Power Wind System

LINARES-ENRÍQUEZ, Alejandro<sup>†\*</sup> & MARTINEZ-ZEPEDA, Ivan

*Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Alejandro, Linares-Enríquez* / ORC ID: 0000-0002-2250-0730, Researcher ID Thomson: F-8123-21018, CVU CONACYT ID: 607628

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Ivan, Martinez-Zepeda* / ORC ID: 0000-0001-7504-7290

DOI: 10.35429/JSI.2019.11.3.19.26

Recibido 20 de Junio, 2019; Aceptado 30 de Septiembre, 2019

#### Resumen

Una de las principales necesidades de la sociedad es contar con energía eléctrica en sus hogares, por lo que se desarrolla un mecanismo de orientación del sistema aerodinámico para un Sistema Eólico de Baja Potencia, desarrollando los elementos mecánicos y electrónicos para la orientación de acuerdo a las ráfagas de viento, pero su estructura se encamina a vientos moderados, hasta los 12 m/s, considerando su aplicación para suministro o si ya cuentan con energía eléctrica para autoabastecimiento, considerando la simulación, el control, el diseño y la implementación del sistema aerodinámico, su forma de orientación mecánica y electrónica, además de determinar cómo influye la incidencia del viento en cada uno de los componentes aerodinámicos del aerogenerador y como les afecta cada uno de los cambios climáticos a los que este se someterá, como son la humedad y la velocidad del viento, como se comporta el sistema dentro de ciertos intervalos del viento en zonas en las que se pueda implementar, por lo que se desarrollaran pruebas en un túnel de viento del comportamiento aerodinámico y se establecerán los elementos del sistema de orientación de las aspas y pruebas de comportamiento dinámico que designaran el material para la fabricación del sistema.

**Aerogenerador, Aerodinámica, Baja Potencia**

#### Abstract

One of the main needs of the society is to have electric power in their homes, which is why an orientation mechanism of the aerodynamic system for a Low Power Wind System is developed, developing the mechanical and electronic elements for orientation according to the gusts of wind, but its development is directed to moderate winds, up to 12 km / s, considering its application for supply or if they already have electricity for self-supply, considering the simulation, control, design and implementation of the aerodynamic system, its form of mechanical and electronic orientation, as well as determining how the incidence of wind affects each of the aerodynamic components of the wind turbine and how each of the climatic changes to which it is subjected affects them, such as humidity and wind speed, how the system behaves within certain wind intervals in areas in which can be implemented, so that tests in a wind tunnel of aerodynamic behavior will be developed and the elements of the guidance system of the blades and dynamic behavior tests that designate the material for the manufacture of the system will be established.

**Wind Turbine, Aerodynamics, Low Power**

**Citación:** LINARES-ENRÍQUEZ, Alejandro & MARTINEZ-ZEPEDA, Ivan. Sistema Aerodinámico para un Sistema Eólico de Baja Potencia. Revista de Innovación Sistemática. 2019. 3-11: 19-26

\*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: alejandro.linares@test.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer Autor.

## Introducción

En el desarrollo del proyecto se realiza el análisis de los componentes del aerogenerador dentro del diseño, la simulación y la conversión de energía, se definen los parámetros de entrada del sistema, donde la parte aerodinámica es esencial en la obtención de energía, la aerodinámica considera la fuerza que empuja a un objeto en un movimiento relativo, donde se presente la fuerza debida a las diferencias de presiones, definiendo los ángulos de ataque del viento sobre el aspa, con este análisis establecer los elementos mecánicos de orientación para estabilizar el sistema eléctrico de funcionamiento para la obtención de la máxima energía cinética, así como del control de operación y frenado cuando las velocidades sobrepasen los valores establecidos.

México dispone de un potencial renovable indiscutible, con un amplio porfolio de recursos eólicos como los parques eólicos ya instalados. De acuerdo al estudio sobre el potencial eólico, México cuenta con un potencial eólico superior a los 50 GW. Esto de acuerdo a lo que comenta el estudio de la Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE) y otras entidades, en el plan integral de desarrollo de las energías renovables en México 2013-2018 [1].

La energía eólica es una de las energías renovables que nos brinda los mayores beneficios y posibilidades. Su empleo produce menores impactos en el medio ambiente y a su vez tiene poca afectación por los cambios que el hombre provoca a su entorno.

Dos aplicaciones que ha tenido la energía eólica a través del tiempo son: la navegación de vela y los molinos de viento. La primera de estas aplicaciones es la navegación de vela, donde la orientación determina el mejor aprovechamiento de energía. La otra aplicación son los molinos de viento, donde establece una velocidad lineal que será transformada en velocidad angular, obteniendo un torque y una potencia, que son parámetros indispensables en la aerodinámica del sistema eólico. Los aerogeneradores pueden contribuir significativamente a las necesidades de energía, aunque tengan el nombre de sistemas de baja potencia, las turbinas eólicas son lo suficientemente grandes para proporcionar una parte importante de la energía requerida en los hogares principalmente en las áreas rurales, inmuebles y comercios.

La parte aerodinámica se establece para controlar la velocidad del viento que será transformada en velocidad angular, con un sistema de orientación de las palas que contarán con un anemómetro que permita monitorear la fuerza de sustentación y a ciertos parámetros girar la orientación para disminuir la velocidad con menos área de incidencia, además de contar con un sistema de freno electromecánico.

Nuestra propuesta es determinar la funcionalidad del sistema de orientación de palas para la parte aerodinámica de este tipo de sistemas, determinando sus componentes mecánicos y eléctricos.

## Desarrollo

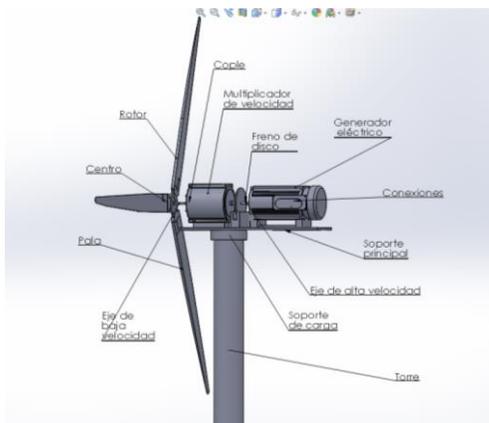
En el caso de los aerogeneradores debemos monitorear y analizar la potencia incidente del viento, para establecer su control, en las palas analizar cuando el ángulo de torsión es variable, donde se puede utilizar esta variabilidad no sólo para ajustar el ángulo de ataque buscando la potencia máxima sino también para graduar el ángulo de ataque para conseguir una velocidad de rotación constante frente a las diferencias de velocidad del viento incidente.

Para las palas con ángulo de torsión variable, cuando la velocidad incidente del viento es excesiva, para parar el rotor se orienta la pala de manera que entre en pérdidas. En estas condiciones desaparece la fuerza de sustentación que impulsa las palas y el rotor se para.

Estos sistemas por lo general están compuestos por el rotor, multiplicador, freno, generador, cola, torre, cableado, controladores y las baterías, como se muestra en la simulación que permite predecir el comportamiento del sistema de acuerdo a las figuras 1a y 1b.

Donde a través del giro de los alabes la turbina convierte la energía cinética del viento en un movimiento rotatorio que acciona el generador eléctrico, se analiza que los sistemas de tres palas son los más eficientes energéticamente de acuerdo a su coeficiente de potencia y su velocidad específica.

Para el control aerodinámico determinamos las variables a modificar que son un sistema de regulación por frenos aerodinámico a través de un sistema de orientación de palas, que se activan por la acción de la fuerza centrífuga y que actúa cuando el giro del aspa esta por sobrepasar los límites establecidos de velocidad angular, donde el sistema por medio de palas orientables establecer el ángulo de ataque  $\alpha$  de las pala y  $\beta$  es la torsión del ángulo de inclinación, de esta forma se consigue variar la fuerza aerodinámica que actúa sobre la pala, variando el ángulo, que se controla por procedimientos mecánicos relacionados con la velocidad de ataque del viento [2].



**Figura 1a** Componentes del Aerogenerador  
Fuente: Elaboración Propia



**Figura 1b** Componentes del Aerogenerador  
Fuente: Elaboración Propia

## Metodología

La energía cinética del aire moviéndose a una velocidad  $v$  está dada por:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

Considerando un rotor con un área seccional expuesta a una ráfaga de aire, la energía cinética de la ráfaga de aire disponible para una turbina será:

$$E_c = \frac{1}{2}\rho_a v^2 \quad (2)$$

Una turbina eólica no es capaz de extraer la potencia total que se encuentra en una masa de aire, sino que solo es capaz de extraer una fracción de está. Mediante la ley de la conservación de la masa, el flujo de la masa de aire debe ser igual en todo el tubo de flujo y el gasto másico constante, por lo cual:

$$\dot{m} = \rho_a A_1 V_1 = \rho_a A V_w = \rho_a A_2 V_2 \quad (3)$$

Donde la variación de la energía cinética del viento por unidad de tiempo es:

$$P_{util} = \frac{d(E_c)}{dt} = \frac{1}{2}\rho_a A V_w (V_1^2 - V_2^2) = \rho_a A V_w^2 (V_1 - V_2) \quad (4)$$

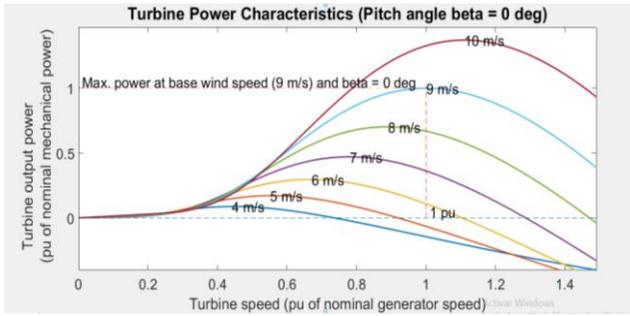
Estableciendo que la potencia útil máxima que proporciona el rotor considera el coeficiente de potencia que se conoce como el límite teórico de Betz, no es mayor al 59.5%. [3]. Además, se establece la relación de velocidad específica o periférica, TSR, que es la relación entre la velocidad periférica de la pala  $Rw_T$ , y la velocidad del viento  $V_w$ , y se encuentra dado por:

$$TSR = \frac{\text{Velocidad de la periferia de la pala}}{\text{Velocidad del viento}} = \frac{Rw_T}{V_w} \quad (5)$$

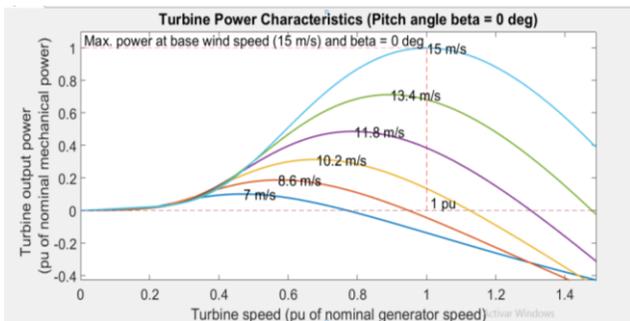
El TSR indica que la periferia de la pala gira a una velocidad TSR mayor que la velocidad del viento  $V_w$  y sirve para comparar el funcionamiento de diferentes máquinas eólicas. El coeficiente de potencia  $C_p$ , es la relación entre la potencia que genera la turbina eólica y la energía del viento que atraviesa al rotor:

$$C_p = \frac{P_{util}}{P} \quad (6)$$

El coeficiente de potencia indica la cantidad de energía del viento que se puede convertir en trabajo mecánico por la turbina y es transmitido al eje primario del sistema eólico como potencia mecánica, velocidad angular, torque y esfuerzo mecánico para su análisis. Las gráficas 1a y 1b establecen el comportamiento del viento para 9m/s y 15m/s y las características de la potencia.



**Grafica 1a** Características de Potencia  
Fuente: *Elaboración Propia*



**Grafica 1b** Características de Potencia  
Fuente: *Elaboración Propia*

Dentro del diseño el movimiento de rotación es importante para el análisis del sistema eólico, la ley de Newton de rotación considera la relación entre el par aplicado y su aceleración angular resultante y establece que la suma algebraica de los momentos o pares alrededor de un eje fijo es igual al producto de la inercia por la aceleración angular alrededor del eje, la ecuación es:

$$\sum T = J \alpha = J \frac{dw}{dt} = J \frac{d^2\theta}{dt^2} \tag{7}$$

Donde J es la inercia,  $\alpha$  es la aceleración angular, T es el par, w es la velocidad angular,  $\theta$  es el desplazamiento angular, en el que el par T es la fuerza de torsión que se transmite y se ejerce sobre los ejes y engranes, el par de torsión depende de la magnitud de la fuerza aplicada y de la distancia entre el eje de rotación y la línea de acción de la fuerza. Además dentro de la torsión el análisis del ángulo de giro en radianes de los ejes se calcula mediante el análisis torsional de la ley de Hooke  $\tau = G\gamma$  y  $\gamma = \rho\theta/L$  estableciendo el torque como una fuerza por una distancia:  $T = \int \rho (\tau dA)$  y estableciendo a  $\int \rho^2 dA = J$  que es el momento polar de inercia, obteniendo el ángulo de torsión en radianes, donde estos elementos son importantes para el desarrollo del sistema [4, 5, 6, 7].

$$\theta = \frac{TL}{GJ} \tag{8}$$

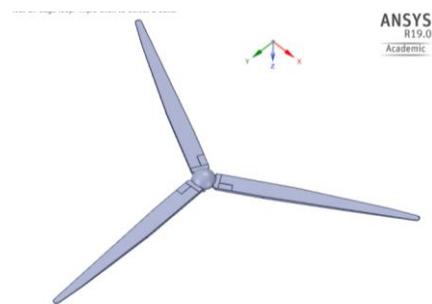
Donde:  
T= Torsión.  
L= Longitud.  
G= Modulo de Rigidez.  
J= Segundo Momento Polar de Inercia.

De acuerdo a este análisis tenemos dos tipos de cargas que actúan sobre el rotor, son la fuerza centrífuga que es una carga estática perpendicular al eje del giro, proporcionando una componente de tensión a lo largo de la pala y otra de flexión en sentido contrario al de las cargas aerodinámicas y, las cargas dinámicas son debidas al giro de la pala, existiendo también cagas transitorias debido a la operación del sistema.

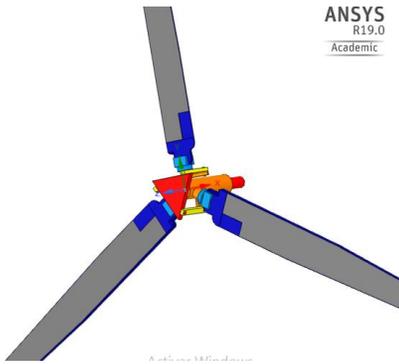
**Sistema Aerodinámico del Sistema Eólico**

La regulación por medio de palas orientables consiste en analizar y diseñar en base al ángulo de ataque  $\alpha$  de las pala con la velocidad del viento y el ángulo  $\beta$  que es la torsión del ángulo de inclinación y de esta forma conseguir variar la fuerza aerodinámica, de acuerdo a la pala para la captación de la energía cinética, se tendrá el tamaño de las palas de 3 metros para el proyecto, el perfil y los elementos de unión de la pala, con el diseño aerodinámico que al orientarse cambiara la intensidad de incidencia del viento, en el cual se obtiene la simulación con la caracterización del perfil, la geometría y el modelado.

La energía eólica establece los análisis de las palas del sistema eolico, como se muestra en la figura 2a y 2b [8,9].



**Figura 2a** Aspas Aerogenerador  
Fuente: *Elaboración Propia*



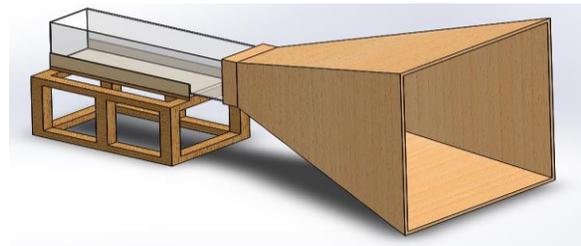
**Figura 2b** Aspas Aerogenerador  
Fuente: Elaboración Propia

El desarrollo de la parte aerodinámica considera la estructura de las palas en el diseño aerodinámico, estableciendo una longitud de tres metros para el proyecto, con un diseño mecánico herramental en el cual podemos tener un soporte plano o un soporte cilíndrico para la ubicación de la pala en el sistema de giro, para que la incidencia sea mayor o menor, se debe considerar un diseño óptimo y las posibles modificaciones geométricas y constructivas de acuerdo a un estado de cargas.

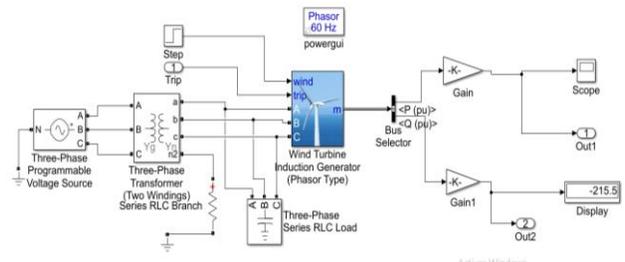
Se debe establecer un diseño de modelos para la geometría de las palas a implementar y, poderlo desarrollar dentro del sistema eólico de baja potencia, también se debe establecer el desarrollo de los métodos de fabricación, pruebas en materiales como lo son alguna resina, acrílico o espuma.

Con estos modelos establecer las velocidades del viento para su aplicación en un túnel de viento, como se muestra en la figura 3, Se debe analizar el coeficiente de empuje del sistema y los coeficientes de las palas que son la densidad, la velocidad relativa y la longitud de la pala para establecer el coeficiente de potencia.

Además para determinar el comportamiento de la estabilidad de la orientación de las palas se desarrolló un análisis de estabilidad donde se observa el comportamiento considerando las variables que son el viento incidente y sus cambios, el ángulo de ataque y el ángulo de inclinación, para lograr a través de las características del aerogenerador establecer la relación de entrada que el viento tiene con la salida que es la energía eléctrica, y dentro del sistema establecer el comportamiento de velocidad angular, torque y potencia, que pasara a voltaje y amperaje, para finalizar en potencia eléctrica, como se muestra en la figura 4 [10,11].

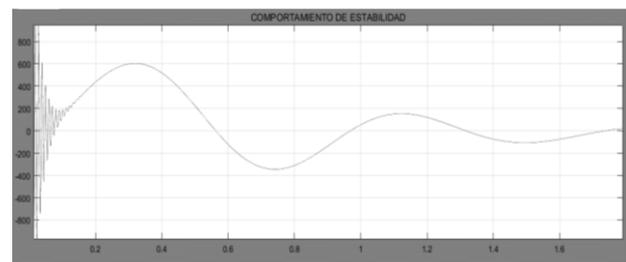


**Figura 3** Túnel de viento  
Fuente: Elaboración Propia



**Figura 4** Sistema de Estabilidad  
Fuente: Elaboración Propia

Donde la estabilidad se logra primeramente en 0.2 segundo y se logra totalmente en 1.6 segundos, como se muestra en la gráfica 2, considerando una velocidad de 12 m/s.



**Grafica 2** Comportamiento de Estabilidad  
Fuente: Elaboración Propia

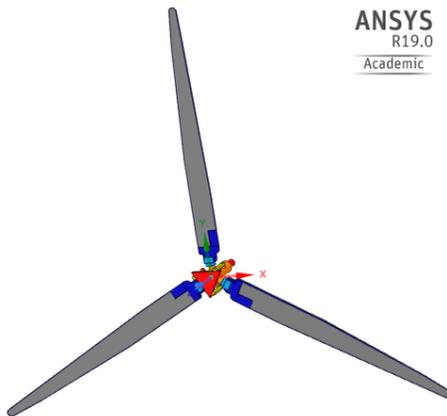
El sistema de estabilidad se analiza en la construcción de un túnel de viento ya que se pueden hacer variar la velocidad y establecer la simulación a condiciones reales de velocidades del viento, para las condiciones aerodinámicas que se analizaran al aspa y su comportamiento de acuerdo a la orientación que se tenga, el túnel de viento que se desarrolló como se muestra en la figura 5, con un área de 2500 cm<sup>2</sup> para un aspa de prueba de 22 cm de radio.



**Figura 5** Túnel de Viento  
Fuente: *Elaboración Propia*

**Resultados**

Para el sistema eólico de baja potencia se desarrolló un sistema mecánico de orientación de las palas, en el cual contribuya a establecer los elementos para que se pueda controlar la velocidad, potencia y torque en el sistema, esta propuesta establece una simulación mecánica de cómo se orientara las palas en el sistema, como se muestra en la figura 6.

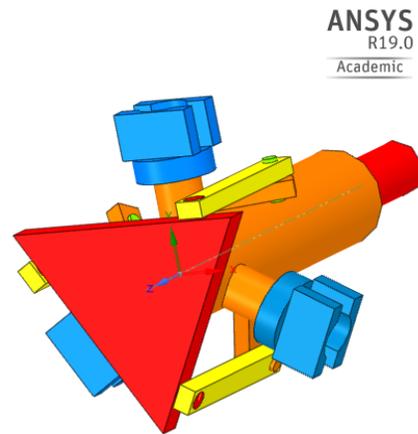


**Figura 6** Mecanismo de Orientación de Aspas  
Fuente: *Elaboración Propia*

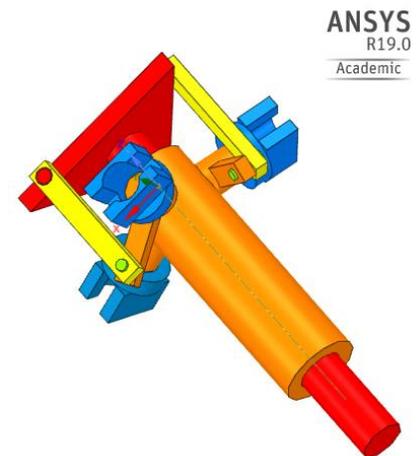
Con el análisis del sistema aerodinámico se establecieron los elementos para orientación de las palas el cual a una velocidad de 9 m/s inicia la inclinación desde los cero grados, llegando a los 15 m/s como velocidad máxima, donde la orientación sea a 90 grados para disminuir al máximo el área de incidencia.

El equipo además contara con un sistema de frenado electromecánico para que apoye al aerogenerador en condiciones de mayores vientos y que no provoque un daño al equipo, monitoreando la velocidad del viento que se presente en la zona de instalación y prueba.

El sistema de orientación cuenta con un mecanismo de un eje tubular principal y salientes a 120 grados para que las palas puedan girar de acuerdo a la incidencia del viento, cuenta con un mecanismo de salida de otro eje central que moverá el eje tubular de acuerdo a la velocidad en una relación de diámetro con distancia longitudinal, estableciendo el ángulo en el cual debe estar girado el sistema, como se muestra en la figura 7a y 7b, [8,9]. El sistema tiene una relación lineal de acuerdo a la capacidad de giro que tienen las aspas.



**Figura 7a** Sistema de Orientación  
Fuente: *Elaboración Propia*



**Figura 7b** Sistema de Orientación  
Fuente: *Elaboración Propia*

Las partes del sistema establecen la estructura donde serán colocadas las aspas del aerogenerador, esta base de las palas al contar con un sistema de barras el cual se orienta, ara girar las palas, además la barra de transmisión se encuentra unida a una delta que es el elemento central del sistema orientador en la parte aerodinámica del sistema eólico.

Con el análisis del sistema aerodinámico se está iniciando la construcción del sistema de orientación el cual este acoplado a un sistema de engranajes como parte del sistema mecánico, como se muestra en la figura 8a y 8b, para pasar posteriormente a un generador de imanes permanentes, el sistema de orientación permite mejor el aprovechamiento de la energía cinética del viento para su transformación en energía mecánica y finalizar con transformación en energía eléctrica.



**Figura 8a** Sistema Eólico en construcción, inicio desarrollo de sistema de orientación



**Figura 8b** Sistema Eólico en construcción, inicio desarrollo de sistema de orientación

Los resultados del sistema de orientación establecen que se determina un sistema mecánico de ensamble y engranaje en la orientación del equipo para que se realicen las pruebas con un túnel de viento a escala y, poder potenciar estos resultados a un sistema que se montará para su comportamiento en la región del Estado de México, esto dentro del desarrollo de la investigación en el comportamiento eólico y aprovechamiento de este tipo de energía renovable.

### Agradecimiento

Al Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco el poder desarrollar el diseño, la simulación y propuesta de desarrollo del sistema aerodinámico del sistema eólico de baja potencia.

### Conclusiones

La simulación del sistema eólico permite establecer los elementos de análisis en su parte aerodinámica para el aprovechamiento de las ráfagas del viento y conocer las variables que serán importantes en la transformación de energía mecánica a energía eléctrica.

El sistema aerodinámico es un elemento de captación y control del equipo, por lo que su desarrollo es de suma importancia para que estos no colapsen o puedan presentar fallas, generando propuestas que permitan no solamente el mejor aprovechamiento del recurso eólico, sino también su control y estabilidad.

El análisis y diseño de los componentes que formaran el sistema de orientación son sistemas que deben ser analizados y evaluados, ya que podemos tener diferentes propuestas para mejorar estos mecanismos que ayuden a la aerodinámica de los sistemas eólicos de baja potencia.

El proyecto establece, desarrolla y muestra la importancia del diseño, la simulación y el control dentro de la ingeniería para los sistemas eólicos, por lo que los resultados obtenidos demuestran el funcionamiento y la operación del aerogenerador.

### Referencias

- [1]. PwC en colaboración con Climate Works Foundation, Iniciativa Mexicana para las Energías Renovables (IMERE) y el World Wildlife Fund (WWF), Plan integral para el desarrollo de las energías renovables en México 2013-2018 Propuesta de escenarios y acciones necesarias para su desarrollo.
- [2] Villarrubia Lopez Miguel, (2012) Ingeniería de la Energía Eólica, 1ra. Edición, Alfaomega.

[3]. Raúl Garduño Ramírez, Marino Sánchez Parra, Roberto Hernández González, (2012), Investigación, Desarrollo e Innovación Tecnológica de Sistema del Control de Aerogeneradores, Boletín IIE, Abril – Junio - 2012.

[4]. Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett. (2012), Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley, Ed. Mc Graw Hill, 9na Edición.

[5] Ferdinand P. Beer, E Russell Johnston, Jr. (2004) Mecánica de Materiales, Tercera edición, Mc Grall Hill.

[6] Ferdinand P. Beer, E Russell Johnston, Jr. (2007), Mecánica Vectorial para Ingenieros, Octava edición, Mc Grall Hill.

[7] Hamilton H. Mabie, Charles F. Reinholtz, (2002) Mecanismos y Dinámica de Maquinaria, ed. Limusa Wiley, 2da edición.

[8]. Ansys, Inc. Manual ANSYS 18.2, 2017.

[9]. Ansys, Inc. ANSYS FLUENT USER'S GUIDE, Release 13.0, November 2010.

[10]. Amos Gilat, MATLAB. Ed. Reverte, 2005.

[11]. Enrique Pino Bermudes, Fernando Matía Espada, Fundamentos de Control con MATLAB. Ed. Pearson, 2012.

## Circuito de arranque suave para un motor monofásico de corriente alterna conectado a un Sistema Fotovoltaico

### Soft start circuit for a single phase alternating current motor connected to a Photovoltaic System

BRAVO-TAPIA, Jeremías†\*, GARCÍA-MARTÍNEZ, Eric, RAMOS-GUZMÁN, Francisco y ESTÉVEZ-MARTÍNEZ, Yoxkin

*Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Jeremías, Bravo-Tapia* / ORC ID: 0000-0001-9022-9076, CVU CONACYT ID: 996738

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Eric, García-Martínez* / ORC ID: 0000-0002-0733-1916, CVU CONACYT ID: 1000483

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Francisco, Ramos-Guzmán* / ORC ID: 0000-0003-0939-4707, CVU CONACYT ID: 680766

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Yoxkin, Estévez-Martínez* / ORC ID: 0000-0003-3756-0573, CVU CONACYT ID: 224129

DOI: 10.35429/JSI.2019.11.3.27.39

Recibido 16 de Junio, 2019; Aceptado 30 Septiembre, 2019

#### Resumen

Este trabajo describe el desarrollo de un circuito eléctrico para ser utilizado como Arrancador Suave en motores monofásicos de corriente alterna conectados a sistemas fotovoltaicos. El arranque directo de un motor conectado a un inversor activa su protección para minimizar y eliminar los altos picos de corriente que se generan debido a que no es capaz de soportar la corriente que el motor demanda; para contrarrestar esta situación, existen arrancadores suaves o variadores de frecuencia y otras técnicas utilizadas para motores trifásicos; sin embargo, no se ha hecho lo mismo para los motores monofásicos, por lo que el objetivo de esta investigación fue diseñar e implementar un circuito eléctrico de arranque suave para contrarrestar la marcha inicial de un motor monofásico de corriente alterna conectado a un sistema fotovoltaico. La metodología de desarrollo consistió en el diseño, la construcción, la implementación y la validación del circuito propuesto, utilizando para ello, un motor monofásico de ¼ Hp y un inversor de 1,500 W. Los resultados obtenidos mostraron una reducción de la potencia con la cual inició el arranque directo que se observó de 930 watts, a 180 watts que presentó el motor con el circuito de arranque suave.

**Arrancador, Suave, Monofásico**

#### Abstract

This work presents the study of a circuit used as a Soft Starter for a single-phase AC motor connected to a photovoltaic system. The direct start of a motor connected to an inverter activates its protection because it is not able to withstand the current that the motor demands in its start, that is why a technique is proposed that minimizes and eliminates the high peaks of current that generate. Currently there are soft starters or frequency variations and other soft start techniques that are used for three-phase motors, what is required for this case is a soft starter for single phase motors. The circuit used as a test for Soft Starter allows performing the phase control by varying the firing angle. The photovoltaic system with which the soft starter tests were carried out has an inverter of 1,500 W to which a single-phase motor of a quarter of Hp was connected. Measurements were made with a digital multimeter, a hook Wattmeter, a digital oscilloscope and a washing machine motor. The main bases for the development of Soft Starters are left connected to a photovoltaic inverter for the start of single-phase motors.

**Starter, Soft, Mono-phase**

**Citación:** BRAVO-TAPIA, Jeremías, GARCÍA-MARTÍNEZ, Eric, RAMOS-GUZMÁN, Francisco y ESTÉVEZ-MARTÍNEZ, Yoxkin. Circuito de arranque suave para un motor monofásico de corriente alterna conectado a un Sistema Fotovoltaico. Revista de Innovación Sistemática. 2019. 3-11:27-39

\*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: jrmsbt@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer Autor.

## Introducción

Hoy en día al conectar un motor monofásico al inversor de un sistema fotovoltaico, la demanda de corriente que provoca durante el arranque es más elevada que la que proporciona el inversor, esto ocasiona que la protección del inversor se dispare constantemente ya que no es capaz de soportar la energía que demanda el motor durante el arranque, esto genera pérdidas en el consumo de energía porque descarga rápidamente el banco de baterías que puede provocar que el inversor se sobrecaliente o queme, dicho inversor tiene un costo elevado dependiendo de la marca y sus funciones; debido a la situación económica que se presenta en las zonas rurales y urbanas es difícil de conseguirlo y sería una inversión no necesaria para las demás funciones del sistema fotovoltaico, además la inversión en reparaciones no es adecuada porque en muchas de las ocasiones los componentes no se encuentran o terminan dañando más el circuito del inversor, lo cual generaría una nueva adquisición de un nuevo inversor de alta potencia.

Actualmente existen arrancadores suaves o variadores de frecuencia y otras técnicas de arranque suave que se utilizan para motores trifásicos y lo que se requiere para este caso es un arrancador suave para motores monofásicos.

En el Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio (ITSAO), se busca mejorar el aprovechamiento de sistemas fotovoltaicos reduciendo su costo, con este proyecto se logra esa parte de reducción de costo y la mejora del aprovechamiento de los paneles solares, además beneficiará a todos los sectores que hacen uso y requieren hacer la implementación de sistemas fotovoltaicos a menor costo, tanto en el campo, en el hogar, en pequeñas y medianas empresas y a nivel industrial.

El objetivo principal es diseñar un circuito de arranque suave para contrarrestar la marcha inicial de un motor monofásico de corriente alterna conectado a un sistema fotovoltaico mediante dispositivos electrónicos.

La implementación de un Arrancador Suave conectado al inversor de un sistema fotovoltaico, permitirá reducir la alta demanda de corriente que un motor monofásico genera al arranque.

## Arrancadores suaves en motores monofásicos

El arranque de motores convencional directo o estrella-triángulo origina problemas eléctricos, por lo que desde hace años los fabricantes vienen desarrollando soluciones para mitigar los efectos negativos que provocan estos picos de intensidad. La conexión de los motores de CA, utilizados para accionar ventiladores, trituradoras, agitadores, bombas, cintas transportadoras, etc., y cualquier equipo que realiza un trabajo duro en la industria, produce cotidianamente innecesarios picos de intensidad en las plantas de producción de todo el mundo. Estos arranques violentos causan daños de diferente naturaleza («TODOPRODUCTIVIDAD», 2011). Entre ellos los siguientes:

- a. Problemas eléctricos
- b. Problemas mecánicos
- c. Problemas funcionales

Los arrancadores suaves son la solución idónea y sencilla para todos estos problemas. Con los arrancadores suaves es posible realizar arranques y paros suavemente, reduciendo al mínimo los esfuerzos eléctricos y mecánicos. Vamos a ver las características esenciales de estos equipos usando lo descrito por uno de los fabricantes típicos, ABB.

Un motor monofásico al no poseer par de arranque no puede iniciar marcha por sí solo. Es por esto que se utilizan para su arranque distintas técnicas eléctricas: devanados de fase partida, arranque por condensador y polos de estator sombreado (Orellana Zea & Pintado Garate, 2019).

En el arranque de los motores que accionan las bombas fotovoltaicas se producen intensidades muy altas, así como un elevado par de arranque, que puede ser perjudicial para el motor desde el punto de vista mecánico. Para evitar estos inconvenientes se suele limitar la intensidad de arranque mediante el uso de autotransformadores, el arranque estrella-triángulo o la eliminación de resistencia en rotor y estator. Los arrancadores estáticos presentan ventajas frente a los métodos clásicos de arranque. Una de las ventajas de los arrancadores estáticos es que se obtiene un arranque suave que minimiza los efectos producidos por los golpes y las vibraciones.

Mejoran el rendimiento de los motores y son muy útiles en electrobombas al permitir controlar el golpe de ariete (Miguel Llopis Morales, 2018).

El motor de inducción de jaula de ardilla monofásico (SPIM) se usa ampliamente en aplicaciones domésticas e industriales debido a su estructura áspera y simple. Diferentes tipos de aplicaciones traen diferentes requisitos óptimos de funcionamiento. El arranque del motor monofásico con la conexión de línea directa provoca una corriente de arranque alta y una ondulación de par alto en muchas aplicaciones. Debido a estos inconvenientes, el control de arranque del motor con los circuitos electrónicos de potencia es necesario donde se requiere el arranque suave (Ayyildiz, Shok, Soygenc, & Ergene, 2018), ellos realizaron el desarrollo del diseño e implementación de un circuito de arranque suave para un motor monofásico y se presentan las salidas principales del circuito de control.

El motor de inducción monofásico (SPIM) tiene una alta corriente de arranque y necesita un interruptor centrífugo para desconectar el devanado auxiliar. El uso de arrancadores suaves o controladores de velocidad variable monofásicos puede resolver adecuadamente estos dos problemas. Sin embargo, estas soluciones son caras (Neri & Lyra, 2006), ellos analizaron el nuevo suministro de topología para SPIM utilizando un TRIAC, llamado método de suministro de doble atenuador, que se centra en el control del ángulo entre los voltajes de bobinado principal y auxiliar.

Un motor de inducción fotovoltaico está acoplado mecánicamente a la bomba de agua. Los paneles solares que esencialmente proporcionan voltaje de CC se utilizan para bombear agua utilizando un motor de inducción. Debido a su confiabilidad, confiabilidad, bajo valor y bajo costo de mantenimiento; el motor de inducción se utiliza como parte de la mayoría de las aplicaciones comerciales, industriales y de otro tipo. La salida requiere un control de velocidad variable ya que el motor requiere un arranque suave y el sol cambia constantemente de posición, por lo que la potencia generada por las células fotovoltaicas estacionarias varía en consecuencia.

Debido a la diferente situación de voltaje, el motor no produce el par máximo en una frecuencia de suministro específica. Por lo tanto, la frecuencia suministrada debe cambiarse para alcanzar la máxima potencia (Khan, Khan, & Hussain, 2015). Se presenta un novedoso sistema de bombeo de agua con energía solar, especialmente adecuado para su uso en áreas rurales o remotas (Bhagyashree & Khule, 2017). En este esquema, el inversor acciona el motor de inducción, que acciona la bomba de agua. Además, la capacidad de arranque de un motor de inducción se vuelve bastante pobre debido a la caída en la tensión del sistema cuando arranca el motor. Por esta razón, la eficiencia general de los sistemas de accionamiento basados en un motor de inducción suministrados por un conjunto fotovoltaico es menor.

Para obtener la potencia de salida máxima del panel solar, el inversor funciona con un arranque suave para minimizar la corriente de arranque del motor utilizando FCMA tecnología. El uso de FCMA ayuda en los controles de velocidad variable, aumentando la vida útil de los componentes y reduciendo el costo de capital y el mantenimiento. También ayuda a mejorar la eficiencia del motor.

Existen sistemas de bombeo fotovoltaico donde el controlador incluye un arrancador suave para el motor de la bomba de agua para protección de los contactos de los relés de la bomba, los problemas de arranque directo no solo dañan los relés, también daña los circuitos electrónicos por la radiofrecuencia generada durante el arranque del motor. Existen bombas de corriente directa y de corriente alterna, se han utilizado circuitos de control de fase escalonada con TRIAC's («Adding a Soft Start to Water Pump Motors - Reducing Relay Burning Problems | Homemade Circuit Projects», s. f.).

A una temperatura y nivel de irradiancia, un generador FV tiene una característica I-V. Para maximizar la transferencia de energía, la carga eléctrica debe ser tal que su propia característica I-V intercepte a la del generador FV tan cerca del punto de máxima potencia como sea posible. El papel del circuito de acondicionamiento de potencia es proporcionar al motor/bomba la combinación más adecuada tensión/corriente, a la vez que asegurar que el generador FV opera en su punto de máxima potencia.

Los convertidores DC/DC, debido a que su propósito principal es mantener tanto al generador como a la carga en su respectivo punto de trabajo óptimo, suelen ser seguidores del punto de máxima potencia (MPPT) y efectúan un ajuste de potencia para incrementar el rendimiento del sistema de bombeo a largo del día. Los inversores DC/AC tienen la principal misión de transformar la corriente continua de salida del generador en corriente alterna, apta para su utilización por motores AC (Miguel Alonso & Faustino Chenlo, s. f.) y (González Ponce Abraham, 2016).

Los inversores de uso en bombeo fotovoltaico generan una salida monofásica o trifásica con voltaje y frecuencia variables. La variación de la frecuencia de salida permite a los motores operar a velocidades distintas de la velocidad nominal correspondiente a la frecuencia nominal de 50/60 Hz y así disminuir el umbral de irradiación solar para el arranque de la bomba.

Carlo Gavazzi presenta el arrancador suave compacto y simple para motores de inducción de CA monofásicos de bajo par de arranque. Solo requiere dos ajustes sencillos para el par inicial y el ajuste del tiempo de la rampa de arranque («Arrancador suave de estado sólido monofásico Carlo Gavazzi RGTS - Informática industrial - Arrancador suave de estado sólido monofásico», s. f.).

EasyStart™: el arrancador suave más avanzado y efectivo para todas las aplicaciones de A / C. EasyStart™ es un arrancador suave único para su desarrollo personalizado diseñado para motores monofásicos. Emplea una secuencia de rampa de inicio de 4 partes que se optimiza automáticamente, lo que resulta en la corriente de arranque más baja posible. EasyStart puede ofrecer una reducción de la corriente de arranque del 65-75% en comparación con el LRA (amperaje de rotor bloqueado) de un compresor. EasyStart es la solución perfecta que permite que un acondicionador de aire o un compresor de refrigeración funcione con un generador, un inversor o una potencia limitada de la red pública cuando de otro modo no habría funcionado. También se puede aplicar a motores de compresores de aire y bombas de fluido («EasyStart 364 (3-ton) Single Phase Soft Starter for Air Conditioners – Micro-Air, Inc.», s. f.).

## Descripción del método

La prueba a realizar con el desarrollo del circuito es observar el arranque progresivo para un motor monofásico de pequeña potencia para ser conectado al inversor de un sistema fotovoltaico autónomo, los casos a observar se muestran en las figuras 1, 2 y 3 en las que se logra visualizar la diferencia básica entre el arranque en línea directa (DoL), el arranque en estrella-triángulo y el arranque suave, en cuanto a tensión del motor (V), intensidad del motor (I) y par del motor (M) en relación con el tiempo (t) y velocidad del motor (n) (Kling, 2002).

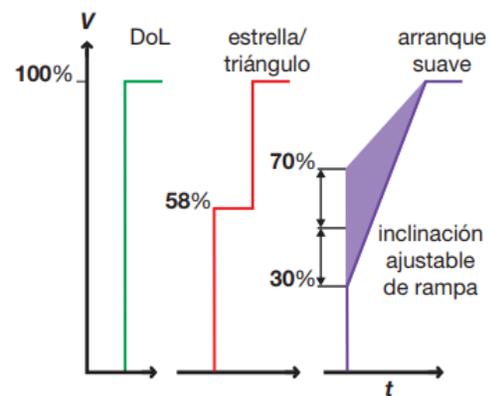


Figura 1 Curvas de tensión (Kling, 2002)

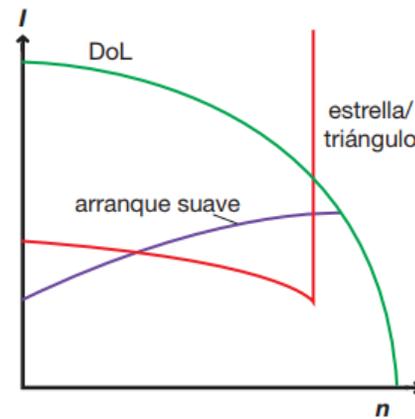


Figura 2 Curvas de corriente (Kling, 2002)

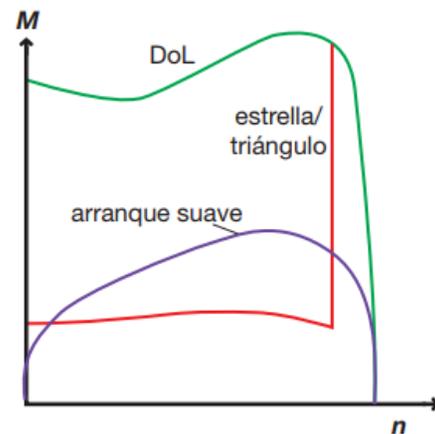


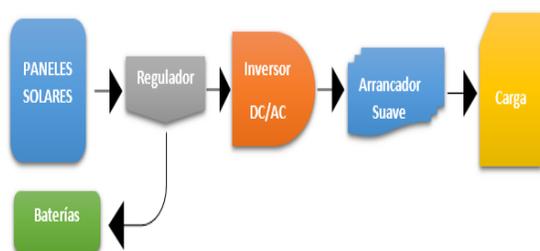
Figura 3 Curvas de par (Kling, 2002)

El sistema se implementará utilizando semiconductores de potencia, cuyo gobierno se efectúa mediante circuitos integrados (CI) que realizan el control por ángulo de fase. El arranque directo es cuando toda la corriente se manda de forma unilateral, el arrancador mediante estrella-triángulo es cuando la tensión enviada es proporcional durante un cierto periodo de tiempo y el resto de la tensión se manda después de otro periodo, para el arrancador suave en la figura 3 se observa que se caracteriza por enviar una cierta tensión al principio de la señal y después de un determinado periodo de tiempo se utiliza una pendiente para que ésta vaya ajustando los niveles de voltaje que se van a ir enviando.

La intensidad del motor con el arranque directo empieza completamente a elevarse y según se vaya variando el periodo de tiempo se va bajando, con el arrancador de estrella-triángulo la corriente inicial no es tan elevada y tiene un pico de estabilización, mientras que con el arrancador suave la corriente empieza de manera baja y gradualmente se va estabilizando hasta alcanzar el valor nominal.

De igual manera para el par se tiene que en el arranque directo presenta una forma senoidal que una vez que se estabiliza el par cae completamente, en el estrella-triángulo el par se mantiene constante durante el arranque pero para estabilizarse sucede un proceso igual al de la corriente como se eleva el voltaje, también se eleva el par; mientras que con un arrancador suave sucede un proceso más o menos parecido al que se tiene para la corriente empieza de una manera muy baja y sube gradualmente presenta un pico relativamente pequeño y baja pero se vuelve constante.

A continuación, en la figura 4 se muestra el diagrama correspondiente a la ubicación de cómo estará conectado el Arrancador Suave al sistema fotovoltaico. Queda conectado entre el inversor y la carga o el motor.

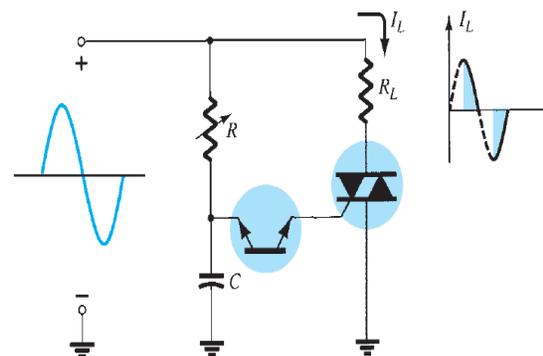


**Figura 4** Estructura de conexión del Arrancador Suave

Al visualizar y comparar las diferentes técnicas de arranque suave de motores monofásicos se identificó que la forma más adecuada para este caso es utilizando TRIAC's a través del corte de fase escalonado, para iniciar el arranque suave lento y el final lento o el circuito de parada lenta de modo que los motores puedan pasar por una acción de parada de arranque gradual en lugar de encender/apagar abruptamente. Los tiristores son ampliamente utilizados para controlar la corriente alterna, ya que cuando se activan correctamente su pérdida de potencia es mínima debido a la trayectoria de baja resistencia entre ánodo y cátodo, también los componentes externos son mínimos y menos complejos, lo que lo convierten en el dispositivo perfecto (Castro, Rios, & Merino, 2017).

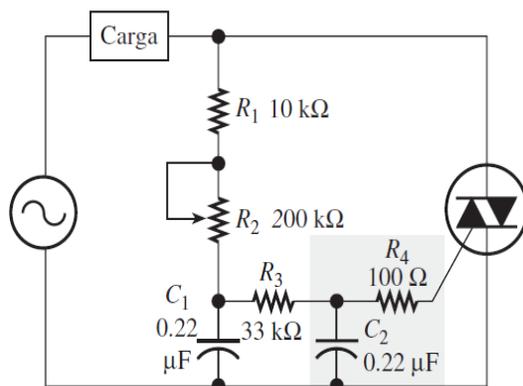
Se hace uso de la electrónica de Potencia que tiene efectos sobre el control de la energía eléctrica; con el objeto de adaptar de manera eficiente el uso de la electricidad, para el caso de los motores eléctricos de corriente alterna AC (Ludeña, Milton, Lapo & Douglas, 2018), utilizando como principal componente el triodo de corriente alterna TRIAC.

En la figura 5 se muestra el diagrama electrónico fundamental para el control de potencia en cargas de corriente alterna; la ventaja de esta configuración es que durante la parte negativa de la señal de entrada se obtendrá el mismo tipo de respuesta ya que tanto el DIAC como el TRIAC se pueden encender en la dirección inversa. También se muestra la forma de onda resultante de la corriente a través de la carga; si se modifica el resistor R, se puede controlar el ángulo de conducción. Existen unidades disponibles capaces de manejar cargas de más de 10 kW (Boylestad & Nashelsky, 2009).



**Figura 5** Control de potencia con tiristores con TRIAC y DIAC (Boylestad & Nashelsky, 2009) y (Maloney, 2006)

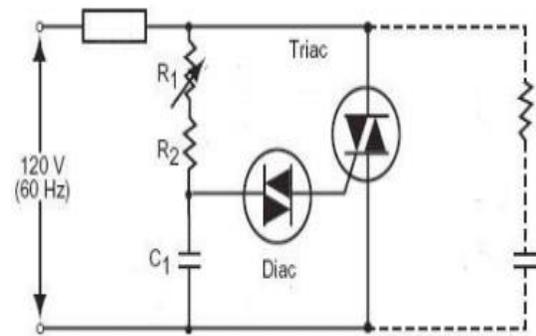
El circuito de disparo de TRIAC mostrado en la figura 6 está mejorado para establecer un ajuste más amplio del rango del ángulo de retardo de disparo del TRIAC debido a que una sola red RC no puede retardar mucho el disparo. El ritmo de carga del capacitor C se establece por medio de la resistencia  $R_2$ . Para una  $R_2$  grande, la velocidad de carga es lenta, lo que produce un retardo de disparo largo y una corriente de carga promedio pequeña. Para una  $R_2$  pequeña, la velocidad de carga es rápida, el ángulo de retardo de disparo es pequeño y la corriente de carga es alta (Maloney, 2006).



**Figura 6** Circuito mejorado de control de compuerta para un TRIAC (Maloney, 2006)

La brusca conexión a red de circuitos próximos con carga inductiva, o las variaciones bruscas de una fuerza contra electromotriz (de una carga constituida, por ejemplo, un rotor de un motor con colector) puede dar lugar a variaciones bruscas de tensión de alimentación del tiristor o TRIAC. El método más corriente empleado para limitar la velocidad de subida de la tensión consiste en colocar un condensador en paralelo con el tiristor.

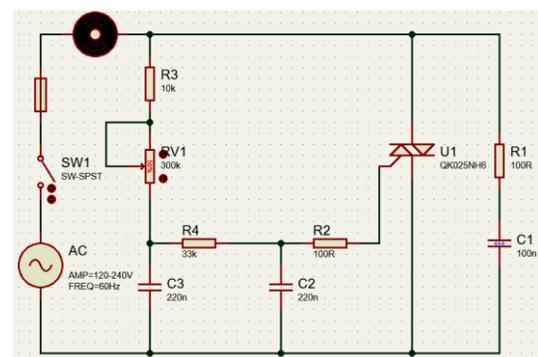
Es pues necesario limitar la corriente de descarga situando un resistor R (de 20 a 100 ohms) en serie con el condensador. El circuito RC (red snubber) resultante debe colocarse en paralelo con el tiristor (TRIAC), o lo más cerca posible de él (CENTRO DOCUMENTACIÓN DE ESTUDIOS Y OPOSICIONES, s. f.). En la figura 7 se muestra la red conectada en paralelo con el TRIAC.



**Figura 7** Red de snubber conectada con el TRIAC (Castro et al., 2017)

Como resultado del análisis de los circuitos anteriores se diseñó el circuito que se muestra en la figura 8 debido a que las cargas inductivas tienen el mal hábito de devolver una parte de la energía almacenada en el devanado, de vuelta a los rieles de suministro.

El potenciómetro y el capacitor 2 son utilizados para que el TRIAC sea disparado, ya que éste controla el paso de la corriente alterna a la carga conmutando entre los estados de conducción (activación de carga) y de corte (desactivación de la carga) durante los semiciclos negativos y positivos de la señal de alimentación (110/220 VAC) y la señal de corriente alterna.



**Figura 8** Circuito elegido como arrancador suave

El capacitor en un circuito de corriente alterna tiene su voltaje atrasado con respecto a la señal de entrada.

Cambiando el valor del potenciómetro se modifica la razón de carga del capacitor, el atraso que tiene y por ende el desfase con la señal alterna de entrada. Esto permite que se pueda tener el control sobre la cantidad de corriente que pase a la carga y así la potencia que, en esta, se va a consumir.

Para el desarrollo del circuito se utilizó el TRIAC BT139-600 que soporta corrientes de 25 Amperes.

### Análisis de pruebas realizadas con motores diferentes de baja potencia

Los datos de las pruebas realizadas fueron medidos con un multímetro digital de la marca STEREN modelo MUL-285 para mediciones de voltaje y corriente; mediante un osciloscopio digital de la marca TEKTRONIX modelo TBS 1052B-EDU se observó el comportamiento del control de fase ajustada mediante el uso del circuito desarrollado, estos instrumentos se utilizaron en las pruebas de arranque directo y de arranque suave.

### Prueba en arranque directo

Al realizar la prueba se identificó que en el arranque del motor se genera un elevado consumo de energía y como se muestra en la figura 9, el arranque directo es de 0.07 Amperes con un voltaje de 126.9 Volts que se muestran en la figura 10.

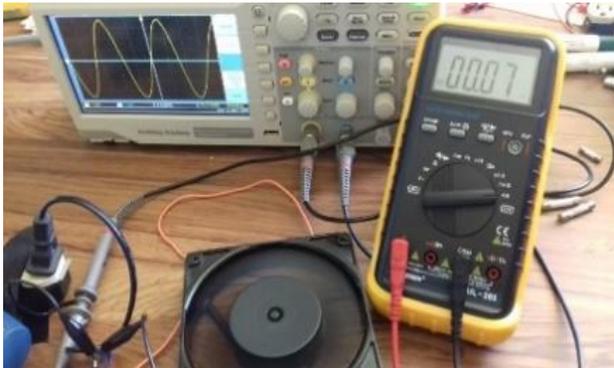


Figura 9 Medición de corriente en arranque directo



Figura 10 Medición de voltaje en arranque directo

### Prueba con arranque Suave

A continuación, se muestran las mediciones que se realizaron con un multímetro y un osciloscopio digitales en la prueba de arranque suave.

Como se puede observar en las figuras 11 a 18 se muestran las mediciones realizadas a la activación del ventilador que se realiza desde cero y conforme se vaya ajustando la velocidad del motor con el potenciómetro llegara hasta su máxima capacidad.

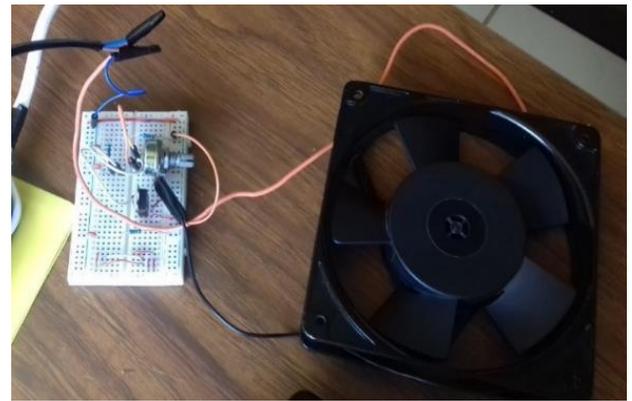


Figura 11 Conexión del motor al arrancador suave



Figura 12 Mediciones al comenzar el arranque del motor. Medición 1



Figura 13 Mediciones con incremento de velocidad en el arranque del motor. Medición 2

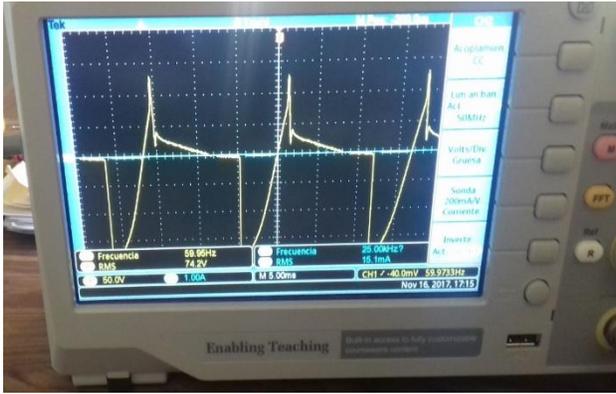


Figura 14 Gráfica de medición al incrementar la velocidad. Medición 2

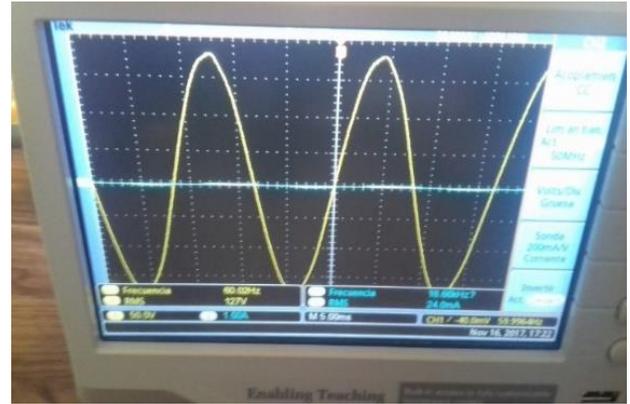


Figura 18 Gráfica de medición al incrementar la velocidad al 100%. Medición 4

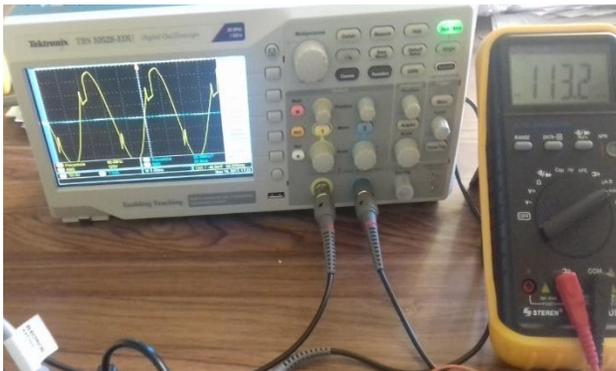


Figura 15 Mediciones con incremento de velocidad en el arranque del motor. Medición 3

Con las pruebas realizadas al visualizar las mediciones y el comportamiento en el control de la fase se logra identificar que con el circuito de arranque suave nos permite manipular la velocidad del motor y al mismo tiempo reduce el consumo de energía que este necesita para alcanzar su máxima velocidad. A continuación, en las figuras 19 a 21 se muestran las pruebas y mediciones realizadas en arranque directo con un motor de 120V de CA a ¼ Hp. En este caso las mediciones se realizan con un amperímetro digital de potencia de la marca UNI-T, modelo UT231, y se visualizan con el osciloscopio utilizado en las mediciones anteriores.



Figura 16 Gráfica de medición al incrementar la velocidad. Medición 3



Figura 19 Mediciones de voltaje y corriente en arranque directo

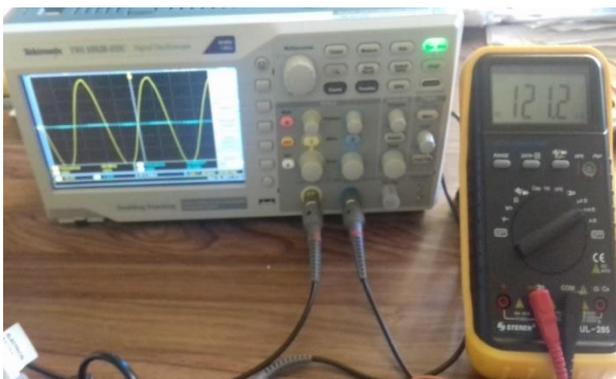


Figura 17 Mediciones con incremento de velocidad al 100% en el motor. Medición 4

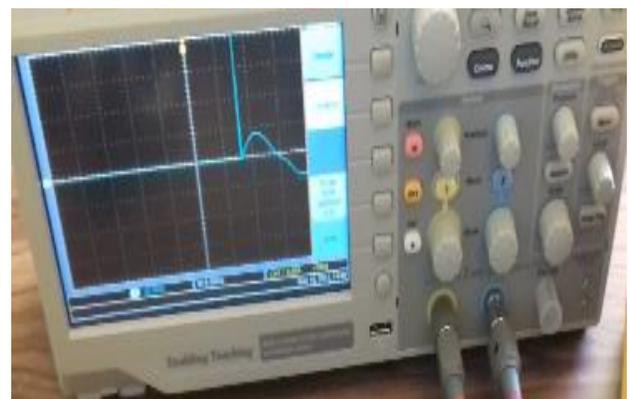


Figura 20 Medición del comportamiento de la energía en arranque directo



**Figura 21** Medición de potencia en arranque directo

Se observa un alto pico de corriente en el arranque del motor, en este caso son hasta 10 A; los niveles de estabilidad del motor no son muy favorables y se mantiene así hasta que se desconecta de la corriente eléctrica. Al conectar el motor con el arranque suave y al inversor se puede observar las diversas variaciones de velocidad que se presentan en el arranque ya que permite controlar la velocidad e incrementar la potencia del motor en un corto lapso de tiempo sin causar daños en el inversor; este comportamiento se observa en las figuras 22 a 26.



**Figura 22** Arranque del motor conectado al Arrancador Suave



**Figura 23** Medición de potencia



**Figura 24** Medición de voltaje



**Figura 25** Medición de corriente mínima al estar activo al 100%



**Figura 26** Medición de factor de potencia

## Resultados

El arrancador suave se conectó a un inversor de 1,500 Watts con el cual se logró demostrar que se puede lograr el arranque suave de un motor monofásico. Ésta es una de las primeras pruebas realizadas, aún se está trabajando en la segunda versión con una mejora en el circuito que dará un mejor rendimiento en su funcionamiento mejorando la técnica utilizada.

Se identificó que la corriente que demanda el motor conectado con el Arranque Suave es más factible que en Arranque Directo; la corriente que demanda el motor cuando se estabiliza es muy baja comparada con el de arranque directo, es decir que el motor puede trabajar a máxima capacidad sin quemarse por el sobrecalentamiento que se genere. La diferencia entre la potencia es mucha ya que la potencia con la cual inicia el arranque suave es de 180 watts que se muestra en la figura 27 y la del arranque directo es de 930 watts como se observa en la figura 28; provocando que el motor se caliente en el arranque y genere un consumo mayor de corriente; en cambio, el arranque suave no genera calentamiento en el motor y conforme la perilla del potenciómetro se regula la velocidad del motor incrementa sin alterar bruscamente la corriente.

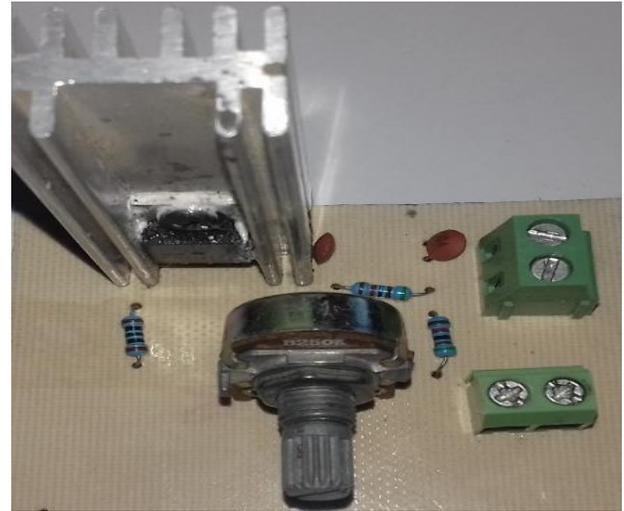


**Figura 27** Medición de potencia en arranque suave de 180 W



**Figura 28** Medición de potencia en arranque directo de 930 W

En la figura 29 se muestra el armado de circuito completo. El cual estará conectado al inversor de corriente DC/AC con un motor de  $\frac{1}{4}$  Hp.



**Figura 29** Circuito Arrancador Suave

En la figura 30 se muestra la conexión completa del arrancador suave con el inversor de la marca SAMLEX AMERICA INC modelo SAM-1500-12, del sistema fotovoltaico.

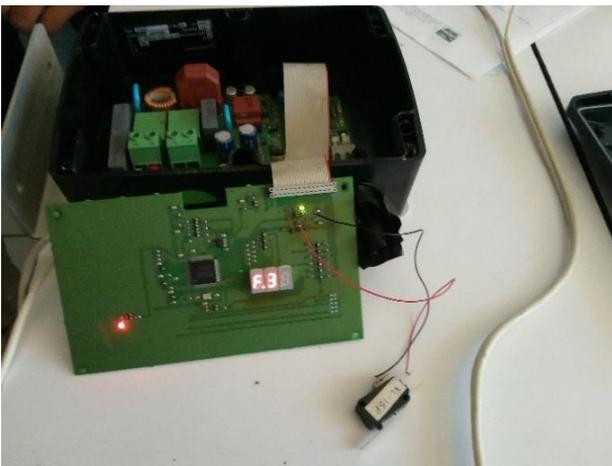


**Figura 30** Conexión del Arrancador Suave con el inversor DC/AC

Posteriormente a este resultado se ha realizado una inspección del funcionamiento de un controlador de bombeo fotovoltaico en el que se logró identificar que efectivamente transforma la corriente directa procedente de los paneles a corriente alterna para alimentar una bomba sumergible; se visualizó que cuenta con una red RC para el arranque del motor y protección del circuito con arreglo de relevadores sin TRIAC. En las figuras 31 a 33 se muestran las pruebas realizadas como identificación de componentes y etapas de funcionamiento del controlador en el Laboratorio de electrónica del ITSAO, así como el desmontaje y montaje en el sistema de bombeo fotovoltaico.



**Figura 31** Identificación de los componentes y etapas del controlador



**Figura 32** Pruebas realizadas de funcionamiento en el laboratorio de Electrónica del ITSAO



**Figura 33** Desmontaje y montaje del controlador al sistema de bombeo fotovoltaico

## Conclusiones

En la actualidad los diversos tipos de arrancadores suaves, sólo son para motores de inducción conectados a fuentes trifásicas, es decir, que sólo son diseñados para este tipo de motores que son usados en la industria. La utilización de un arrancador suave en motores monofásicos es de gran ayuda ya que es capaz de disminuir el consumo de la energía de arranque que estos motores tienen y a su vez se puede incrementar la velocidad del motor desde cero hasta la máxima capacidad sin provocar un alto pico de corriente en el arranque, por lo tanto, permitirá disminuir el costo tan elevado que le genera al consumidor al comprar un inversor de alta potencia.

Con el desarrollo de ésta investigación se han sentado las bases principales para diseñar un circuito de arranque suave para contrarrestar la marcha inicial de un motor monofásico de corriente alterna conectado a un sistema fotovoltaico mediante dispositivos electrónicos; se lograron obtener los resultados teóricos, simulados y prácticos, para que en un futuro, este trabajo sea mejorado implementándose completamente mediante el desarrollo de un controlador completo que incluya la parte de un inversor de onda pura con arrancador suave para motores monofásicos parecido al controlador de los sistemas de bombeo fotovoltaico.

Las corrientes de arranque en los motores monofásicos causan calentamiento provocando daños en el aislamiento de los devanados. Por esta razón se deben instalar elementos que controlen el arranque de los motores.

## Sugerencias para el trabajo.

Se sugiere que para trabajos futuros se mejore el desempeño del circuito incluyendo la incorporación de opto-acopladores, que presentan la ventaja de tener entradas que están eléctricamente aisladas de la corriente alterna o del circuito de potencia realizando una etapa del control mediante la programación de un microcontrolador con ventajas de la capacidad de eliminar el ruido, manejarse a altas frecuencias y posiblemente más precisos al realizar la misma función de arranque de motores cambiando el TRIAC para ajustarlo al tamaño de la carga.

También se sugiere mejorar el circuito armado en esta primera prueba agregándole un DIAC que presentaría un disparo con un estallido de voltaje corto y consistente en lugar de cambiar bruscamente los pulsos, que a su vez permite que el TRIAC se dispare con transiciones más suaves, causando transitorios y picos mínimos; quedando como un controlador de velocidad para altas cargas inductivas.

En lugar del potenciómetro para el ajuste manual agregarle posiblemente una red de TRIAC's con una configuración de arranque en varios tiempos para permitir un arranque de velocidad gradual por milésimas de segundo hasta alcanzar la velocidad máxima automáticamente.

## Referencias

- Adding a Soft Start to Water Pump Motors - Reducing Relay Burning Problems | Homemade Circuit Projects. (s. f.). Recuperado de <https://www.homemade-circuits.com/adding-soft-start-to-water-pump-motors/>
- Arrancador suave de estado sólido monofásico Carlo Gavazzi RGTS - Informática industrial - Arrancador suave de estado sólido monofásico. (s. f.). Recuperado de [https://www.interempresas.net/Informatica\\_Industrial/FeriaVirtual/Producto-Arrancador-suave-de-estado-solido-monofasico-Carlo-Gavazzi-RGTS-173442.html](https://www.interempresas.net/Informatica_Industrial/FeriaVirtual/Producto-Arrancador-suave-de-estado-solido-monofasico-Carlo-Gavazzi-RGTS-173442.html)
- Ayyildiz, M., Shok, F., Soygenc, O. C., & Ergene, L. T. (2018). Soft Starter Circuit Design for Single Phase Squirrel Cage Induction Motor. *2018 20th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA)*, 1-4. doi:10.1109/SIELA.2018.8447074
- Bhagyashree, S. M. M., & Khule, S. S. (2017). Design of solar water pumping system with FCMA soft starter. *2017 International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, 951-954. doi:10.1109/ICCMC.2017.8282608
- Boylestad, R. L., & Nashelsky, L. (2009). *Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos* (10 ed.). México: Pearson Educación.
- Castro, J. D. Á., Rios, O. A. de los, & Merino, Y. (2017). Dispositivo electrónico para controlar la frecuencia en un motor monofásico de corriente alterna. *Scientia Et Technica*, 22(4), 308-314.
- CENTRO DOCUMENTACIÓN DE ESTUDIOS Y OPOSICIONES. (s. f.). *Tema 11. Análisis de circuitos electrónicos para el control de potencia. Dispositivos y elementos utilizados. Clasificación, función, tipología y características. Criterios y procedimientos utilizados para el diseño de estos circuitos.* Recuperado de [https://www.serina.es/empresas/cede\\_muestra/12/TEMA%20MUESTRA.pdf](https://www.serina.es/empresas/cede_muestra/12/TEMA%20MUESTRA.pdf)
- EasyStart 364 (3-ton) Single Phase Soft Starter for Air Conditioners – Micro-Air, Inc. (s. f.). de <https://www.microair.net/products/easystart-364-3-ton-single-phase-soft-starter-for-air-conditioners?variant=30176048267>
- González Ponce Abraham. (2016). *Bombeo Solar con Variadores-de Frecuencia para Aplicaciones de Regadio* (Tesis). Universidad Rey Juan Carlos.
- Khan, R. A., Khan, L. A., & Hussain, S. Z. (2015). Design and Simulation of 0.75hp Soft Start AC Water Pump Powered by PV Solar System. *Universal Journal of Mechanical Engineering*, 3(4), 113-121. doi:10.13189/ujme.2015.030401
- Kling, S. (2002). Nuevos arrancadores suaves para motores eléctricos. *ABB Control AB*, 1, 56-63.
- Ludeña Jimenez, M. E., & Lapo Camisan, D. L. (2018). Tesis. Recuperado a partir de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/31324>
- Maloney, T. J. (2006). *Electrónica Industrial Moderna* (5ta ed.). México: Pearson Educación. Miguel Alonso, A., & Faustino Chenlo, R. (s. f.). *Sistemas de Bombeo Fotovoltaico*. Recuperado de <https://www.eoi.es/es/file/18718/download?token=36ZyZ5Nj>

Miguel Llopis Morales. (2018). *Diseño de una instalación solar fotovoltaica para bombeo de 55 kW para el riego de la Huerta de Alicante en Mutxamel*. (Tesis de maestría, Escuela Técnica Superior Ingenieros Industriales de Valencia). Recuperado de <https://riunet.upv.es/handle/10251/110369>

Neri, A. L., & Lyra, A. C. C. (2006). Starting Control Using Angle Adjustment of the Double Dimmer Supply Method for Single-Phase Induction Motor. *2006 12th International Power Electronics and Motion Control Conference*, 979-983.  
doi:10.1109/EPEPEMC.2006.4778527

Orellana Zea, A. A., & Pintado Garate, I. E. (2019). *Desarrollo de un microinversor para la optimización del arranque en motores monofásicos*. Recuperado de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17008>

T  
ODOPRODUCTIVIDAD: La tecnología del arranque suave de los motores. (2011, marzo 12). Recuperado de TODOPRODUCTIVIDAD website:  
<http://todoproductividad.blogspot.com/2011/03/la-tecnologia-del-arranque-suave-de-los.html>

# **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<sup>er</sup> Autor†\*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1<sup>er</sup> Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2<sup>do</sup> Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3<sup>er</sup> Coautor

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

*International Identification of Science – Techonology an Innovation.*

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

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

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

ID 3<sup>er</sup> Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 3<sup>er</sup> 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 Innovación Sistemática. 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**

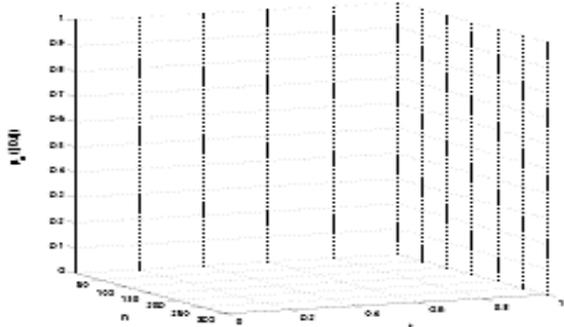
[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

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

**Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables**

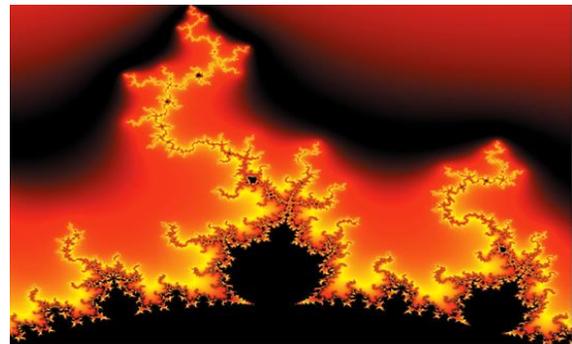
En el *contenido del Artículo* todo gráfico, tabla y figura debe ser editable en formatos que permitan modificar tamaño, tipo y número de letra, a efectos de edición, estas deberán estar en alta calidad, no pixeladas y deben ser notables aun reduciendo la imagen a escala.

[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 Título 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.

## **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 Innovación Sistemática 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 Innovación Sistemática 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 Taiwan 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-México, S.C en su Holding Taiwan para su Revista de Innovación Sistemática, 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)

REDIB (Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico- CSIC)

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**

69 Calle Distrito YongHe, Zhongxin. Taipei-Taiwán. Tel: +52 1 55 6159 2296, +52 1 55 1260 0355, +52 1 55 6034 9181; Correo electrónico: [contact@ecorfan.org](mailto:contact@ecorfan.org) [www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)

## **ECORFAN®**

### **Editor en Jefe**

IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. MsC

### **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® Taiwan), [sponsorships@ecorfan.org](mailto: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](mailto:financingprograms@ecorfan.org)

### **Oficinas de Gestión**

69 Calle Distrito YongHe, Zhongxin. Taipei-Taiwán.

# Revista de Innovación Sistemática

“Diseño de un sistema fotovoltaico para la reducción de usuarios de tarifa DAC”  
**SÁNCHEZ-CORTEZ, José Alfonso, CASTILLO-RAMÍREZ, Carlos Eduardo, VÁZQUEZ-BALDAZO, Luis Guillermo y GONZALEZ-MORALES, Amparo**

*Universidad Tecnológica de Altamira*

“Efecto del proceso de combustión sobre la eficiencia total de una central térmica de vapor”

**JIMENEZ-GARCIA, Juan A., DURAN-GARCIA, Maria D., TORRES-TOVAR, Rigoberto y GASPAR-SANCHEZ, Noé**

*Universidad Autónoma del Estado de México*

“Sistema Aerodinámico para un Sistema Eólico de Baja Potencia”

**LINARES-ENRÍQUEZ, Alejandro & MARTINEZ-ZEPEDA, Ivan**

*Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco*

“Circuito de arranque suave para un motor monofásico de corriente alterna conectado a un Sistema Fotovoltaico”

**BRAVO-TAPIA, Jeremías, GARCÍA-MARTÍNEZ, Eric, RAMOS-GUZMÁN, Francisco y ESTÉVEZ-MARTÍNEZ, Yoxkin**

*Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio*

