

Volumen 4, Número 13 — Julio — Diciembre — 2020

ISSN 2523-2517

Revista de Ingeniería Eléctrica

ECORFAN®

ECORFAN-Perú

Editor en Jefe

QUINTANILLA-CÓNDOR, Cerapio. PhD

Directora Ejecutiva

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Diseñador Web

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

Diagramador Web

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Asistente Editorial

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

Traductor

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

Filóloga

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

Revista de Ingeniería Eléctrica,

Volumen 4, Número 13, de Julio a Diciembre, 2020, es una revista editada semestralmente por ECORFAN-Perú. La Raza Av. 1047 No. -Santa Ana, CuscoPerú. Postcode: 11500. WEB: www.ecorfan.org/republicoferu, revista@ecorfan.org. Editor en Jefe: QUINTANILLA - CÓNDOR, Cerapio. PhD. ISSN: 2523-2517. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN Imelda, LUNA-SOTO, Vladimir, actualizado al 31 de Diciembre, 2020.

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

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

Revista de Ingeniería Eléctrica

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

Consejo Editorial

GUZMÁN - ARENAS, Adolfo. PhD
Massachusetts Institute of Technology

LÓPEZ - BONILLA, Oscar Roberto. PhD
University of New York at Stony Brook

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

FERNANDEZ - ZAYAS, José Luis. PhD
University of Bristol

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

MEDELLIN - CASTILLO, Hugo Iván. PhD
Heriot-Watt University

TIRADO - RAMOS, Alfredo. PhD
University of Amsterdam

VAZQUEZ - MARTINEZ, Ernesto. PhD
University of Manitoba

AYALA - GARCÍA, Ivo Neftalí. PhD
University of Southampton

DECTOR - ESPINOZA, Andrés. PhD
Centro de Microelectrónica de Barcelona

Comité Arbitral

TECPOYOTL - TORRES, Margarita. PhD
Universidad Autónoma del Estado de Morelos

CASTILLO - BARRÓN, Allen Alexander. PhD
Instituto Tecnológico de Morelia

GUDIÑO - LAU, Jorge. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

HERNÁNDEZ - NAVA, Pablo. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica

TREJO - MACOTELA, Francisco Rafael. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

GUTIÉRREZ - VILLEGAS, Juan Carlos. PhD
Universidad de Guadalajara

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

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

SALINAS - ÁVILES, Oscar Hilario. PhD
Centro de Investigación y Estudios Avanzados -IPN

VASQUEZ - SANTACRUZ, J.A. PhD
Centro de Investigación y Estudios Avanzados

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

Cesión de Derechos

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

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

Declaración de Autoría

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

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

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

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

Detección de Plagio

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

Proceso de Arbitraje

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

Instrucciones para Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

Área del Conocimiento

Los trabajos deberán ser inéditos y referirse a temas de 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 Ingeniería y Tecnología.

Presentación del contenido

Como primer artículo presentamos, *Análisis de la resistencia de piezas soldadas por el proceso de resistencia eléctrica*, por MEDINA-MENDOZA, José Antonio, MÉNDEZ-MACÍAS, Gerardo y HERRERA-REYES, Naieli, con adscripción en la Universidad Tecnológica del Norte de Aguascalientes, como siguiente artículo presentamos, *Eficiencia en la producción de energía de un panel fotovoltaico a diferente inclinación en Nuevo Vallarta, Nayarit*, por FLETES, Noé, PAREDES, César y DIBENE, Luis, con adscripción en la Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas, como siguiente artículo presentamos, *Efectos del polvo en el desempeño de un arreglo fotovoltaico instalado en un clima costero*, por DIBENE-ARRIOLA, Luis, PAREDES-VÁZQUEZ, César y MESSINA-LÓPEZ, Víctor, como último artículo presentamos *Auto calibración de encoder para el control de un generador eoloeléctrico basado en una máquina de inducción doblemente alimentada*, por CALDERÓN, Gabriel, MINA, Jesús, HERNÁNDEZ, Oscar y LÓPEZ, Adolfo, con adscripción en el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico.

Contenido

Artículo	Página
Análisis de la resistencia de piezas soldadas por el proceso de resistencia eléctrica MEDINA-MENDOZA, José Antonio, MÉNDEZ-MACÍAS, Gerardo y HERRERA-REYES, Naieli <i>Universidad Tecnológica del Norte de Aguascalientes</i>	1-9
Eficiencia en la producción de energía de un panel fotovoltaico a diferente inclinación en Nuevo Vallarta, Nayarit FLETES, Noé, PAREDES, César y DIBENE, Luis <i>Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas</i>	10-13
Efectos del polvo en el desempeño de un arreglo fotovoltaico instalado en un clima costero DIBENE-ARRIOLA, Luis, PAREDES-VÁZQUEZ, César y MESSINA-LÓPEZ, Víctor	14-20
Auto calibración de encoder para el control de un generador eoloelectrico basado en una máquina de inducción doblemente alimentada CALDERÓN, Gabriel, MINA, Jesús, HERNÁNDEZ, Oscar y LÓPEZ, Adolfo. <i>Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico</i>	21-28

Análisis de la resistencia de piezas soldadas por el proceso de resistencia eléctrica**Analysis of the resistance of welded parts by the electrical resistance process**

MEDINA-MENDOZA, José Antonio†*, MÉNDEZ-MACÍAS, Gerardo y HERRERA-REYES, Naieli

*Universidad Tecnológica del Norte de Aguascalientes, Departamento de Ingenierías, Aguascalientes, México.*ID 1^{er} Autor: *José Antonio, Medina-Mendoza* / ORC ID: 0000-0002-3969-5765, CVU CONACYT ID: 522777ID 1^{er} Coautor: *Gerardo, Méndez-Macías* / ORC ID: 0000-0001-9141-656X, CVU CONACYT ID: 645250ID 2^{do} Coautor: *Naieli, Herrera-Reyes* / ORC ID: 0000-0002-7654-1167, CVU CONACYT ID: 564450

DOI: 10.35429/JEE.2020.13.4.1.9

Recibido Julio 10, 2020; Aceptado Diciembre 30, 2020

Resumen

Se ha realizado una estancia en una empresa metalmecánica ubicada en el Parque Industrial del Valle de Aguascalientes, con la finalidad de desarrollar un estudio que pueda reflejar el estado de la fabricación de diversas piezas metálicas que para su desarrollo implican un proceso de soldadura por resistencia eléctrica. El área de fabricación es denominada Automotriz y cuenta con 5 máquinas de soldadura de diversas marcas y capacidades, en las cuales se fabrican modelos diferentes de piezas automotrices para diversos clientes de la industria automotriz en el estado de Aguascalientes, México. El estudio se enfoca en la revisión del proceso basándose en las normatividades que se manejan en la empresa, que son las JIS B 1196 referentes a la soldadura por puntos. De esta normatividad se extraen dos características principales para garantizar la calidad del producto: la resistencia a la tensión de la soldadura y la resistencia a la torsión. Las normas de fabricación utilizadas determinan que cada 2 horas hay que realizar prueba de tensión en las diferentes partes manufacturadas según su clasificación, se prueba la soldadura en tuercas 6M, 8M Y 10M, designadas por el sistema internacional aplicándoles cargas en una prensa hidráulica marca POISE modelo DX-25 y cien por ciento pruebas de torsión en piezas que llevan soldadas tuercas 6M, las cuales son probadas en un dispositivo de diseño propio. Las tomas de datos para la evaluación se obtuvieron en el laboratorio de metrología de la empresa y muestran una dispersión muy marcada, aunque dichos datos no rebasan en apariencia los límites establecidos por la empresa. Se llevó a cabo una revisión y evaluación del proceso y se propusieron los límites del ajuste de resistencia del proceso de soldadura y las mejoras que garanticen una buena calidad de los productos. Se encontraron algunas prácticas que pueden afectar la calidad, se describen y se propone una solución para evitar que se realicen en el proceso.

Soldadura por resistencia eléctrica, Normas JIS B 1196**Abstract**

A stay has been carried out in a metalworking company located in the Valle de Aguascalientes Industrial Park, in order to carry out a study that can reflect the state of manufacture of various metal parts that involve an electrical resistance welding process. The manufacturing area is called Automotive and has 5 welding machines of various brands and capacities in which different models of automotive parts are manufactured for various clients of the automotive industry in Aguascalientes Mexico. The study focuses on the review of the process based on the regulations that are handled in the company and that are the JIS B 1196 referring to spot welding, from which two main characteristics are extracted to guarantee the quality of the product and that are the resistance to weld stress and torsional strength. The manufacturing standards used determine that every hour a stress test must be carried out on the different manufactured parts according to their classification, welding is tested on 6M, 8M and 10M nuts of the international system applying loads in a brand FORSE DX-2.5 model hydraulic press and one hundred percent tests torque on parts with 6M nuts welded, which are tested in a devise of our own design. The data taken for the evaluation were obtained in the company's metrology laboratory and showed a very marked dispersion, although said data apparently did not exceed the established limits. A review and evaluation of the process was carried out and limits and improvements were proposed that guarantee good quality of the products. Some practices that can affect quality were found, they are described and a solution is proposed to prevent them from being carried out in the process.

Welding, Regulations JIS B 1196

Citación: MEDINA-MENDOZA, José Antonio, MÉNDEZ-MACÍAS, Gerardo y HERRERA-REYES, Naieli. Análisis de la resistencia de piezas soldadas por el proceso de resistencia eléctrica. Revista de Ingeniería Eléctrica. 2020. 4-13:1-9.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Desde la década de los 80's se han observado políticas de crecimiento en el estado de Aguascalientes, teniéndose una tendencia elevada en el desarrollo de estas políticas desde ese tiempo y que han contribuido al desarrollo concentración de actividades productivas en el estado.

Esta actividad ha transformado el mercado Industrial y a la población, desarrollando nuevas formas de consumo cultural.

Es importante mencionar que el estado de Aguascalientes ingresó a una economía global, y la llegada de grandes empresas transnacionales transformó su fisonomía y genero cambios estructurales a su economía, manteniendo una participación creciente en el comercio internacional.

El nivel tecnológico que se ha alcanzado el estado de Aguascalientes, lo ha llevado a un desarrollo regional importante que ha integrado a diferentes empresas en diferentes niveles y son, la empresa automotriz, agroindustrial, metalmecánica, electrónica, textil y del vestido.

La inversión extranjera en Aguascalientes proviene básicamente de dos países, Estados Unidos de América y Japón. Está inversión se centran en un sector principal, la manufactura de partes metálicas, maquinaria y equipo en donde se clasifica el sector automotriz. El estado de Aguascalientes se apuntala como el principal beneficiario de capitales japoneses y cuenta con el 32% de la inversión en México e integra 46 empresas en diferentes sectores que operan en el territorio estatal, así también, generan 17 mil empleos directos y de planta. Estos grandes proyectos industriales favorecen el crecimiento de nuevos distribuidores y cadenas de suministro hasta de 5ª generación.

En este entorno de crecimiento, la empresa en la que se realizó el presente estudio es fundada en el año 2006. Es una empresa orgullosamente mexicana que cuenta con más de 12 años de trayectoria siendo líder en manufactura y comercialización de productos metálicos de la más alta calidad.

La empresa en cuestión ofrece soluciones a un gran número de mercados mediante distintas líneas de negocio. Se ha posicionado como líder en el diseño y manufactura de partes automotrices y comercialización de productos metálicos para diferentes aplicaciones. Apostando por la innovación continua en tecnología y desarrollo, pero, sobre todo, apoyándose del factor humano que es el motor para desarrollar nuevos proyectos enfocados en ofrecer soluciones metálicas eficientes.

En el año 2013, la empresa se unió con más de 20 empresas importantes del estado para formar un grupo nuevo, Grupo Industrial Automotriz MAEN (Manufacturing Automotive Enterprises Network) con la finalidad de unir esfuerzos y proyectar su trabajo con mayor eficacia, compartiendo experiencias y complementándose en su capacidad de producción y desarrollo. Este nuevo grupo posee los mejores procesos de producción: sheetmetal, corte laser, estampado, doblado de tubo, formado de alambre, fibra de vidrio, inyección de plástico, extrusión de plástico, ensambles de soldadura, pintura electrostática, galvanizado electrolítico, automatizaciones y mecanizaciones, entre otros. La principal meta es satisfacer las necesidades industriales para pequeñas y medianas empresas, así como para corporativos internacionales.

La empresa cuenta con un área de maquila metálica que se denomina automotriz, en la cual se manufacturan alrededor de 30 diferentes partes automotrices de soportería y es en esta en donde se centran las bases de este estudio. La empresa cuenta con 10 máquinas de soldadura por resistencia eléctrica y de las cuales durante el tiempo en que se realizó la evaluación del proceso se trabajaba en 5 para soportería y 2 para cubierta de múltiple de admisión de motor. El estudio plantea una revisión de la calidad de la soldadura en las partes de soportería automotriz comparando con las normas establecidas emanadas de la norma JIS 1186 2010.

Justificación

Las piezas que se fabrican en la empresa, dentro del proceso de soldadura, son sometidas a dos pruebas básicas y que están relacionadas entre sí.

Una prueba corresponde al ensayo destructivo de tensión, que se aplica para despegar las tuercas soldadas de las láminas troqueladas correspondientes a los diferentes soportes metálicos; y el otro, un ensayo no destructivo correspondiente de someter a una fuerza de torsión en las tuercas soldadas. Los datos de medición de las pruebas de tensión muestran una dispersión muy amplia, por lo que es necesario realizar un estudio para comparar con la norma establecida o de ser necesario, establecer una norma diferente para este proceso de soldadura. Para lo cual es necesario, revisar la norma establecida para la prueba de torsión y verificar que se esté aplicando con los parámetros establecidos de acuerdo con la norma.

Objetivo

Establecer las normas adecuadas en los procesos de soldadura por puntos para garantizar que los límites superior e inferior de la resistencia a la tensión y torsión sean los adecuados para que no se presenten fallas durante los ensambles finales de las piezas manufacturadas.

Marco teórico

Siempre es difícil soldar láminas pequeñas y delgadas, o materiales metálicos diferentes con un proceso de soldadura al arco eléctrico, también puede ser difícil con un proceso de soldadura con plata o estaño, por esta razón es conveniente disponer de una soldadura por puntos. La presión y temperatura son los principales factores para lograr una soldadura por puntos, cuando por dos electrodos en forma de pinza se hace pasar una corriente eléctrica y se logra una temperatura próxima a la fusión, al presionar precisamente con las pinzas, las piezas se sueldan entre sí (Figura 1).

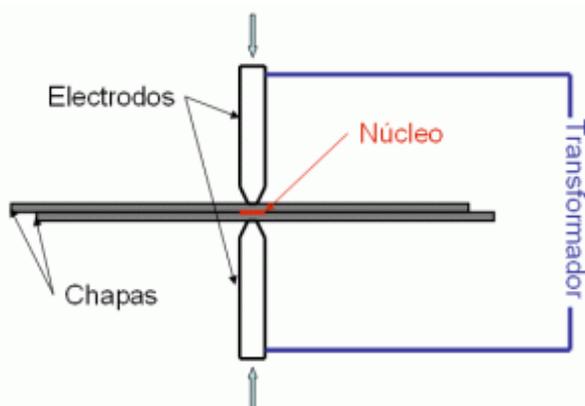


Figura 1 Diagrama del pegado por puntos

Debido a que generalmente la resistencia al paso de la corriente de las piezas a soldar es muy baja, la corriente que debe pasar por la zona a soldar debe ser muy alta del orden de los 500 amperios, pero sin embargo los voltajes son muy bajos, de 1 a 3 voltios. La potencia total es por tanto uno o dos kilovatios.

Los electrodos tienen la misión de presionar los metales y enseguida hacer pasar la corriente a través de las piezas metálicas a soldar. Sus puntas deben estar alineadas al acercarse y deben estar aislados entre sí. Los electrodos deben estar muy bien conectados con el secundario del transformador.

Fases de la soldadura por puntos

1. Colocar las piezas a soldar entre las pinzas.
2. Bajar los electrodos, que corresponde al tiempo que transcurre desde la operación de acercamiento hasta que comienza el paso de la corriente.
3. Tiempo de soldadura, que consiste en el tiempo durante el cual está pasando la corriente eléctrica.
4. Tiempo de forja, es el tiempo transcurrido entre el corte de la corriente y el levantamiento de los electrodos.
5. Tiempo de enfriamiento, consiste en la desaparición de la presión en las piezas soldadas (Figura 2).

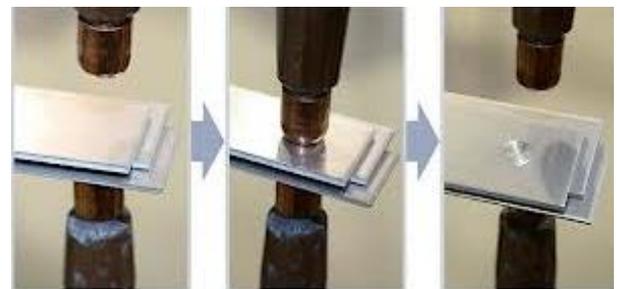


Figura 2 Fases de la soldadura por puntos

El proceso de soldadura por puntos tiende a endurecer el material, hacer que se deforme, reducir la resistencia a la fatiga del material, y puede estirar el material. Los efectos físicos de la soldadura por puntos pueden crear fisuras internas y grietas en la superficie. Las propiedades químicas afectadas son la resistencia interna del metal y sus propiedades corrosivas.

Éste es el sistema de soldadura que se emplea con mayor frecuencia tanto en fabricación como en reparación, debido a las ventajas que posee frente a otros sistemas de unión. Siempre que su ejecución se lleve a cabo de la manera correcta, se obtienen soldaduras de buena calidad y uniformes, que presentan una zona fundida homogénea, sin huecos, rechupados o grietas.

Su manejo es sencillo, ya que la mayoría de los equipos utilizados hoy en día, tanto en fabricación como en reparación, son automáticos (Figura 3). Por esta razón, la calidad final ya no depende tanto de la destreza del operario, sino de la regulación de los parámetros de la máquina de acuerdo con el tipo de trabajo que se desea realizar.



Figura 3 Equipo para soldadura por puntos manual

Algunas de las ventajas de este sistema son:

- Ausencia de deformaciones y cambios en la estructura del material, debido a que la aplicación de calor es mínima y se lleva a cabo de forma muy localizada en la zona de contacto de los electrodos.
- Las superficies que se obtienen son relativamente suaves, libres de fusión superficial o huellas profundas, que hacen innecesario un repaso posterior como operación de acabado.
- No requiere material de aportación, lo cual reduce costos.
- El desmontaje de piezas unidas por puntos de resistencia es sencillo. Haciendo uso de las herramientas específicas para esta función, se realizará de forma rápida y, lo que es aún más importante, sin causar desperfectos en las piezas adyacentes.

Parámetros de la soldadura.

Este proceso depende directamente del tiempo y el paso de la corriente eléctrica para obtener el calor necesario y lograr un estado pastoso de las láminas a soldar. Debido a esto, estas dos variables se tienen que regular adecuadamente. Para obtener una soldadura rápida se puede aumentar la intensidad de la corriente y disminuir el tiempo de soldadura, o bien se puede optar por un aumento de tiempo y disminuir la intensidad de corriente obteniendo una denominada soldadura lenta. Estas variaciones oscilan dentro de unos márgenes determinados, pues en la práctica no es posible disponer de tiempos ni de intensidades tan amplias como se desee. La intensidad máxima que se quiere alcanzar está condicionada por el equipo concreto con el que se ejecute la soldadura y por las piezas que se van a unir, ya que hay que evitar su fusión. El tiempo de soldadura no debe ser muy prolongado, ya que parte del calor se perdería por conducción y se puede llegar a establecer un equilibrio térmico entre calor aportado y calor disipado, que impediría alcanzar una temperatura suficiente y daría lugar a uniones de escasa o nula resistencia mecánica. Para lograr un buen punto de soldadura se debe:

- Seleccionar la intensidad máxima del equipo, sin que se llegue a producir la fusión de las láminas.
- Regular el tiempo de paso de la corriente en función del espesor que se pretende soldar.

Resistencia eléctrica de la unión.

La resistencia eléctrica de la unión no es un parámetro que pueda ser regulado en el equipo utilizado en el proceso de soldadura y depende de la naturaleza del material.

La resistencia que opone un material al paso de la de la corriente es inversamente proporcional a su conductividad eléctrica, dependiendo fundamentalmente de su composición y de su tratamiento, así como de su acabado y limpieza. Es un factor que se debe tener en cuenta, ya que la resistencia influye directamente en la cantidad de calor generada durante la soldadura.

Por tanto, a mayor conductividad eléctrica, menor resistencia al paso de la corriente, hecho que dificulta la realización de este tipo de soldaduras. Este inconveniente se puede subsanar con un aumento de la intensidad de la corriente.

Presión de apriete.

La soldadura por puntos de resistencia es una soldadura por forja, lo cual supone la existencia de una conformación en caliente, que se obtiene mediante la presión aplicada a través de los electrodos. A este parámetro no se le suele dar la importancia que merece, que se supone de manifiesto en dos acciones distintas: su influencia sobre la resistencia y su efecto de forja durante la solidificación del núcleo de metal fundido.

La aplicación de la presión tiene tres misiones distintas, que pueden parecer incluso contradictorias:

1. En el momento de comenzar la soldadura, la presión ha de ser baja para obtener una resistencia de contacto chapa-chapa elevada, que permita un calentamiento inicial con intensidad moderada.
2. A su vez, esta presión ha de ser suficiente para que las chapas a unir tengan un contacto adecuado y se acoplen entre sí perfectamente.
3. Una vez que se ha iniciado la fusión del punto, la resistencia de contacto queda reducida a la zona delimitada por los electrodos. En ese momento, la presión debe ser alta para expulsar los gases incluidos y llevar a cabo la forja del punto.
4. La presión recomendada para la chapa de acero se halla alrededor de los 10 kg/mm^2 y debe encontrarse entre ciertos valores límite para evitar las fallas que puedan originarse por exceso o por defecto.

Control del Proceso

El objetivo de un control estadístico del proceso es hacer predicciones del mismo conforme al tiempo. Las gráficas de control son herramientas utilizadas para distinguir causas de variación en el proceso que son ajenas al natural desenvolvimiento del proceso.

Estas son utilizadas para detectar productos defectuosos o para indicar resultados de una modificación en los procesos, así como también informar a la gerencia repercusiones favorables en la producción.

Los productos o servicios que se producen en un proceso no serán iguales exactamente, debido a que siempre habrá muchas fuentes de variación, que nada puede hacerse para suprimirlas. Sin embargo, habrá para la gerencia opciones de investigación, para minimizar esas causas.

En la figura (Figura 4) se muestra como determinar la variación de un proceso. Se toman muestras y el valor se coloca en una escala proporcional en el eje X, después en el eje vertical, se indica el número de veces que ocurrieron, es decir la frecuencia.

- a) Las muestras varían de una a otra.
- b) Forman un patrón estable.
- c) La distribución difiere en la medida de la tendencia central.
- d) Solo se presentan causas de variación naturales.
- e) Se presentan causas de variación asignable y el proceso no es estable.

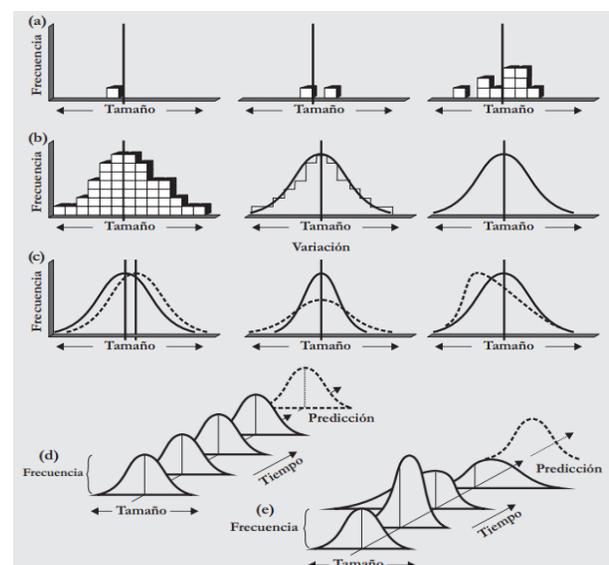


Figura 4 Diagramas para determinar la variabilidad de un proceso

Será trabajo del administrados de la producción mantener el proceso estable eliminando las causas asignables.

La imagen siguiente (Figura 5) muestra los comportamientos diferentes de los procesos productivos en los que se muestran comportamientos anormales.

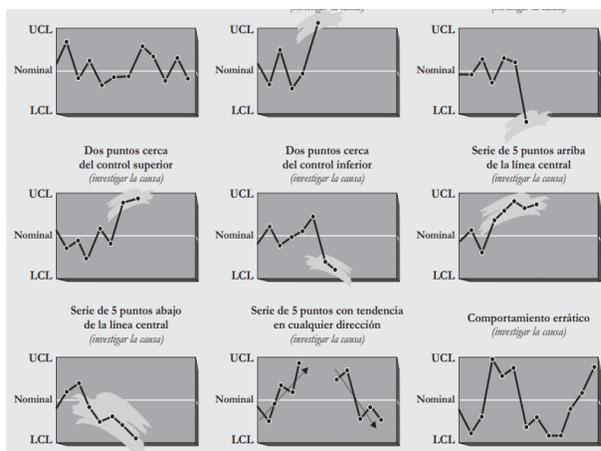


Figura 5 Comportamientos de los procesos productivos

Metodología

En el área denominada Automotriz de la empresa metalmecánica, trabajan cinco máquinas manuales de soldadura por resistencia eléctrica, las cuales producen partes con tuercas o tornillos soldados para formar soportes de uso automotriz.

Las máquinas son identificadas con numeración designada por el departamento de producción, para tener un control de estas tanto para su proceso como para el mantenimiento requerido.

La designación del número de máquinas que se han revisado para el presente estudio son las siguientes: máquina SW-6, máquina 205-128, máquina 205-109, máquina 205-127 y máquina 205-110, las cuales pueden producir cualquiera de los productos que se manejan en la empresa, realizando los cambios requeridos para tal fin.

Hay dos variables que, debido a la normatividad aplicable, se cuidan dentro de los procesos de soldadura en esta empresa y son la resistencia a la tensión de la soldadura de tuercas y tornillos, así como, la resistencia a la torsión. Para lo cual se ha especificado que se deben de realizar pruebas de campo y obtener datos para revisar si se está cumpliendo con las normas establecidas.

Las pruebas de campo se realizan en una prensa marca POISE modelo DX-25. Las pruebas que se realizan son pruebas destructivas de tensión y, por normatividad interna de la empresa, se deben de realizar cada dos horas (Figura 6).

NOMBRE DE LA PARTE		INS BRKAT ASSY B	
CLIENTE		CALSONIC	
NUMERO DE LOTE			
CHARACTERÍSTICA	Turno:	1	2
NOMBRE	Día:	16	17
	Hora:	9:00	9:00
1 Concentricidad tuercas M6 contra BRK ASSY B	Especificación	0.3 mm base	
		1 pieza cada 2 horas	
		(contra planchado)	
2 Planitud	0.35 mm M/ax		
		1 pieza cada 2 horas	

Figura 6 Norma establecida una pieza cada dos horas

La especificación establecida para los operarios está mostrada en una hoja de información anexa en la máquina de prueba y que informa la lectura mínima de resistencia que debe tener la pieza soldada (Figura 7).

PRUEBA DE DESPRENDIMIENTO			
Tamaño de tuerca	Kilo Newton (KN)	Kilogramo-fuerza (KF)	Kilogramo-fuerza (KF) que utilizamos en los registros
M6	3.24	330	420
M8	3.73	380	480
M10	6.03	615	720

Figura 7 Norma mínima de resistencia por tamaño de tuerca

Los datos que se muestran en la figura 7 son obtenidos de la norma que rige este tipo de productos, que es la norma JIS B1186 2010 pagina 11 (Figura 8).

Nominal diameter of screw thread (mm)	4	5	6	8	10	12
Peel strength to pressing	3.24	3.24	3.24	3.73	6.03	6.03

The peel strength to pressing (F) is obtained by the following formula.

$$F = S \times n \times \sigma$$

where, S : cross sectional area at root of one weld point
 n : number of weld points per a nut
 σ : tensile strength of weld ($\sigma = 294 \text{ N/mm}^2$)
 S and n are obtained by the calculation with the median of standard values for the hexagon weld nut Type 1A in table 4.

Figura 8 Norma JIS 1186 2010 (página 11)

Los datos obtenidos en la prueba de tensión son registrados en formatos específicos (Figura 9) para llevar el control de calidad correspondiente, siendo esta la fuente de donde se tomaron los datos para realizar el estudio de la variabilidad del proceso en cada una de las máquinas.

Los datos se miden y registran en Kgf, debido a que es la escala de medición con la que cuenta este equipo.



Figura 9 Registro de datos

La otra variable importante que se controla dentro del proceso es la resistencia a la torsión, para esta se cuenta con un dispositivo de diseño propio de la empresa (Figura 10 y Figura 11) y se le nombra solamente como poka yoke en donde se prueban 100% las piezas que tienen soldadura con tuercas M6.



Figura 10 Poka yoke para prueba de torsión



Figura 11 Ayuda visual para el ajuste de la fuerza de torsión en el poka yoke

Al realizarse la prueba se monta la pieza en el dispositivo y se le aplica una fuerza de giro por medio del uso de la neumática, equivalente a lo que marca la norma respectiva (Figura 12). Los valores para realizar la prueba se toman de la norma que rige este tipo de productos, que es la norma JIS B1186 2010 página 13.

Nominal diameter of screw thread (mm)	4	5	6	8	10	12
Peel strength to torque	12.7	12.7	15.5	20.5	37.3	42.2

The peel strength to torque (T) is obtained by the following formula.

$$T = S \times n \times \tau \times L$$

where, S : cross sectional area at root of one weld point
 n : number of weld points per a nut
 L : distance from screw centre to weld point
 τ : shearing strength of weld ($\tau = \sigma \times 0.7 = 206 \text{ N/mm}^2$)

S , n , and L are obtained by the calculation with the median of standard values for the hexagon weld nut Type 1A in table 4.

Figura 12 Norma JIS B1186 2010 (página 13), para pruebas de torsión en tuercas soldadas

En esta prueba no se registran los datos, solo se realiza para garantizar que las tuercas no se desprendan en el ensamble final en el automóvil.

Resultados y conclusiones

Los datos obtenidos en cada una de las máquinas fueron analizados mediante el programa R y nos muestran los siguientes resultados para cada una de ellas:

Máquina SW-6:

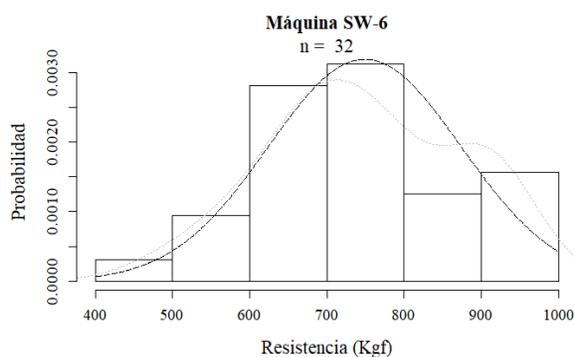


Gráfico 1 Histograma de frecuencia de máquina SW-6. La línea discontinua representa la distribución normal, la línea punteada representa la densidad empírica de los datos

Máquina 205-127:

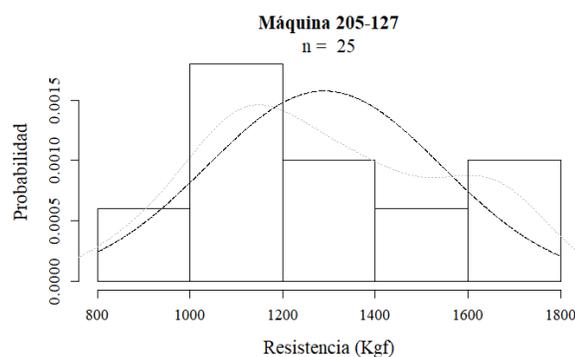


Gráfico 4 Histograma de frecuencia de máquina 205-127. La línea discontinua representa la distribución normal, la línea punteada representa la densidad empírica de los datos

Máquina 205-128:

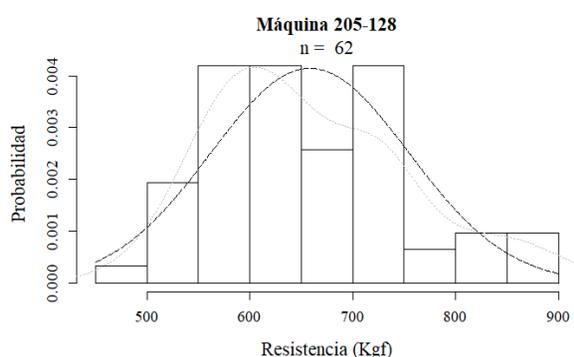


Gráfico 2 Histograma de frecuencia de máquina 205-128. La línea discontinua representa la distribución normal, la línea punteada representa la densidad empírica de los datos

Máquina 205-110:

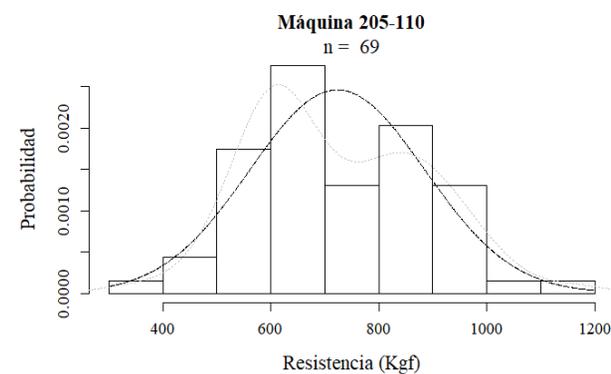


Gráfico 5 Histograma de frecuencia de máquina 205-110. La línea discontinua representa la distribución normal, la línea punteada representa la densidad empírica de los datos

Máquina 205-109:

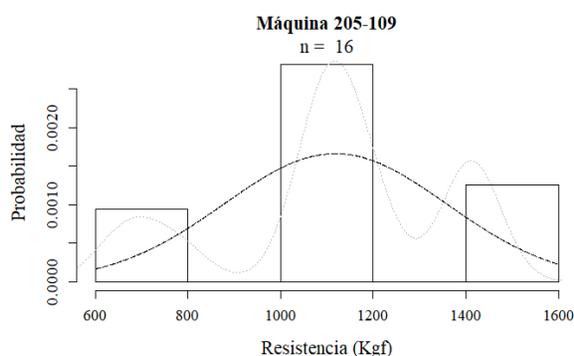


Gráfico 3 Histograma de frecuencia de máquina 205-109. La línea discontinua representa la distribución normal, la línea punteada representa la densidad empírica de los datos

Datos estadísticos.

En la Tabla 1 se muestran los datos estadísticos de cada una de las máquinas analizadas.

	n	min	max	rango	mediana	media	Error estándar de la media	IC. 95%	Varianza	Desviación estándar	Coficiente de variación
Máquina 205-128	62	476.00	896.00	420.00	635.00	658.52	12.22	24.44	9258.61	96.22	0.15
Máquina 205-127	25	841.00	1700.00	859.00	1246.00	1289.88	50.60	104.42	63996.86	252.98	0.20
Máquina 205-109	16	650.00	1415.00	765.00	1118.50	1118.13	60.14	128.18	57859.98	240.54	0.22
Máquina 205-110	69	350.00	1159.00	809.00	695.00	723.28	19.51	38.93	26266.03	162.07	0.22
Máquina SW-6	32	481.00	950.00	469.00	742.50	748.97	22.07	45.01	15584.42	124.84	0.17

Tabla 1 Datos estadísticos

De acuerdo con los resultados, se concluye que la dispersión de los datos es muy amplia en todas las máquinas, por ejemplo, en la 205-127 el rango es de 859 Kgf, mientras que en la máquina SW-6 es de 420 Kgf. Aunque son diferentes tuercas las que se manejan, siendo la primera una M10 y la segunda una M6 en los dos casos es amplia de acuerdo con su rango.

Se puede concluir también que no cumple con la realización de pruebas de torsión (Figura 13), de acuerdo a la norma JIS relacionada; no se cumple con la norma interna de realizar pruebas cada dos horas, solo se realizan dos, pero por turno.

Recomendaciones

Con base en los resultados obtenidos, es recomendable que se ajusten los rangos para ser más cerrados y mejorar el control de la calidad de las piezas manufacturadas y, que, a la vez de cumplir su norma de resistencia mínima, no se pasen a una zona del límite superior en donde se vaya a fragilizar el ensamble por afectaciones de la soldadura.

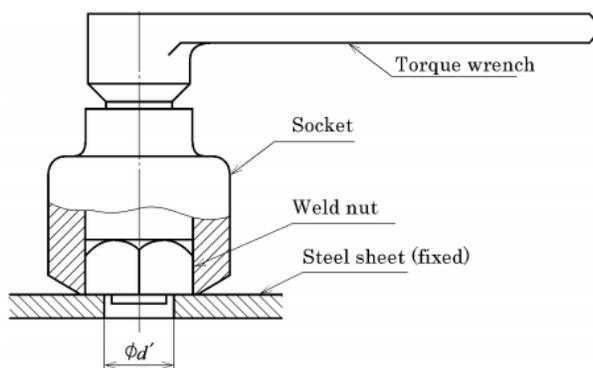


Figura 13 Diagrama de prueba de torsión

Rangos recomendados por máquina:

Ajustar las máquinas SW-6 y 205-110 a partir de la media encontrada en la muestra de más datos 658.52 con una tolerancia de +/- de 100 Kgf.

Ajustar las máquinas 205-109, 205- 127 y 205-128 a partir de la media en la muestra de más datos 723.38 con una tolerancia de +/- 100 Kgf.

Realizar las pruebas de torsión según lo refiere la norma JIS relacionada para tener datos confiables de que se está cumpliendo, con base en JIS B1186 2010 (página 14).

Realizar las pruebas de campo según lo establecido para tener un mejor control de la calidad de las partes manufacturadas, ya que solo se toman dos datos, uno al iniciar el turno y otro a medio turno, debiendo de ser al menos 4 datos de prueba que deberían ser.

Se observó que los operarios que realizan las pruebas y toma de datos son los ayudantes de los operadores de las máquinas, que no dejan de trabajar mientras estas se desarrollan, en caso de que no se cumpla la resistencia mínima el operador para y cambia los parámetros de operación, generalmente modificando la corriente eléctrica de trabajo. Una vez que hace las modificaciones sigue trabajando, pero no da el tiempo para que el ayudante verifique una lectura de resistencia favorable, que en ocasiones no se cumple y hay que parar de nuevo para seguir modificando, pero en ese lapso ya pasaron piezas que están fuera de norma de resistencia y no se toma alguna medida al respecto. El operador deberá parar su máquina hasta estar seguro de que las piezas cumplen con la norma de resistencia.

Referencias

- 1.- F. Padilla 1, P. Gutiérrez C. 2, J. López G.3, (2015), Nueva industria regional en Aguascalientes. AMECIDER – CRIM, UNAM.
- 2.- Meseguer V J. L. 1; F. Chumillas P. 2; Serna S.J. 3; 18th International Congress on Project Management and Engineering Alcañiz, 16-18th July 2014.
- 3.- H. Zhang, J. Senkara. (2006). “Resistance Welding. Fundamentals and Applications”. Taylor & Francis Group. Florida, pp.1-17.
- 4.- American Welding Society, (2012). “AWS C1.1: Recommended practices for resistance welding” International Standard Book Number: 978-0-87171- 803-7.
- 5.- O. Martín**, M. López** y F. Martín** Redes neuronales artificiales para la predicción de la calidad en soldadura por resistencia por puntos. REVISTA DE METALURGIA, 42 (5) SEPTIEMBRE-OCTUBRE, 345-353, 2006 ISSN: 0034-8570
- 6.- J.Andradea*, Y. Ricob, Caracterización microestructural de la soldadura por electropunto en láminas de acero aisi 1015 galvanizado, Acta microscópica Vol. 27, No. 1,2018, pp 8-15

Eficiencia en la producción de energía de un panel fotovoltaico a diferente inclinación en Nuevo Vallarta, Nayarit

Efficiency in the energy production of a photovoltaic panel at different inclination in Nuevo Vallarta, Nayarit

FLETES, Noé†*, PAREDES, César y DIBENE, Luis

Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas, Blvd. Nuevo Vallarta No. 65 Pte, Nuevo Vallarta, 63732 Nuevo Vallarta, Nay., México.

ID 1^{er} Autor: Noé, Fletes

ID 1^{er} Coautor: César, Paredes

ID 2^{do} Coautor: Luis, Dibene

DOI: 10.35429/JEE.2020.13.4.10.13

Recibido Julio 15, 2020; Aceptado Diciembre 30, 2020

Resumen

La orientación, el grado de inclinación y las condiciones climatológicas, entre otras, son las variables que determinan la eficiencia de un panel solar. En la presente investigación se obtuvo la eficiencia de dos paneles solares colocados a diferente ángulo de inclinación (0° y 20°). En la Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas (UTBB), se montaron dos sistemas solares de manera independiente, los cuales se encuentran interconectados a la red de Comisión Federal de Electricidad (CFE), cada sistema cuenta con un panel solar, un micro inversor y un equipo de medición; además de un piranómetro efectuando mediciones de radiación solar. El periodo de las tomas de lectura fue del 9 al 20 de junio de 2016, donde cada panel se encuentra a la misma altitud, orientación y condiciones climatológicas, pero a diferente inclinación. Para determinar su eficiencia se compararon las mediciones de los paneles con la insolación medida con los piranómetros, uno a 0° y otro a 20° de inclinación. Los resultados obtenidos fueron, panel a 0° 23.965 kWh, panel a 20° 11.846 kWh y Piranómetros con 0° 25.90 kWh con 20° 23.03 kWh. Teniendo a 0° una eficiencia del 93.5 % y a 20° una eficiencia del 51.4%.

Ángulo de inclinación, Eficiencia, Panel solar, Pirómetro, Equipo de medición

Abstract

Orientation, pitch and weather conditions, among others, are the variables that determine the efficiency of a solar panel. In this research the efficiency of two solar panels placed at a different angle (0° and 20°) was obtained. In the Technological University of Bahia de Banderas (UTBB), two solar systems independently mounted, which are interconnected to the Federal Electricity Commission (CFE) network, each system has a solar panel, a micro-inverter and a measurement equipment; plus, a pyranometer taking measurements of solar radiation. The period takes reading was from 9 to 20 June 2016, where each panel is at the same altitude, orientation and under the same weather conditions, but different inclination. To determine efficiency measurements panels with insolation pyranometers measure, one at 0° and one at 20° inclination compared. The results were, panel at 0° 23.965 kWh, panel at 20° 11.846 Pyranometers with 0° 25.90 kWh with 20° 23.03 kWh. Having at 0° 93.5% efficiency and at 20° 51.4% efficiency.

Tilt angle, Efficiency, Solar panel, Pyranometer, Measurement equipments

Citación: FLETES, Noé, PAREDES, César y DIBENE, Luis. Eficiencia en la producción de energía de un panel fotovoltaico a diferente inclinación en Nuevo Vallarta, Nayarit. Revista de Ingeniería Eléctrica. 2020. 4-13:10-13.

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: ngfletes@utbb.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Por la ubicación geográfica, México es un país privilegiado con el nivel de radiación solar que recibe y que potencialmente podría convertir energía solar en energía eléctrica a través de los sistemas fotovoltaicos.

Al proyectar un sistema solar fotovoltaico, uno de los objetivos fundamentales es la optimización de la energía eléctrica generada aprovechando el recurso solar, lo cual significa utilizar el máximo posible de radiación incidente. Sin embargo, la eficiencia de un panel solar está determinado por varios factores, entre ellos el ángulo de inclinación óptimo de los paneles solares, la radiación incidente en el lugar donde está situada la instalación, las condiciones climatológicas, etc.

El efecto de la orientación y el ángulo de inclinación de una superficie colectora de la radiación solar, por ejemplo, un captador solar plano o un panel fotovoltaico, han sido estudiados en varios trabajos (Sons, 1982). Varios métodos se han propuesto en la literatura para encontrar el ángulo óptimo, sin embargo, es muy poca la literatura que hable sobre el ángulo de inclinación adecuado de un panel fotovoltaico para zonas de la República Mexicana.

El objetivo de esta investigación es encontrar el ángulo de inclinación en el cual es más eficiente la captación solar de un panel fotovoltaico en la zona de Bahía de Banderas, Nayarit.

Radiación solar en Nuevo Vallarta, Nayarit

En la Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas (UTBB) se cuentan con tres piranómetros midiendo las irradiancias (radiación) Global difusa G_d (w/m^2), Global inclinada G_{i20° (W/m^2) y Global horizontal G_{h0° (W/m^2), de las cuales se considera para esta investigación las irradiaciones medidas a 0° y 20° . Con esas mediciones se calcula la energía que llega en un determinado período de tiempo (del 9 al 20 de junio), a partir de métodos matemáticos se pueden interpretar las lecturas de los piranómetros.

$$G_d = \frac{\sum_{0\text{ hrs}}^{24\text{ hrs}} Avg}{6} = w/m^2 \quad (1)$$

$$HSH_d = \frac{G_d}{1000} = kW - h/m^2 \quad (2)$$

$$G_i = \frac{\sum_{0\text{ hrs}}^{24\text{ hrs}} Avg}{6} = w/m^2 \quad (3)$$

$$HSH_{i20^\circ} = \frac{G_i}{1000} = kW - h/m^2 \quad (4)$$

$$G_h = \frac{\sum_{0\text{ hrs}}^{24\text{ hrs}} Avg}{6} = w/m^2 \quad (5)$$

$$HSGH_{0^\circ} = \frac{G_h}{1000} = kW - h/m^2 \quad (6)$$

Los piranómetros registran lecturas correspondientes al promedio de 10 minutos.

Irradiancia: Es la intensidad de la luz solar, las unidades más comunes son watts por metro cuadrado (W/m^2).

Insolación: Es la cantidad de energía solar recibida durante un intervalo de tiempo, las unidades más comunes son watt-hora por metro cuadrado (Wh/m^2), por lo general se expresa en horas.

En el gráfico 1 se muestra de forma gráfica el concepto de insolación (H_{sp} , Hora solar pico) y la irradiancia, no se debe confundir con las horas de luz que se tiene en el día, $1\text{ kW-h}/m^2 = 1\text{ Hsp}$.

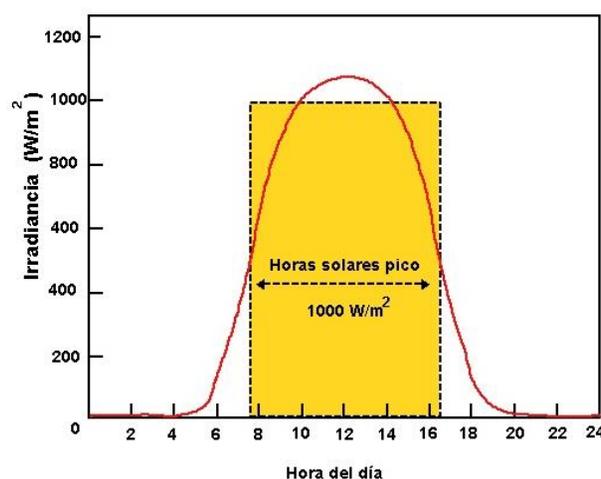


Gráfico 1 Horas solar pico, calculationsolar.com

En el gráfico 2, se muestra el resultado de la generación estimada a 0° con respecto a las HSP en ese periodo.

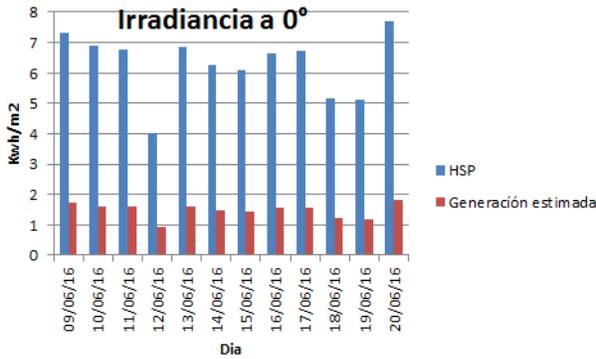


Gráfico 2 Generación estimada a 0°

En el gráfico 3, se muestra el resultado de la generación estimada a 20° con respecto a la HSP en ese periodo.

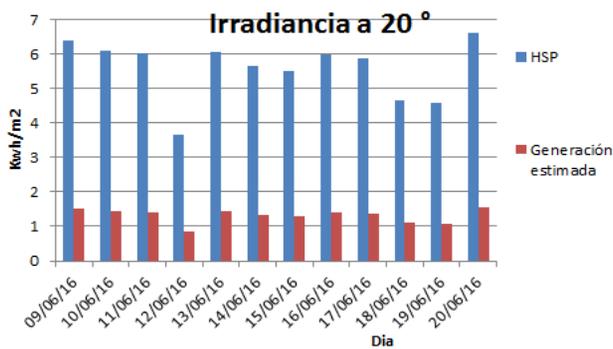


Gráfico 3 Generación estimada a 20°

En la tabla 1, se muestra un comparativo de las HSP a diferente ángulos medidas por los piranómetros marca Kipp & Zonnen modelo CMP3 para las coordenadas 20.708599 - 105.285427, donde se calcula la generación estimada en ambas inclinaciones. Es de mencionar que el cálculo realizado de generación estimada para cada panel es por metro cuadrado, por lo que al final ese dato se multiplica por 1.46 m² equivalentes al área efectiva de captación solar del panel fotovoltaico utilizado. El cálculo muestra que para ese periodo hay una generación estimada de 25.9 kw/m² a una inclinación de 0° y 23.03 kw/m² a 20°.

Fecha	Datos para 0°		Datos para 20°	
	HSP	G estimada	HSP	G estimada
09/06/2016	7.31	1.72	6.39	1.50
10/06/2016	6.90	1.62	6.11	1.44
11/06/2016	6.78	1.59	6.02	1.41
12/06/2016	4.01	0.94	3.66	0.86
13/06/2016	6.85	1.61	6.06	1.42
14/06/2016	6.25	1.47	5.66	1.33
15/06/2016	6.10	1.43	5.50	1.29
16/06/2016	6.64	1.56	5.99	1.41
17/06/2016	6.71	1.58	5.87	1.38
18/06/2016	5.16	1.21	4.66	1.09
19/06/2016	5.10	1.20	4.57	1.07
20/06/2016	7.68	1.80	6.63	1.56
	Total/m ²	17.74	Total/m ²	15.77
	Total, panel	25.90	Total, panel	23.03

Tabla 1 Comparativo de Generación estimada

Generación de paneles fotovoltaicos a 0° y 20°

Se montaron dos paneles fotovoltaicos policristalinos marca Solartec modelo S60-PC250, cada uno sobre su estructura, donde un panel se colocó con un ángulo de inclinación de 0° y el otro a 20°, cada sistema cuenta con un micro inversor marca SolarBridge modelo P235LV-240F6-R1 y un equipo de medición Marca HIOKI modelo PW3360. Estos se interconectaron a la red de CFE. En la figura 1 se muestran ambos sistemas montados.



Figura 1 Sistemas fotovoltaicos montados a diferente ángulo de inclinación (0° y 20°)

El periodo de las tomas de lectura para la investigación fue de 12 días (del 9 al 20 de junio), por lo que las condiciones climatológicas fueron las mismas para ambos sistemas.

En el Gráfico 4 se muestra el resultado arrojado por los equipos de medición HIOKI para ese periodo de tiempo.



Gráfico 4 Comparativo de generación de panel fotovoltaico a 0° (línea roja: 23.97 kWh) y 20° (línea morada 11.86 kWh)

Se observa en la gráfica que existe una pequeña interrupción del día 15 al 16 de junio, esto debido a que esa noche se protegieron las cuchillas de la acometida de alimentación principal de la universidad, sin embargo, no afecta en el comparativo de generación de los sistemas fotovoltaicos.

Agradecimientos

Los autores agradecen en especial a la Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas por otorgar todas las facilidades en el desarrollo del presente artículo y todos los que están en desarrollo, especialmente a los alumnos que muestran interés y apoyo en el desarrollo de trabajos como este.

Conclusiones

Al realizar la comparación de los datos obtenidos por los piranómetros, el cálculo de la generación estimada y la información arrojada por los equipos de medición (Tabla 2), se deduce que para este periodo (verano) es un 93.5 % más eficiente colocar un panel fotovoltaico a 0° de inclinación, ya que a una inclinación de 20° su eficiencia es de un 51.4%.

Periodo de medición	Datos para 0°				Datos para 20°			
	HPS Kwh	Generación estimada por panel (Kwh)	Generación real (Kwh)	Eficiencia del panel fotovoltaico (%)	HPS Kwh	Generación estimada por panel (Kwh)	Generación real (Kwh)	Eficiencia del panel fotovoltaico (%)
Del 09 al 20 de junio del 2016	75.50	25.90	23.97	93.5	67.12	23.03	11.86	51.4

Tabla 2 Comparativo de generación estimada, generación real y eficiencia de paneles fotovoltaicos a 0°y 20° de inclinación

Es de mencionar que esta eficiencia para el panel fotovoltaico es solo para verano, por lo que se pretende seguir con la investigación en las diferentes estaciones del año para comprobar de la misma manera que ángulo de inclinación es el adecuado para que el captador soldar.

Anexos

SPECIFICATIONS		
	P235LV-240	P235HV-240
INPUT DATA (DC)		
Maximum Input Power (W)	250	250
Maximum continuous input power (W)	235	235
Maximum input voltage	48	64
MPPT voltage (V)	18-36	25-50
Maximum DC short circuit current (A)	14	14
Maximum input current (A)	11.25	8
OUTPUT DATA (AC)		
Maximum continuous output power (W)	225	
Nominal output current (A)	0.9375	
Nominal voltage (V)	240	
Operating voltage range (V)	211-264	
Nominal frequency (Hz)	60	
Operating freq range (Hz)	59.3 - 60.5	
Power factor	>0.99	
Total harmonic distortion	< 5%	
Maximum units per 20A branch	17	
EFFICIENCY		
Peak inverter efficiency	95.5%	
CEC weighted efficiency	94.5%	
Nominal MPP tracking	99.6%	
MECHANICAL DATA		
Operating ambient temp range	-40C to +65C	
Night time power consumption (tare)	<30mW	
Dimensions (W x H x D)	8" x 6.5" x 1.25"	
Weight	4.5 lbs	
Cooling	Natural Convection - No Fans	
Enclosure environmental rating	Outdoor — Tested to UL 1703, meets NEMA 6	
FEATURES		
Communication	Powerline Carrier	
Warranty	25 years	
Compliance	FCC Part 15 Class B UL 1741 / CSA 1071	

Figura 2 Datos de inversor

Especificaciones	
Tipo de celda	Policristalina
Dimensiones de Celda	156 mm * 156 mm
Número de Celdas	60 (6 x 10)
Peso	18.5 Kg
Dimensiones de módulo	1640 mm x 992 mm x 40 mm
Cable	900 mm fotovoltaico
Caja de Conexiones	IP65 / IP67
Número de diodos de derivación	3 / 6
Conectores	Mc4, Compatible
Hoja Trasera	Blanca
Marco	Aluminio anodizado (15 µm)
Clasificación de Flama	Clase C
Aplicación de acuerdo a IEC	Clase A
Configuración de Empacado	26 piezas

Figura 3 Especificaciones del panel fotovoltaico



Figura 4 Conexión de equipo de medición

Referencias

García, J. J. (2003). *Cálculo de la energía solar*. Madrid: Bellisco Ediciones.

Harper, E. (s.f.). *El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos*. México: Limusa. *Manual del equipo Hioki PW3360*. (s.f.).

Sons, J. W. (1982). «*Treatise on Solar Energy*». *Fundamentals of Solar Energy. Vol. 1*. GARG, H. P.

Vallina, M. M. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. España: Piraninfo.

Efectos del polvo en el desempeño de un arreglo fotovoltaico instalado en un clima costero

Effects of dust on the performance of a photovoltaic array installed in a coastal climate

DIBENE-ARRIOLA, Luis†*, PAREDES-VÁZQUEZ, César y MESSINA-LÓPEZ, Víctor

ID 1^{er} Autor: *Luis, Dibene-Arriola*

ID 1^{er} Coautor: *César, Paredes-Vázquez*

ID 2^{do} Coautor: *Víctor, Messina-López*

DOI: 10.35429/JEE.2020.13.4.14.20

Recibido Julio 20, 2020; Aceptado Diciembre 30, 2020

Resumen

Entre los diversos factores que afectan la energía producida por un módulo fotovoltaico se encuentra el polvo. Se puede recuperar la eficiencia de dicho panel, si se realizan actividades de limpieza, ya sea de forma manual, automática o naturalmente. Este trabajo investiga el efecto que tuvo el polvo acumulado en un arreglo fotovoltaico de 3 kWp instalado en un edificio en Nuevo Vallarta, Nayarit, México. Se usaron 3 piranómetros, un inversor y un Web Box para adquisición de datos y se construyó un cuadro resumen que contiene datos de producción de energía suministrada al edificio por la planta e insolación recibida, que permite determinar la eficiencia de dicha planta fotovoltaica día a día y sin limpieza de esta. Luego se limpiaron los paneles y se observó el cambio en la eficiencia, la cual se mantuvo hasta mediados de mayo del 2016. En ese período se volvieron a limpiar los paneles y se encontró que la eficiencia se incrementaba de 10.58% a 11.70%. Por lo anterior, se concluye que la suciedad en este lugar afecta la eficiencia de los paneles en 10.59% relativo a la eficiencia original y debe ser tomada muy en cuenta para los cálculos y el mantenimiento.

Polvo, eficiencia, fotovoltaico

Abstract

Among the various factors that affect the energy produced by a photovoltaic module is dust. You can retrieve the efficiency of the panel, if cleaning activities, either manually, automatically, or naturally made. This paper investigates the effect it had accumulated in a 3 kWp photovoltaic array installed in a building in Nuevo Vallarta, Nayarit, Mexico dust. 3 pyranometers, an inverter and a Web Box for data acquisition was used and a summary table containing data of energy production supplied to the building by the plant and insolation received, which determines the efficiency of this photovoltaic plant daily built without cleaning it. The panels were then cleaned, and change was observed in efficiency, which lasted until mid-May 2016. During that period, they returned to clean the panels and found that the efficiency was increased from 10.58% to 11.70%. Therefore, it is concluded that the dirt in this place affects the efficiency of the panels at 10.59% relative to the original efficiency and should be considered for the calculation and maintenance.

Dust, efficiency, photovoltaic

Citación: DIBENE-ARRIOLA, Luis, PAREDES-VÁZQUEZ, César y MESSINA-LÓPEZ, Víctor. Efectos del polvo en el desempeño de un arreglo fotovoltaico instalado en un clima costero. Revista de Ingeniería Eléctrica. 2020. 4-13:14-20.

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: ldibene@utbb.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La potencia de salida de un módulo fotovoltaico depende, entre otros, de los materiales del módulo y de la cantidad de luz solar que incide sobre la superficie del panel, la cual varía día a día y de una región geográfica a otra y es producto de muchas variables. También se ve afectada por la temperatura del módulo, pérdidas por el cableado, y por condiciones ambientales como altos niveles de polvo atmosférico. Cada variable puede contribuir con una pérdida en la eficiencia que puede dar como resultado una dramática reducción en el rendimiento general del panel fotovoltaico (Ali Al Shehri, 2016). El rendimiento fotovoltaico se puede recuperar a su máxima capacidad por la limpieza de las instalaciones; ya sea realizada de forma manual, automática o naturalmente por las lluvias (Julius Tanesab, 2015). El polvo es un término general para cualquier partícula menor de 500 μm de diámetro y puede incluir polen de vegetación, células animales, arena, arcilla o piedra caliza erosionada. El tamaño y cantidad de las partículas, los componentes y su forma pueden variar de acuerdo con cada región del mundo. Estos factores se basan en la geografía, el clima y la urbanización de una región. Entre las características importantes del polvo están el tamaño, la distribución y la composición. Las condiciones ambientales importantes que afectan a estas características son, entre otras; la humedad, la variación en la dirección y la velocidad del viento y las variaciones estacionales. Cuando las partículas se depositan sobre los módulos fotovoltaicos, interfieren con la calidad de la iluminación incidente, atenuándola y dispersándola. El grado en el cual las partículas interfieren depende de su constitución, la densidad y distribución.

Existen estudios que han mostrado grandes variaciones del rendimiento de un lugar a otro como una función del tiempo de exposición. En Kuwait se encontró una reducción del 17% en la producción de energía de módulos fotovoltaicos debido a la acumulación de arena de más de seis días. También se han evaluado los efectos de la acumulación de polvo por más de un año en un colector solar térmico de placa plana y un panel fotovoltaico que comparte el edificio. Durante este período, se reportó una tasa de reducción de potencia 7% por mes para los módulos fotovoltaicos (Basant Raj Paudyal, 2016).

Cuando se instala un arreglo fotovoltaico, generalmente, el usuario debe hacerse cargo del mantenimiento preventivo para: 1). Mantener la instalación en un estado óptimo de conservación y funcionamiento similar al correspondiente a la puesta en marcha de dicha instalación. 2). Detectar a tiempo posibles anomalías o defectos que influyan negativamente en el rendimiento general de la instalación fotovoltaica y en su prestación de servicio. En la práctica, la presencia del usuario en instalaciones fotovoltaicas atendidas, es algo muy recomendable, para que conozca su instalación y pueda determinar la necesidad y periodicidad más conveniente de las tareas de mantenimiento. Cuando inspeccione deberá advertir al técnico ante cualquier indicio de degradación o alteración como rajaduras, oxidación, etc. El usuario debería hacer una inspección general del arreglo fotovoltaico de manera periódica para evitar el sombreado no previsto de los paneles debido a variaciones en la vegetación circundante, la colocación de objetos próximos, la acumulación prolongada y permanente de objetos y depósitos de suciedad en la superficie de los módulos por sus efectos análogos a los del sombreado.

La limpieza se debe realizar de forma manual, utilizando agua y productos no abrasivos, sin emplear estropajos que puedan dañar la superficie de los módulos. (Asociación de la industria fotovoltaica, 2010). Por otro lado, (Maza, 2013) recomienda hacer una inspección general 1 ó 2 veces al año para asegurarse que las conexiones estén bien ajustadas y libres de corrosión, y en la mayoría de los casos, la acción de la lluvia elimina la necesidad de limpieza de los paneles. Las pérdidas producidas por la suciedad llegan a ser de un 5% si se realiza una limpieza con agua (sin agentes abrasivos ni instrumentos metálicos) después de muchos días sin llover, una lluvia de fango o una nevada. En este estudio, se concluye que el polvo depositado en los paneles fotovoltaicos en Nuevo Vallarta, Nayarit, afecta la eficiencia de los paneles en 12.51% relativo a la eficiencia original y debe ser tomado muy en cuenta para los cálculos y el mantenimiento.

Fundamentos

La radiación que llega del sol a la tierra es la fuente principal de energía para la generación de los fenómenos en la atmósfera, en los océanos y, en general, para la vida en la tierra. (Juan Carlos Vega de Kuyper, 2015). La radiación que es importante para aplicaciones de energía solar es la emitida por el sol dentro de las regiones de ultravioleta, visible e infrarrojo, es decir entre 0.15 y 3 μm (150 y 3000 nm). La figura 1 muestra una curva estándar de la radiación solar extraterrestre promedio (1366.1 W/m^2) y su posición en el espectro de radiación electromagnética. (Maza, 2013).

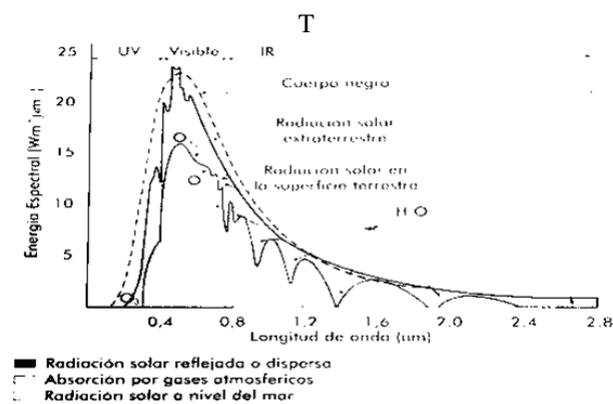


Gráfico 1 Distribución espectral de la radiación solar extraterrestre promedio (1366.1 W/m^2) a una distancia promedio tierra-sol

Fuente: (Maza, 2013)

La atmósfera es casi totalmente transparente a la radiación visible y a la infrarroja solar, pudiendo pasar gran parte del espectro solar en estas bandas directamente a la superficie terrestre, excepto cuando la atmósfera está parcial o totalmente cubierta de nubes o por cualquier otro constituyente que impida el paso de la luz. Conforme el espectro total de radiación solar (ultravioleta, UV, visible e infrarrojo, IR) penetra la atmósfera, se va modificando, de tal manera que gran parte de la radiación UV e IR son absorbidas, mientras que principalmente es la radiación visible la que llega a la superficie terrestre. El albedo de la tierra, es decir su brillo o capacidad de reflejar la energía es alrededor de un 30%, es decir, es devuelta al espacio por la reflexión de la tierra. El 70% de la energía restante es absorbida. En un día nublado se absorbe un porcentaje mucho más alto de energía, especialmente en la zona del infrarrojo.

En la radiación total que llega a la superficie terrestre, o radiación global, para su aprovechamiento energético, se distinguen dos componentes: radiación directa y radiación difusa. La componente directa es aquella que proviene del disco solar, atenuada en parte por la atmósfera. La componente difusa es la que llega a un plano horizontal, en todas las direcciones excepto la que corresponde al ángulo sólido subtendido por el disco solar.

Está integrada por la radiación desviada por las moléculas y partículas en suspensión y por la reflejada debido a la interacción entre la radiación directa y las nubes. (Pilar Pereda Suquet, 2009). Cuando la atmósfera está limpia y despejada, la radiación en una superficie de 1 m^2 perpendicular al sol, registra un valor de 1000 W/m^2 . (Maza, 2013).

La energía que proporciona el sol es la fuente de energía más limpia, inagotable y gratuita que se puede obtener en el planeta y por tanto debe de buscarse la manera de aprovecharla al máximo. (Rizo, 2014). No obstante, las políticas públicas de los gobiernos a nivel mundial no cambian en ningún sentido; se espera que el consumo energético mundial se incremente en 50% en el periodo entre 2005 y 2030, donde el petróleo y otros combustibles líquidos o sólidos seguirán siendo la principal fuente de energía mundial. Usar fuentes renovables de energía es muy atractivo desde distintos puntos de vista, sobre todo en los países con intenciones de reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero. (Zubicaray, 2012). Una de ellas es la Energía Solar Fotovoltaica.

Un sistema fotovoltaico es el conjunto de equipos eléctricos y electrónicos que producen energía eléctrica a partir de la radiación solar (Óscar Perpiñán Lamigueiro, 2012). El dispositivo básico de generación de electricidad fotovoltaica se denomina célula fotovoltaica, cuyo agrupamiento e interconexión formando una estructura compacta, manejable y resistente se denomina módulo o panel fotovoltaicos. Cuando se unen varios paneles fotovoltaicos en conexión ya sea serie o paralelo se le denomina arreglo o sistema fotovoltaicos.

Los sistemas fotovoltaicos a su vez se pueden clasificar en aislados o interconectados a la red. (Asociación de la industria fotovoltaica, 2010). Los sistemas fotovoltaicos aislados o autónomos no disponen de conexión alguna con la red eléctrica externa y se conforman por generador fotovoltaico, baterías y regulador de carga. (Aparicio, 2010) En los interconectados a red, su energía generada se vierte a la red eléctrica externa. La cantidad de energía solar aprovechable por un panel fotovoltaico depende, entre otros: de la tecnología del panel; es decir si es monocristalino, policristalino, etcétera. También de la orientación e inclinación del panel, de la ubicación; de tal forma que no reciba sombras durante el día, de la localización geográfica, la época del año, las condiciones meteorológicas y el grado de suciedad del panel. (Asociación de la industria fotovoltaica, 2010). Es este último factor el de interés en este artículo.

Desarrollo

El procedimiento seguido para determinar el factor de suciedad en un arreglo fotovoltaico de paneles de silicio policristalino fue el siguiente: Entre mayo y julio de 2015 se instalaron en la azotea del Laboratorio de Ingenierías de la Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas (UTBB): 3 piranómetros Kipp&Zonnen CMP3 para medir las irradiaciones global horizontal, difusa horizontal y global inclinada a 20°; también se instaló un arreglo o planta fotovoltaica de 3 kWp, un inversor Sunny boy de 3 kW y un WebBox para adquisición de datos. Con la información generada por todos esos equipos, se construyó un cuadro resumen que contiene datos de producción de energía suministrada al edificio por la planta e insolación recibida que permite determinar la eficiencia de dicha planta fotovoltaica día a día y sin limpieza de la misma.

A principios de marzo del 2016 se limpiaron los paneles con el chorro de agua y una esponja, durante la noche, cuando no había luz solar. Se observó al siguiente día un cambio en la eficiencia, la cual mejoró y se mantuvo así y prácticamente constante hasta fines de mayo del mismo año, cuando empezó la temporada de lluvias para este lugar.

Los datos de los paneles y del inversor se muestran en las tablas 1 y 2; en la tabla 3 los correspondientes a los piranómetros. Asimismo, en las figuras 1 y 2 se pueden ver los paneles y los piranómetros. También se muestran en la tabla 5 los valores de radiación incidente promedio mensual para superficies inclinadas apuntando al ecuador, ofrecidos por la NASA (<https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>, 2014) para la ubicación latitud 20.4° de Latitud y -105.28° de Longitud, que corresponden a la ubicación de esta Planta Fotovoltaica instalada en la azotea del Laboratorio de Ingenierías de la UTBB (PFV UTBB).

Módulo fotovoltaico marca Solartec		
Modelo	S60PC-250	
Tipo de celda	Policristalina	
Número de celdas	60	
Condiciones de medición	SCT	NOCT
Voltaje a circuito abierto (Voc)	36.30	36.24
Voltaje óptimo de operación (Vmpp)	30.60	30.54
Corriente a corto circuito (Isc)	8.71	6.98
Corriente óptima de operación (Impp)	8.17	6.55
Potencia máxima (W) = W pico	250	200
Eficiencia del módulo (%)	15.39	
Temperatura de operación	-40 a 90 °C	
Dimensiones y peso	1650x992x40 mm	23 kg
Área total de 12 paneles	19.64 m ²	
Carga máxima	2400 Pa	
Rendimiento garantizado	Año 1 mayor que 97.5%	

Tabla 1 Datos de los paneles fotovoltaicos

Fuente: Tomado de los propios equipos

Inversor marca SMA	
Modelo	Sunny Boy 3000 US, 240 VAC
Potencia máxima recomendada PV (SCT)	3750 W
Potencia máxima DC (NOCT)	3200 W
Voltaje máximo DC	500 V
Voltaje nominal DC	250 V
Rango de voltaje MPP	200 – 400 V
Voltaje mínimo de arranque	200 / 228 V
Potencia nominal de salida	3000 W
Potencia aparente máxima	3000 VA
Rango de voltaje AC	211 – 264 V
Rango de frecuencia de la red AC	59.3 – 60.5 Hz
Máxima corriente de salida	13 A
Factor de potencia	1
Fases de conexión	2
Eficiencia máxima	96.5 %

Tabla 2 Datos del inversor

Piranómetro Marca	Kipp&Zonnen
Modelo	CMP3
Clasificación ISO 9060:1990	Segunda clase
Rango espectral	300 a 2800 nm
Sensibilidad	5 a 20 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$
Rango de salida prevista (0 a 1500 W/m^2)	0 a 30 mV
Tiempo de respuesta (63% y 95%)	6s y 18s
Campo de visión	180°
Tipo de detector	Termopila
Aplicaciones recomendadas	Estaciones meteorológicas

Tabla 3 Datos de los piranómetros. Tomado del manual para el piranómetro CMP3



Figura 1 La planta fotovoltaica y los piranómetros

Mes	Radiación ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{día}$)	
	0°	20°
Ene	4.57	5.62
Feb	5.64	6.56
Mar	6.76	7.26
Abr	7.29	7.21
May	7.67	7.05
Jun	7.06	7.10
Jul	6.37	6.33
Ago	5.88	5.69
Sep	5.27	5.41
Oct	5.41	6.05
Nov	4.98	6.09
Dic	4.22	5.23
Prom	5.93	6.30

Tabla 4 Valores de radiación incidente promedio mensual para superficies inclinadas

El sistema fotovoltaico de 3 kWp que se instaló en la azotea del laboratorio de ingenierías de la UTBB es un sistema interconectado a la red (SFVCR), fijo, con los 12 paneles en serie con 367 VDC, dentro del rango óptimo de entrada de voltaje del inversor, el cual de acuerdo con la figura 3, tiene la siguiente secuencia:

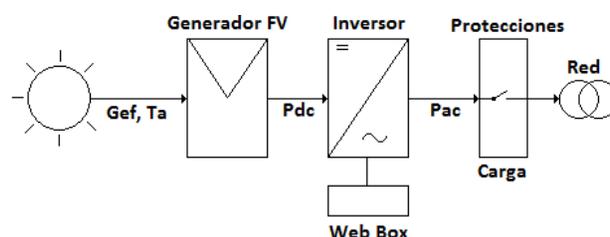


Figura 2 Esquema del sistema fotovoltaico interconectado a la red en el laboratorio de ingenierías de la UTBB

De acuerdo con (Óscar Perpiñán Lamigueiro, 2012), se utilizó el siguiente procedimiento para calcular la producción de este SFVCR, utilizando en primera instancia Insolaciones mensuales del sitio (<https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>, 2014) con inclinación 20° al sur, para cada periodo medido (Febrero, Marzo, Abril y Mayo) y de esa manera compararla contra la producción real para cada día y mes:

- Se debe determinar la “insolación efectiva incidente” en el plano del generador, o sea que es el resultado de tener en cuenta la inclinación y orientación del generador, las pérdidas por suciedad, transmitancia del vidrio y reflexión por incidencia no perpendicular.
- La temperatura ambiente a que está sometido el generador fotovoltaico.
- El impacto de sombras sobre el generador. En este caso, no se tiene este problema.
- El comportamiento eléctrico de generador fotovoltaico.
- La curva de eficiencia del inversor y su ventana de búsqueda del valor óptimo.
- La eficiencia del resto de componentes del sistema, principalmente cableado y transformador de BT/MT.

La insolación efectiva incidente del punto 1 anterior, no fue necesario calcularla, ya que se cuenta con un piranómetro CMP3 inclinado 20° hacia el sur que mide directamente la irradiancia y se determinó en base a sus lecturas la insolación día a día para esa inclinación y que corresponde a la columna “insolación Global medida recibida a 20° de inclinación” de las tablas 4 a 7.

Con relación a los efectos de los puntos 2 a 6 anteriores, se considera la tabla 6, que incluye todas las pérdidas de un sistema fotovoltaico:

Factor de pérdidas	Valor (%)
Dispersión de parámetros entre los módulos que componen el generador	2 - 4
Tolerancia de potencia de los módulos respecto a sus características nominales	3
Temperatura de funcionamiento de los módulos	5 - 8
Conversión DC/AC realizada por el inversor	8 - 12
Efecto Joule en los cables	2 - 3
Conversión BT/MT realizada por el transformador	2 - 3
Disponibilidad del sistema	0.5 - 1

Tabla 5 Valores recomendados para determinar el factor de pérdida PR en un SFVCR
Fuente: (Óscar Perpiñán Lamigueiro, 2012)

Una vez determinados estos factores, la energía producida por un SFVCR se calcula con la siguiente ecuación:

$$E_p = P_g * H * (1 - PR) (1 - FS) / 1000 \quad (1)$$

Dónde:

E_p Es la energía producida por el SFVCR

P_g Es la potencia nominal del generador FV ($12 * 250 W_p = 3000 W_p$)

H Es la insolación efectiva a 20° de inclinación, para cada día, valor dado por la NASA si es teórico.

PR Son las pérdidas en el sistema (Si consideramos los valores mínimos, $PR = 22.5\%$)

FS Es el factor de sombra (en este caso no hay sombras; $FS = 0$).

Resultados

La tabla 6 muestra el comportamiento promedio de la planta entre el 25 de febrero y el 7 de marzo, cuando los paneles estaban sucios y sin mantenimiento desde su instalación en julio del 2015 hasta febrero del 2016. Por otro lado, la tabla 7 muestra cómo se comportó la planta una vez que se limpiaron los paneles con agua y una esponja.

La tabla 8 muestra el comportamiento de este SFVCR utilizando el procedimiento de cálculo planteado en este trabajo y utilizando los datos de la planta y la NASA para este lugar, con los paneles sucios y para el periodo del 25 de febrero al 7 de marzo del 2016. Asimismo, la tabla 9, muestra el comportamiento, pero para el periodo del 8 de marzo al 31 de mayo del 2016.

FECHA: Del 25 de febrero al 7 de Marzo del 2016.	Producción de energía medida y entregada por la planta al edificio (kWh)	Insolación Global medida recibida a 20° de inclinación (kWh/m²)	Insolación Global Inclined recibida por la planta (kWh)	Eficiencia respecto a la Insolación Global a 20° de inclinación (%)	ps= paneles sucios, pl= paneles limpios.
Promedio	14.37	6.92	135.98	10.51	ps

Tabla 6 Comportamiento promedio de la planta del 25 de febrero al 7 de marzo del 2016 con los paneles sucios. Fuente Planta FV 3kWp y Piranómetros CMP3 en la UTBB.

FECHA: Del 8 marzo al 31 de mayo del 2016.	Producción de energía medida y entregada por la planta al edificio (kWh)	Insolación Global medida recibida a 20° de inclinación (kWh/m²)	Insolación Global Inclined recibida por la planta (kWh)	Eficiencia respecto a la Insolación Global a 20° de inclinación (%)	ps= paneles sucios, pl= paneles limpios.
Promedio	14.80	6.52	128.82	11.70	pl

Tabla 7 Comportamiento promedio de la planta del 8 de marzo al 31 de mayo del 2016 con los paneles limpios. Fuente Planta FV 3kWp y Piranómetros CMP3 en la UTBB

Descripción	Promedio
Producción de energía medida y entregada por la planta al edificio (Kw-h)	14.37
Producción teórica de la planta para el periodo medido de acuerdo con NASA (kW-h)	16.50
Eficiencia de la planta respecto a la NASA para el periodo medido (%)	87.11
Insolación Global medida recibida a 20° de inclinación (kW-h/m²)	6.92
Insolación Global Inclined recibida por la planta (kW-h)	135.98
Eficiencia respecto a la Insolación Global a 20° (%)	10.58
Insolación promedio de la NASA a 20° para el periodo medido en esta zona (kW-h/m2 día)	7.10

Tabla 8 Comportamiento del SFVCR con los paneles sucios

Descripción	Promedio
Producción de energía medida y entregada por la planta al edificio (Kw-h)	14.80
Producción teórica de la planta para el periodo medido de acuerdo con NASA (kW-h)	16.93
Eficiencia de la planta respecto a la NASA para el periodo medido (%)	88.68
insolación Global medida recibida a 20° de inclinación (kW-h/m ²)	6.52
Insolación Global Inclinada recibida por la planta (kW-h)	128.82
Eficiencia respecto a la Insolación Global a 20° (%)	11.70
Insolación promedio de la NASA a 20° para el período medido en esta zona (kW-h/m ² día)	7.28

Tabla 9 Comportamiento del SFVCR con los paneles limpios

Conclusiones

En las tablas 6 a 9 se observa como el comportamiento real de la planta mejora con la limpieza de los paneles y la eficiencia de la planta también lo hace. La producción de energía medida y entregada al Laboratorio de Ingenierías de la UTBB aumentó de 14.37 kWh a 14.80 kWh de un periodo al otro, no obstante que la insolación promedio disminuyó de 6.92 kWh/m² a 6.52 kWh/m². Esto es porque la eficiencia de la planta respecto a la insolación recibida por ella aumentó de 10.58% cuando los paneles estaban sucios, a 11.70% una vez limpiados y explica el comportamiento de la producción de energía. La eficiencia real al comparar ambos periodos aumentó entonces de 10.58% a 11.70% entre el periodo en que los paneles estaban sucios y el periodo en el que se mantuvieron limpios. Eso representa un 1.12% de mejora en la eficiencia total, pero representa un 10.59% de mejora respecto a la eficiencia original. Es importante hacer notar que los paneles solo se limpiaron una vez, la noche del 7 de marzo y con eso fue suficiente para mejorar y mantener dicha mejora en la eficiencia por dos meses, hasta que se presentó el periodo de lluvias, que a mantenido los paneles limpios hasta la fecha.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Universidad Tecnológica de Bahía de banderas por las facilidades otorgadas para la realización del presente trabajo y a los integrantes del cuerpo académico de Innovación y Aplicación Tecnológica, por los comentarios y sugerencias que permitieron la mejora del artículo.

Referencias

Ali Al Shehri, B. P. (2016). Impact of dust deposition and brush-based dry cleaning on glass. *Solar Energy, journal homepage: www.elsevier.com/locate/solener*, 8.

Aparicio, M. P. (2010). *Energía Solar Fotovoltaica*. Barcelona: Marcombo.

Asociación de la industria fotovoltaica. (2010). *Sistemas de Energía Fotovoltaica Manual del Instalador*. Sevilla, España: PROGENSA.

Basant Raj Paudyal, S. R. (2016). Dust accumulation effects on efficiency of solar PV modules for off grid. *Solar Energy, journal homepage: www.elsevier.com/locate/solener*, 8. <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>. (26 de noviembre de 2014). *Surface meteorology and Solar Energy - NASA*. Recuperado el 01 de junio de 2016, de <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>

Juan Carlos Vega de Kuyper, S. R. (2015). *Fuentes de energía, renovables y no renovables. Aplicaciones*. México, D. F.: Alfaomega.

Julius Tanesab, D. P. (2015). The contribution of dust to performance degradation of PV modules in a temperate climate zone. *Solar Energy, journal homepage: www.elsevier.com/locate/solener*, 11.

Maza, M. Á. (2013). *Energía Solar Fotovoltaica* (Segunda ed.). México: LIMUSA.

Óscar Perpiñán Lamigueiro, A. C. (2012). *Diseño de sistemas fotovoltaicos*. España: PROGENSA.

Pilar Pereda Suquet, A. P. (2009). *Proyecto y Cálculo de Instalaciones Solares Térmicas*. Madrid, España: Ediciones de arquitectura.

Rizo, J. F. (2014). *Energías Renovables, la única solución*. México, DF: De La Salle ediciones.

Zubicaray, M. V. (2012). *Energías eléctricas y renovables* (Cuarta ed.). México, D.F.: LIMUSA.

Auto calibración de encoder para el control de un generador eoloeléctrico basado en una máquina de inducción doblemente alimentada

Encoder auto calibration for the control of a wind generator based on a doubly fed induction machine

CALDERÓN, Gabriel†*, MINA, Jesús, HERNÁNDEZ, Oscar y LÓPEZ, Adolfo

Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Interior Internadao Palmira S/N, Palmira, 62490 Cuernavaca, Mor., México.

ID 1^{er} Autor: *Gabriel, Calderón*

ID 1^{er} Coautor: *Jesús, Mina*

ID 2^{do} Coautor: *Oscar, Hernández*

ID 3^{er} Coautor: *Adolfo, López*

DOI: 10.35429/JEE.2020.13.4.21.28

Recibido Julio 30, 2020; Aceptado Diciembre 30, 2020

Resumen

Para los generadores eoloeléctricos (Wind Energy Conversion Systems: WECSs), muchas propuestas se han desarrollado respecto al control, e.g. de la potencia activa/reactiva en un WECS interconectado a red. Algunos esquemas de control, como es el control vectorial que está basado en las transformaciones entre marcos de referencia ($abc \rightarrow dq$), suelen hacer uso de la velocidad y/o de la posición mecánica, así como de la posición angular del circuito rotórico. Dado que la posición del circuito rotórico no se puede obtener de manera directa, éste se suele calcular a partir de la posición generada por el encoder; sin embargo, la posición cero del encoder con la de los devanados del rotor generalmente no coincide. Este error crea problemas serios en el desempeño de los controladores del WECS, derivando incluso en daños severos. En este sentido, este trabajo aborda un algoritmo que permite determinar el error de posición de manera automática para su adecuada corrección dentro de los esquemas de control. De manera particular este algoritmo de corrección se prueba en un WECS basado en Generador de Inducción Doblemente Alimentado (DFIG), un convertidor back-to-back y control vectorial. Las pruebas se hacen a nivel simulación usando PSIM, para un WECS de 1/2HP.

Generador Eoloeléctrico, DFIG, Convertidor Back-to-Back, Control Vectorial, Encoder, Calibración

Abstract

For WECS (Wind Energy Conversion Systems), many proposals have been developed about the control, e.g. of active/reactive power in a grid-interconnected WECS. Some control schemes, such as vector control which is based on the transformations between reference frames ($abc \rightarrow dq$), often use the speed and/or the mechanical position, as well as the angular position of the rotor circuit. Since the position of the rotor circuit cannot be obtained directly, it is usually calculated from the position generated by the encoder; however, the zero position of the encoder with the position of the rotor windings generally do not match. This error leads to serious problems in the performance of the WECS controllers, deriving even in severe damages. In this sense, this paper proposes an algorithm to determine the position error automatically for appropriate correction within the control schemes. In particular this correction algorithm is tested in a WECS based on doubly fed induction generator (DFIG), a back-to-back converter and vector control. Tests are made in a simulation context using PSIM for a 1/2 HP WECS.

WECS, DFIG, Back-to-back Converter, Vector Control, Encoder, Calibration

Citación: CALDERÓN, Gabriel, MINA, Jesús, HERNÁNDEZ, Oscar y LÓPEZ, Adolfo. Auto calibración de encoder para el control de un generador eoloeléctrico basado en una máquina de inducción doblemente alimentada. Revista de Ingeniería Eléctrica. 2020. 4-13:21-28.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: gcalderon@cenidet.edu.mx)

Nomenclatura

v_a, v_b, v_c – voltajes trifásicos

$v_d, v_q, v_\alpha, v_\beta$ – voltajes bifásicos

i_a, i_b, i_c – corrientes trifásicas

i_d, i_q – corrientes bifásicas

ω_s – frecuencia angular del marco de referencia dq del estator

ω_r – frecuencia angular del marco de referencia dq del rotor

P, Q – potencia activa y reactiva

θ_m – posición angular mecánica del rotor

θ_{enc} – posición angular mecánica del encoder

θ_{cor} – diferencia de posición angular entre la posición del encoder y del eje del rotor

θ_r – posición angular entre el marco de referencia $\alpha\beta$ y el dq del rotor

$\lambda_d, \lambda_q, \lambda_\alpha, \lambda_\beta$ – enlaces de flujo bifásicos

r_s, r_r – resistencias de estator y de rotor

L_l, L_r, L_m – inductancias de estator, rotor y mutua

Introducción

El Sistema de Conversión de Energía Eólica (*Wind Energy Conversion System: WECS*), el cual se conforma de un Generador de Inducción Doblemente Alimentado (*Doubly Fed Induction Generator: DFIG*) y un convertidor electrónico de potencia *back-to-back* es el más utilizado en la actualidad de acuerdo con (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2012). Algunas de las principales características de esta configuración son: que puede entregar a la red una potencia superior a la potencia nominal de la máquina a velocidades super-síncronas y que la potencia manejada por el convertidor oscila alrededor del 30% de la potencia nominal de la máquina; lo cual hace a esta configuración económicamente atractiva (Vidal, Abad, Arza, & Aurtenechea, 2013). El esquema general de esta configuración se ilustra en la Figura 1.

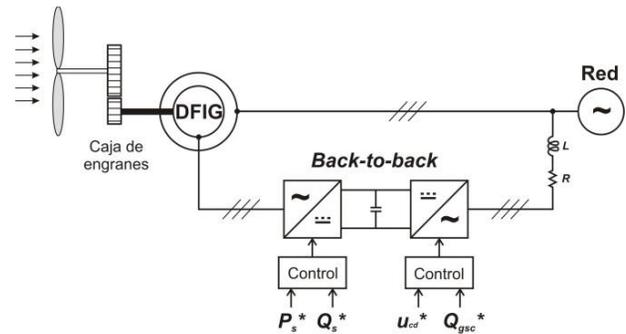


Figura 1 WECS de velocidad variable con convertidor de frecuencia de escala parcial

En el caso de WECS interconectados a red, los objetivos básicos de control suelen ser (Munteanu, Cutululis, Bratcu, & CeangĂ, 2008; Wright & Fingersh, 2008): seguimiento del punto de máxima potencia y manejo de la transferencia de energía entre el WECS y la red eléctrica (control de potencia activa y reactiva). Respecto al último objetivo de control, la técnica más utilizada en máquinas de CA para aplicaciones eólicas es el *control vectorial* (Abad, López, Rodríguez, Marroyo, & Iwanski, 211AD). El control vectorial se basa en la representación del modelo y variables del generador eléctrico, en un sistema coordenado bifásico dq , que se caracteriza por ser ortogonal. Esta representación bifásica permite el diseño de controladores desacoplados para las corrientes y con diversos objetivos de control, que resultan ser muy precisos, tanto en estado estable como en estado transitorio (Ademi & Jovanovic, 2014; Pena, Clare, & Asher, 1996), (Pena et al., 1996), (Calderón, Mina, Calleja, & Adolfo, 2014).

Como se mencionó, el control vectorial está basado en las transformaciones entre marcos de referencia ($abc \rightarrow dq$), en donde un aspecto clave es la determinación del ángulo del vector del marco de referencia.

Muchas propuestas de control vectorial de WECS requieren de la posición angular del circuito rotórico, sin embargo, ésta no se puede obtener de manera directa y se suele calcular a partir de la posición mecánica provista por un encoder. A pesar de que la idea es sencilla y válida, no obstante, la posición cero del encoder con la de los devanados del rotor generalmente no coincide, lo cual genera un *error de posición* que no es fácil determinar y que se propaga en todas las transformaciones de coordenadas y en el sistema de control, deteriorando el desempeño de los controladores e incluso provocando daños severos en el WECS.

Uno de los enfoques que sobresalen en la literatura para determinar la correcta posición y velocidad mecánica es el llamado *sensorless*, que se basa en estimadores diseñados a partir de los parámetros y variables eléctricas de la máquina (Ataji, Miura, Toshifumi, & Tanaka, 2016), (Mwinyiwiwa, Zhang, Shen, & Ooi, 2009); sin embargo, sus inconvenientes son que el diseño de estos estimadores es complejo y demanda altos recursos computacionales, además de que son susceptibles a variaciones paramétricas y errores de medición. Por otra parte, existen opciones en donde se sigue haciendo uso de un encoder pero se recurre a un mecanismo de calibración basado en las variables eléctricas de la máquina, uno de estos ejemplos es el de (Konghirun, 2005), sin embargo, como éste, la información que proveen sobre el mecanismo de calibración es muy vaga.

En este sentido, en este trabajo se aborda la calibración de un encoder tipo incremental, tomando en consideración que para el control del WECS se hace uso de la técnica de *control vectorial*. Esto es importante, puesto que el mecanismo de auto-calibración propuesto se basa en la teoría de los marcos de referencia.

Por otro lado, también se resalta que dicho mecanismo lleva a cabo la auto-calibración del encoder en la etapa del arranque del WECS.

El trabajo está organizado como sigue. En la sección 2 se aborda el modelado del DFIG. En la sección 3 se proveen los argumentos teóricos sobre la necesidad de la calibración del encoder, así como la explicación del esquema de auto-calibración propuesto. En la sección 4 se llevan a cabo pruebas de simulación implementadas en PSIM para evaluar el funcionamiento del esquema de calibración propuesto. Finalmente, en la sección 5 se dan las conclusiones del trabajo.

Modelado del DFIG

De acuerdo con el modelo trifásico del DFIG dado en (Krause, Wasynczuk, & Sudhoff, 2002) y que se omite aquí por razones de espacio, éste puede re-escribirse en un marco de referencia arbitrario dq , tal y como se muestra en (1).

$$\begin{aligned}
 v_{ds} &= r_s i_{ds} - \omega_s \lambda_{qs} + \lambda'_{ds} \\
 v_{qs} &= r_s i_{qs} + \omega_s \lambda_{ds} + \lambda'_{qs} \\
 v_{dr} &= r_r i_{dr} - (\omega_s - \omega_r) \lambda_{qr} + \lambda'_{dr} \\
 v_{qr} &= r_r i_{qr} + (\omega_s - \omega_r) \lambda_{dr} + \lambda'_{qr} \\
 \lambda_{ds} &= (L_{ls} + \frac{3}{2} L_{ms}) i_{ds} + \frac{3}{2} L_{ms} i_{dr} \\
 \lambda_{qs} &= (L_{ls} + \frac{3}{2} L_{ms}) i_{qs} + \frac{3}{2} L_{ms} i_{qr} \\
 \lambda_{dr} &= (L_{lr} + \frac{3}{2} L_{ms}) i_{dr} + \frac{3}{2} L_{ms} i_{ds} \\
 \lambda_{qr} &= (L_{lr} + \frac{3}{2} L_{ms}) i_{qr} + \frac{3}{2} L_{ms} i_{qs}
 \end{aligned} \tag{1}$$

El objetivo de emplear un modelo dq en lugar del modelo trifásico, es para facilitar el diseño de los controladores, ya que al aplicar la transformación ($abc \rightarrow dq$), se obtiene un modelo dinámico de dos fases (componentes) y se logra el desacoplamiento de ciertas variables de interés, lo cual permite eliminar dependencias existentes en el modelo abc .

Calibración del encoder

De acuerdo con el esquema del WECS de la Figura 1, el propósito del RSC es controlar la potencia activa y reactiva del devanado del estator en un amplio margen de velocidades de la máquina, tanto por encima como por debajo de la velocidad de sincronismo. De forma similar, el control del GSC se encarga de mantener el voltaje del bus de cd en un nivel constante, al mismo tiempo que mantiene regulada la potencia reactiva a la salida del convertidor.

Considerando un sistema WECS donde todos los objetivos de control se logran mediante el uso del control vectorial, la orientación del modelo a un marco de referencia particular, así como las transformaciones entre marcos de referencia $abc \leftrightarrow dq$ cobran importante relevancia. En este sentido, las transformaciones que involucran al marco de referencia arbitrario requieren de la variable θ_r (para el caso del RSC), tal y como se puede apreciar en la Figura 2. Un valor erróneo de θ_r ocasionará que el desempeño de los controladores, y en consecuencia de todo el sistema WECS, sea severamente deficiente, pudiendo ocasionar, en el peor de los casos, averías en la DFIG o en el convertidor.

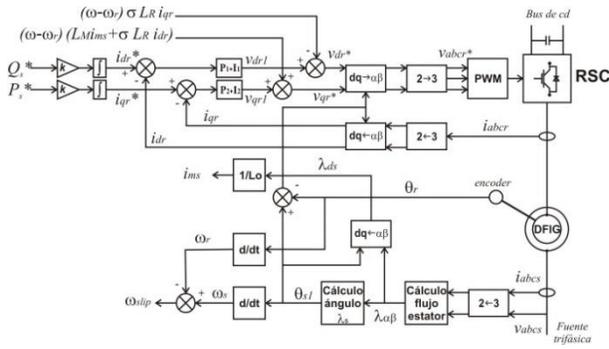


Figura 2 Esquema de control del RSC empleando el marco de referencia orientado al flujo del estator
Fuente: Basado en (Calderón et al., 2014)

Los errores en el valor de la variable θ_r surgen en el acoplamiento mecánico del encoder con la flecha del rotor del DFIG. Al llevar a cabo este acoplamiento es casi improbable que la posición cero del encoder coincida con la posición cero de los devanados trifásicos del rotor (véase Figura 3). La alineación entre estas dos posiciones cero es importante para la adecuada implementación de las transformaciones entre los diferentes marcos de referencia.

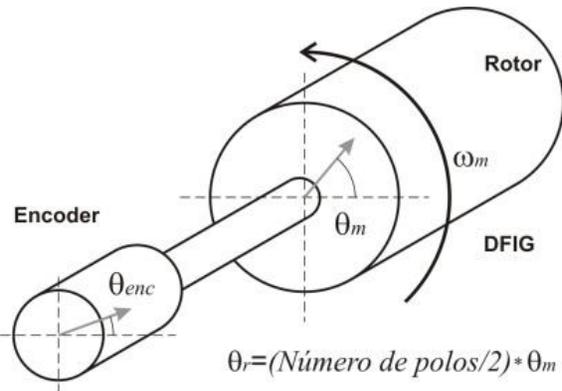


Figura 3 Representación de las alineaciones del encoder con el eje de los devanados de rotor

En la Figura 4a se puede observar un diagrama vectorial en el cual se aprecian las posiciones teóricas ideales de las variables eléctricas del rotor en los diferentes marcos de referencia. La atención se centra en la posición angular θ_r , ya que ésta es fundamental en el control vectorial del RSC.

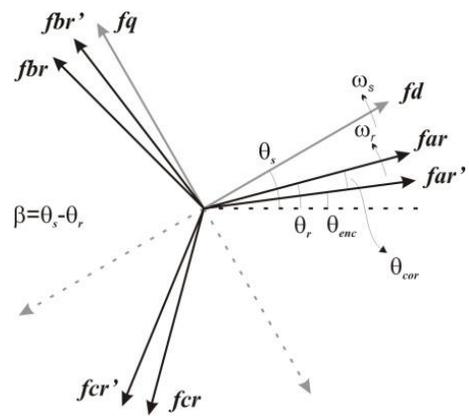
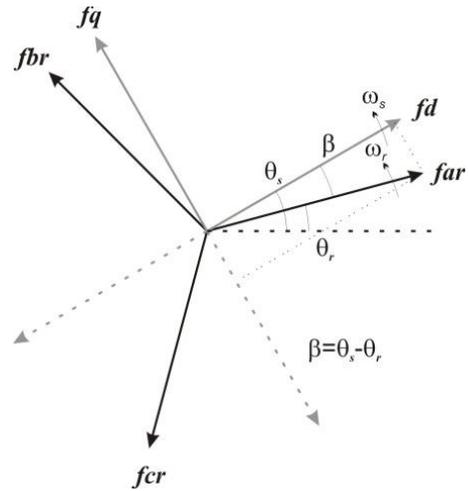


Figura 4 Representación vectorial de las variables del rotor. (a) Sin error de posición. (b) Con error de posición

Por otra parte, en la Figura 4b se puede observar el diagrama vectorial que se deriva de un acoplamiento donde la posición cero del encoder no se encuentra alineada con la posición cero de los devanados del rotor. En este sentido, es necesario determinar el error de posición (θ_{cor}) y usarse como un ángulo de corrección al momento de llevar a cabo las transformaciones entre marcos de referencia.

El mecanismo de auto-calibración que se propone está basado en un procedimiento de prueba sobre la DFIG, que se lleva a cabo en la etapa de arranque y se centra en el análisis de algunas de las variables del circuito rotórico y del estator. Las condiciones de dicha prueba son las que se listan a continuación:

- Se establece un voltaje trifásico constante en terminales de rotor. No se requiere definir un valor en particular.
- La velocidad mecánica aplicada al DFIG debe ser constante. No se requiere definir un valor en particular.

- Los devanados de estator deben estar en condiciones de circuito abierto (sin carga o sin flujo de corriente). Es decir, la máquina describe un comportamiento similar al de un transformador, por lo que la tensión en terminales de estator es un voltaje inducido debido al voltaje en terminales de rotor.

Con la máquina trabajando bajo dichas condiciones de operación, el cálculo del ángulo del rotor se basa en la estimación del flujo de rotor mediante dos métodos. En el *primer método* se toman en cuenta las ecuaciones de λ_{dr} y λ_{qr} dadas en (1), las cuales se re-escriben aquí:

$$\begin{aligned}\lambda_{dr} &= (L_{lr} + \frac{3}{2}L_{ms})i_{dr} + \frac{3}{2}L_{ms}i_{ds} \\ \lambda_{qr} &= (L_{lr} + \frac{3}{2}L_{ms})i_{qr} + \frac{3}{2}L_{ms}i_{qs}\end{aligned}\quad (2)$$

Dado que no hay flujo de corriente a través del estator, la expresión (2) se reduce a:

$$\begin{aligned}\lambda_{dr} &= (L_{lr} + \frac{3}{2}L_{ms})i_{dr} \\ \lambda_{qr} &= (L_{lr} + \frac{3}{2}L_{ms})i_{qr}\end{aligned}\quad (3)$$

A partir de la cual se puede obtener el ángulo del rotor como sigue

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{\lambda_{qr}}{\lambda_{dr}}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{\lambda_{\beta r}}{\lambda_{\alpha r}}\right)\quad (4)$$

Nótese de (4) que θ_1 se puede calcular en términos de las variables dq o en términos de las variables $\alpha\beta$ del marco estacionario, el cálculo es indistinto dado que las variables de rotor son vistas como un marco de referencia estacionario.

Por otra parte, considerando las expresiones para el flujo de estator dadas en (1) y que se reescriben aquí

$$\begin{aligned}\lambda_{ds} &= (L_{ls} + \frac{3}{2}L_{ms})i_{ds} + \frac{3}{2}L_{ms}i_{dr} \\ \lambda_{qs} &= (L_{ls} + \frac{3}{2}L_{ms})i_{qs} + \frac{3}{2}L_{ms}i_{qr}\end{aligned}$$

Éstas también pueden reducirse tomando en consideración que $i_{ds} = i_{qs} = 0$, resultando

$$\begin{aligned}\lambda_{ds} &= \frac{3}{2}L_{ms}i_{dr} \\ \lambda_{qs} &= \frac{3}{2}L_{ms}i_{qr}\end{aligned}\quad (5)$$

Hasta aquí, es importante observar que tanto los flujos de rotor como de estator expresados en (3) y (5) se calculan en función de i_{dr} e i_{qr} ; lo cual se traduce en que los correspondientes vectores espaciales λ_s y λ_r serán de diferentes magnitudes, pero *ambos estarán en fase*. Lo anterior puede apreciarse de manera visual mediante el diagrama vectorial de la Figura 5.

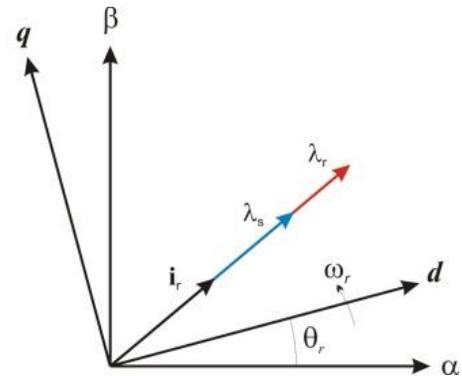


Figura 5 Alineación de los vectores de flujo de rotor y estator considerando corrientes de estator igual a cero

La conclusión más importante del análisis previo es, que, bajo las condiciones de la prueba propuesta, ambos vectores espaciales (λ_s y λ_r) poseen la misma posición angular, así es que el cálculo de la posición angular de uno u otro es indistinto y/o se puede calcular mediante variables de flujo de rotor por un lado, y mediante variables del flujo de estator por otro. Así, aquí se tomará como primer método el basado en las ecuaciones dadas en (3) y (4).

De acuerdo con lo mencionado previamente, como *segundo método* para estimar la posición del vector espacial del flujo del rotor, éste se lleva a cabo mediante las variables del flujo de estator; el cual se plantea en término de las ecuaciones $\alpha\beta$ del voltaje de estator dadas en (1). En este sentido, los flujos $\alpha\beta$ de estator se calcularían como sigue

$$\begin{aligned}\lambda_{\alpha s} &= \int (v_{\alpha s} - r_s i_{\alpha s}) dt \\ \lambda_{\beta s} &= \int (v_{\beta s} - r_s i_{\beta s}) dt\end{aligned}\quad (6)$$

Los cuales, debido a las corrientes cero en el estator, se reducen a

$$\begin{aligned}\lambda_{\alpha s} &= \int v_{\alpha s} dt \\ \lambda_{\beta s} &= \int v_{\beta s} dt\end{aligned}\quad (7)$$

Por otro lado, dado que los voltajes de estator son inducidos por los devanados de rotor, los cuales giran a una velocidad ω_r , entonces es necesario calcular las versiones dq del flujo de estator a partir de sus componentes $\alpha\beta$ mediante: $K_T(\theta_r): f_{\alpha\beta} \rightarrow f_{dq}$; a partir de las cuales se puede calcular el ángulo correspondiente de acuerdo con:

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{\lambda_{qs}}{\lambda_{ds}} \right) \quad (8)$$

Con la definición de dos métodos diferentes para calcular el ángulo de la posición angular del vector del circuito rotórico, lo que se logra es que para el mecanismo de calibración, el primer método, ecuaciones (3) y (4), se usa como modelo de referencia; mientras que el segundo método, ecuaciones (7) y (8), se usa como un modelo de adaptación. El esquema del mecanismo de calibración se muestra en la Figura 6.

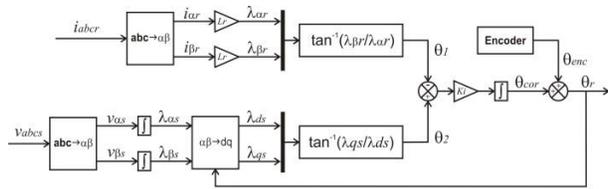


Figura 6 Diagrama a bloques para la calibración del encoder

En el modelo de adaptación, el ajuste se hace en la transformación $\alpha\beta \rightarrow dq$ del flujo de estator, el cual depende del ángulo θ_r ; el cual a su vez, depende del ángulo provisto por el encoder (θ_{enc}) y del ángulo de corrección (θ_{cor}). Cuando el modelo de adaptación converge, significa que se tiene una diferencia constante entre θ_1 y θ_2 , cuyo valor corresponde al ángulo θ_{cor} .

Finalmente, es preciso destacar que, una vez concluido el proceso de calibración, éste no tendrá que repetirse en caso de que todo el sistema WECS sea des-energizado; esto debido a que el encoder incremental cuenta con un pin, comúnmente llamado *Z Index*, el cual envía un pulso lógico cuando éste ha rotado una revolución. La presencia de este pulso atiende a una posición angular, la cual está físicamente definida por el hardware del encoder.

Resultados de simulación

A continuación, se muestran resultados de simulación implementados en el software PSIM para un WECS de velocidad variable basado en un DFIG de 1/2 HP, el cual es controlado mediante un convertidor del lado del rotor (RSC).

Para las pruebas de simulación se considera una velocidad mecánica de 2200 rpm y un voltaje de línea trifásico en devanados de rotor de 15 *Vrms*. Puesto que estamos tratando con pruebas de simulación, se establece intencionalmente un desfase de 1.5 radianes entre el cero del encoder y el cero de los devanados de rotor. Los parámetros utilizados son mostrados en el Anexo.

En el Gráfico 1 se pueden observar las posiciones espaciales de los vectores de flujo de rotor y estator, obtenidos a partir de las ecuaciones (4) y (8), respectivamente. El desfase entre estas dos posiciones es de 1.5 radianes y corresponde con el desfase establecido en la simulación.

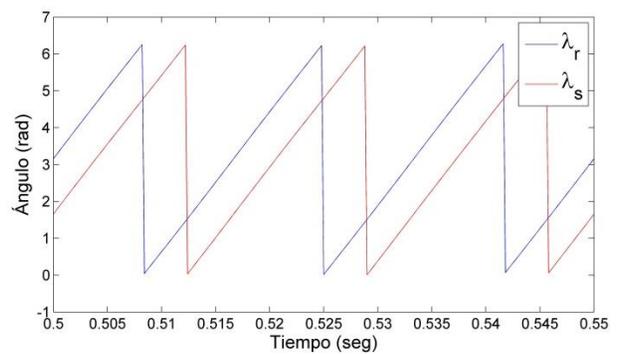


Gráfico 1 Desfase entre las posiciones de los vectores de flujo de rotor y flujo de estator, considerando una desalineación entre el encoder y los devanados del rotor.

En el Gráfico 2 se muestra el resultado de aplicar el método propuesto de calibración del encoder, en donde se observa que las posiciones angulares de ambos flujos (rotor y estator) están en fase.

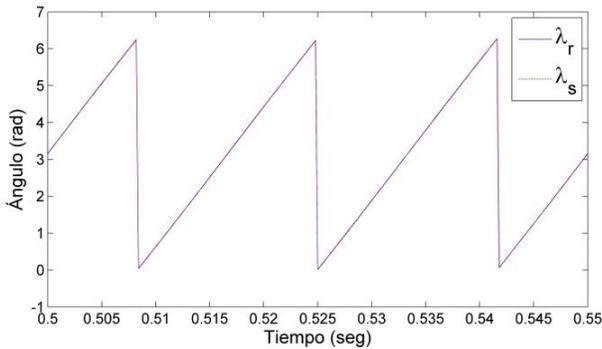


Gráfico 2 Posiciones en fase de los vectores de flujo de rotor y flujo de estator, habiendo efectuado el proceso de calibración del encoder

Finalmente, a fin de valorar el efecto del error de posición, en el Gráfico 3 se observa el comportamiento de las corrientes de rotor, que es una de las variables eléctricas más representativas en lo referente al control del WECS.

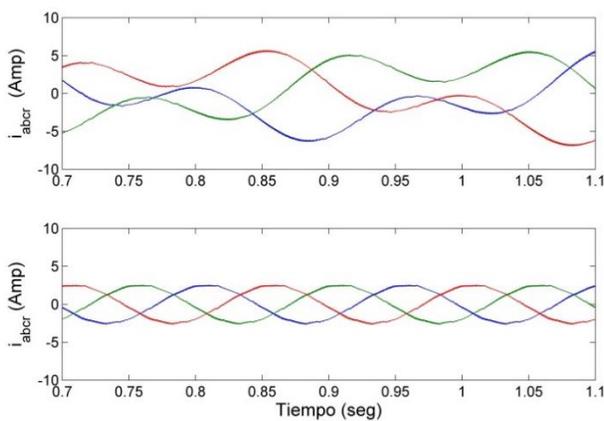


Gráfico 3 Comportamiento dinámico de las corrientes trifásicas de rotor. Superior: Con encoder desalineado. Inferior: Con encoder calibrado

Se puede observar del Gráfico 3 que cuando la calibración del encoder no es considerada, la magnitud de las corrientes de rotor se eleva y principalmente sufren distorsiones. Este tipo de situaciones varían con el grado del error de posición, pero, sobre todo, pueden ser perjudiciales cuando se trata de probar los sistemas de control del WECS.

Conclusiones

En este artículo se ha presentado el algoritmo de calibración de un encoder de tipo incremental, el cual está acoplado al eje del rotor de un DFIG. En primera instancia, se planteó el modelo del DFIG en el marco de referencia arbitrario dq ; posteriormente, se establecieron las condiciones de operación de la máquina eléctrica para poder establecer el algoritmo de calibración.

Dicha calibración se realizó a través de los devanados de rotor, por lo que estos se energizaron con un voltaje trifásico balanceado, estableciendo una velocidad mecánica constante y teniendo los devanados de estator en circuito abierto.

Partiendo de las consideraciones de prueba, descritas previamente, se encontró que los vectores espaciales del flujo de rotor y de estator deberían tener la misma posición angular. Este principio llevó a la posibilidad de plantear dos formas de cálculo de dicho ángulo de posición, en donde un primer método se consideró como modelo de referencia y el segundo método como modelo de adaptación. La particularidad del modelo de adaptación es que éste depende del ángulo estimado de la posición angular del circuito rotórico el cual a su vez depende del ángulo provisto por el encoder.

Con esto se logra que la diferencia entre las posiciones generadas por los dos métodos, implícitamente se traduzca en el valor del ángulo de error (θ_{cor}), que es el desfase que existe entre el cero del encoder con el cero de los devanados de rotor.

Por su parte, las pruebas de simulación demostraron el correcto funcionamiento del algoritmo de calibración propuesto; en donde, además, se destacó que si este error de posición no se corrige el desempeño de los controles del WECS se pueden ver comprometidos, derivando incluso en averías irreversibles en algún punto del sistema.

Finalmente, se resalta también que el proceso de calibración se lleva a cabo una sola vez, bajo una condición de prueba o de arranque del WEC, y que no se tiene que repetir aun si el WECS fuese des-energizado. No obstante, si se llevase a cabo un cambio físico en la posición del encoder o del rotor de la DFIG, e.g. por acciones de mantenimiento, entonces el proceso de calibración tendrá que llevarse a cabo de nueva cuenta.

Anexo**Parámetros de simulación**

$$r_s = 0.343 \, \Omega, r_r = 0.312 \, \Omega$$

$$L_{ls} = L_{lr} = 1.198 \, mH$$

$$L_{ms} = 38.62 \, mH$$

$$\text{No. de polos (DFIG)} = 2$$

$$\text{Inercia (DFIG)} = 0.00336 \, J$$

$$\text{Fricción (DFIG)} = 0.01 \, Nm \cdot seg$$

$$\text{Potencia (DFIG)} = 1/2 \, HP$$

$$\text{Vestator} = 42 \, Vf \cdot f_{rms}$$

$$\text{Vel. nom. (DFIG)} = 3600 \, rpm$$

$$K_i = 70$$

Referencias

Abad, G., López, J., Rodríguez, M. A., Marroyo, L., & Iwanski, G. (211AD). *Doubly Fed Induction Machine Modeling and Control for Wind Energy Generation* (1st ed.). Wiley-IEEE Press.

Ademi, S., & Jovanovic, M. (2014). Vector Control Methods for Brushless Doubly-Fed Reluctance Machines. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, *PP(99)*, 9.

Ataji, A., Miura, Y., Toshifumi, I., & Tanaka, H. (2016). A Rotor Current-Based Slip Angle Estimator for Grid-Connected Doubly-Fed Induction Generator Requiring the Stator Inductance Only. *IEEE Transactions on Power Electronics*, *PP(99)*, 1–1.

Calderón, G., Mina, J., Calleja, J. H., & Adolfo, L. (2014). Modelado y simulación de un Sistema de Conversión de Energía Eólica de velocidad variable interconectado a la red eléctrica. In *Congreso Latinoamericano de Control Automático* (p. 6).

Konghirun, M. (2005). Automatic Offset Calibration of Quadrature Encoder Pulse Sensor for Vector Controlled Drive of Permanent Magnet Synchronous Motors. In *TENCON 2005 - 2005 IEEE Region 10 Conference* (pp. 1–5).

Krause, P. C., Wasynczuk, O., & Sudhoff, S. D. (2002). *Analysis of Electric Machinery and Drive Systems*. (M. E. El-Hawary, Ed.) (Second). John Wiley and Sons.

Munteanu, I., Cutululis, N.-A., Bratcu, A. I., & Ceangă, E. (2008). *Optimal Control of Wind Energy Systems*. Springer.

Mwinyiwiwa, B., Zhang, Y., Shen, B., & Ooi, B.-T. (2009). Rotor Position Phase-Locked Loop for Decoupled P-Q Control of DFIG for Wind Power Generation. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, *24(3)*, 758–765.

Pena, R., Clare, J. C., & Asher, G. M. (1996). Doubly fed induction generator using back-to-back PWM converters and its application to variable speed wind-energy generation. *IEE Proceedings -Electric Power Applications*, *143(3)*, 231–241.

Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. (2012). *Renewables 2012, Global Status Report, REN21*.

Vidal, J., Abad, G., Arza, J., & Aurtenechea, S. (2013). Single-Phase DC Crowbar Topologies for Low Voltage Ride Through Fulfillment of High-Power Doubly Fed Induction Generator-Based Wind Turbines. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, *28(3)*, 13.

Wright, A. D., & Fingersh, L. J. (2008). Advanced Control Design for Wind Turbines Part I: Control Design, Implementation, and Initial Tests. In *Technical Report of National Renewable Energy Laboratory* (p. 98).

Instrucciones para la Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

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

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

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

International Identification of Science - Technology and Innovation

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

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

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

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

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

Resumen (En Español, 150-200 palabras)

Objetivos
Metodología
Contribución

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

Resumen (En Inglés, 150-200 palabras)

Objetivos
Metodología
Contribución

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

Citación: Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Autor†*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2do Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3er Coautor. Título del Artículo. Revista de Ingeniería Eléctrica. 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]

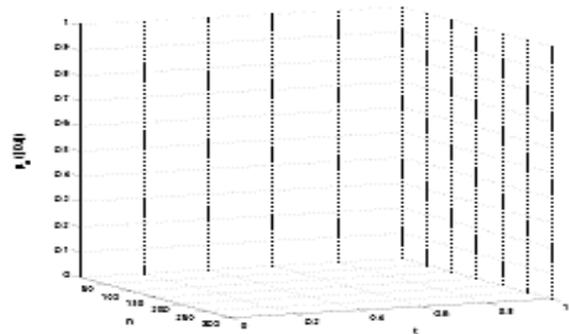


Gráfico 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

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.

Agradecimiento

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

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

Copyright y Acceso

La publicación de este Artículo supone la cesión del copyright a ECORFAN-Mexico, S.C en su Holding Perú para su Revista de Ingeniería Eléctrica, 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 hacer Científico, Tecnológica y de Innovación del Autor.

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

Responsabilidades de los Autores

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

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

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

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

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

Servicios de Información

Indización - Bases y Repositorios

RESEARCH GATE (Alemania)

GOOGLE SCHOLAR (Índices de citas-Google)

MENDELEY (Gestor de Referencias bibliográficas)

HISPANA (Información y Orientación Bibliográfica-España)

Servicios Editoriales

Identificación de Citación e Índice H

Administración del Formato de Originalidad y Autorización

Testeo de Artículo con PLAGSCAN

Evaluación de Artículo

Emisión de Certificado de Arbitraje

Edición de Artículo

Maquetación Web

Indización y Repositorio

Traducción

Publicación de Obra

Certificado de Obra

Facturación por Servicio de Edición

Política Editorial y Administración

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

ECORFAN®

Editor en Jefe

QUINTANILLA - CÓNDOR, Cerapio. PhD

Directora Ejecutiva

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Diseñador Web

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

Diagramador Web

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Asistente Editorial

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

Traductor

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

Filóloga

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

Publicidad y Patrocinio

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

Licencias del Sitio

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

Oficinas de Gestión

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

Revista de Ingeniería Eléctrica

“Análisis de la resistencia de piezas soldadas por el proceso de resistencia eléctrica”

MEDINA-MENDOZA, José Antonio, MÉNDEZ-MACÍAS, Gerardo y HERRERA-REYES, Naieli

Universidad Tecnológica del Norte de Aguascalientes

“Eficiencia en la producción de energía de un panel fotovoltaico a diferente inclinación en Nuevo Vallarta, Nayarit”

FLETES, Noé, PAREDES, César y DIBENE, Luis

Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas

“Efectos del polvo en el desempeño de un arreglo fotovoltaico instalado en un clima costero”

DIBENE-ARRIOLA, Luis, PAREDES-VÁZQUEZ, César y MESSINA-LÓPEZ, Víctor

“Auto calibración de encoder para el control de un generador eoloelectrico basado en una máquina de inducción doblemente alimentada”

CALDERÓN, Gabriel, MINA, Jesús, HERNÁNDEZ, Oscar y LÓPEZ, Adolfo

Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico

