
Análisis energético de un sistema automotriz de refrigeración por medio de gas R410A alimentado por celdas solares

Leonardo Carrillo Medina, Luz Angélica García Villalba

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

RESUMEN

El presente proyecto introduce el análisis de un sistema de refrigeración automotriz que propone una solución innovadora a un problema común. La investigación aborda los aspectos energéticos que se deben tomar en cuenta para implementar los componentes. El sistema incluye cuatro componentes básicos: celdas solares, dispositivo emisor-receptor, electroválvulas y gas R410A. La integración de estos elementos da como resultado una solución que, al funcionar secuencialmente, permite que el usuario de cualquier automóvil comercial experimente la comodidad de una temperatura fresca al ingresar a su vehículo, situación que pocas veces se logra en temporadas cálidas. Durante el desarrollo de la investigación se analizaron todos sus componentes con respecto a su eficiencia. La idea principal se ha enfocado a estudiar las variables energéticas y tratar de optimizarlas. Se realizó un estudio de los materiales semiconductores utilizados en la industria fotovoltaica con el objetivo de seleccionar el que presente las propiedades más convenientes para una aplicación eficiente. Por último, se analizaron los aspectos termodinámicos propios de la interacción del gas R410A con el aire, los que proporcionaron los resultados de la investigación.

Palabras Clave: Celdas solares, Gas R410, Sistema automotriz

INTRODUCCIÓN

El excesivo calor de nuestros tiempos afecta nuestra comodidad, por lo que se han desarrollado diferentes sistemas que intentan reducirlo en lugares donde los humanos buscamos un ambiente fresco y placentero. Sin embargo, las soluciones siguen presentando debilidades. En la presente investigación el objetivo principal es desarrollar un sistema que reduzca en el menor tiempo posible el calor que se genera dentro de un automóvil después de estar expuesto a rayos solares. El problema radica en la incomodidad que ocasiona ingresar al vehículo después de dicha exposición. Se busca realizar el análisis de un sistema que presente un buen aprovechamiento

energético y a la vez cumpla de manera eficaz con el requerimiento del usuario.

El sol es la causa principal del calor y dentro del sistema se pretende utilizar su energía como fuente de alimentación; esto se logra por medio de celdas solares que nos permitirán el accionamiento. La energía eléctrica generada por las celdas se encarga de activar el sistema y liberar el gas responsable de la refrigeración. Actualmente los sistemas automotrices de enfriamiento requieren imprescindiblemente de la energía mecánica del motor, lo que significa consumo de combustible y emisión de contaminantes. El problema de los sistemas convencionales es el lapso de tiempo que transcurre desde el encendido del motor hasta el momento que se alcanza la

temperatura deseada, Al abordar el desarrollo de esta investigación el lector comprenderá la importancia de la eficiencia energética aplicada a este tipo de sistemas. De igual forma, se mencionarán los aspectos técnicos que lo hacen sustentable, así como las características que hacen al gas R410A la mejor opción para el medio ambiente. <<La densidad del vapor en el R410A permite mayores velocidades en el sistema, reduce las pérdidas por presión y es posible usar líneas de transmisión con diámetros menores a las convencionales>> (Leach, s.f.).

Durante la última década, las tecnologías basadas en energía limpia se han vuelto muy importantes para el desarrollo de sistemas sustentables que puedan cumplir con las necesidades de los humanos sin dañar el planeta. Se han desarrollado dispositivos de accionamiento a distancia que ayudan a reducir las altas temperaturas dentro de un vehículo a base del encendido del motor. Existen también protecciones solares para reflejar los rayos que disminuyen el calentamiento interior del automóvil. Hasta hoy estos métodos no son eficientes y resultan poco prácticos.

El acondicionamiento de la temperatura en la industria automotriz presenta varias alternativas para reducirla, pero el enfoque más importante es que las soluciones propuestas sean ecológicas y que los gases no dañen la capa de ozono. <<Estudios recientes de EPA muestran que para el año 1990 había una reducción acumulativa del 5% en la capa de ozono sobre Estados Unidos. Si esto continúa podría llevar a 12 millones de casos de cáncer y 200,000 muertes en los siguientes 50 años>> (Multerer y Burton, 1991).

Los sistemas de enfriamiento convencionales que se han desarrollado no presentan buena aportación ecológica, por lo que se deben buscar opciones que tengan en cuenta el medio ambiente, las tecnologías alternativas se preocupan por tener en cuenta estos factores, como afirman diferentes autores: <<las tecnologías alternativas son descritas y evaluadas con base a potencial de agotamiento de ozono (ODP), potencial de calentamiento global (GWP), coeficiente de rendimiento (COP), tamaño físico, peso, complejidad y seguridad del pasajero>> (*ibid.*).

Actualmente presenciamos un problema muy delicado debido a la debilitación de la capa de ozono, que nos protege de los rayos UV solares, lo cual ha provocado que las temperaturas en verano se incrementen. Por la posición geográfica de nuestra región y por los problemas de la capa de ozono, las temperaturas se han elevado en primavera y verano hasta 43°C, por lo tanto, el problema que se pretende resolver mediante el sistema propuesto es el calor generado en el interior de un vehículo después de exposición solar, a través del análisis del suministro de energía implementando celdas solares y utilizando las propiedades del gas R410A para el sistema de refrigeración del vehículo. Una de las molestias causadas por las altas temperaturas se presenta a la hora de ingresar a un coche que ha estado expuesto a los rayos del sol.

La industria automotriz actualmente desarrolla tecnologías basadas en celdas solares (figura1). Por lo tanto se pretende que esta investigación conduzca a más planes de optimización en el futuro,

enfocándose a energía limpia en todas las aplicaciones posibles.

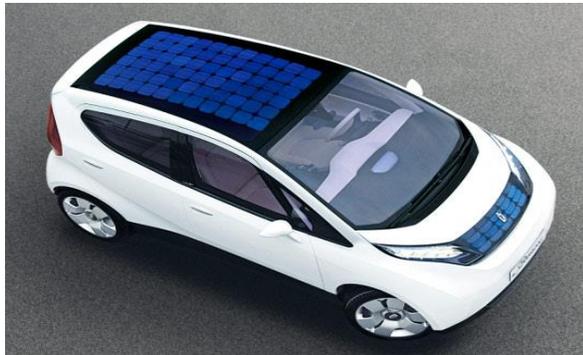


Fig. 1. Celdas solares en la industria automotriz.

El desarrollo de sistemas que consideren la optimización energética ha sido un gran avance en la tecnología moderna, los dispositivos deben ser más amigables con el medio ambiente y considerar el consumo de combustible como un tema de gran seriedad que requiere constante innovación. Con base en esta necesidad, se propone diseñar un sistema automotriz de refrigeración que reduzca eficazmente la temperatura en el interior del automóvil en la menor cantidad de tiempo posible y con un considerable ahorro de energía. La presente investigación pretende abordar la sustentabilidad a través de un diseño que aproveche los rayos solares para generar energía eléctrica por medio de la implantación de celdas fotovoltaicas, dispositivos que nos ayudan a aprovechar la energía solar. <<Extraer electricidad útil del sol fue posible con el descubrimiento del mecanismo fotoeléctrico y desarrollo subsecuente de las celdas solares, un material semiconductor que convierte la luz visible en corriente directa>> (Rizk y Chaiko, 2008).

De igual forma, el gas utilizado para el enfriamiento es evaluado con el objetivo de analizar el posible daño ambiental, en este caso, el gas R410A es un candidato perfecto debido a que tiene cualidades excelentes que no afectan la capa de ozono ni mucho menos la integridad del usuario.

Todos los componentes del sistema serán seleccionados con la finalidad de cumplir el objetivo de forma ecológica y eficiente, es por eso que se pretende abrir paso a más investigaciones que tomen en cuenta los factores ambientales. El sistema presentado es una opción innovadora que tendrá crecimiento durante los próximos años, puesto que invita a conocer más acerca de las formas de generar energía limpia que podamos aprovechar de forma práctica en problemas cotidianos.

METODOLOGÍA

El sistema propuesto pretende la integración de cuatro componentes básicos, que al funcionar secuencialmente ejecutan una solución práctica al calor que se genera en el interior de un automóvil. El funcionamiento del sistema se puede analizar en cuatro pasos que protagonizarán cada uno de sus componentes:

1. La **celda solar** se carga y obtiene la energía necesaria para ejecutar la tarea.
2. El **dispositivo emisor-receptor** envía una señal para accionar el sistema.
3. La **electroválvula** recibe la señal del emisor y conmuta automáticamente.

- El gas **R410A** se libera a través de las válvulas para reducir la temperatura.

En la figura 2 se indica el orden de la investigación. Debido a que el principio de funcionamiento es secuencial, todos los componentes deben trabajar correctamente para la ejecución funcional del sistema. A continuación se analizan las variables energéticas de cada componente.



Fig. 2. Secuencia de análisis

Conversión energética

Primeramente se debe limitar el área de la celda solar que se planea analizar. La inclinación con respecto al sol es un aspecto clave para la recolección de fotones que serán los encargados de producir la electricidad. Un aspecto importante para el análisis es la masa del aire. Éste parámetro es determinante porque nos permite conocer la cantidad de energía solar que puede llegar a la celda, se puede calcular de la siguiente forma:

$$\text{Masa del aire} = \frac{1}{\cos \infty} \quad (1)$$

Donde

∞ = Ángulo de incidencia (cuando el sol está directamente arriba $\infty = 0$)

Luego se deben estudiar los materiales utilizados en la fabricación de las celdas y seleccionar el más adecuado para la aplicación. Los parámetros usados para el análisis serán ideales y se usarán valores estándar de energía.

La caracterización matemática de una celda solar se puede resumir con las siguientes fórmulas, que definen los valores de eficiencia y factor de forma.

$$\eta = \frac{V_{oc} * I_{sc} * FF}{P_{in}} \quad (2)$$

$$FF = \frac{I_{mpp} * V_{mpp}}{I_{sc} * V_{oc}} \quad (3)$$

Donde:

V_{oc} = Voltaje de circuito abierto

I_{sc} = Corriente en corto circuito

Nota: Los electrones en la banda de conducción y los huecos en la banda de valencia deben moverse en direcciones diferentes para conducir una corriente de carga eléctrica J_Q

FF = Factor de forma ('fill factor')

P_{in} = Densidad de energía por luz incidente (estandarizado a 1000 W/m² con una distribución de intensidad espectral representada en la superficie de la tierra con un ángulo de incidencia de 48.2°)

Bandas de energía

La energía que se necesita para generar las corrientes eléctricas que activan el sistema se puede analizar mediante el estudio de las bandas energéticas que existen en los semiconductores. En la figura 3 se ilustran dichas bandas. A continuación se mencionan los aspectos que caracterizan a cada banda y la forma en que deben ser interpretados para lograr eficiencia energética.

- **Banda prohibida.** Para los sistemas fotovoltaicos se usan materiales semiconductores que presentan una buena eficiencia cuando su banda prohibida se encuentra entre 1.0 y 1.7eV.
- **Banda de valencia.** Es el más alto de los intervalos de energías que se encuentra ocupado por electrones en el cero absoluto.
- **Banda de conducción.** Es el intervalo que, estando por encima de la banda de valencia, permite a los electrones sufrir aceleraciones por la presencia de un campo eléctrico externo que permite la presencia de corrientes eléctricas.



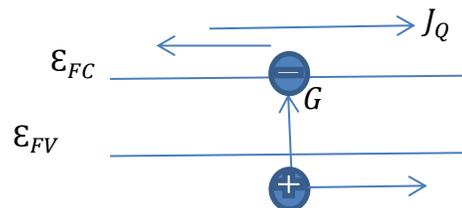
Fig. 3. Bandas de energía en semiconductores

Al utilizar el silicio cristalino como material semiconductor para la celda solar,

se deben especificar los factores energéticos que se obtienen después de la conversión. Los componentes de ejecución dependerán de estos datos para su correcto funcionamiento.

El espectro solar completo, desde infrarrojo hasta ultravioleta, cubre un rango de 0.5 a 2.9 eV aproximadamente. Cerca del 67% de la energía solar se pierde (Solo el 33% se puede usar para electricidad).

Conversión de energía química en energía eléctrica



La energía química producida por cada par electrón-hueco ($\epsilon_{FC} - \epsilon_{FV}$) que resulta de la exposición a la luz solar no puede ser completamente utilizada por un circuito externo.

Para generar un panel solar es necesario conectar varias células ya sea en serie o en paralelo según los parámetros requeridos. Los paneles (o módulos, como también se les llama) son las unidades básicas de los sistemas de generación de electricidad a partir de energía solar.

Los módulos solares se pueden conectar:

- **En serie.** Por ejemplo si tenemos un módulo de 12 V y 1.5 A y lo conectamos en serie con otro módulo de las mismas características tendremos un conjunto de 2 módulos de 24 V y 1.5 A (se suman los

voltajes y se mantienen las intensidades).

- **En paralelo.** Si tenemos los dos módulos del ejemplo anterior y los conectamos en paralelo tendremos un conjunto de 12 V y 3 A (se mantienen los voltajes y se suman las intensidades).

Por lo regular, una célula fotovoltaica tiene un grosor que varía entre los 0.25 y los 0.35mm y una forma generalmente cuadrada, con una superficie aproximadamente igual a 100mm².

Para predecir el comportamiento del panel fotovoltaico se deben analizar los parámetros principales para generar una curva I-V.

- **Corriente de corto circuito (Isc).** Es la máxima corriente que producirá el dispositivo bajo condiciones definidas de iluminación y temperatura, correspondientes a un voltaje igual a cero.
- **Voltaje de circuito abierto (Voc).** Es el máximo voltaje del dispositivo bajo unas condiciones definidas de iluminación y temperatura, correspondientes a una corriente igual a cero.
- **Potencia máxima (Pmax).** Es la máxima potencia que producirá el dispositivo en condiciones determinadas de iluminación y temperatura, correspondiente al par máximo I-V.
- **Corriente en el punto de máxima potencia (Ipmp).** Es el valor de la corriente para Pmax en condiciones

determinadas de iluminación y temperatura.

- **Voltaje en el punto de máxima potencia (Vpmp).** Es el valor de voltaje para Pmax en condiciones determinadas de iluminación y temperatura.
- **Factor de forma (FF).** Es el valor correspondiente al cociente entre Pmax y el producto de Isc*Voc. Puede venir expresado en tanto por ciento o tanto por 1, siendo el valor 100% el que corresponderá a un hipotético perfil de cuadrado, no real. Nos da una idea de la calidad del dispositivo fotovoltaico, siendo éste tanto mejor cuanto más alto sea su factor de forma.

Comúnmente las células fotovoltaicas se conectan en serie, con el objetivo de obtener valores de voltaje apropiados para su conexión a distintas cargas o a una batería (el voltaje de una célula estándar suele ser de 0.6 V aproximadamente). El voltaje total del módulo dependerá, por tanto, del número de células asociadas en serie. Por el contrario, la corriente que podemos obtener del módulo fotovoltaico dependerá principalmente del tipo y tamaño de las celdas.

- **Condiciones estándar de medida STC (Standard Test Conditions)**

Irradiancia = 1000 W/m²

Distribución espectral = AM 1.5G

Incidencia Normal

Temperatura de la célula = 25 °C

- **Condiciones Nominales de Operación (CON)**

Irradiancia = 800 W/m²

Velocidad del viento = 1 m/s

Temperatura de la célula:
Temperatura de Operación Nominal de la Célula (TONC)

(TONC se define como la temperatura nominal de operación de la célula, y representa la temperatura que alcanzarían las células solares para un nivel de irradiancia de 800 W/m², temperatura ambiente de 20 °C, velocidad del viento de 1 m/s e incidencia normal.)

Temperatura ambiente = 20 °C

La curva I-V es de gran ayuda para el análisis de los paneles solares, la figura 4 muestra la forma en que la curva indica el comportamiento de los parámetros principales y sirve como guía para optimizar determinada aplicación.

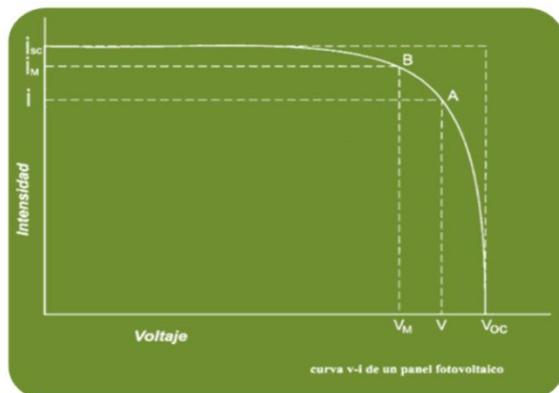


Fig. 4. Curva característica

Eficiencia del módulo fotovoltaico

Al analizar la eficiencia de cualquier dispositivo fotovoltaico es posible definir la calidad del mismo. En los generadores fotovoltaicos, es el cociente entre la energía producida por el dispositivo y la energía incidente. Sin embargo, existen varias maneras de definir la eficiencia del generador fotovoltaico, dependiendo del área del mismo que se tenga en cuenta.

- **Eficiencia con respecto al área total.** Esta definición implica la relación entre la máxima potencia generada por el dispositivo y la cantidad de radiación solar incidente en el dispositivo completo. Por dispositivo completo se entiende el área total del módulo, incluyendo células, espacio intercelular, contactos y marco del mismo.

$$\eta_{\text{áreatotal}} = \frac{P_{\text{max}}}{A_T * E_T} \quad (4)$$

Donde:

$\eta_{\text{áreatotal}}$ = Eficiencia con respecto al área total

P_{max} = Potencia máxima que puede generar el dispositivo

A_T = Área total del dispositivo

E_T = Radiación solar incidente total

- **Eficiencia con respecto al área de la célula.** Es una versión modificada de la anterior, en la que sólo se considera el área cubierta por las células dentro del módulo ignorando el espacio entre células y el marco del módulo. De esta manera se evita el efecto de marcos muy grandes,

que en realidad no afectan la calidad de la célula fotovoltaica.

La expresión sería la misma que la ecuación (4), sustituyendo el área total por el área de células (A_c).

- **Eficiencia con respecto al área activa de la célula.** Esta definición implica el cálculo de la eficiencia basada solamente en el área del dispositivo que está expuesta a la luz solar incidente. Las áreas sombreadas por los contactos o las rejillas de las células no estarían incluidas. Esta es la eficiencia que nos ofrece siempre un valor mayor, aunque normalmente sólo se utiliza para células individuales y en resultados de laboratorio, no en dispositivos comerciales.

En la figura 5 se señalan las medidas propuestas para el panel fotovoltaico.

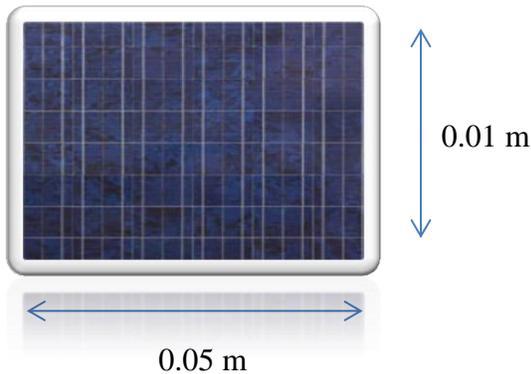


Fig. 5. Dimensión de panel.

El panel seleccionado es fabricado a base de silicio multicristalino y los parámetros se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de la celda seleccionada.

Eficiencia de Celda	15%
Eficiencia de Módulo	14%
Material del Marco	Aluminio
Coefficiente de Temperatura I_{sc}	+0.05%/°C
Coefficiente de Temperatura V_{oc}	-0.34%/°C
Coefficiente de Temperatura de Potencia	-0.5%/°C
Coefficiente de Temperatura I_m	+0.05%/°C
Coefficiente de Temperatura V_m	-0.34%/°C
Temperatura de celda nominal	47°C ($\pm 2^\circ\text{C}$)
Resistencia de Impacto	227g masa de hierro a 1m

Accionamiento remoto

Una vez obtenidos los valores necesarios para implementar las celdas solares, se definen las especificaciones del dispositivo emisor-receptor. Las frecuencias utilizadas definen el tipo de comunicación que se desea lograr; en el caso del sistema analizado, se utilizarán radiofrecuencias, ya que permiten atravesar obstáculos. El dispositivo es el encargado de enviar la señal que activará la función principal del sistema.

Al analizar un dispositivo de accionamiento remoto, se deben tomar en cuenta los parámetros generales de funcionamiento que comprenden conceptos como: canales, frecuencia, datos y señales. En la figura 6 se muestra un bosquejo generalizado.

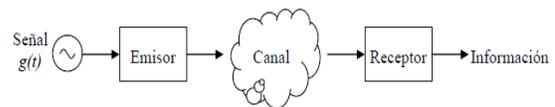


Fig. 6 Esquema general de comunicación.

Dependiendo de la aplicación se adaptarán estos parámetros para optimizar su funcionamiento. La señal inicial $\ll g(t)$ es una magnitud eléctrica que varía en el tiempo de acuerdo con la información que se

quiere transmitir. Se denomina señal en banda base>>> (SEC, s.f.).

Canal es el medio físico que debe atravesar la señal para llegar a su destino. Por ejemplo: cable eléctrico, aire o fibra óptica.

Cuando se envía $g(t)$ directamente por el canal se habla de transmisión en banda base. En general no es posible porque $g(t)$ no se propaga por el canal, o porque se quiere compartir el canal entre varias señales sin que se interfieran (multiplexado).

Debido a esto, comúnmente se implementa un emisor que modifica $g(t)$ para adaptarla al canal; para mejorar su propagación. Al otro extremo del canal se coloca un receptor para recuperar la información contenida en $g(t)$. En el presente análisis la atmosfera (aire) es considerada como el canal y la propagación se hace en forma de ondas electromagnéticas de radiofrecuencia (RF).

El emisor seleccionado usa radiofrecuencia para activar el sistema a distancia sin sufrir interrupciones por objetos ya que la aplicación deberá funcionar en un ambiente concurrido que podría debilitar la señal si se usara alguna tecnología diferente. En la figura 7 se aprecia un esquema de la comunicación por RF.



Fig. 7. Sistema de comunicaciones RF

La antena que se muestra a la salida del emisor es el transductor encargado de

convertir la señal eléctrica en ondas electromagnéticas de RF. Sin embargo, la señal que llega a la antena deberá tener las magnitudes de frecuencia correctas. Usualmente la señal que sale del emisor, la que llega a la antena, es una señal modulada que presenta la forma:

$$x(t) = g(t) * \cos(\omega_c t) \quad (5)$$

Donde ω_c es la frecuencia portadora en RF

Para realizar la modulación, se deben trasladar los componentes frecuenciales (espectro) de la señal $g(t)$ desde la componente continua, $\omega = 0$, hasta ω_c . Por otra parte, el espectro se dobla alrededor de ω_c , lo que significa que se crea una copia especular del espectro (ilustrado en figura 8), además del inicial.

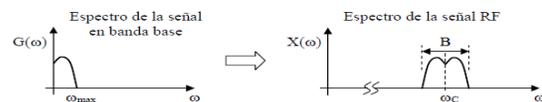


Fig. 8. Espectro de señales.

La señal $g(t)$ es una señal paso bajo, $\omega < \omega_{max}$, mientras que la señal $x(t)$ es una señal paso banda, $(\omega_c - \frac{B}{2}) < \omega < (\omega_c + \frac{B}{2})$ donde B es el **ancho de banda**. Normalmente el receptor debe realizar la operación inversa.

Commutación de electroválvula

La selección de las electroválvulas se tomará con base en el fluido que se pretende utilizar (en este caso el gas R410A). Al recibir la señal eléctrica del dispositivo emisor, la electroválvula conmuta para

liberar el gas. En este paso se debe evaluar si la energía recolectada por las celdas solares es suficiente para lograr la ejecución.

El dispositivo receptor se conecta directamente a la electroválvula de tal forma que, cuando reciba la señal del emisor, la transfiera al sistema eléctrico de la válvula; la energía necesaria para dicho accionamiento ya debe estar almacenada en la celda en ese momento.

La electroválvula seleccionada es una GOYEN® clase IP64 de conexión DIN 43650 A que cuenta con solenoides utilizados en el accionamiento remoto de válvulas de diafragma o piloto. Podemos apreciar estos datos en la tabla 2.

Esta válvula presenta ventaja por sus dimensiones, ya que se propone instalar cerca de las esquinas superiores del parabrisas delantero del vehículo. Es una válvula de accionamiento directo que liberará el refrigerante justo en el momento de recibir la señal del emisor.

Tabla 2. Datos técnicos de la electroválvula

Code K-	Type	Connection Type	Class	Voltage	Inrush mA	Hold mA	Power
300	QR	DIN 43650A	IP64	200/240V 50/60Hz	148/143	105/94	23.1 VA
301	QR	DIN 43650A	IP64	100/120V 50/60Hz	234/255	180/152	19.8 VA
302	QR	DIN 43650A	IP64	24V 50/60 Hz	1338/1096	963/716	23.1 VA
303	QR	DIN 43650A	IP64	110VDC	212	212	24 W
304	QR	DIN 43650A	IP64	48VDC	429	429	20 W
305	QR	DIN 43650A	IP64	24VDC	873	873	20 W
306	QR	DIN 43650A	IP64	12VDC	1644	1644	20 W

La selección es tomada principalmente en base al voltaje de 12 V que maneja. Este es el valor de voltaje estándar en la industria automotriz. La batería general del automóvil será la que pueda alimentar el sistema alternamente en caso de que el panel fotovoltaico no colecte la energía necesaria. De esta forma podemos

anticipar fallas y el usuario tomará la decisión de usar la alternativa si lo considera necesario. Los paneles se colocan en las esquinas superiores del parabrisas frontal, posición en la que se recibe la mayor incidencia de luz solar. Las electroválvulas se instalan en la parte interior de la carrocería, que sostiene al parabrisas. El objetivo es que los componentes se encuentren lo más cerca posible para facilitar la efectividad de las señales eléctricas.

La electroválvula requiere 12 voltios para trabajar, por lo que se conectará directamente a la batería principal del automóvil en condición de funcionamiento alterno. En condiciones normales el panel debe generar esos 12 voltios para lograr conmutar la válvula y liberar el gas.

Como se aprecia en la fórmula (4), podemos usar la potencia máxima que se esperaría del dispositivo porque conocemos el valor de la corriente necesaria para que la válvula ejecute la función. Al calcularlos, podemos saber la eficiencia.

El producto de la intensidad y el voltaje nos brinda la potencia:

$$Potencia = Voltaje * Intensidad \quad (6)$$

En el caso de la electroválvula seleccionada se dan a conocer estos tres parámetros como se muestra en la tabla 2. Partiendo de estos valores continuamos con la evaluación energética.

Conocemos los siguientes parámetros:

Intensidad $I=1644$ mA
 Voltaje $V=12$ V

Potencia	$P=20 \text{ W}$
Área	$A= 0.5 \text{ m}^2$
Irradiación	$E= 1000 \text{ W/m}^2$

Partiendo de la fórmula de eficiencia con respecto al área total:

$$\eta_{\text{áreatotal}} = \frac{P_{max}}{A_T * E_T}$$

Tenemos que:

$$\eta_{\text{áreatotal}} = \frac{(20 \text{ W})}{(0.5 \text{ m}^2)(1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2})}$$

De esta forma podemos estimar la eficiencia que tendría la aplicación con los elementos seleccionados:

$$\eta_{\text{áreatotal}} = 0.04 \sim 40\%$$

La eficiencia en estos cálculos resultó considerablemente alta porque son condiciones ideales que desprecian aspectos como: temperatura, marco del panel y material de la celda. Sin embargo, estas estimaciones son de gran ayuda para el análisis de posibles aplicaciones que consideren eficiencia energética.

Liberación del refrigerante

El gas R410A en ese momento se dispersa en el interior del vehículo interactuando con las moléculas de aire caliente presentes en el área. Se deben describir dichas interacciones para definir la cantidad de calor que se logró reducir. El comportamiento óptimo del sistema debería

reducir la temperatura por un periodo de tiempo que le tomaría al usuario recorrer desde que activa el sistema hasta que ingresa al automóvil; en dicho momento el aire en el interior debe sentirse cómodo para el usuario.

Las características y propiedades termodinámicas que se deben tomar en cuenta en un refrigerante se muestran a continuación:

- **Alto calor latente de vaporización: λ (kJ/kg)**

Permite reducir el caudal másico circulante de refrigerante (kg/s)

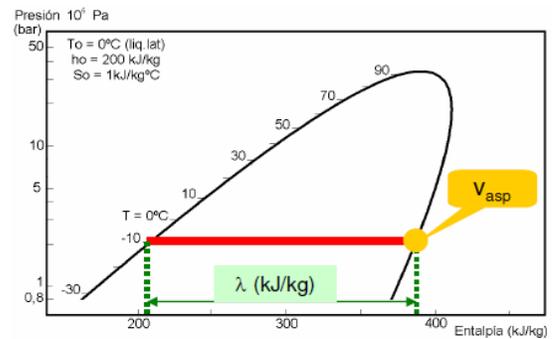


Fig. 9. Alto calor latente de vaporización

- **Bajo volumen específico del vapor en la aspiración V_{asp} (kg/m³)**

Permite reducir el tamaño del equipo (compresor y tuberías)

- **Presiones de trabajo moderadas**

$P_{cond} < P_{critica}$ (permite que el ciclo tenga recorrido)

$P_{evap} > P_{atmos}$ (evita entrada de humedad)

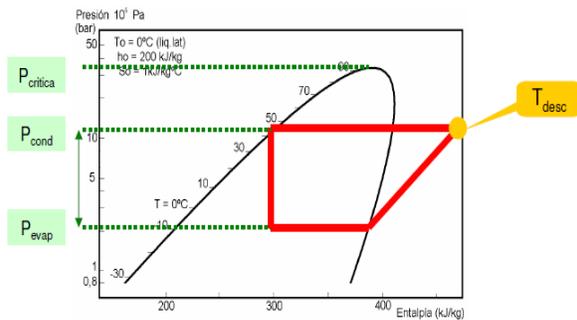


Fig. 10. Presiones de trabajo moderadas

- **Temperatura de descarga moderada**

Evitar la descomposición del lubricante y el asociado daño para el compresor

- **Tasa de compresión y exponente isoentrópico reducidos**

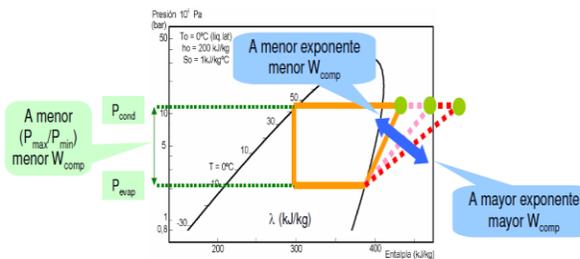


Fig. 11. Tasa de compresión

Para calcular la capacidad de refrigeración podemos usar el siguiente modelo matemático que se puede adaptar a diferentes condiciones:

$$Q_m = \frac{\varphi A}{h_{vap}} * 3.600 \quad (7)$$

Donde:

Q_m = Capacidad mínima de descarga requerida del dispositivo de alivio en kilogramos de refrigerante por hora

φ = Densidad de flujo térmico establecido en 10 kW/m²

A = Superficie exterior del recipiente en metros cuadrados

h_{vap} = Calor latente específico de evaporación del refrigerante, en kJ/kg, calculado a una presión de 1.1 veces la presión de tarado del dispositivo.

Partiendo de estas características podemos analizar la interacción que tendrá el refrigerante con el aire caliente al interior del vehículo. Las electroválvulas son posicionadas cerca de las esquinas del techo con el objetivo de dispersar el refrigerante hacia abajo y tratar de contrarrestar la energía calorífica (que tiende a subir). El aire refrigerado debería mantenerse hasta el momento que el usuario abra la puerta para ingresar al vehículo.

Los sistemas de refrigeración deben predecir el flujo que ocurriría en determinada área para determinar la cantidad necesaria para la aplicación.

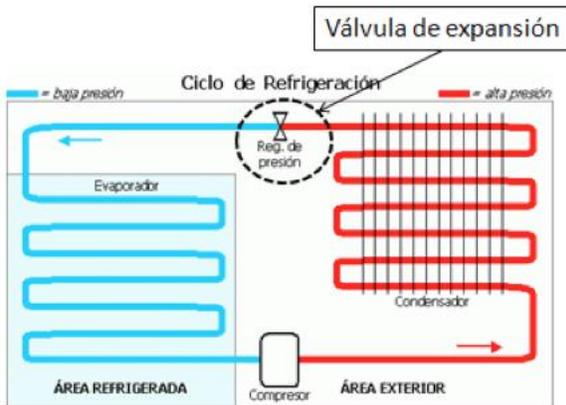


Fig. 12. Control de flujo de refrigerante

RESULTADOS

La investigación otorgó un entendimiento de los parámetros energéticos principales a tomar en cuenta en un sistema eficiente de refrigeración automotriz. Los datos usados fueron de desarrollos experimentales, así como de aplicaciones convencionales.

La experimentación real con el gas R410A propuesto no es posible debido a que es un refrigerante que aún se encuentra en periodo de investigación. Sin embargo, sus propiedades definen que la ejecución de un sistema como el propuesto en este proyecto podría ser factible con la integración de los sistemas delimitados.

Los parámetros descritos para una aplicación solar de este tipo resultan convenientes con los materiales y métodos que han sido expuestos. Es posible profundizar la investigación en los sistemas fotovoltaicos con el objetivo de ampliar tanto la capacidad de los materiales utilizados como el rango de aplicaciones. En el presente proyecto se analizaron sólo tres de los materiales más comunes en la industria fotovoltaica y se seleccionó el

silicio cristalino debido a que es el que presenta menor costo y tiene características convenientes de eficiencia.

La integración de los componentes propuestos para el sistema es posible si se extiende la investigación y se preparan los experimentos correspondientes. Los parámetros analizados mostraron que si existe una posibilidad de compatibilidad secuencial para lograr los objetivos planteados. Cada uno de estos componentes debería ser adaptado en tamaño o forma para la aplicación propuesta, pero los aspectos energéticos permiten agruparlos para lograr la meta.

CONCLUSIONES

Los sistemas de energía fotovoltaica deben ser más explotados en nuestra región debido a que tenemos un nivel de irradiación superior al resto del mundo, energía que para muchos de los países pioneros en esta tecnología, es envidiable (Ver Fig. 13).

Las aplicaciones fotovoltaicas no se limitan a la generación de electricidad con fines residenciales y es responsabilidad de los involucrados en el desarrollo de tecnologías limpias el proponer y resaltar las amplias posibilidades de su utilización. Todas las investigaciones en energía renovable deben ser apoyadas y profundizadas con el fin de alcanzar un equilibrio ambiental que mejore la calidad de vida de las generaciones futuras.

La presente investigación fue de gran utilidad debido a la innovación que propone la integración de sus componentes. Fue posible entender la importancia del desarrollo de nuevos sistemas que pudieran tener un impacto positivo en la sociedad. Es

importante que en México se propongan tecnologías propias, que impulsen la instalación de centros nacionales de investigación y desarrollo.

El proyecto se tornó complejo y no fue posible un análisis profundo de todas las variables energéticas y comportamiento termodinámico que presentaría el sistema. Sin embargo, se abre una propuesta ecológica que se podría llevar a cabo con los recursos necesarios.

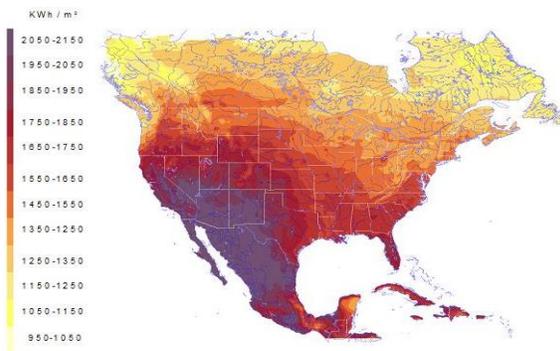


Fig. 13. Niveles de irradiación en Norteamérica

REFERENCIAS

Alurralde, M. Tamasi, M.J.L. Bruno, C. J. Martínez Bogado, M.G. Plá, J.C. Fernández Vázquez, J. (2001). *Estudios de Daño por Radiación con Protones de 10MeV en Celdas Solares de Silicio Cristalino utilizando el Acelerador TANDAR*, Centro Atómico Constituyentes-CNEA, Buenos Aires, Argentina.

Anco S. Blaze, (2012). *Photovoltaics for Commercial and Utilities Power Generation*, The Fairmont Press, Inc. Pg. 27.

Aswathanarayana, U. (2010). *Green Energy: Technology, Economics and Policy*, Taylor & Francis Group Pg. 21.

Enslin, J. R. Wolf, M.. Snyman, D Swiegers, W. (1997). *Integrated Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Converter*, IEEE Transactions on Industrial Electronics Vol. 44 No. 6 Diciembre 1997.

Gas-Servei. (s.f.). *Ficha Técnica R410A*, Eurorefrigerants, Gas-Servei, S.A. <<http://www.gas-servei.com/docs/tecnicas/ref/R410A.pdf>>

Langley, B. C. (Ed.D). (1995). *Fundamentals of Air Conditioning Systems*, The Fairmont Press, Inc.

Labouret, A. Viloz, M. (2008). *Energía solar fotovoltaica: Manual práctico*, A. Madrid Vicente Ediciones Pg. 42-43.

Leach, A. (s.f.) R410A The refrigerant of the future, Actrol. <<http://www.actrol.com.au/techPapers/r410a.pdf>>

Madrid, A. (2009). *Curso de Energía Solar (Fotovoltaica, Térmica y Termoeléctrica)*, AMV Ediciones, MUNDI-PRENSA, Madrid, España.

Mayné, J. (2005). *Estado Actual de las Comunicaciones Inalámbricas*, SILICA.

Multerer, B. Burton, R. L. (1991, julio). *Alternative technologies for Automobile Air Conditioning*.

Richter, M. R. Bullard, C. W. Hrnjak, P. S. (2001, junio). *Comparison of R744 and R410A for Residential Heating and Cooling Applications*, Air Conditioning & Refrigeration Center.

Rizk, J. Chaiko, Y. (2008). *Solar Tracking System: More Efficient Use of Solar Panels*, World Academy of Science, Engineering and Technology.

SEC. (s.f.). *Características Básicas de Emisores y Receptores*, UIB, <http://www.uib.es/depart/dfs/GTE/education/telematica/sis_ele_comunicacio/Apuntes/Capitulo%201.pdf>

Short, W. Packey, D. J. Holt, T. (2005). *A Manual for Economic Evaluation of the Energy Efficiency and Renewable Energy Technologies*, National Renewable Energy Laboratory, University Press of the Pacific.

SMC. (2006). *Guía para las válvulas de proceso*, SMC Corporation, <http://www.smc.eu/portal/WebContent/resources/docs/process_valves_pdf/process_valve_guide_leaf_es.pdf>

Steven, J. Yana-Motta, S. F. Domanski, P. A. (2001, enero). *Comparative analysis of an automotive air conditioning systems operating with*

CO2 and R134a, International Journal of Refrigeration.

Würfel, P. (2009). *Physics of Solar Cells: From Basic Principles to Advanced Concepts*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA Pg. 100.