

# Análisis de viabilidad de ventanas electrocrómicas en un vehículo

Israel Ibarra Solís<sup>1</sup>, David A. Camargo Hernandez<sup>1</sup>, Luisa María Felix Ventura<sup>1</sup>, Carlos A. Trujillo Castellanos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Guanajuato, Instituto Politécnico Nacional.

<sup>2</sup>Tecnológico Nacional de México campus León.

## Resumen

En la actualidad, la cantidad de individuos que cuentan con un vehículo es muy grande, y se podría asegurar que parte del día a día se pasa en el vehículo trasladándose de un punto a otro; de la misma manera, es bien sabido que la exposición constante a radiación solar puede causar daños en la piel y en el cuerpo de los seres humanos; entonces, es aquí en donde entran las ventanas electrocrómicas, las cuales tienen incorporado un sistema que permite provocar reacciones químicas y físicas, las cuales desencadenan en que el vidrio cambie su opacidad para aumentar la protección contra los rayos UV del sol. Los vidrios electrocrómicos se vienen empleando desde años atrás en diferentes aplicaciones hasta llevarlos a la implementación en los vidrios de los vehículos, y la presente investigación tiene como propósito descubrir la viabilidad de la aplicación de estos, además de demostrar cómo se relacionan los vidrios electrocrómicos con el ahorro de combustible, comodidad de los pasajeros y el estado del interior del vehículo; de igual manera, sabremos si es posible implementarlo en todas las ventanas de los vehículos convencionales, dando pie a la futura investigación e implementación de diferentes materiales o tratamientos para popularizar y hacer más eficiente su uso.

## Abstract

At present, the number of individuals who have a vehicle is very large, and it could be ensured that part of the day to day is spent in the vehicle moving from one point to another; In the same way, it is well known that constant exposure to solar radiation can cause damage to the skin and body of human beings. So, this is where electrochromic windows come in, which have a built-in system that allows chemical and physical reactions to be caused, which trigger the glass to change its opacity to increase protection against the sun's UV rays. Electrochromic glasses have been used for years in different applications until they were implemented in vehicle windows, and the purpose of this research is to discover the feasibility of their application, in addition to demonstrating how electrochromic glasses are related to fuel economy, passenger comfort and the condition of the interior of the vehicle; In the same way, we will know if it is possible to implement it in all the windows of conventional vehicles, giving rise to future research and implementation of different materials or treatments to popularize and make their use more efficient.

**Palabras claves:** Vidrios electrocrómicos, radiación solar, láminas de PDLC, simulación

**Keywords:** Electrochromic glasses, solar radiation, PDLC sheets, simulation

## 1. ANTECEDENTES

Los dispositivos electrocrómicos han existido desde la década de 1920 cuando se observó el primer acercamiento a lo que es un dispositivo electrocrómico que involucra la formación electroquímica de color, presentada en una patente de Londres. El método implicó el electro generación de yodo molecular a partir de iones de yoduro. El yodo molecular luego efectúa la oxidación química de un precursor de tinte, formando así un color brillante [2]. Sin embargo, no fue hasta la última década que los dispositivos electrocrómicos empezaron a tomar una pauta diferente, con la implementación de estos en la construcción de edificios para el ahorro de energía y, posteriormente, en la aplicación de vehículos en materia de seguridad vial específicamente seguridad pasiva.

Actualmente existen formas comerciales de dispositivos electrocrómicos. Incluyen espejos en varios millones de automóviles que se atenúan automáticamente para eliminar el deslumbramiento, del mismo modo, los vidrios electrónicos se encuentran en las ventanas de los aviones "inteligentes" que se oscurecen de manera ajustable para reducir el brillo de la cabina [3].

El ECD más destacado es la atenuación automática de los espejos "Night Vision Safety" (NVS) de "Gentex Corporation para eliminar el deslumbramiento; en el sistema Gentex, una superficie de vidrio recubierta con óxido de indio dopado con estaño (con su lado conductor hacia adentro) y una superficie metálica reflectante, espaciada una fracción de milímetro, forman los dos electrodos de la celda. El estrecho espacio entre los electrodos se llena con una formulación de gel que contiene dos materiales electrocrómicos, sin electrolito de soporte adicional.

Mercedes-Benz, una empresa alemana fabricante de vehículos ha fabricado diversos modelos con Smart Glass. El modelo más asequible, el Roadster SLC, tiene cristales ajustables que bloquean la luz. Roadster SLC cuenta con la característica que es el techo vario panorámico con Magic sky control; este techo de vidrio se aclara u oscurece con solo tocar un botón. Esto significa que proporciona una sensación de estar al aire libre en cualquier momento, pero cuando es necesario da una agradable sombra bajo un sol ardiente. La función Magic sky control, que utiliza la tecnología Research Frontiers SPD-SmartGlass, es una transferencia del modelo predecesor del SLC, el Roadster SLK [5].

## 2. METODOLOGÍA

Las etapas claves de la realización sistemática de la investigación radica en diseñar metódicamente un estudio que entregue resultados fiables en respuesta a los objetivos de la investigación.

### ANÁLISIS FAST DEL SISTEMA

En la presente investigación se utilizará el árbol de funciones o diagrama FAST (Function Analysis System Technique) el cual, ayuda a pensar en el problema de manera objetiva y a identificar el alcance del proyecto al mostrar las relaciones lógicas entre las funciones. La organización de las funciones en un diagrama DFFD FAST de lógica funcional que permite identificar funciones del sistema [17].

- Fase 1: Actualmente los proveedores de láminas de PDLC son bastantes limitados, ya que, es una tecnología un poco compleja lo cual implica que existan pocos proveedores en México. Una vez que se cuenten las láminas de PDLC se deberá de colocarlas sobre el parabrisas de una Ford Ranger 98, para realizar las pruebas correspondientes.
- Fase 2: Se realizarán pruebas de Radiación Solar con un piranómetro, estas pruebas se tendrán lugar en un vehículo convencional y el parabrisas parcialmente cubierto por láminas de PDLC, con la finalidad de comparar que tanta radiación solar entra en un vehículo con o sin las láminas PDLC en distintos horarios del día.
- Fase 3: Se realizarán pruebas de Temperatura con un termómetro infrarrojo para tener mayor precisión, estas pruebas se tendrán lugar en un vehículo convencional el parabrisas parcialmente

cubierto por láminas de PDLC, con la finalidad de comparar el comportamiento de la temperatura dentro un vehículo con o sin las láminas PDLC en distintos horarios del día.

- Fase 4: Se realizarán pruebas de voltaje e intensidad con un multímetro, se medirá el voltaje e intensidad requerido para para que una lámina de PDLC se oscurezca y con estos datos calcular la potencia y compararlo con el aire acondicionado, y ver si realmente existe un ahorro de energía con la aplicación de estas láminas.
- Fase 5: Se obtendrán datos de las láminas de PDLC y del parabrisas para construir un modelo 3D en SolidWorks para realizar análisis de Elemento finito.
- Fase 6 y 7: Analizar los datos obtenidos en las distintas pruebas y compararlos con los recabados por la investigación para examinar si realmente existe un beneficio en la implementación de vidrios electrocrómicos en un vehículo convencional.

## SOFTWARE

El estudio de análisis finito utilizará el paquete de Software SolidWorks y su subprograma SolidWorks “Simulation”. El software que ofrece un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del producto. El subprograma somete los diseños a condiciones idénticas que experimentaría en la realidad, aumentando la calidad de los productos al tiempo que reduce el coste de sus prototipos [18].

### 3. CONFIGURACIÓN EXPERIMENTAL

En esta investigación se examinarán diversas características de un vidrio electrocrómico, si se incorporase en el parabrisas o ventanillas laterales de un “Ford Ranger 1998”. Para poder realizar el diseño conceptual se tomaron ciertas dimensiones del vehículo para poder reproducirlas en el software “SolidWorks”, del mismo modo se usó el subprograma “Herramientas de renderizado” que se utiliza en el proceso de generación de una imagen de alta calidad (render 3D) a partir de un modelo con software informático, en este caso un archivo “SLDPRT”. Se puede observar en la (figura 1) un diseño conceptual seccionado del vehículo, que tiene como función dar una idea del producto final que se ocupará como banco de prueba y que albergará los vidrios EC.



Figura 1. Modelo Conceptual

En un estudio que realizó la Society of Automotive Engineers de Estados Unidos se descubrió que usar el aire acondicionado gasta gasolina, se descubrió que el aire acondicionado consume un 10% más de combustible de lo usual En las pruebas que se hicieron se utilizaron una SUV y un auto sedán los cuales condujeron durante

algunas horas, se descubrió que en la camioneta SUV, el consumo de combustible aumentó en un 8%, mientras que en el sedán el gasto de gasolina fue un 20% mayor [22].

### ANÁLISIS DE RADIACIÓN SOLAR

Se realizarán una serie pruebas de Radiación Solar con un piranómetro, estas pruebas se tendrán lugar en una Ford Ranger 1998 con el parabrisas cubierto parcialmente con láminas de PDLC, con la finalidad de comparar que tanta radiación solar entra en un vehículo con las láminas PDLC encendidas o apagadas y sin ellas en distintos horarios del día.

La prueba de radiación solar tuvo lugar en el 10 de octubre del presente año, ya que dicho día contaba con las condiciones óptimas para poder relazarla; Temperatura ambiente que oscilaba entre los 25° y 11° C, con un avistamiento nulo de nubes como se observa en la (figura 2).

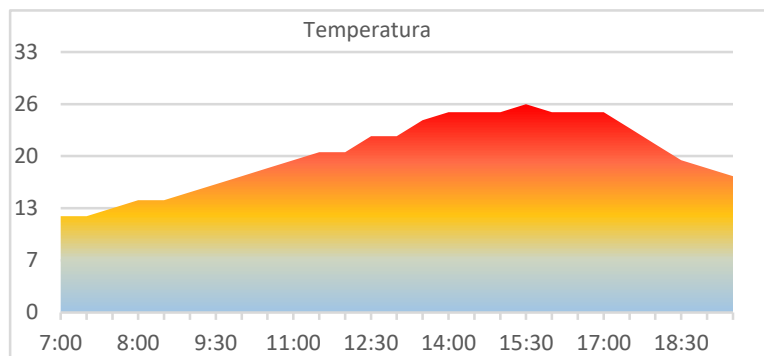


Figura 2. Temperatura a lo largo del día

### ANÁLISIS DE TEMPERATURA

Se realizarán una serie pruebas de Temperatura con un termómetro infrarrojo, estas pruebas se tendrán lugar en una Ford Ranger 1998 con el parabrisas cubierto parcialmente con láminas de PDLC, con la finalidad de comparar la temperatura dentro del cristal como por fuera del vehículo, así como también la temperatura que existe en la unidad de cabecera que es donde se incorporan los elementos como la Radio, aire acondicionado etc. Estas mediciones se llevarán a cabo en 3 escenarios distintos con las láminas PDLC encendidas o apagadas y sin ellas en distintos horarios del día. La prueba de Temperatura tuvo lugar en el 10 de octubre del presente año, ya que dicho día contaba con las condiciones óptimas para poder relazarla; Temperatura ambiente que oscilaba entre los 25° y 11° C, con un avistamiento nulo de nubes como se observa en la (figura 11). El mecanismo de la prueba consistió en mantener prendida una de las láminas durante el transcurso del día, mientras que la otra lamina se mantenía apagada. Las mediciones se registraron en un lapso de 30 minutos, excepto una, la medición que se llevó a cabo a las 7:40, ya que corresponde al primer avistamiento del sol. Las mediciones se dividieron en dos etapas, la primera tuvo lugar en un horario de 7:30 a 14:30 horas, ya que, en este horario el vehículo estaba orientado hacia el horizonte como se observa en la (figura 3).

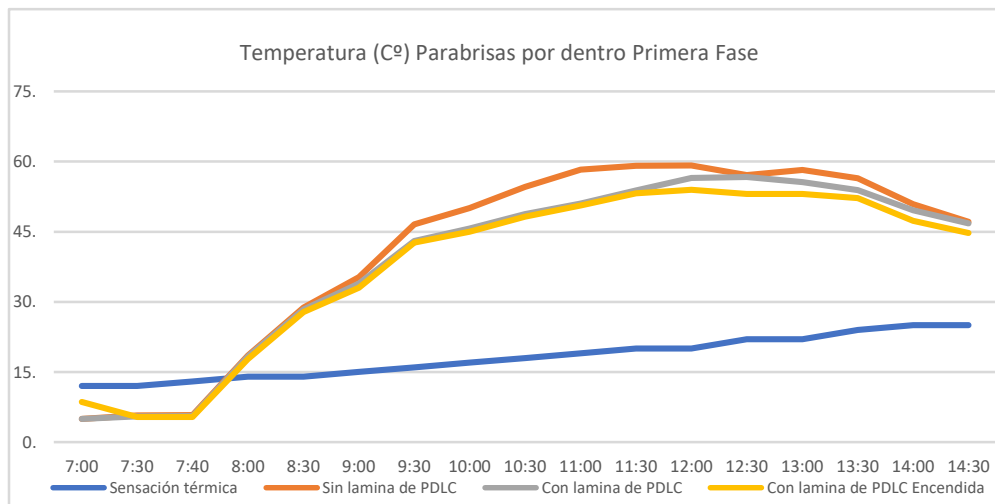


Figura 3. Comportamiento de la Temperatura en la Cabecera (Vehículo orientado al Poniente)

La segunda etapa de mediciones se llevó a cabo entre las 15:00 y 19:30 horas, en este horario el vehículo se orientó hacia el poniente (Figura 4) con el fin de observar el comportamiento del vehículo ante el constante cambio de posición del sol.

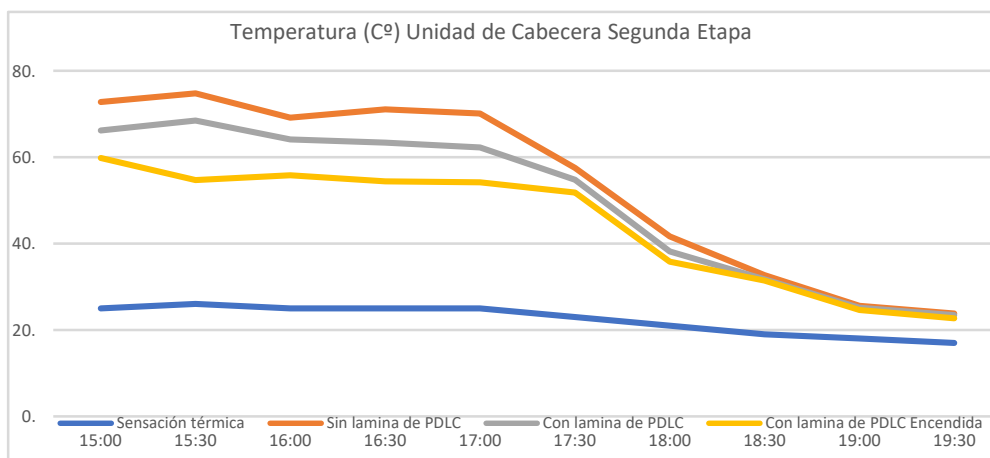


Figura 4. Comportamiento de la Temperatura en el Parabrisas por dentro (Vehículo orientado al Horizonte)

### ANÁLISIS DE INTENSIDAD

Se realizarán una serie mediciones con un multímetro para determinar la cantidad de voltaje y la resistencia que presenta una lámina de PDLC para cambiar su estado químico, a partir de estas, se calculará la potencia que otorga cada una, esto con el objetivo de conocer la potencia total de las láminas de PDLC. Sin embargo, esta mensuración en muchas ocasiones no suele ser la misma, ya que puede existir un factor conocido como margen de Error, por lo tanto, se realizarán 20 mediciones. Estas mediciones se realizarán en un ambiente controlado con una fuente de poder de 12 voltios simulando el voltaje de la batería de un vehículo. Posteriormente se procedió a realizar el cálculo del promedio de las mediciones con la fórmula 1.

$$Promedio = \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}$$

$$Promedio = \frac{4.9 + 2.5 + 5.1 + 4.7 + 4.0 + 5.1 + 3.3 + 4.7 + 4.2 + 4.9 + 3.8 + 4.7 + 3.6 + 5.1 + 3.4 + 4.3 + 3.1 + 4.7 + 4.8 + 5}{20} = 4.295mA \quad (1)$$

Podemos definir la potencia de dispositivo eléctrico como el producto de la tensión a la que está conectado (V) y la intensidad de la corriente que lo atraviesa (I), resultando en la fórmula número 2

$$P = V * I$$

$$P = 12v * 4.295mA = 51.54mW \quad (2)$$

Para poder cubrir completamente el parabrisas de la Ford Ranger 1998 se necesita tomar en cuenta sus dimensiones las cuales son 120 cm largo x 69 cm de ancho, lo cual nos da un total de 8280 cm<sup>2</sup>. En otro orden de las cosas las dimensiones de una lámina de PDLC son de 21 cm de largo por 29 cm de ancho por lo tanto se necesita 12 láminas para cubrir casi en su totalidad el parabrisas. En la (figura 5) se observa una simulación del posible circuito que se ocuparía, cabe destacar que las láminas PDLC esta representadas con “Signal Lamp” (Lampara), ya que la biblioteca de LiveWire no cuento con un elemento que se asemeje al material electrocrómico. De la misma forma en la parte izquierda de cada elemento se puede observar la cantidad de potencia que genera el dispositivo.

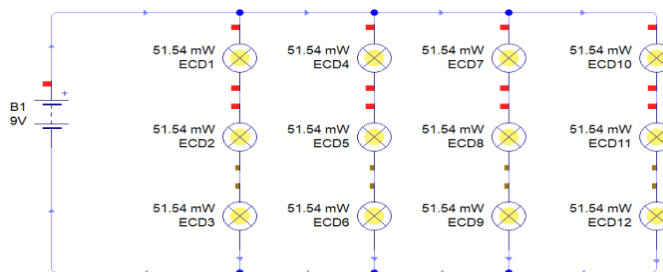


Figura 5. Diagrama de circuito de las láminas de PDLC sobre el parabrisas

Para poder determinar la potencia total del circuito es necesario sumar las potencias que genera cada uno de los dispositivos electrocrómicos (Laminas de PDLC). En el caso de las potencias, la suma cada receptor siempre es igual a la potencia total (en serie y en paralelo) fórmula 3.

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 \dots P_X \quad (3)$$

En este caso como la potencia de cada uno de los dispositivos es igual, es posible simplificar la formula, multiplicando la potencia de uno de los dispositivos por el número de elementos que hay.

$$P_T = 51.54mW * 12$$

$$P_T = 618.48mW$$

$$\frac{P_T}{h} = 2226.528W$$

ANÁLISIS DE ELEMENTO FINITO

El propósito del análisis de elementos finito es predecir cómo reaccionará la lámina de PDLC ante diversas fuerzas y a otros efectos físicos del mundo real. Para ejecutar el análisis se hará uso de un software CAD como lo es SolidWorks, sin embargo, la biblioteca de materiales del software no posee PDLC. Por lo que es necesario añadir un material nuevo y configurar sus propiedades, por cuestiones de practicidad se tuvo que tropicalizar las propiedades del Acrílico (Impacto medio-alto) con la excepción de la densidad de la masa, ya que, se contaba con esta información.

Para poder calcular la fuerza con lo que el aire golpea el parabrisas es necesario hacer uso de la fórmula 4 de “Resistencia aerodinámica”

$$Resistenciaaerodinámica = R = \frac{d * S * C_x * v^2}{2} \tag{4}$$

Teniendo en cuenta que la densidad del aire (d, se mide en kg/m3) es constante, sólo se necesita entender los últimos tres términos de la ecuación. La superficie frontal (S) es el área que ocupa el coche visto frontalmente y se mide en m2. Es el tamaño del frente de aire que se tendrá que mover para que el coche pase. Cuanto menos, mejor. La superficie frontal de una Ford Ranger 1998 es de 2.8 m², El coeficiente  $C_x$  es adimensional, no tiene unidades, y representa el arrastre del vehículo frente al viento. El  $C_x$  de una Ford Ranger es de .36. El último factor de la fórmula es  $v^2$ , la velocidad con respecto al aire elevada al cuadrado. Este incremento exponencial explica por qué los vehículos consumen más combustible circulando a 120 km/h que circulando a 100 km/h.

Las fuerzas señaladas en la (tabla 1) se pueden interpretar como la fuerza que estaría tirando hacia atrás del coche de 10 a 100 Km/h y son las que se ocuparan en el analisis de elemento fininito.

**Tabla 1.** Fuerza a diferentes velocidades

Velocidad (Km/h)	Fuerza (N)	Masa (Kg)
10	4.76	0.49
20	19.06	1.94
30	42.88	4.37
40	76.22	7.77
50	119.10	12.14
60	171.50	17.48
70	233.43	23.80
80	304.89	31.08
90	385.88	39.33
100	476.39	48.56
110	576.43	110

120	686.00	120
130	805.10	130

Un elemento importante en el análisis de elemento finito es la sujeción, en este caso como se ve en la (figura 6) la parte que va a estar fija es la cara posterior, ya que esta cara va a estar adherida al parabrisas, mientras que la cara frontal va a recibir la fuerza producida por la fricción del aire como se ve en la (figura 7).

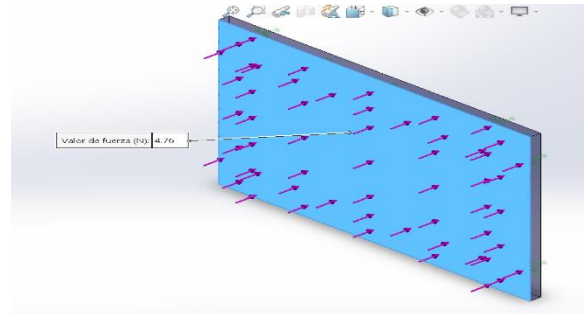


Figura 6. Incorporación de la Fuerza

Como resultado del análisis podemos observar en las (figuras 7 y 8) el comportamiento de la lámina en un análisis estático y un análisis desplazamiento elástico PDLC cuando se le aplica una fuerza de 4.6 newtons.

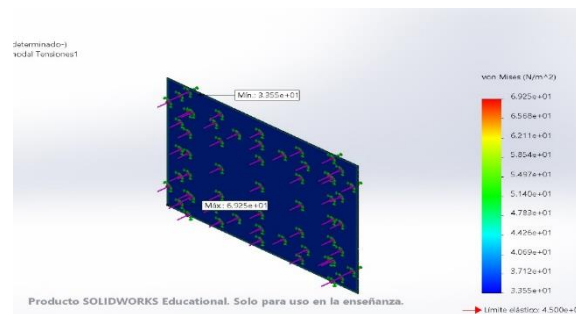


Figura 7. Análisis Estático "Tensiones"

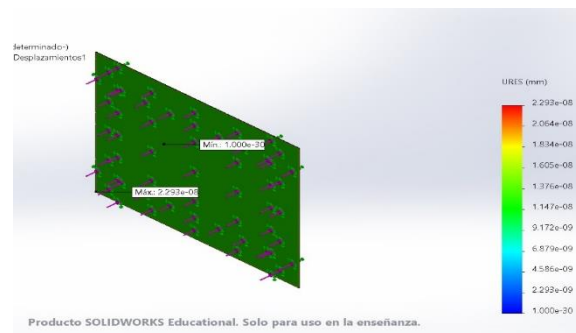


Figura 8. Análisis de Desplazamiento estático



#### 4. RESULTADOS

En la (tabla 2) podemos observar los resultados que arrojó la prueba de radiación solar comparada con las pruebas realizadas por Tesla y por Gentex. Como se puede observar en la tabla los resultados varían demasiado, ya que tanto en las pruebas de Tesla como en Gentex indican que la cantidad de radiación solar disipada por el dispositivo electrocrómico es de un 98% y 99.5% respectivamente, sin embargo el producto de la prueba de radiación solar que realizamos arroja un 33% en cuestión de disipación de radiación solar, esto se debe a que la prueba no fue realizada en un ambiente controlado, agregado a esto sólo se contó con 2 láminas de PDLC por lo cual únicamente se pudo cubrir parcialmente el parabrisas. Por lo tanto, podemos decir que está cualidad del dispositivo electrónico sólo se pudo comprobar parcialmente. Adicionado a esto se comprobó que el uso de un dispositivo electrocrómico puede reducir significativamente la entrada de la relación solar al habitáculo sin embargo los resultados que se obtuvieron no fueron los esperados.

**Tabla 2.** Comparación de datos de La radiación Solar

	Radiación Solar Disipada	
	Dispositivo Electrónico encendido	Dispositivo Electrónico Apagado
Gentex	99.5 %	55%
Tesla	98 %	No lo menciona
Prueba de radiación	33 %	20 %

Respecto al análisis de temperatura los datos que se obtuvieron indicaron que el uso de un dispositivo electrocrómico comparado con el parabrisas reduce como máximo 20° C en la superficie de la unidad de cabecera. Sin embargo, este análisis no se desarrolló en un ambiente controlado, por lo tanto, los resultados que se obtuvieron no fueron los esperados ya que, se estimaba una diferencia más elevada en comparación a la que se obtuvo. Esto se debe principalmente a que sólo se cubrió parcialmente el parabrisas con láminas de PDLC, lo cual influyó directamente en el análisis ya que, al no cubrir totalmente el parabrisas una gran cantidad de rayos solares entró por la parte descubierta aumentando la temperatura dentro del habitáculo y por ende la temperatura dentro de la unidad de cabecera.

En cambio los datos que se obtuvieron sobre la temperatura superficial tanto por dentro y fuera del parabrisas no fueron los que se esperaron ya que, la temperatura que se registró con y sin vidrio electrocrómico en la parte exterior del parabrisas no se alteró, prácticamente se mantuvo igual mientras que la temperatura en la cara interior del parabrisas presentó una variación máxima de 10°, se estima que esta diferencia de temperaturas tan reducida se debe a que el parabrisas no fue cubierto en su totalidad lo cual permitió que el calor producido por los rayos solares se propagará a lo largo y ancho del parabrisas.

En la prueba de intensidad los datos fueron favorables, ya que, la potencia generada por los dispositivos electrocrómicos en el supuesto caso de que se cubrirá en su totalidad el parabrisas fue Esto quiere decir que por cada hora que usemos el aire acondicionado se consume entre 0,29 L y 1,02 L de combustible extra, dependiendo de la calidad y eficiencia de tu sistema de climatización. W, la cual es significativamente menor a

la potencia que se consume cuando se tiene encendido el aire acondicionado según “Society of Automotive Engineers” la cual oscila en un rango de 1.47 y 3.89 HP como se observa en la (tabla 3). Esto se puede traducir en que el motor tiene que trabajar menos para producir dicha potencia lo cual implica un menor uso de combustible. Otra conclusión fue que la potencia que se obtuvo en el análisis tuvo una pequeña variación respecto a la potencia que indicaba la hoja de especificaciones de la lámina de PDLC, sin embargo, esto no afectó radicalmente en resultado propiciando un resultado mayor a las expectativas iniciales. Por lo tanto, podemos decir que el uso de un dispositivo electrocrómico tiene una mayor eficacia comparándolo con el uso del aire acondicionado en cuestión de ahorro de combustible basándonos en los análisis realizados.

**Tabla 3.** Comparación de la Potencia producida por un ECD vs Aire Acondicionado

	Potencia Producida	
	HP	W
Dispositivo Electrocrómico	2.98	2226.528
Aire acondicionado	3.89	2900.77

En relación con el análisis del elemento finito podemos observar que las zonas donde existe un mayor desplazamiento son las esquinas, sin embargo, estas zonas en color rojo son bastante reducidas por lo tanto podemos decir que este material presenta comportamiento adecuado ante la resistencia aerodinámica si se quisiera colocar por encima de un parabrisas. el desplazamiento máximo que se observó aplicando la fuerza máxima fue de  $3.88 \times 10^{-6}$  y la tensión máxima que se registró fue de 5.68. Cabe aclarar que las fuerzas de resistencia aerodinámica que se ocuparon corresponden a las de una Ford Ranger 1968. Por lo que la velocidad máxima que se ocupó fue de 130 km/h.

## 5. CONCLUSIONES

Este estudio demostró que, aunque la tecnología requiere mejoras significativas en la durabilidad del dispositivo, como se menciona, las propiedades ópticas del vidrio EC proporcionarían un nivel de comodidad más alto que los tipos de vidrio existentes. Esta es una conclusión muy importante, ya que brindará mayor comodidad a los pasajeros en su ingreso inicial al vehículo, mantendrá el interior más fresco, protegerá el equipo interior y reducir el consumo de combustible por el aire acondicionado, ya que la unidad de aire acondicionado no requerirá tanta energía para enfriar el interior.

El análisis preliminar de transferencia de calor mostró que el 33% de la potencia absorbida se disipa en el vehículo. El análisis de la potencia transmitida y la parte de la potencia absorbida disipada dentro del vehículo demostró que el estado oscurecido del vidrio EC transfiere la carga de energía más baja dentro del vehículo, lo que indica que el vidrio EC beneficiaría a los propietarios de vehículos. Además, se podría implementar vidrio EC para todas las ventanas de un vehículo real. Un análisis de los datos de transmitancia demostró que el vidrio EC es una opción viable para reducir la energía solar transmitida dentro del vehículo.

REFERENCIAS

- [1] I. D. Safely, «The Dark Side of the Sun – Driver Safety in the Face of Brightness,» I Drive Safely, [En línea]. Available: <https://www.idrivesafely.com/defensive-driving/trending/dark-side-sun-driver-safety-face-brightness>. [Último acceso: 6 Septiembre 2021].
- [2] C. G. Granqvist, «Oxide electrochromics: An introduction to devices and materials,» de Solar Energy Materials and Solar Cells, Elsevier, 2012, pp. 1-13.
- [3] T. Xu, E. C. Walter, A. Agrawal, C. Bohn, J. Velmurugan, W. Zhu, J. Lezec y A. Talin, «High-contrast and fast electrochromic switching enabled by plasmonics,» 27 Enero 2016. [En línea]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4737852/>. [Último acceso: 05 Septiembre 2021].
- [4] R. J. Mortimer, «Switching Colors with Electricity,» American Scientist, 2013 Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://www.americanscientist.org/article/switching-colors-with-electricity>. [Último acceso: 06 Septiembre 2021].
- [5] R. Frontiers, «MERCEDES-BENZ PREMIERES REFRESHED SLC MODEL FEATURING MAGIC SKY CONTROL USING SPD,» 11 Enero 2015. [En línea]. Available: <https://www.smartglass.com/mercedes-benz-premieres-refreshed-slc-model-featuring-magic-sky-control-using-spd-smartglass-technology-at-detroit-auto-show/>. [Último acceso: 11 Septiembre 2021].
- [6] N. Motors, «How To Protect Your Car From The Sun and Heat,» Newport Motors, 26 Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://www.newportmotorslv.com/how-to-protect-your-car-from-the-sun-and-heat/>. [Último acceso: 06 Septiembre 2021].
- [7] P. M. S. R. J. M. a. D. R. R. Monk, Electrochromism and Electrochromic Devices, Cambridge: Cambridge University Press, 2017.
- [8] N. I. Jaksica y C. Salahifar, «A feasibility study of electrochromic windows in vehicles,» de Solar Energy Materials and Solar Cells, Colorado, Elsevier, 2003, pp. 409-423.
- [9] E. Cano, «Así es el cristal "Inteligente" para coche,» ABC, 25 Septiembre 2017. [En línea]. Available: [https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-cristales-oscuras-solares-coche-cristal-inteligente-para-coche-201512180135\\_noticia.html](https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-cristales-oscuras-solares-coche-cristal-inteligente-para-coche-201512180135_noticia.html). [Último acceso: 05 Septiembre 2021].
- [10] R. Baetens, B. Jelle y A. Gustavsen, «Properties, requirements and possibilities of smart windows for dynamic daylight and solar energy control in buildings: A state-of-the-art review,» de Solar Energy Materials and Solar Cells, Elsevier, 2010, pp. 87-105.
- [11] P. Bamfield, Chromic Phenomena: Technological Applications of Colour Chemistry, Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2010.
- [12] V. G. Chigrinov, «Liquid Crystal Devices: Physics and Applications,» HKUST SPD, 1999. [En línea]. Available: <https://repository.ust.hk/ir/Record/1783.1-85102>. [Último acceso: 11 Septiembre 2021].
- [13] C. Woodford, «"Smart" windows (electrochromic glass),» Explain That Stuff, 23 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://www.explainthatstuff.com/electrochromic-windows.html>. [Último acceso: 15 Octubre 2021].
- [14] Saint-Gobain, «SageGlass,» Saint-Gobain, 25 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://www.sageglass.com/en/article/what-electrochromic-glass>. [Último acceso: 15 Octubre 2021].
- [15] S. H. Industry, «HOHO Smart Glass : Sample,» HOHO Industry, 2018. [En línea]. Available: <https://www.hohotint.com/>. [Último acceso: 2021 Octubre 14].
- [16] Anónimo, «¿Qué es un espejo retrovisor electrocromico?,» Auto Facil, 22 Marzo 2020. [En línea]. Available: <https://www.autofacil.es/industria/espejo-retrovisor-electrocromico/183311.html>. [Último acceso: 2021 Octubre 13].
- [17] V. A. Canada, «FUNCTION ANALYSIS SYSTEM TECHNIQUE (FAST),» VA, 2015. [En línea]. Available: <https://www.valueanalysis.ca/fast.php>. [Último acceso: 28 Septiembre 2021].
- [18] S. BI, «SOLIDWORKS. Qué es y para qué sirve,» Solid BI, [En línea]. Available: <https://solid-bi.es/solidworks/>. [Último acceso: 29 Septiembre 2021].
- [19] C. Cola, «Your next car will throw shade on demand,» Cnet, 9 Enero 2020. [En línea]. Available: <https://www.cnet.com/news/ces-car-boeing-dreamliner-glass-gentex/>. [Último acceso: 20 Octubre 2021].
- [20] T. T. Channel, «A Guide To Tesla Sunroof UV Protection,» That Tesla Channel, 23 09 2020. [En línea]. Available: <https://www.thatteslachannel.com/a-guide-to-tesla-roof-uv-protection/>. [Último acceso: 21 Octubre 2021].
- [21] P. Stroebel, «Are Tesla Windows UV Protected? (Benefits),» Ecowut, 28 Abril 2021. [En línea]. Available: [https://ecowut.com/tesla-windows-uv-protected/#What\\_are\\_the\\_UV\\_protection\\_levels\\_of\\_model\\_3](https://ecowut.com/tesla-windows-uv-protected/#What_are_the_UV_protection_levels_of_model_3). [Último acceso: 12 Octubre 2021].
- [22] Nexu, «¿Usar el aire acondicionado consume más gasolina?,» Nexu, 15 Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://www.nexu.mx/blog/el-aire-acondicionado-gasta-gasolina-verdad-o-mito/>. [Último acceso: 15 Octubre 2021].

Correo de autor de correspondencia: [israeljudo@hotmail.com](mailto:israeljudo@hotmail.com)