



# Desarrollo Tecnológico e Investigación Aplicada – B

*1er Simposio Internacional de Desarrollo Tecnológico*

*Compilador  
Rogelio Campos López*



## **Desarrollo Tecnológico e Investigación Aplicada - B**

1er Simposio Internacional de Desarrollo Tecnológico

Universidad Politécnica del Bicentenario  
Carretera Estatal Silao-Romita Km. 2  
San Juan de los Durán, Silao de la Victoria, Guanajuato, México  
C.P. 36283  
[www.upbicentenario.edu.mx](http://www.upbicentenario.edu.mx)

Primera edición 2014

ISBN 978-607-96471-8-6 Desarrollo Tecnológico e Investigación Aplicada - B

Se autoriza el uso y contenido de esta obra, siempre y cuando se cite la fuente

# ÍNDICE

Prólogo .....	4
Análisis estructural de cambiadores de derivación en transformadores de alta potencia. ....	6
Elaboración de un divisor de voltaje para la comunicación de un panel fotovoltaico a una tarjeta Arduino.....	11
Diseño de Colector Cilindro Parabólico de Bajo Costo para Aplicaciones Industriales de Baja Demanda Energética. ....	14
Interfaz de Comunicación de un Panel Fotovoltaico Mediante el Uso de Labview.....	18

## Prólogo

El objetivo de la presente administración federal es llevar a México a su máximo potencial en un sentido amplio, además del crecimiento económico o el ingreso, factores como el desarrollo humano, la igualdad sustantiva entre mujeres y hombres, la protección de los recursos naturales, la salud, educación, participación política y seguridad, forman parte integral de la visión que se tiene para alcanzar dicho potencial como se plasma en el Plan Nacional de Desarrollo 2013 – 2018 (PND, 2013). En este ámbito se han planteado cinco metas nacionales (México en paz, México incluyente, México con educación de calidad, México prospero, México con responsabilidad social), divididas en objetivos, estrategias y líneas de acción. En la meta nacional de México con educación de calidad en el objetivo 3.5 que describe como hacer del desarrollo científico, tecnológico y la innovación pilares para el progreso económico y social sostenible. Con estas acciones se hace evidente el compromiso del gobierno federal en el apoyo al desarrollo tecnológico como una estrategia primordial en el desarrollo integral de la sociedad mexicana. En el Plan Estatal de Desarrollo del Estado de Guanajuato 2035 (PLAN 2035, 2013) se definen estrategias y proyectos para vincular la economía con el humanismo a través del conocimiento y así tener al desarrollo humano y social como eje rector del desarrollo sustentable, equilibrado y equitativo en el estado, en este plan se describen cinco dimensiones estratégicas (humana y social, administración pública y estado de derecho, economía y medio ambiente y territorio), a su vez para cada dimensión se establecen componentes con sus objetivos estratégicos y particulares definiéndose líneas de acción para estos, es así como el gobierno del estado de Guanajuato en concordancia con el plan nacional de desarrollo define sus acciones para elevar la calidad de vida de la población. Con esta visión, el estado de Guanajuato asume la importancia de la divulgación del quehacer científico como una herramienta de integración de los sectores académico, productivo y social en busca del desarrollo sustentable, equilibrado y equitativo en el estado.

Fresán-Orozco (2004) describe el extensionismo universitario como una función estratégica que articula la docencia y la investigación con los sectores económicos productivo, social y el mismo académico, esto con el objetivo de la consolidación de la misma universidad y el desarrollo de las regiones.

Sifuentes et al. (2011) describen el extensionismo universitario como la proyección de la cultura universitaria hacia la sociedad con la finalidad de contribuir al desarrollo del entorno a través de varias actividades.

Los Comités Interinstitucionales para la Evaluación de la Educación Superior (CIEES) dentro de su marco de referencia mencionan que las Instituciones de Educación Superior (IES) deben realizar actividades de difusión que comuniquen a la sociedad los valores de la cultura tecnológica a través de

artículos, reportes de investigación, publicaciones periódicas, libros de texto, conferencias, exposiciones, congresos, etcétera.

La Universidad Politécnica del Bicentenario (UPB) pretende vincular a los sectores académico, productivo y social de la región del municipio de Silao de la Victoria Guanajuato a través de la realización de un Simposio Internacional de desarrollo tecnológico para discutir las acciones de desarrollo tecnológico implementadas en la región con entes de otras regiones del país y el mundo midiendo el impacto de estas acciones en el desarrollo comunitario de su zona de influencia.

*Secretaría Académica*

*Noviembre 2014*

# Análisis estructural de cambiadores de derivación en transformadores de alta potencia.

<sup>1</sup>Escalera-Rodríguez Hugo Enrique, Vázquez-Toledo Moisés.

<sup>1</sup>Ingeniería en Diseño Industrial, Universidad Politécnica del Bicentenario.  
Carretera Silao-Romita Km 2 Col. San Juan de los Durán, Silao, Gto, México. C.P. 36283,  
Teléfono (472) 72 38 700 ext. 109.

## Resumen

*El presente artículo muestra el análisis estructural de un cambiador de voltaje para transformadores de alta potencia. En la industria de la región; los cambiadores de voltaje juegan un papel importante para el funcionamiento de las transformadores de potencia, estos cambiadores permiten regular el voltaje de salida, son diseñados con materiales no conductores de electricidad (polímeros, cerámicos, materiales compuestos), lo que asegura el funcionamiento eléctrico, sin embargo, algunos diseños fallan estructuralmente. Las fallas estructurales que presentan los cambiadores se deben a los esfuerzos que tiene que soportar el dispositivo durante su operación. Por otra parte, la falla mecánica de esta pieza del transformador puede provocar elevadas pérdidas económicas a la industria cuando ya está en operación. Es necesario realizar el diseño mecánico de los cambiadores de voltaje mediante un software CAE, para verificar el funcionamiento adecuado, considerando materiales de ingeniería.*

*En este trabajo primero se presenta una introducción, donde se dan a conocer los antecedentes del proyecto, después se presenta el desarrollo donde se da una explicación de la metodología a seguir para concebir el proyecto, seguido se presenta los resultados del análisis de los esfuerzos y desplazamientos, finalmente se presentan los trabajos futuros para mejoras de este diseño.*

Palabras clave: Análisis, Esfuerzo, Resina, Cambiador.

## 1. Introducción.

Los cambiadores de derivación son una parte fundamental en el funcionamiento de los transformadores; un transformador de potencia puede llegar a tener un precio en el mercado de varios millones de pesos, mientras que el costo de un cambiador varios miles de pesos.

Por lo general, un transformador de potencia es un dispositivo muy confiable que está diseñado para lograr una vida útil de 20-35 años y una vida mínima de 25 años a temperaturas de funcionamiento comprendidas entre 65 °C y 95 °C. Aunque en la práctica la vida de un transformador de potencia podría llegar a 60 años con un mantenimiento adecuado y en función de la fecha de fabricación [1]. De aquí surge la importancia para que el diseño y selección de sus componentes y materiales sea el más adecuado para desarrollar una vida útil de los mismos años, de lo contrario generara altos costos por paros en mantenimientos correctivos y paros de producción cuando el transformador ya está en funcionamiento.

La necesidad de realizar un análisis estructural, simulando los esfuerzos y materiales reales del cambiador de derivación es inminente ya que no existe a la mano de los fabricantes un análisis de esfuerzos que sustenten la óptima producción de estos, las pruebas que se desarrollan en la industria son pruebas destructivas que causan costos, retrabajos o fallas de los equipos debido a la fractura de los cambiadores.

### 1.1 Cambiadores de derivación en transformadores.

Los cambiadores de derivación para operar sin tensión es un dispositivo que se acciona desde el exterior del transformador, sumergido en líquido refrigerante que permite seleccionar la derivación de un devanado cuando el transformador esta sin corriente y des energizado. Se fabrican de dos tipos Monofásicos y Trifásicos.

Un método usado para la regulación de voltaje en las líneas, es el uso de los cambiadores de derivación que están conectados en los devanados de los transformadores para cambiar la relación de espiras o relación de transformación.

El cambio en la relación de transformación es normalmente +/- 10%, aun cuando se pueden encontrar disponibles cambios de +/- 5% ó +/- 7.5%, los pasos de variación cambian desde 2.5% hasta 32 pasos para cubrir el rango normal de +/- 10% (0.625% por paso).

Normalmente los cambiadores de derivación o taps están localizados en los devanados primarios (de alto voltaje), debido a que se tiene que manejar en los cambios menos corriente de la que se manejaría si se localizarán en el devanado de bajo voltaje (Fig 1). Los cambiadores de derivación pueden ser normales o automáticos, la mayoría de los transformadores de distribución y de subestaciones de distribución tienen cambiadores manuales, de manera que la carga que se agrega se puede compensar.

Los cambiadores de derivación accionados por motor eléctrico se requieren cuando se tiene una regulación de voltaje con cargas ampliamente fluctuantes, estos cambiadores se les conoce como cambiadores bajo carga.

Existen muchos diseños para los cambiadores bajo carga y sólo se recomiendan cuando se justifica mejorar sustancialmente localidad del servicio, ya que su costo puede ser hasta el 5% del costo del transformador [2].

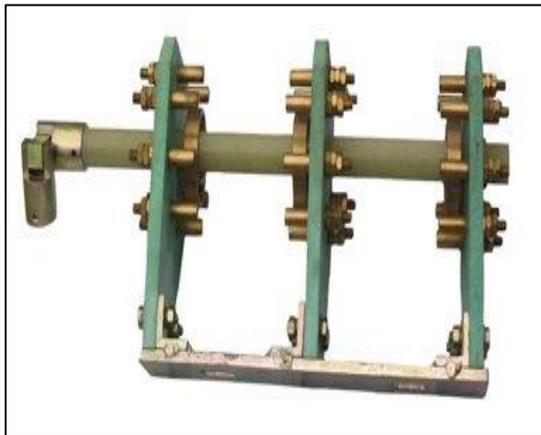


Fig. 1 Configuración interna del cambiador [3]

## 2. Desarrollo.

Para el desarrollo de este proyecto se trabajó bajo la siguiente metodología. (Tabla 1).

En este artículo solo reporta los resultados que se obtienen durante la etapa de diseño, esto debido al resumen de los temas.

Tabla 1. Metodología para el diseño del proyecto

Metodología	Actividad en resumen
Marco de referencia	Detección de la necesidad
	Delimitación del problema
	Establecimiento del objetivo
Generación de propuestas	Modelado en Software (CAD)
	Selección de materiales
Diseño	Modelos matemáticos
	Simulación (CAE)

### 2.1 Modelos matemáticos.

Los mecanismos de falla dependen de la estructura microscópica del material y de la forma de sus enlaces atómicos. Para predecir la falla de materiales bajo cargas estáticas (se considera carga estática a aquella que no varía su magnitud ni dirección en el tiempo) y poder hacer diseños de elementos de máquinas confiables se han desarrollado varias teorías entre ellas la teoría de falla de Von Mises, la cual nos calcula los esfuerzos máximos estáticos [4].

$$\sigma' = \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \quad (1)$$

donde:  $\sigma_1, \sigma_2$  y  $\sigma_3$  son los esfuerzos principales máximos y mínimos (Mpa).

El factor de seguridad se calcula mediante:

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} \quad (2)$$

donde:  $n$  es el factor de seguridad adimensional,  $S_y$  es la resistencia de fluencia del material, y  $\sigma'$  es el esfuerzo de Von Mises.

Los esfuerzos flexionantes del elemento se calcula mediante:

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (3)$$

donde:  $\sigma$ , es el esfuerzo en las fibras extremas en Pa.  $M$ , es el momento flexionante interno en  $N \cdot m$ .  $I$ , es el momento de inercia de la sección transversal en  $m^4$ , y  $c$  es la distancia desde el eje neutro de la viga hasta las fibras externas en plg, o en m. [4]

### 2.2 Simulación (CAE).

Para el análisis de esfuerzos se utiliza el modelo multilínea para describir el comportamiento mecánico del material. Según datos experimentales [5], la curva que se describe en la figura 2, describe el

comportamiento mecánico de la resina. La resina, es un material compuesto de matriz polimérica, reforzada con polvo cerámico (resina epóxica 60%, y sílice 40% en peso). La *tabla II, III, y IV*, muestran las especificaciones de la resina epóxica, del sílice, y de la resina reforzada, respectivamente.

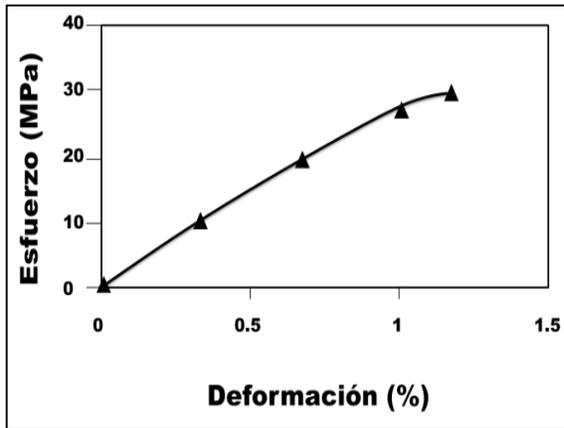


Fig. 2 Curva esfuerzo-deformación de la resina epóxica reforzada con polvo de sílice.

Tabla II. Especificaciones de la resina epóxica.

Propiedad	Resultado típico a 20°C
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1100
Resistencia a la tensión (N/mm <sup>2</sup> )	29
Resistencia a la flexión (N/mm <sup>2</sup> )	91

Tabla III. Especificaciones de la sílice

Propiedad	Resultado típico
Densidad (kg/cm <sup>3</sup> )	2.63
Dureza (Knoop)	820
Estructura cristalina	Hexagonal

Tabla IV. Especificaciones de la resina reforzada

Propiedad	Resultado típico
Densidad (kg/cm <sup>3</sup> )	1720
Resistencia a la tensión (MPa)	29.7
Módulo de elasticidad (GPa)	3.11

Por otra parte, el material de las terminales está fabricado de cobre (ver Fig. 3), las propiedades mecánicas se lista en la tabla V.

Tabla V. Especificaciones del cobre.

Propiedad	Resultado típico
Densidad (kg/cm <sup>3</sup> )	8950
Resistencia a la tensión (MPa)	300.7
Módulo de elasticidad (GPa)	117

Para el análisis estructural se utiliza un software comercial que utiliza el método de elemento finito. Las condiciones de frontera se muestran en la Fig. 4.

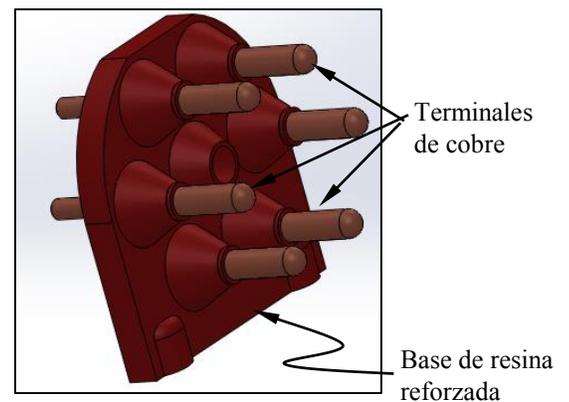


Fig. 3 Componentes del cambiador de voltaje.

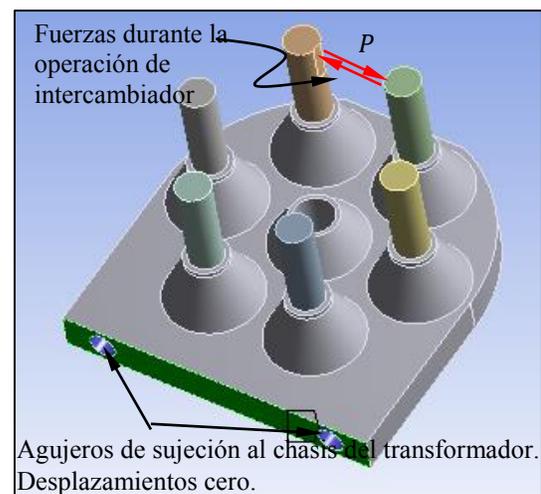
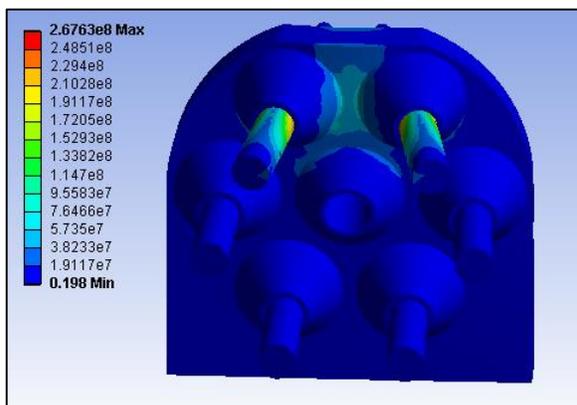


Fig. 4 Condiciones de frontera para el cambiador de voltaje.

Para el mallado se utilizan elementos tetraédricos (22709 elementos). Las fuerzas que actúan durante la operación del intercambiador de voltaje van desde 4000 N hasta 6000 N, según datos del fabricante.

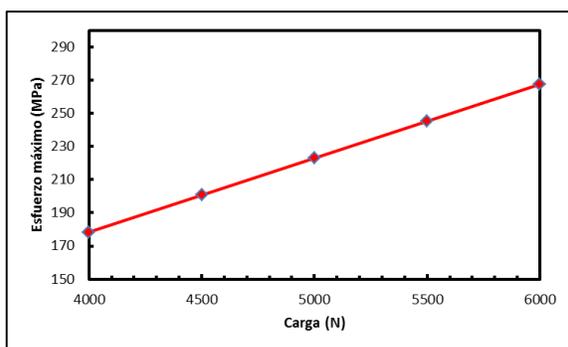
### 3. Análisis de resultados

Los resultados obtenidos mediante el método de elemento finito muestran que la estructura del cambiador de voltaje tendrá integridad física (ver Fig. 5).



**Fig. 5** Esfuerzos de Von Mises para una condición de carga en las terminales de 6000 N.

Para todas las condiciones de carga, los esfuerzos tienen un comportamiento lineal, como se muestra en la fig. 6. Esto significa que el esfuerzo crece de manera proporcional al incremento de la carga.

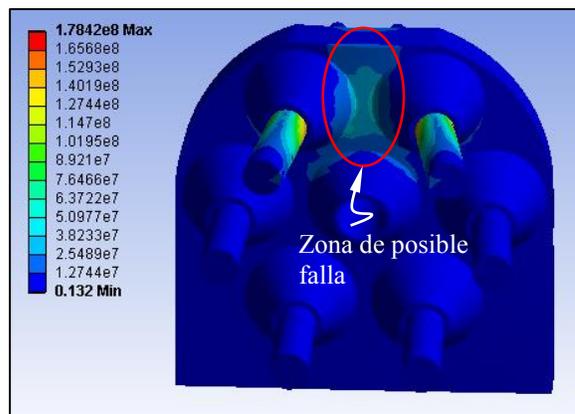


**Fig. 6** Comportamiento del esfuerzo máximo en la estructura del cambiador de voltaje, usando pasos de carga de 4000 N a 6000 N.

Para el paso de carga mayor (6000 N), el esfuerzos máximos correspondiente es de 248 MPa, y se localizan en las terminales del cambiador de voltaje. Usando el criterio de Von Mises se obtiene para este estado de carga un factor de seguridad de 1.2. Este factor de seguridad representa la integridad estructural de las terminales del cambiador de voltaje.

Por otra parte, en la pieza fabricada con resina reforzada, se encuentran zonas de esfuerzos con

esfuerzos máximos en un rango de 25.4 Mpa con un paso de carga de 4000 N, hasta 38.2 MPa con un paso de carga de 6000 N, como se muestra en las fig. 5 y 6.



**Fig. 7** Esfuerzos de Von Mises para una condición de carga en las terminales de 4000 N.

Cuando el esfuerzo es de 25.4 MPa, se tiene un factor de seguridad de 1.1. Sin embargo, cuando la fuerza varía de intensidad hasta llegar a los 6000 N, el factor de seguridad disminuye, hasta ser menor que 1. Esto trae como consecuencia la posible falla de la estructura en esa zona.

### 4. Conclusiones

Se realiza el diseño mecánico de un dispositivo que sirve para cambiar el voltaje de los devanados en un transformador eléctrico. El diseño mecánico se realiza usando el método de elemento finito. Los resultados demuestran que el cambiador de voltaje mantiene una configuración estructural adecuada cuando trabaja con un paso de carga en la terminal igual a 4000 N, para pasos de carga superiores se muestra que la estructura fabricada de resina reforzada con polvo cerámico fallará.

Por otra parte, el análisis mostrado presenta una aproximación a un estado real de carga, y si bien el fabricante de estos dispositivos menciona fallas en la estructura, es necesario validar los resultados con un análisis experimental, donde se pueda obtener el estado de carga que permita validar la información suministrada. Además, es necesario realizar un análisis de fatiga, el cual representa teóricamente una disminución del factor de seguridad, y que pone en riesgo la integridad de la estructura a ciclos de vida muy cortos.

### Referencias

- [1] Flores W. "*Vida de transformadores de potencia sumergidos en aceite*" IEEE latinamerica transactions, vol. 5, no. 1, Marzo 2007
- [2] Uso de cambiadores de derivación en transformadores [en línea] <http://rte.mx/so+de+Cambiadores+de+Derivacion+en+Transformadores> [Consulta 11 de Sept del 2014]
- [3] Maldonado W. "Funcionamiento, operación, pruebas y mantenimiento de cambiadores de derivación de transformadores de potencia" Pag. 41, 42 Guatemala Julio 2012.
- [4] Fitzgerald R. "Mecánica de Materiales" Edit: Alfaomega Mexico D.F.
- [5] Manal F. "Study the Mechanical Properties of Epoxy Resin Reinforced With Silica and Alumina Particles", The Iraqi Journal For Mechanical And Material Engineering, Vol. 11, 2011.

# Elaboración de un divisor de voltaje para la comunicación de un panel fotovoltaico a una tarjeta Arduino

Luna Puente Rafael, Pérez Chimal Rosa Janette, Juan Ricardo Cabrera Esteves, Prieto Figueroa Araceli, Ventura Flores. Juan Daniel

Universidad Tecnológica de Salamanca, Av. Universidad Tecnológica 200 Col. Ciudad Bajío. Salamanca Gto.

## Resumen

*La comunicación que existe entre diferentes dispositivos hace difícil la interacción entre ellos, es por ello que la implementación de los divisores de voltaje es de suma importancia ya que permite traducir las señales entre dispositivos para generar un intercambio de información.*

*Con la finalidad de implementar un sistema de monitoreo de generación eléctrica por parte de un panel solar en la Universidad Tecnológica de Salamanca UTS, se dio a la tarea a diseñar un divisor de voltaje que sea capaz de enviar la información de potencial eléctrico hacia un equipo de cómputo móvil.*

**Palabras clave:** Panel Fotovoltaico, Divisor de voltaje, Carga de alimentación, Voltaje de entrega, Resistencia de Carga

## 1. Introducción

La tendencia a nivel mundial consiste en dar atención a los aspectos ambientales, el monitoreo de generación eléctrica en zona de implementación de paneles solares forman un factor muy importante en la toma de decisiones.

La obtención de datos en tiempo casi real requiere de software de adquisición de datos, así como de amplificador que permita almacenar dichos datos para su registro y análisis.

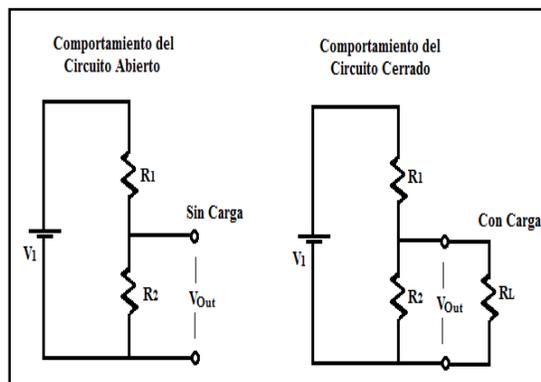
“La tierra proporciona lo suficiente para satisfacer a cada hombre, pero no la codicia de cada hombre” **Gandhi**.

## 2. Sistemas de Adquisición de datos

### 2.1 Divisores de Voltaje

<sup>[1]</sup>A menudo se usa el divisor de voltaje para suministrar un voltaje diferente del disponible en la batería o en la fuente de alimentación o también para

reducir este voltaje para su monitoreo en tarjetas donde no se puede aplicar el voltaje directo de esta fuente de alimentación, en la Fig. 1 se puede observar el esquema de conexión de un divisor de voltaje convencional.



**Fig. 1** Esquema de conexión de un divisor de voltaje.

<sup>[2]</sup>Considerando que el voltaje de entrega depende de la resistencia de la carga que alimenta.

A continuación se muestra la ecuación del divisor de voltaje.

$$\text{Ecuación 1} \quad V_{out} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} * V_{in}$$

### 2.2 Arreglo fotovoltaico (adecuación al voltaje y amperaje requerido).

<sup>[3]</sup>Cuando se requieren potencias mayores a las proporcionadas por los módulos solares, se pueden conectar arreglos de estos en serie o paralelo, dependiendo de las necesidades.

La conexión en serie produce voltajes mayores, mientras que las conexiones en paralelo producen corrientes más altas.

En la conexión en serie es deseable que cada módulo operando a máxima potencia lo haga con el mismo valor de corriente. Cuando los módulos se conectan en paralelo, es deseable cada módulo operando a

máxima potencia lo haga con el mismo valor de voltaje.

### 3. Análisis de resultados

Para la elaboración del divisor de voltaje se realiza el cálculo de resistencias respecto del voltaje de salida con el de entrada considerando que las resistencias calculadas sean comerciales.

Tomando en cuenta la tarjeta Arduino en donde el máximo voltaje de entrada analógica es de 5 volts, en base a la hoja de datos y características del panel solar menciona que entrega 270 Watts/Hr a un voltaje de corto circuito de 46 volts. Se dice entonces que tomando el valor máximo de 46V del panel solar se reducirá a 5 volts.

Se muestra la ecuación 1 del divisor de voltaje, contando con una resistencia de 3.25KΩ de valor real (valor aparente 3.3KΩ).

$$R1 = 3.25K\Omega$$

$$5v = \frac{R2}{R2 + 3250\Omega} * 46v$$

Se realiza un despeje. Los datos que estaban dividiendo pasan del otro lado del símbolo = multiplicando.

$$(R2 + 3250\Omega) * 5v = R2 * 46v$$

Se multiplican los valores.

$$5vR2 + 16250\Omega v = 46vR2$$

Se realiza nuevamente un despeje. Los datos que estaban sumando pasan del otro lado del símbolo = restando.

$$16250\Omega v = 46vR2 - 5vR2$$

Se realiza la resta.

$$16250\Omega v = 41vR2$$

Despejamos nuestra variable R2. Los datos que estaban multiplicando pasan del otro lado del símbolo = dividiendo.

$$R2 = \frac{16250\Omega v}{41v}$$

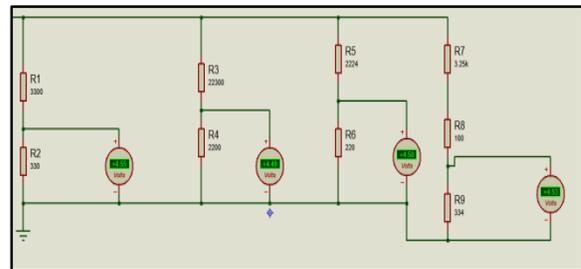
Dando como resultado lo siguiente

$$R2 = 396.34v\Omega$$

Como el valor de la resistencia no es comercial se conectaron dos en serie para sumar sus valores y aproximar el valor a R2.

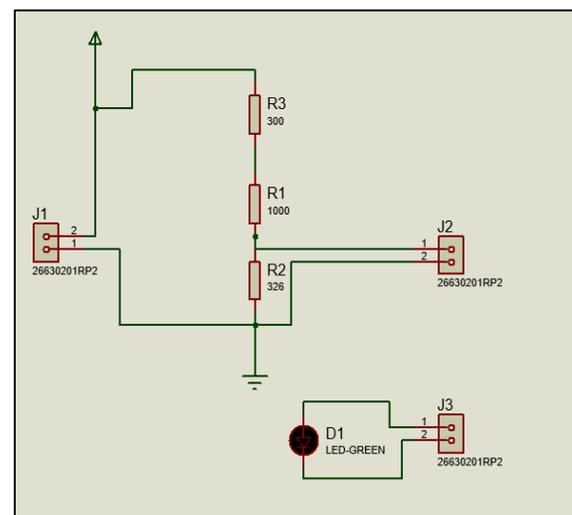
- 1 Resistencia de 98Ω de valor real (siendo valor aparente 100Ω).
- 1 Resistencia de 334Ω de valor real (siendo valor aparente 330Ω).

Con la finalidad de contar con un esquema de conexión y comprobar el divisor de voltaje mediante el empleo del simulador Proteus, como se puede apreciar en la Fig. 2, en donde se empleó la utilización de medidores de voltaje que permitan caracterizar el divisor de voltaje.



**Fig. 2 Simulación de las propuestas de resistencias para el divisor de voltaje**

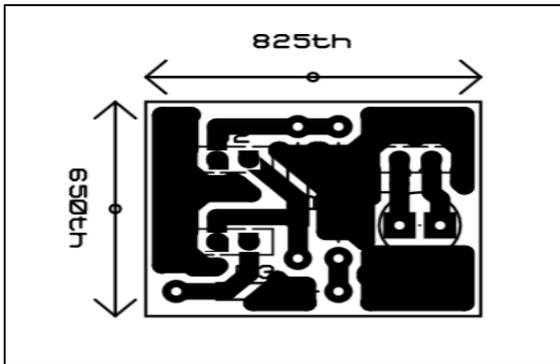
Una vez determinado el valor de las resistencias requeridas para la obtención del voltaje se desarrolló la simulación del circuito mediante el mismo software, esto con la finalidad de llevar a cabo el circuito impreso, en la Fig.3 se puede apreciar la simulación realizada.



**Fig. 3 Diagrama eléctrico del sistema de adquisición de datos para la tarjeta Arduino.**

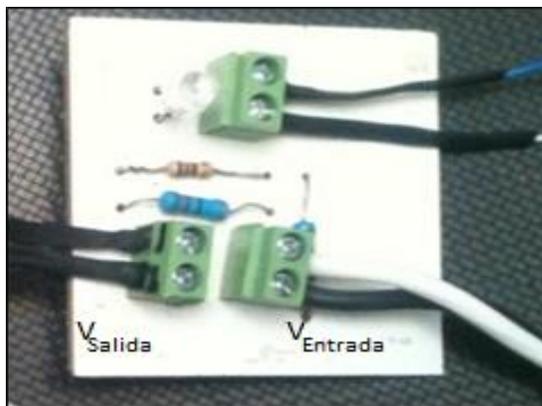
### Circuito Impreso

En la Fig. 4 se puede apreciar el dimensionamiento del circuito impreso empleado en el divisor de voltaje.



**Fig. 4 Diagrama de circuito impreso del divisor de voltaje.**

La Fig. 5 muestra el divisor de voltaje ya instalado el sistema de monitoreo, con todos los componentes, así como su voltaje de entrada y voltaje de salida.

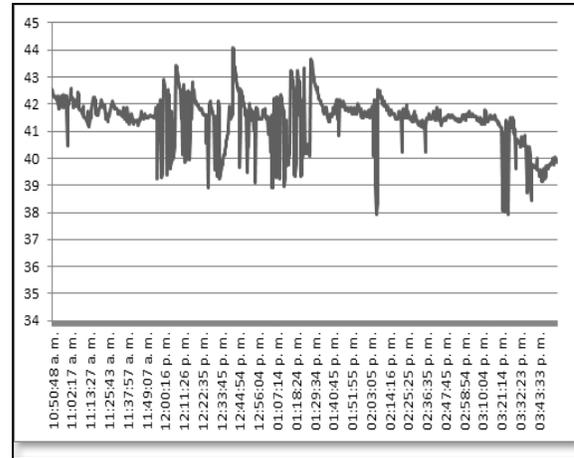


**Fig. 5 Divisor Terminado**

#### 4. Conclusiones

Mediante la implementación del divisor de voltaje se podrá contar con un mecanismo de comunicación entre la plataforma Arduino y un panel fotovoltaico

Este dispositivo actualmente permite la comunicación ente el panel fotovoltaico de silicio monocristalino, modelo S72MC de 190 a 210 Watts que tiene una eficiencia de hasta el 17.25% de la empresa Solartec S.A. de C.V. y una computadora portátil, esto para determinar los parámetros de eficiencia energética que produce al transcurso del día, en la Fig. 6 se muestran los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto.



**Fig. 6 Grafico de resultados del monitoreo.**

La figura 6 nos muestra los valores obtenidos durante el análisis realizado, donde se puede apreciar una variación de los resultados obtenidos durante el estudio, cabe mencionar que los resultados que proporciona el proveedor generalmente nos menciona que no hay variación de voltaje, sin embargo el comportamiento de nuestro sistema de adquisición de datos muestra lo contrario.

El próximo estudio consiste en analizar cuáles son las variables que producen estas variaciones de voltaje en el sistema.

#### Referencias

- [1] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/electric/voldiv.htm>. M Olmo R Nave, Copyright Hyperphysics (© C. R. Nave, 2010)
- [2] Electrónica Teoría de circuitos, ROBERT BOYLESTAD, LOUIS NASHESKY. 6ta edición, Capítulo 14.
- [1] P. Würfel, Physics of Solar Cells (From Principles to New Concepts)

# Diseño de Colector Cilindro Parabólico de Bajo Costo para Aplicaciones Industriales de Baja Demanda Energética.

García Ortiz Yazmani, Yañez Mendiola Javier, Guevara Serrano Rocío

Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC, A.C.) Departamento de investigación y posgrados, Omega 201, León de los Aldama, 37545, Guanajuato México.

## Resumen

*El interés en el uso de captadores cilindro-parabólicos (CCP) para procesos térmicos industriales, se ha incrementado en los últimos años. Para este tipo de concentradores solares se requiere una alta reflectancia solar, lo cual conduce a la utilización de materiales tales como espejos de plata o de aluminio debido a sus excelentes propiedades reflexivas. Pero el uso de otros materiales reflectores para la fabricación de CCPs es un tema relevante. Este trabajo propone el uso del acero inoxidable AISI 304 como material reflector para la construcción de CCPs de pequeño tamaño y bajo costo. Se ha analizado la reflectancia solar de diferentes muestras de este material, obteniéndose valores promedio de 0,68 a 0,70 para acabados del material obtenidos mediante un proceso de pulido estandarizado, así como una dureza de 190 vickers.*

**Palabras clave:** Acero inoxidable Energía solar térmica, Captador solar cilindro parabólico, , Calor de proceso.

## 5. Introducción

Es bien sabido que los sistemas de concentración solar han aumentado en los últimos años y se han desarrollado diferentes tipos de dispositivos cuyas aplicaciones requieren materiales con una alta reflectancia solar para que puedan ser considerados en su fabricación para conseguir eficiencias de conversión aceptable. Esta eficiencia depende del material reflectante usado. Una amplia variedad de espejos ya han sido estudiados y usados para la elaboración de captadores cilindro-parabólicos (CCP) logrando resultados sobresalientes. Así, los materiales tales como espejos de plata o de aluminio se utilizan debido a sus excelentes propiedades de reflexión especular de la radiación solar. La reflectividad de los materiales comúnmente usados en captadores solares varía de 0,89 a 0,95 [1]. El aluminio es una elección

conveniente debido a sus propiedades de reflexión en el espectro solar y su coste razonable. Sin embargo, la consideración de otros materiales es un tema relevante. Tal es el caso del acero inoxidable, material que podría potencialmente utilizarse también como reflector en CCPs debido a su bajo costo y fácil adquisición en el mercado. El acero inoxidable presenta un aumento en la reflectancia a lo largo del espectro solar [2,3], la reflectancia lograda por el acero inoxidable en el espectro solar visible alcanza un valor de 0,40 (para longitudes de onda de 700 nm), lo cual equivale a una reflectividad promedio 0,60 en la misma longitud de onda [4]. Existen ya propuestas de captadores solares que utilizan material reflectante en acero inoxidable para aplicaciones agroindustriales [5].

El objetivo de este trabajo es analizar las propiedades reflectantes del acero inoxidable AISI 304 para diferentes niveles de pulido, y determinar el tratamiento óptimo para alcanzar un acabado espejo, con objeto de utilizarlo en el diseño y fabricación de un pequeño captador solar modular, que presente una fácil instalación y operación, mínimo mantenimiento, gran durabilidad y bajo costo, aproximadamente un 35% del coste con respecto a otros CCPs disponibles en el mercado o propuestos en la literatura encontrada.

## 6. Metodología

En la Plataforma Solar de Almería, se cuenta con equipo para realizar pruebas de dureza, rugosidad, pulido y finalmente medidas de reflectancia de materiales, las cuales fueron aplicadas al acero inoxidable AISI 304.

### 6.1 Parámetros de medición

Para la prueba de dureza se utilizó un durómetro modelo Duramin 500, acorde a la ISO 6507-1 sobre dureza. Se realizaron 3 pruebas de dureza, de las cuales se obtuvo un valor promedio de 194 vickers, valor que se encuentra dentro del rango reportado por la literatura para este material, la cual menciona que para un inoxidable AISI 304 su dureza

es alrededor de 190 vickers. Por otro lado, se han aplicado diferentes tipos de pulido a las muestras del material mencionado y medido la reflectancia de las mismas con el fin de determinar cómo afecta el pulido al rendimiento reflectante del acero inoxidable utilizado. Las muestras se pulen bajo diferentes condiciones de pulido automático utilizando cuatro tipos diferentes de hojas abrasivas 1200, Dac, Nap, Chem, los cuales son nombres comerciales que utiliza la marca utilizada para las disoluciones y respectivos paños, dos de ellas con grano abrasivo para lijado de mayor a menor escala, logrando así la disminución de la rugosidad, finalmente, las dos restantes son paños de pulido con abrasivos suaves, las cuales permiten obtener el acabado espejo requerido para considerarlo útil en la aplicación buscada orden de aparición.

Otras de las medidas realizadas a las muestras de acero inoxidable 304 pulidas son medidas de la rugosidad superficial bajo la norma ISO 25178, con objeto de determinar si este proceso influye o no en la reflectancia del acero; finalmente, la medida de reflectancia de las distintas muestras de material preparadas se llevó a cabo mediante el uso de un espectrofotómetro (Perkin Elmer Lambda), diseñado para lograr un mayor nivel de sensibilidad, resolución y velocidad.

## 6.2 Diseño del captador cilindro-parabólico

La finalidad de los ensayos mencionados es poder contar con las características del acero inoxidable y de esta forma ser utilizado como material reflectante para el diseño de un captador solar tipo CCP, cuyos parámetros se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1. Parámetros del captador solar propuesto.**

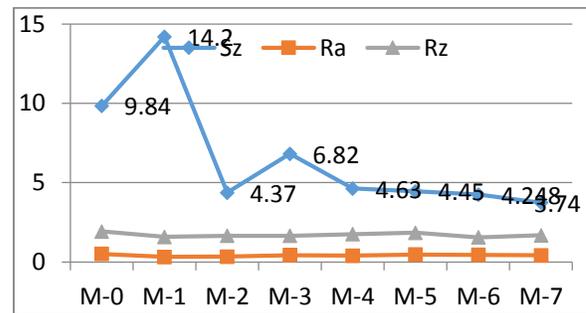
Parámetros	Valor
Apertura (m)	1,02
Distancia Focal (m)	0,2
Angulo de Apertura (grados)	96,7
Angulo de aceptación (grados)	2,5
Diámetro exterior del absorbedor (mm)	25
Proporción de concentración geométrica	14,4

Las características generales del diseño de CCP son similares a los parámetros del captador solar modelo CAPSOL investigado previamente en la Plataforma Solar de Almería (PSA) [6,7], siendo las principales diferencias entre los dos captadores las relativas a las dimensiones y tipo de material reflectante. Teniendo en cuenta las características de los materiales y la geometría, el diseño de captador solar permite el logro de temperaturas del fluido de transferencia de calor en el tubo receptor por encima

de 150 °C, valor que cumple con los requisitos de procesos térmicos de bajo requerimiento energético.

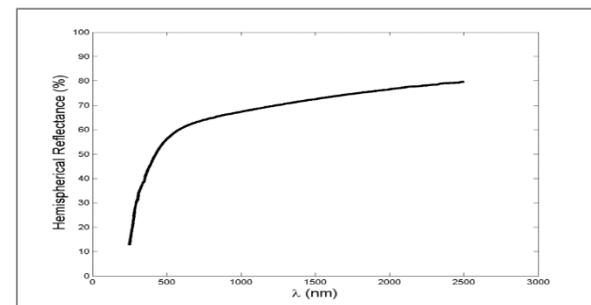
## 7. Análisis de resultados

Se midió la reflectancia de 8 muestras de acero inoxidable AISI 304 y se comprobó cómo esta magnitud se relaciona con la rugosidad de la superficie. La Figura 1 presenta el valor que toma el parámetro Sz, que se obtiene utilizando el microscopio 3D mencionado en la anterior sección, para cada una de estas muestras. Este parámetro es una medida de altura máxima de la rugosidad de una superficie.



**Fig 1. Comportamiento de muestras de acero inoxidable con diferentes tratamientos de pulido.**

En la Figura 2 se muestran los resultados de reflectancia hemisférica en función de la longitud de onda, teniendo en cuenta el rango de longitudes de onda del espectro solar. Los resultados preliminares demuestran el efecto significativo que el pulido de las muestras tiene sobre la reflectancia de las mismas, la cual resultó ser mucho mejor que la reportada en la literatura, ya que se alcanza un promedio de 0,70, valor que se considera suficiente para la utilización de acero inoxidable con acabado pulido espejo en captadores solares CCP como el propuesto en este trabajo.



**Fig 2. Reflectancia del acero inoxidable en función de la longitud de onda (intervalo de longitudes de onda del espectro solar).**

Finalmente el captador solar CCP diseñado no ha sido fabricado debido a algunas restricciones en la adquisición de materiales de construcción; pero de acuerdo con el diseño y los cálculos realizados, y considerando también la similitud de este captador con el captador tipo CAPSOL, se derivan las expresiones que a continuación se mencionan, que tienen en cuenta las características particulares del nuevo material reflectante utilizado (acero inoxidable en vez de aluminio), para describir el comportamiento térmico del captador.

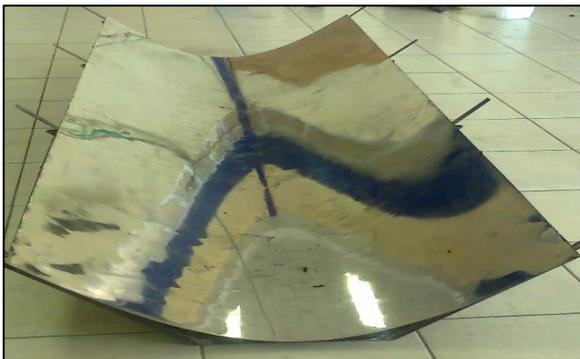
El rendimiento global teórico del captador solar diseñado está dado por la Ec. (1):

$$\eta_{global} = 0.55 - 1.1 \frac{\Delta T}{DNI} - 0.014 \frac{\Delta T^2}{DNI} \quad (1)$$

Dónde  $\Delta T$  es la diferencia de temperatura entre la temperatura media del fluido en el tubo receptor del captador y la temperatura ambiente (en °C) y DNI es la irradiancia directa normal (en W/m<sup>2</sup>). La Ec. (1) es válida para ángulos de incidencia de la radiación solar igual a cero grados. Para otros ángulos de incidencia es necesario incluir en la expresión el efecto del ángulo de incidencia a través del parámetro denominado modificador por ángulo de incidencia  $K(\theta)$  [6]. Se consideraron también el modificador de ángulo de incidencia que tiene la forma mostrada en la Ec. (2). Como la geometría del captador solar propuesto es similar a la geometría CAPSOL, se ha concluido a partir de un estudio preliminar numérico que esta correlación sería también válida para el captador propuesto, pero debe ser contrastada con los resultados experimentales que se obtengan cuando se realice la experimentación del primer prototipo de este captador solar.

$$K(\theta) = 1 + 2.2 \cdot 10^{-3} \cdot \theta - 1.65 \cdot 10^{-4} \cdot \theta^2 \quad (2)$$

En la Ec. (2)  $\theta$  es el ángulo de incidencia de la radiación solar (en grados).



**Fig. 3 CCP propuesto**

Finalmente la figura tres muestra el diseño del prototipo final del CCP propuesto, incluye la base, elaborada de PTR y que es justamente esta la que le da la forma parabólica.

## 8. Conclusiones

Hoy en día el uso de energías renovables no es sólo una aplicación, sino una necesidad, ya que el incremento de costos por combustibles fósiles ocasiona que algunos consumidores de los mismos busquen nuevas alternativas. Por lo tanto la energía solar tanto fotovoltaica como fototérmica, ofrece una alternativa para satisfacer diferentes necesidades energéticas.

Con un tratamiento de material en base a un proceso de pulido estandarizado que, además, logra reducir la rugosidad del material y obtener valores de reflectancia especular de .68 a .70, es factible pensar en el uso del acero inoxidable como material reflectante para la manufactura de colectores cilindro-parabólicos sobre todo pensando en procesos cuya demanda de energía es inferior a 150 °C y los costos de implementación son más importantes que la eficiencia, esta solución puede representar una buena alternativa.

## Referencias

- [1] Fernández-García A., Zarza E., Valenzuela L., Pérez M. Parabolic-trough solar collectors and their applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, 1695-1721 (2010).
- [2] Echazú R., Cadena C. y Saravia L. Estudio de materiales reflectivos para concentradores solares. *AVERMA* 2000 08-11. (2000).
- [3] Castelli R, Persans P, Strohmayer W, Parkinson V. Optical reflection spectroscopy of thick corrosion layers on 304 stainless steel. *Corrosion Science* 49, 4396-4414 (2007).
- [4] Okicć M, Roušar I, Táborský Z., Roháček K. Reflectivity and surface composition of electrochemically and mechanically polished stainless steel. *Materials Chemistry and Physics* 17(3), 301-309 (1987).
- [5] García-Ortiz Y, Vejar S, Cuevas I. Deshidratado de Chile mediante colectores de canal parabólico. *Congreso Internacional de Energías Renovables*

y Mantenimiento Industrial 2013, pág. 22-30, Bahía de Banderas Nayarit, México (2012).

- [6] Fernández-García A, Zarza E, Valenzuela L, Pérez M, Valcárcel E, Rojas E. Development of a small-sized parabolic trough collector. Final Capsol project results. ISES Solar World Congress 2011, Kassel, Germany (2011).
- [7] Lobón D.H. y Valenzuela L. Impact of pressure losses in small-sized parabolic-trough collectors for direct steam

# Interfaz de Comunicación de un Panel Fotovoltaico Mediante el Uso de Labview.

Pérez Chimal Rosa Janette, Luna Puente Rafael, Juan Ricardo Cabrera Esteves, Prieto Figueroa Araceli, Ventura Flores. Juan Daniel

Universidad Tecnológica de Salamanca, Av. Universidad Tecnológica 200 Col. Ciudad Bajío. Salamanca Gto.

## Resumen

*La puesta en operación de los sistemas de monitoreo de la irradianza solar, permite determinar la cantidad de energía que solar que es convertida en energía eléctrica, sin acortar el tiempo de vida del panel fotovoltaico (FV), en base a la construcción de las celular fotovoltaicas.*

*El sistema de adquisición de datos en casi tiempo real es capaz de generar registros de generación eléctrica producida por un panel solar, además de analizar la hora en que hay mayor eficiencia de un sistema fotovoltaico.*

*Este proyecto permite la comunicación de un sistema FV y una PC para el monitoreo de variables.*

**Palabras clave:** (SF) Sistema Fotovoltaico, Divisor de voltaje, (AM) Amplitud de Masa, (FV) Fotovoltaico, Estructura de Caso, Irradianza

## 1. Introducción

La tendencia a nivel mundial consiste en dar atención a los aspectos ambientales, el monitoreo de generación eléctrica en zona de implementación de paneles solares forman un factor muy importante en la toma de decisiones.

La obtención de datos en casi tiempo real requiere de un software de adquisición de datos, que para este caso se empleó Labview, así como la creación de divisores de voltaje que permitan disminuir el potencial eléctrico, para manipular los datos adquiridos y su almacenaje.

“La fuente de nuestra riqueza se da en la radiación del sol, que emana energía. El sol da siempre sin esperar recibir” (Georges Bataille).

## 2. Sistemas Fotovoltaicos

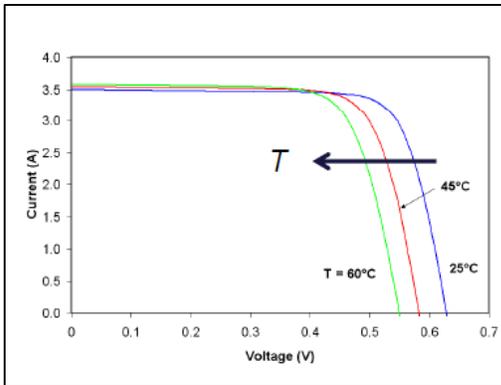
### 2.1 Temperatura Nominal de Operación

<sup>[1]</sup>Las celdas en un módulo FV están caracterizadas por una temperatura nominal de operación (NOCT, nominal operating cell temperature), temperatura que alcanza la celda cuando es operada a circuito abierto en una temperatura ambiente de 20°C en condiciones de Amplitud de masa (AM) 1.5 de irradiación,  $G=0.8 \text{ kW/m}^2$  y velocidad del viento menor a 1 m/s.

En una celda solar de silicio, el voltaje de circuito abierto decrece 2.3 mV/°C, por lo tanto para un módulo de N celdas el correspondiente decremento será  $2.3N \text{ mV/}^\circ\text{C}$ , .

El incremento de 15°C en la temperatura de la celda resulta en una disminución en el voltaje de circuito abierto a 8.16 V, un 6% de decremento.

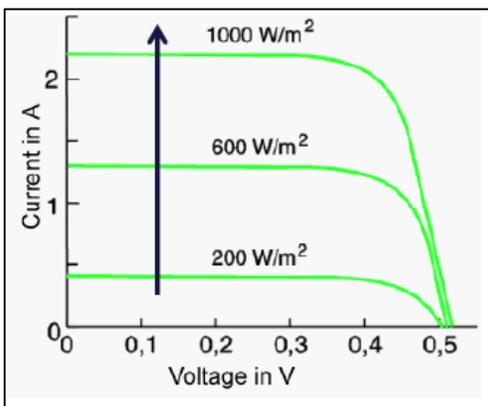
Además, <sup>[2]</sup> una excesiva elevación en la temperatura de la celda puede causar que estas empiecen a fallar prematuramente, como se muestra en la Fig.1 en donde se puede apreciar que existe una relación sumamente importante entre la corriente y el voltaje que afectan directamente a el sistema fotovoltaico.



**Fig. 1 Gráfica de temperatura para celda solar.**

## 2.2 Irradianza solar

La radiación solar juega un papel muy importante en la generación eléctrica, en un panel fotovoltaico, como se muestra en la Fig. 2, en donde a un mismo sistema fotovoltaico proporciona diferente voltaje y amperaje en base a la radiación recibida por la zona.



**Fig. 2 Efecto de Irradianza para la generación de Energía Eléctrica.**

## 3.1 Arreglo fotovoltaico (adecuación al voltaje y amperaje requerido).

<sup>[3]</sup>Cuando se requieren potencias mayores a las proporcionadas por los módulos solares, se pueden conectar arreglos de estos en serie o paralelo, dependiendo de las necesidades.

La conexión en serie produce voltajes mayores, mientras que las conexiones en paralelo producen corrientes más altas.

En la conexión en serie es deseable que cada módulo operando a máxima potencia lo haga con el mismo valor de corriente.

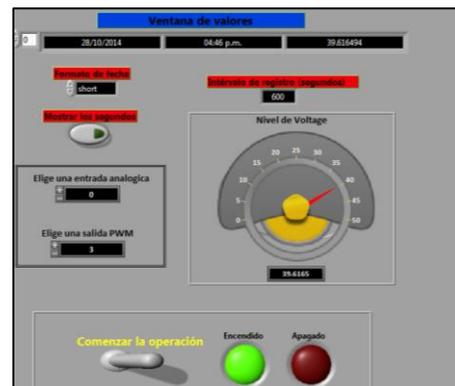
Cuando los módulos se conectan en paralelo, es deseable cada módulo operando a máxima potencia lo haga con el mismo valor de voltaje.

## 3. Análisis de resultados

Con el uso de Labview se pudo elaborar una plataforma de comunicación de un panel fotovoltaico el cual permite monitorear el voltaje del Módulo Fotovoltaico.

El sistema elaborado cuenta con una interfaz de comunicación por Arduino, el cual extrae los parámetros de monitoreo del Panel, el cual puede variar su voltaje en base a la intensidad de radiación que recibe.

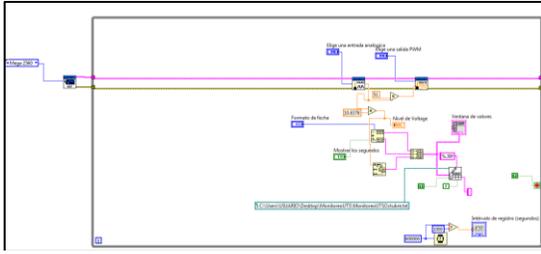
La Fig. 3 muestra el panel frontal del sistema de monitoreo, el cual tiene un medidor visual del voltaje medido, así como indicadores luminosos que señalan, además de la fecha y hora en que se llevó a cabo la medición



**Fig. 3 Panel de control del sistema de adquisición de datos.**

## 3.2 Estructura de programación

La estructurad e programación consiste en la entrada de datos por medio de arduino, por medio del ARDUINO INT, posteriormente enviar la señal analógica de voltaje a la visualización de datos, así como al registro de la fecha y hora , además de enviar el registro de datos, direccionando a un archivo específico, todo esto en una estructura de caso, como se muestra en la Fig. 4.



**Fig.4 Estructura de Caso para el direccionamiento de la información.**

#### 4. Conclusiones

El sistema de comunicación permite el monitoreo de variables adquiridas del Panel para registro de datos como cambio de voltaje en función a la incidencia solar,

Los datos obtenidos mediante la implementación de la adquisición de datos permitirán generar estudios de eficiencia y caracterización de paneles fotovoltaicos, así como analizar el impacto que tienen las empresas de la región en la degradación de los paneles fotovoltaicos.

Con este trabajo se podrá realizar estudios de carga máxima de los sistemas fotovoltaicos y la autonomía que estos deben tener, ya que en la actualidad los sistemas de monitoreo son realizados solo por estudio estadístico, no hay un mecanismo que monitoree estas variables en el área en que se implementan los paneles fotovoltaicos.

Los resultados obtenidos son como se muestran en la Tabla 1, esto nos permite graficarlos.

Tabla1.- Datos obtenidos del sistema

Fecha	Hora	Voltaje
06/10/2014	01:21	40.891019
06/10/2014	01:31	40.306862
06/10/2014	01:41	38.766811
06/10/2014	01:51	39.510284
06/10/2014	02:01	40.572388
06/10/2014	02:11	40.094441
06/10/2014	02:21	39.616494
06/10/2014	02:31	39.510284
06/10/2014	02:41	39.457178
06/10/2014	02:51	39.616494
06/10/2014	03:01	39.77581
06/10/2014	03:11	41.10344
06/10/2014	03:21	38.395074

#### 5. Referencias

- [1] M.D. Archer, A.J. Nozik, editors. Nanostructured and Photoelectrochemical Systems for Solar Energy Conversion. Imperial College Press, 2011.
- [2] H.J. Muller. Semiconductors for Solar Cells. Artech House, 1993.
- [3] R.B. Adler, A.C. Smith, R.R. Longrini. Introducción a la física de semiconductores. Editorial Reverté, 1970



## **Desarrollo Tecnológico e Investigación Aplicada - B**

1er Simposio Internacional de Desarrollo Tecnológico

Universidad Politécnica del Bicentenario  
Carretera Estatal Silao-Romita Km. 2  
San Juan de los Durán, Silao de la Victoria, Guanajuato, México  
C.P. 36283  
[www.upbicentenario.edu.mx](http://www.upbicentenario.edu.mx)

Obra terminada el 28 de Noviembre de 2014



Desarrollo Tecnológico e Investigación Aplicada - B

ISBN: 978-607-96471-8-6

