

# UACM

Universidad Autónoma  
de la Ciudad de México

*Nada humano me es ajeno*

COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

LICENCIATURA EN INGENIERIA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE URBANO

**“Estudio de factibilidad de sistemas de información alimentados por  
módulos fotovoltaicos de segunda generación en la red de transporte  
Metrobus”**

**TRABAJO RECEPCIONAL  
PARA OBTENER EL TITULO DE LICENCIADO EN  
INGENIERIA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE URBANO**

PRESENTA:

**Félix Francisco Cortés Carreón**

Director del trabajo recepcional

**Dr. Rogelio Mendoza Pérez**

México D.F. Enero, 2015.

## SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



## UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

### RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

#### DERECHOS RESERVADOS ©

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

## Resumen

Debido a la generación excesiva de gases nocivos para la salud, a la disminución en la producción de petróleo y al incremento de las necesidades energéticas de la humanidad en los últimos años; nuestro planeta ha sufrido graves consecuencias medioambientales como el efecto invernadero y en general el cambio climático. Derivado de lo anterior, diversos grupos de investigación y desarrollo tecnológico han enfocado sus esfuerzos en estudiar diversas aplicaciones de las llamadas fuentes alternas de energías, que contribuyan a promover el uso de las fuentes renovables de energía y ayuden al mejoramiento del medio ambiente.

En este trabajo se realizó un estudio de factibilidad acerca de la alimentación energética de paneles de información dirigidos a los usuarios de la red de transporte Metrobus. El panel de información fue adquirido a una empresa dedicada a la distribución comercial de éstos. El estudio de factibilidad, programación del software, adecuación de electrónica básica y balance energético entre el sistema de información y los módulos fotovoltaicos, son la base de este trabajo.

La energía necesaria para el funcionamiento de los paneles de información es suministrada por módulos fotovoltaicos de película delgada de segunda generación. Los módulos fotovoltaicos de película delgada de Teluro de Cadmio (CdTe), fueron procesados y manufacturados en la Universidad Autónoma de la Ciudad de México mediante las técnicas de depósito Transporte de Vapor en Espacio Cerrado (por su acrónimo en inglés Close Space Vapor Transport -CSVT) y Sp-DC (pulverización catódica por corriente directa o Sputtering por su acrónimo en inglés). Estos módulos fotovoltaicos presentan mejores características de absorción de radiación solar, tiempo de vida útil y costo de fabricación, en comparación con los módulos fotovoltaicos de primera generación. La manufactura de los módulos fotovoltaicos comprende tres procesos: aislamiento de celdas solares por escritura láser, interconexión por serigrafía y electro-depósito, sellado y encapsulado con una resina de polietileno.

## Agradecimientos y dedicatorias

### **Dedicatorias**

*A mis padres:*

*Gracias por todo el esfuerzo y sacrificio para brindarme su comprensión, el apoyo incondicional y la confianza en todo momento de mi vida.*

*A mis hermanos Yadira, Víctor y Carlos:*

*Gracias por sus consejos y compañía, espero se sientan orgullosos de mí así como yo me siento orgulloso de ustedes.*

## **Agradecimientos**

*Al Dr. Rogelio Mendoza Pérez por su apoyo incondicional y desinteresado a lo largo de mi formación profesional, por compartir sus experiencias y conocimientos pero sobre todo por brindarme su valiosa amistad a lo largo de todo este proceso.*

*Al Dr. Gerardo Contreras Puente por su apoyo durante mi formación profesional, por brindarme su confianza y consejos, y por compartir sus experiencias profesionales.*

*Al M. en I. Alberto Valdés Palacios por orientarme y compartir sus conocimientos durante mi formación profesional, por tomarme en cuenta para sus proyectos laborales, y más importante aún por brindarme su valiosa amistad.*

*A los M. en I. Rubén Téllez Sánchez, Raúl Soto Peredo y Juan Gilberto Salas Márquez por formar parte de mi formación académica, por formar parte del jurado, así como por sus acertados comentarios y observaciones.*

*A Karla Gutiérrez Zayas-Bazán por su apoyo y momentos invaluable, académicos y personales, los cuales se encuentran reflejados en la elaboración de este trabajo.*

*A Paulina Arceo por su grandiosa amistad y por su apoyo desinteresado en la realización de este trabajo. Espero contar siempre con tu amistad.*

*A mis compañeros Moisés Pérez y Kevin Jiménez por su amistad, orientación y ayuda en la elaboración de este trabajo. Gracias a ustedes pude llevar a buen término esta investigación.*

*A mis compañeros de Laboratorio Eréndira, Fabiola, Alejandro, Andrés, Giovani y Rolando por su amistad y su grandiosa compañía a lo largo de toda mi formación académica.*

*A la Universidad Autónoma de la Ciudad de México por proporcionarme los medios necesarios para la realización de este trabajo recepcional.*

*Finalmente, gracias al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo brindado a lo largo del proceso de mi formación académica.*

## Contenido

<b>Índice de figuras .....</b>	<b>7</b>
<b>Índice de tablas .....</b>	<b>8</b>
<b>CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>9</b>
1.1 Antecedentes y justificación del trabajo .....	9
1.1.1 Antecedentes de los paneles de información.....	11
1.1.2 Tipos de paneles de información variable.....	13
1.1.3 Antecedentes de módulos fotovoltaicos.....	17
1.1.4 Tipos de módulos fotovoltaicos y técnicas de depósito.....	18
1.2 Estado del Arte .....	22
1.2.1 Panel de información variable.....	22
1.2.2 Módulos fotovoltaicos.....	26
<b>CAPITULO 2. PANEL DE INFORMACIÓN VARIABLE.....</b>	<b>28</b>
2.1 Requerimientos de información de la red de transporte .....	28
2.2 Panel de información variable propuesto para usuarios de transporte .....	31
2.2.1 Componentes del panel de información.....	31
2.3 Estudio de factibilidad de la implementación de un PMV en la red de transporte.....	33
2.4 Panel de información propuesto .....	33
2.5 Requerimientos de energía del panel de información propuesto .....	34
<b>CAPITULO 3. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DE CdTe.....</b>	<b>37</b>
3.1 Módulo Fotovoltaico propuesto .....	37
3.1.1 Componentes del módulo fotovoltaico propuesto .....	37
3.1.2 Procesamiento y manufactura de los módulos fotovoltaicos.....	41
3.2 Estudio de factibilidad de implementación de módulos fotovoltaicos para alimentación de panel de información .....	52
3.3 Sistema de información propuesto (panel de información y módulos fotovoltaicos).....	57
<b>CAPITULO 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>59</b>
4.1 Balance energético panel de información-módulos fotovoltaicos.....	59

---

4.2 Despliegue de información.....	62
4.3 Conclusiones .....	63
4.4 Proyecciones futuras de esta implementación.....	64
<b>Fuentes de Consulta.....</b>	<b>67</b>

## Índice de figuras

Figura 1. Consumo mundial de energía por energético. SENER.....	9
Figura 2. Insolación Solar en México y el mundo. SOLARMEX.....	10
Figura 3. Proyecto PMV, Madrid, España. Empresa Municipal de transportes de Madrid (EMT) .....	13
Figura 4. Panel de mensajería variable de fibra óptica de malla fija. Instituto Mexicano del Transporte (IMT). .....	15
Figura 5. Panel de mensajería variable de fibra óptica con obturador. Instituto Mexicano del Transporte (IMT).....	15
Figura 6. Panel de mensajería variable de Diodo (LED). Instituto Mexicano del Transporte .....	16
Figura 7. Panel de mensajería variable Híbrido. Instituto Mexicano del Transporte .....	16
Figura 8. Antecedentes históricos de las eficiencias en celdas solares.....	19
Figura 9. Antecedentes Históricos de las eficiencias en celdas solares. National Renewable Energy Laboratory.....	22
Figura 10. Pantalla miniPIX16*80. Nanotrónica .....	34
Figura 11. Comunicación directa con PC a pantalla miniPIX. Nanótronica.....	34
Figura 12. Comunicación a la red Ethernet pantalla miniPIX. Nanotrónica.....	35
Figura 13. Comunicación a la red inalámbrica pantalla miniPIX. Nanotrónica .....	35
Figura 14. Comunicación a la red inalámbrica de largo alcance pantalla miniPIX. Nanotrónica .....	35
Figura 15. Estructura de los módulos fotovoltaicos de segunda generación .....	42
Figura 16. Equipo de sublimación CSVT. Propia realización.....	43
Figura 17. Equipo de Pulverización catódica Sputtering-DC. Propia elaboración.....	44
Figura 18. Módulo fotovoltaico en sus diferentes etapas de proceso. Propia realización .....	45
Figura 19. Escritura Laser para sub-división de módulos fotovoltaicos. Propia realización .....	46
Figura 20. Herramental para la aplicación de la tinta policat y pistas de pasta de plata. Propia elaboración .....	48
Figura 21. Superficie donde se realiza el electro-depósito de cobre. Manual de procesamiento IPN	49
Figura 22. Proceso de depósito de pistas de cobre por electrolisis. Manual de procesamiento IPN .	50
Figura 23. Estación de encapsulado y sus principales herramientas. Manual de procesamiento IPN51	
Figura 24. Controlador de carga y descarga. SYSCOM .....	58
Figura 25. Inversor de corriente. Steren .....	58
Figura 26. Regulador de voltaje. Propia realización.....	61
Figura 27. PMV alimentado por módulos fotovoltaicos de segunda generación. Propia realización .	63

## Índice de tablas

Tabla 1. Cuadro comparativo entre las ventajas y desventajas de las técnicas de crecimiento de películas delgadas. ....	21
Tabla 2. Aplicaciones de los paneles de mensajería variable. SCT.....	23
Tabla 3. Escritura Laser sobre materiales del módulo fotovoltaico. Propia realización.....	47
Tabla 4. Resumen de costos módulo fotovoltaico de CdTe. Propia realización.....	57
Tabla 5. Características de consumo energético panel de mensajería variable. Propia realización..	59
Tabla 6. Características de generación de energía de módulos fotovoltaicos de CdTe. Propia elaboración. ....	60
Tabla 7. Comparación entre módulos fotovoltaicos de Silicio y CdTe. Propia realización. ....	61
Tabla 8. Resultados de pruebas al panel de mensajería variable. Propia realización. ....	64

## CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes y justificación del trabajo

A través de la historia, la humanidad ha basado en gran medida sus expectativas tecnológicas en el uso de combustibles fósiles, desde el descubrimiento del fuego, pasando por la Revolución Industrial y hasta nuestros tiempos con el descubrimiento de la electrónica y la informática. Al principio la explotación de los recursos naturales se llegó a considerar como ilimitada, sin embargo, con el crecimiento desmedido de la población mundial y el aumento en el consumo de dichos recursos, se estima que solo queda petróleo para la primera mitad de este siglo.

En 2012, según el balance nacional de energía, marca como principal fuente de energía mundial al petróleo (42.5%), electricidad (18.3%), gas natural (15.7%), renovables (13.4%) y el carbón y sus derivados (10.2%), lo que hace evidente que si bien el uso de energías renovables ha ido en aumento también está en aumento el uso del petróleo, ver figura 1. Sin embargo en la actualidad existen diversos proyectos científicos-tecnológicos importantes encaminados a la disminución en el consumo de combustibles fósiles y al aumento del consumo de energías renovables (hidráulica, eólica, solar, geotérmica, residuos y biomasa) [1].

Consumo mundial de energía por energético, 2010

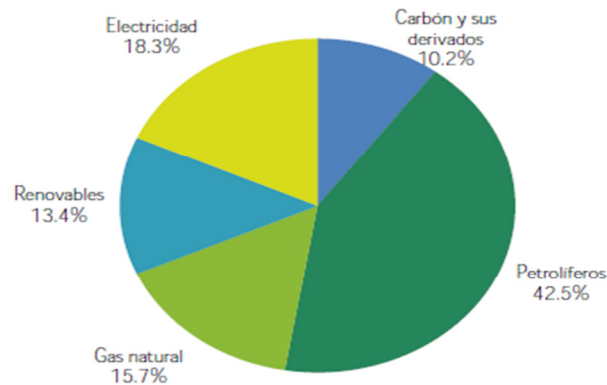


Figura 1. Consumo mundial de energía por energético. SENER

México ofrece una gran disponibilidad de recursos que pueden ser aprovechados en el uso y desarrollo de energías renovables, es por ello que en la actualidad cuenta con grandes y novedosos proyectos de generación de energía eléctrica, entre ellos destacan: La central eólica la venta II (1994), en el estado de Oaxaca; Planta hidroeléctrica El Cajón (2007), en el estado de Nayarit, Parque Solar Puerto Libertad (2013), en el estado de Sonora.

Cabe destacar que México posee una posición geográfica privilegiada a nivel mundial, la cual ayuda de manera importante al aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica. Del total de la energía generada para el servicio público 19% viene de las energías renovables. Las energías renovables participan con más del 7% de la energía total [1], incluida la hidroeléctrica.

La radiación solar en México es una de las más altas en el mundo, con una insolación promedio de 5 kWh/m<sup>2</sup> por día. Nuestro país recibe en promedio una mayor radiación solar que la de otros países donde se utiliza un mayor número de módulos fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica (ver figura 2).

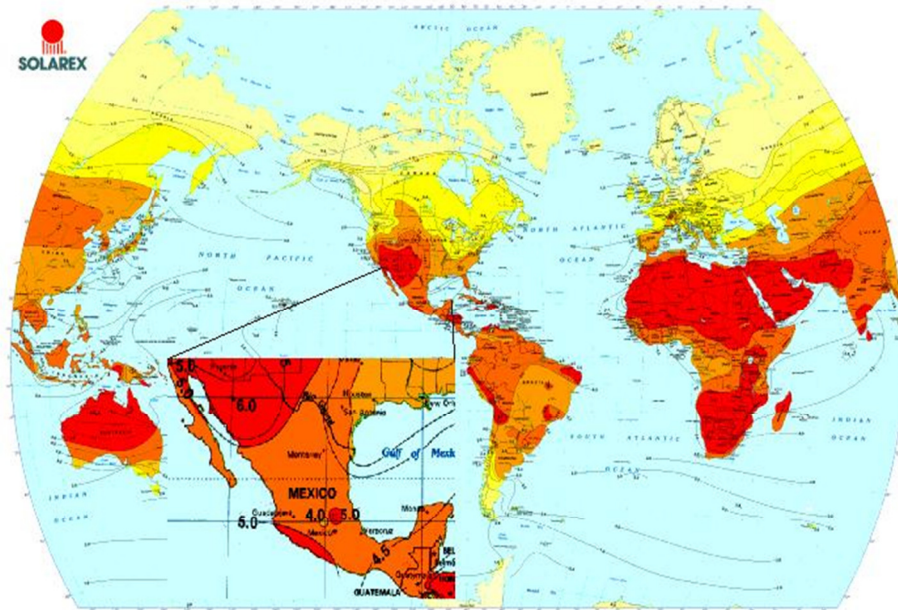


Figura 2. Insolación Solar en México y el mundo. SOLARMEX

La investigación y desarrollo de la energía solar en México comienza a partir de la década de los 70's principalmente con actividades de investigación en universidades y de divulgación, con la creación de la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES) en 1977.

La alimentación de los paneles de mensajería variable mediante energías alternas en específico con la energía fotovoltaica ayuda al aprovechamiento de la energía solar incidente convirtiéndola en energía eléctrica por métodos no convencionales en el lugar de consumo, disminuyendo la generación de gases nocivos al medio ambiente por la generación y transporte de energía eléctrica por métodos convencionales. Innovaciones a los sistemas de transporte hacen que sean más atractivos para los inversionistas y para los usuarios, aumentan su eficiencia de funcionamiento y contribuyen a mejorar el medio ambiente.

Entre otras de las ventajas de suministrar energía eléctrica a los paneles de mensajería variable por medio de módulos fotovoltaicos son: tiempo de vida de entre 20-25 años, amigables con el medio ambiente, reducción de costos de operación, funcionamiento aún en días nublados, escalamiento a otros sistemas de transporte, aumento en la eficiencia de servicio del transporte y satisfacción de los usuarios. Las desventajas del sistema, por mencionar algunas, son: eficiencias en módulos fotovoltaicos bajas (se emplean más paneles para cubrir la demanda energética), se ocupa un espacio amplio para la instalación de los módulos FV, costos de módulos fotovoltaicos, sistema en etapa de prueba y si se desea llevar este sistema a otros sistemas de transporte se requiere de estudios de factibilidad más complejos.

### **1.1.1 Antecedentes de los paneles de información**

Los sistemas inteligentes de transporte (por su acrónimo en inglés, Intelligent Transport System, ITS) pueden definirse como aquellas herramientas que optimizando los procesos y recursos, logran un producto deseado, aumentando la seguridad, el seguimiento, la evaluación y el control del transporte permitiendo a su vez introducir variaciones para correcciones de desviaciones durante el proceso.

Los Sistemas Inteligentes de Transporte, se crearon para mejorar la infraestructura de transporte, la operación de las redes de transporte, la movilidad, comodidad y para mejorar la seguridad de los usuarios del transporte. Los ITS aplican tecnología de punta para solucionar problemas y lograr el funcionamiento óptimo del transporte al que sean aplicados.

Los paneles de mensajería variable (PMV) forman parte de los ITS debido a que sirven como herramienta en la localización y administración de flotas así como gestión de datos e información al usuario del servicio de transporte, sin embargo existen otras áreas en las cuales también se pueden aplicar como es la gestión de tránsito e información al peatón.

En México, la utilización de los PMV se ha aplicado a la gestión de tránsito e información sobre medidas de prevención a los usuarios de las vías primarias; sin embargo, sigue siendo poco frecuente el uso de estos en gran parte del país. En el transporte concesionado todavía es incipiente el uso de los PMV, debido a que la mayoría de las rutas no cuentan con la información e infraestructura necesaria para considerar la utilización de estas tecnologías.

Otra aplicación de estos PMV en la actualidad que se desarrolla en México se ubica en la red carretera, la cual ofrece a sus usuarios información acerca de velocidades máximas, medidas preventivas y de seguridad, y en algunos casos información acerca de condiciones climáticas así como de posibles accidentes viales. Esta aplicación es poco común no porque se desconozca sino por la dificultad y el costo de implementarlas en las grandes extensiones carreteras en México; siendo una opción el alimentar estos sistemas inteligentes de transporte con módulos fotovoltaicos que generan su energía en el lugar donde se consume.

En otros países como España, se aplican los PMV para ofrecer información al usuario acerca de las llegadas y tiempos de llegadas de las rutas de transporte así como su origen y destino, instalados en parabuses; sin embargo, este proyecto se encuentra aún en etapa experimental (2009). Lo más interesante de este proyecto es que las personas que cuenten con un teléfono móvil, serán capaces de leer códigos de barras o QR y podrán acercar sus teléfonos a estos PMV, para leer el código que los dirigirá a otro sitio web donde podrán conocer la posición geográfica tanto del usuario como del transporte público (ver figura 3).



Figura 3. Proyecto PMV, Madrid, España. Empresa Municipal de transportes de Madrid (EMT)

La manufactura de los PMV en México es nula sin embargo existen muchos distribuidores de estos paneles, entre los cuales destacan: Semex, Optronics, Distribuidora Autorizada Mobitec, entre algunas otras que no ofrecen demasiada información. Las empresas internacionales que si manufacturan estos PMV son: Mobitec (Brasil), Ayllón (España), DATec (Argentina), Procelec (Ecuador) y algunas otras empresas en Chile, Colombia y EU.

La tecnología de los paneles de mensajería variable, en la actualidad, ha tenido un avance importante ya que ha procurado reducir los consumos de corriente, hacer que los paneles se han más atractivos para los usuarios por medio de la tecnología de LED's ultra brillantes así como mejorar la calidad de los mensajes a través de la inserción imágenes con y sin movimiento e incluso en los últimos años se trabaja en la creación de paneles de mensajería variable alimentados con módulos fotovoltaicos, lo que haría más atractivo este tipo de sistemas debido a la versatilidad en sus aplicaciones.

### 1.1.2 Tipos de paneles de información variable

Los paneles de mensajería variable se clasifican en las siguientes tres categorías:

- 1) Paneles de reflexión de luz
- 2) Paneles de emisión de luz

### 3) Paneles híbridos

#### Paneles de reflexión de luz

Estos paneles reflejan la luz que proviene de una fuente externa como la luz de los faros de un vehículo o la luz solar. Existen dos tipos de paneles de reflexión de luz, los de disco reflejante, las cuales son las más comunes, y las de tambor rotatorio. Los primeros tienen una capacidad infinita para desplegar mensajes. Por el contrario, los de tambor tienen como limitación el número de mensajes que pueden desplegar.

Una característica de los paneles de mensajería variable de reflexión de luz es que, a excepción de los requisitos de iluminación externa e interna y el manejo de controles, sólo se requiere energía cuando se cambian los mensajes que el panel muestra.

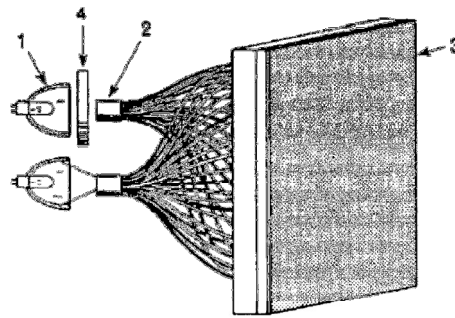
Los discos reflejantes utilizados en los paneles de mensajería variable pueden ser:

- a) Discos circulares
- b) Discos rectangulares
- c) Discos dimensionales cuadrados

El funcionamiento de estos tres tipos de paneles de mensajería variable es por medio de discos que se encuentran permanentemente magnetizados y montados sobre una serie de pivotes sobre un fondo oscuro. Los mensajes son cambiados por medio de la rotación electromagnética de los discos apropiados mostrando la superficie reflejante que es de color amarilla.

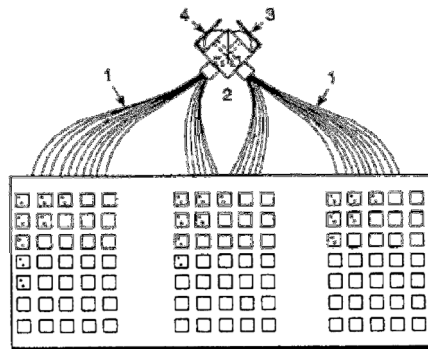
#### Paneles de emisión de luz

Los tipos más comunes de paneles de emisión de luz son los de matriz de bulbo (incandescentes), matriz de fibra óptica y recientemente los de matriz de diodo (LED). Los paneles de matriz de bulbo fueron los primeros que se usaron para el control de tránsito y también se les conoce como de "Lámpara Matricial". Recientemente, con los avances de la tecnología, se han desarrollado los paneles de fibra óptica y LED. Las señales de fibra óptica pueden ser de dos tipos, de malla fija (ver figura 4) o de matriz con obturador (ver figura 5).



1. Lámpara de Halógeno
2. Multiconector de Fibra Óptica
3. Pantalla
4. Filtro

Figura 4. Panel de mensajería variable de fibra óptica de malla fija. Instituto Mexicano del Transporte (IMT).



1. Fibras Ópticas
2. Módulo de Iluminación
3. Lámparas Principales
4. Lámparas de Respaldo

Figura 5. Panel de mensajería variable de fibra óptica con obturador. Instituto Mexicano del Transporte (IMT)

Estos paneles funcionan a través de una lámpara de halógeno que emite luz por una serie de fibras ópticas, estos puntos de luz llamados pixeles son organizados para formar mensajes específicos (palabras, números y/o símbolos) en la parte frontal de la señal. Las fibras pueden también pueden organizarse en módulos de 5X7 caracteres. Las señales de diodo (LED) funcionan en forma similar a las señales de bulbo, con la excepción de que cada elemento es un conjunto de focos, ver figura 6.

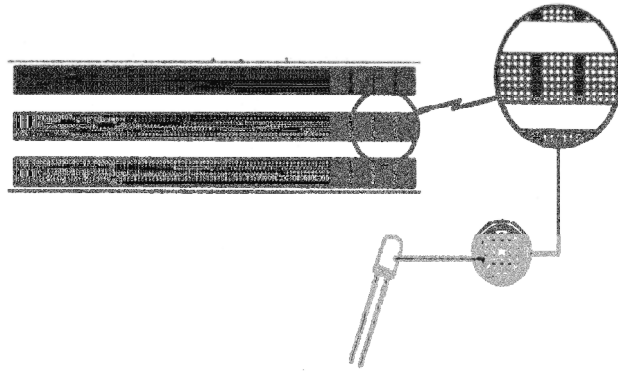
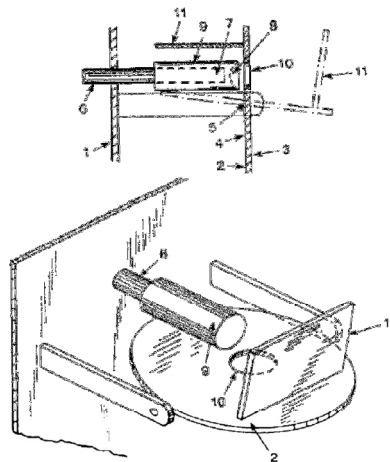


Figura 6. Panel de mensajería variable de Diodo (LED). Instituto Mexicano del Transporte

Paneles de mensajería variable híbridos.

Estos paneles combinan la tecnología de los métodos anteriores. Los fabricantes han integrado fibra óptica o LED con la tecnología de las señales matriz de disco circular reflejante. Cada fibra o foco se encuentra localizado en la parte posterior de un disco circular reflejante que cuenta con un orificio en el centro por donde la fibra emite luz, ver figura 7.



- |  |                          |
|--|--------------------------|
| 1. Placa Trasera                                 | 7. Empaque Fibra Óptica  |
| 2. Disco Reflejante (lado oscuro: apagado)       | 8. Lente de Fibra Óptica |
| 3. Disco Reflejante (lado reflejante: encendido) | 9. Casquillo de Soporte  |
| 4. Disco   | 10. Orificio             |
| 5. Pivote  | 11. Cubierta             |
| 6. Cable de Fibra Óptica                         |                          |

Figura 7. Panel de mensajería variable Híbrido. Instituto Mexicano del Transporte

### 1.1.3 Antecedentes de módulos fotovoltaicos

La primera celda solar fotovoltaica moderna se fabricó en 1941, con una eficiencia de conversión del 1%. La empresa americana *Western Electric* fue la primera en comercializar celdas fotovoltaicas en 1955 y las primeras aplicaciones prácticas de estos dispositivos se dieron en satélites artificiales a finales de la década de los 60's, siendo una solución para la provisión de energía eléctrica por su alta relación costo-peso. Además, en este tipo de aplicaciones el costo pasa a segunda mano respecto a otras características como disponibilidad y confiabilidad. El *Vanguard 1* fue el primer satélite que utilizó un módulo fotovoltaico para alimentar un transmisor que consumía solamente 5 mW. Por otra parte, la utilización de módulos fotovoltaicos para aplicaciones terrestres se comenzó a dar a mediados de la década de los setenta [2].

El primer instituto en Latinoamérica en desarrollar celdas solares fue el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional(CINVESTAV-IPN), fue en este instituto donde se construyó la primera planta piloto de celdas solares, hechos a base de Silicio Monocristalino, y cuya capacidad fue de 25 kW/año, dicha planta generadora de energía eléctrica permitió proveer de electricidad a un número significativo de aulas dentro del sistema nacional de tele-secundarias y probar dicha tecnología en un proyecto de iluminación rural [3].

En nuestro país y en el mundo el uso de sistemas fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica es una práctica cada vez más común. En los últimos 30 años, el desarrollo tecnológico de estos dispositivos ha permitido un aumento en su llamada eficiencia fotovoltaica, lo que implica un aumento en su generación de energía eléctrica y como consecuencia final una disminución en sus áreas.

La celda solar es un dispositivo electrónico, que se encarga de convertir la radiación solar en energía eléctrica, una vez que la luz solar incide sobre dicha celda genera una corriente eléctrica que circula por un circuito externo y al mismo tiempo se tiene un voltaje entre sus terminales.

La radiación solar que incide es absorbida por el material semiconductor creando pares electrón-hueco los cuales adquieren la energía del fotón incidente. Los pares electrón-hueco creados por la luz no generan en sí mismo una potencia, para que esto ocurra se necesita que surja un voltaje

entre las terminales de la celda, el cual surge mediante un fenómeno conocido como “efecto fotovoltaico”. El efecto fotovoltaico ocurre cuando en dos materiales semiconductores de diferente tipo de conductividad, “p” y “n”, se forman regiones de carga espacial carentes de portadores de carga contraria en movimiento y con un campo eléctrico interno creado por la descompensación de cargas eléctricas al difundirse los electrones en exceso del semiconductor tipo-n al tipo-p en la banda de conducción y los “huecos” del semiconductor tipo-p al tipo-n en la banda de valencia [4].

Un módulo fotovoltaico (FV) no es más que un arreglo de celdas solares interconectadas eléctricamente entre sí, para sumar la potencia de salida final. Algunos aspectos que pueden disminuir el rendimiento de la potencia del módulo FV son:

- ✓ Pérdidas debido a la interconexión de celdas solares con distintas características
- ✓ Excesiva temperatura del módulo FV

Los módulos FV deben ser también encapsulados para prevenir daños mecánicos a las celdas solares e impedir que el agua o vapor corroan los contactos eléctricos. Existen diferentes tipos de módulos FV y su diseño es diferente para cada uno de ellos o para las diferentes aplicaciones.

#### **1.1.4 Tipos de módulos fotovoltaicos y técnicas de depósito**

Existen diversos tipos de módulos fotovoltaicos elaborados con diferentes materiales, los cuales se dividen en tres grupos; las celdas de primera generación donde encontramos aquellas celdas elaboradas a base de Silicio (Si) como son: Silicio Monocristalino y Policristalino, Silicio en listón, Silicio en capas amorfas y Silicio esférico.

En los últimos años han surgido nuevos materiales que si bien no han alcanzado la eficiencia del Silicio su costo de manufactura es más barato, celdas de segunda generación o de película delgada, las cuales se dividen en las siguientes categorías (según grupos de la tabla periódica): la primera categoría abarca elementos de los grupos III-V y cuyas celdas están elaboradas con Galio y Arsénico; la segunda categoría contiene elementos de los grupos II y VI, estas celdas son elaboradas con materiales como el Teluro de Cadmio (CdTe); la tercera categoría, son las llamadas celdas CIGS elaboradas con Cobre (Cu), Indio (In), Galio (Ga) y Selenio (Se<sub>2</sub>); otro tipo de celdas son elaboradas solo con Cobre (Cu) Indio (In) y Selenio (Se<sub>2</sub>); Cobre (Cu), Indio (In) y Azufre (S<sub>2</sub>); una cuarta categoría son las basadas en Si en forma de película delgada.

En los últimos años se está trabajando en el desarrollo de celdas solares orgánicas, las cuales combinan las ya conocidas propiedades eléctricas de los conductores y semiconductores orgánicos e inorgánicos y sus ventajas son: costo de manufactura y elaboración más económico y la flexibilidad mecánica de los polímeros con que se elaboran.

Debido a esto, esta nueva clase de celdas ha llamado la atención por su gran potencial para desarrollar dispositivos electrónicos amigables con el ambiente, flexibles, ligeros y económicos. La elaboración de estas celdas aún se encuentra en etapa experimental por lo que se necesitan algunos años más para que puedan alcanzar la producción comercial, sin embargo existen grupos de investigación que han basado sus investigaciones en el desarrollo de este tipo de celdas solares.

En la siguiente figura se muestra los principales materiales y su nivel de producción, con que se elaboran módulos FV en la actualidad.



Figura 8. Antecedentes históricos de las eficiencias en celdas solares

Algunas de las técnicas de procesamiento de materiales semiconductores con los que se procesan y elaboran algunos de estos Módulos FV son:

- Sublimación (CSS o CSVT): En esta técnica el material se encuentra en forma de polvo o pastilla y es sublimado en vacío y condensado sobre un sustrato a temperaturas entre los 500 y 700 °C. Los módulos FV que se utilizarán en este trabajo y que fueron procesados en la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, utilizan en su mayor parte esta técnica de depósito.
- Depósito por baño Químico (CBD): En esta técnica una solución estable lleva a la formación del compuesto sobre la superficie de un sustrato inmerso en la solución a bajas temperaturas.
- MOCVD: En esta técnica los componentes metal-orgánicos a depositar son gaseosos y son inyectados a un reactor por un gas de transporte, a ultra-alto vacío.
- Electro-depósito: El proceso consiste en la disolución de una sustancia en un cierto disolvente a bajas temperaturas, con el fin de que los iones que constituyen dicha sustancia estén presentes en la disolución.
- Epitaxia por emisión molecular (MBE): Esta técnica consiste en la reacción controlada de uno o más haces de moléculas de diferente naturaleza, colocados en una cámara de ultra-alto vacío.
- Rocío químico (Spray Pirolisis): Esta técnica se asemeja a la de CBD, las sustancias llamadas precursores están en una solución que es pulverizada por medio de un gas neutral (por ejemplo, Nitrógeno): Dicha pulverización hace que se depositen los precursores en el sustrato en forma de finas gotas o rocío, reaccionando para formar el compuesto químico que constituirá la película [5].
- Serigrafía (ScreenPrinting): Este método se basa en utilizar como base una pasta sintetizada de los semiconductores a obtener, la cual es preparada a partir de polvos del semiconductor y un disolvente.
- Evaporación térmica al vacío: Esta técnica se aplica para el caso de compuestos semiconductores con presiones de vapor de cada elemento, diferentes a la presión final del depósito.

- **Evaporación Catódica o Sputtering (Sp):** En este proceso se pulverizan los átomos de un material sólido (blanco-cátodo) mediante el bombardeo de iones provenientes de un plasma creado a partir de Argón (Ar). Las partículas pulverizadas del blanco se depositan sobre el sustrato (ánodo). Esta técnica se empleó en este trabajo para procesar los contactos posteriores de Cobre (Cu)-Molibdeno (Mo) que terminan el dispositivo FV.

En la Tabla 1 se muestra una comparación de las ventajas y desventajas de las técnicas de depósito que comúnmente se utilizan para el crecimiento de películas delgadas.

**Tabla 1. Cuadro comparativo entre las ventajas y desventajas de las técnicas de crecimiento de películas delgadas.**

TECNICA DE DEPÓSITO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
BAÑO QUIMICO	Baja inversión en equipamiento, proceso barato en pequeña escala, proceso bien conocido para depositar CdS.	Generación de residuos líquidos, dificultades para escalamiento a nivel industrial.
EVAPORACIÓN TERMICA	Técnica simple y bien dominada, puede usarse en una línea de producción, altas tasas de depósito de un material.	Problemas de uniformidad y calidad en la película.
SPUTTERING (pulverización catódica)	Facilidad de escalamiento de producción, excelente uniformidad de la película, homogeneidad de la superficie y control de espesor, versatilidad: casi cualquier material puede ser bombardeado desde el sólido, buena adhesión de la película, altas tasas de depósito	Altos costos de inversión, mayor tendencia a introducir impurezas en el sustrato de depósito que por evaporación.
ROCIO QUIMICO (spray pirolisis)	No requiere de sustratos de alta calidad, no requiere vacío en ninguna etapa, la tasa de depósito y el espesor de las películas se pueden controlar fácilmente en un amplio intervalo, opera a temperaturas moderadas (100-500°C)	Falta de uniformidad de la película de mayor tamaño de grano debido al tamaño de las gotas de pulverización incontrolable, baja proporción de átomos que se deposita efectivamente con respecto a los suministrados, baja tasa de depósito.
MOCVD Y CVD	Versatilidad: pueden depositar cualquier elemento o compuesto, alta pureza de 99.99%-99.999%, alto rendimiento de depósito, el material se puede depositar muy por debajo del punto de fusión, económico en alta producción	La mayoría de los hidruros y carbonilos, que son usados en estos procesos, son venenosos. Las sustancias metal-orgánicas son pirofóricas, es decir, se inflaman espontáneamente en contacto con el aire, algunos elementos son difíciles de conseguir en los compuestos de pureza suficiente a un costo razonable.
SERIGRAFÍA	Simplicidad y robustez en la operación, puede ser aplicado industrialmente, el costo del equipo es relativamente bajo, por lo que es atractivo para una producción de pequeña a mediana escala.	En el caso del CdS, las capas resultan demasiado gruesas (típicamente mayor a 10 micras) para celdas solares, altas temperaturas de proceso, bajo rendimiento de depósito.
CSS	Compacidad y simplicidad de operación, hay transporte directo de cada componente del material y alto rendimiento de depósito, posibilidad de implementar línea de producción junto con el depósito de CdTe.	Altas temperaturas de proceso, dificultad para depósito de películas uniformes de CdS.

En la figura 9, se muestra la evolución de las eficiencias de las celdas solares hasta el año 2012. En color verde se encuentra el grupo de celdas solares de película delgada, en estas podemos encontrar a las celdas elaboradas con CdTe, que tienen un valor record de 19% de conversión fotovoltaica.

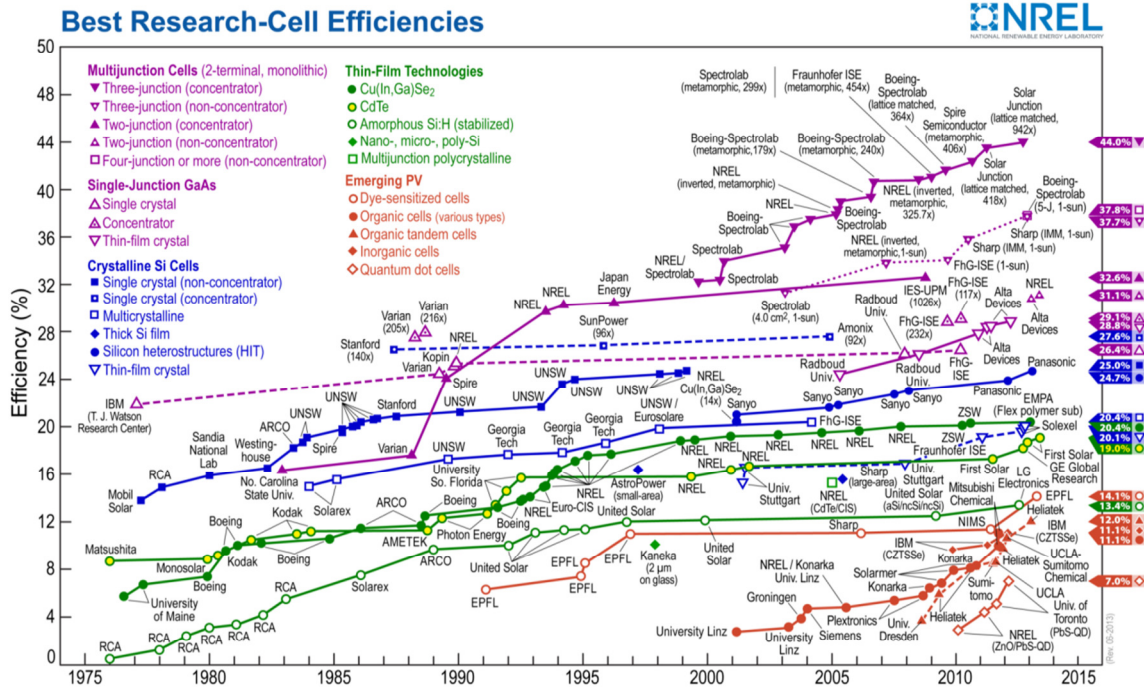


Figura 9. Antecedentes Históricos de las eficiencias en celdas solares. National Renewable Energy Laboratory.

## 1.2 Estado del Arte

### 1.2.1 Panel de información variable

Los paneles de mensajería variable (PVM) se utilizan como dispositivos de control de tránsito o de usuarios para informar acerca de accidentes (en el caso de vehículos) o de reglas de operación así como orígenes y destinos de las llegadas que se desee utilizar (para usuarios del transporte), con lo

cual se asegura que los usuarios, vehículos o personas, se encaminen hacia la operación óptima, uniforme y eficiente de la infraestructura del transporte.

Los PMV se caracterizan por cumplir cinco requerimientos básicos para el óptimo cumplimiento de su función:

- Satisfacer una necesidad
- Llamar la atención de los usuarios
- Transmitir un significado simple y claro
- Ser respetado por los usuarios
- Dar el tiempo necesario para una respuesta adecuada de los usuarios

Para cumplir lo anterior, se deben satisfacer a su vez, necesidades de: diseño, ubicación, operación y mantenimiento. La ubicación del PMV debe ser dentro del campo visual de los usuarios para lograr el objetivo de la comprensión del mismo y se logre alcanzar el objetivo para el que se aplica. La legibilidad debe ser igual tanto en horario matutino como nocturno para dar al usuario el tiempo necesario para su pronta respuesta.

En tabla 2, se muestran algunas de las aplicaciones que se le dan a los paneles de mensajería variable en México.

**Tabla 2. Aplicaciones de los paneles de mensajería variable. SCT**

<b>Aplicaciones de los PMV</b>		
<b>Nivel de aplicación</b>	<b>Ejemplos</b>	<b>Justificación</b>
Basada en un punto	Guía en estacionamiento H18	Se utilizan para mejorar la eficiencia del uso de estacionamiento, reducir congestionamientos en áreas aledañas, reducir el tiempo de búsqueda por espacios en estacionamiento y hacer el área más atractiva a los visitantes
Basada en un arco (sección de una carretera)	Advertencia de congestionamientos, advertencia de condiciones climáticas peligrosas, aviso de incidentes, desviaciones por obras, aviso de velocidades límite.	Hacen los viajes más seguros, reducen el tiempo de viaje y mejoran la operación.
Basada en un corredor	Manejo de incidentes, señalización de rutas y desviaciones en corredores cuando existen caminos paralelos o interconectados.	Ayudan a reducir los accidentes secundarios, reducen el tiempo de viaje y mejoran la operación de corredores.
Basada en una región	Manejo de incidentes, control de patrones de viaje, señalización de rutas en zonas metropolitanas.	Se utilizan para manejar la demanda de viajes en una región y mejorar las condiciones de tránsito para toda el área.

Los PMV muestran mensajes, los cuales usan letras, símbolos o una combinación de ellos. Estos mensajes generalmente se cambian a voluntad del operador mediante la operación manual, remota (es la más utilizada) y en la actualidad mediante con software capaz de detectar las variaciones o condiciones de usuarios, tránsito o clima. Los información que arrojan los PMV pueden provenir de diferentes fuentes ya sea de alguna estación de control y monitoreo de las condiciones de capacidad del sistema de transporte, esta información deberá ser lo más confiable, ya que si no se cuenta con información correcta o incompleta será mejor no mostrarla a los usuarios.

Las normas generales para los PMV según el Manual de Dispositivos Uniformes para el Control de Tránsito del departamento de Transporte de los Estados Unidos de América (MDUCT-DOT) son [6]:

- Los PVM no deberán tener otro propósito que el de mostrar información restrictiva, de advertencia o de guía relacionada al flujo de usuarios (vehículos o personas).
- Los mensajes que utilicen palabras deberán lo más cortos posibles como sea posible y las letras deberán ser de un tamaño que permitan su legibilidad a una distancia adecuada. Específicamente deben ser 25mm por cada 12 m de distancia de legibilidad.
- Las abreviaciones deben ser mínimas e incluir solo aquellas que no den lugar a confusión.
- Los PMV deberán mostrar solo información de operación y guía de usuarios pero nunca propaganda o publicidad.
- La tecnología de los PMV sigue en constante crecimiento por lo cual los estándares de estos aún no son los más prácticos. Para seleccionar el mejor PMV, de acuerdo a cada aplicación, se toman en cuenta los criterios de legibilidad, operación y mantenimiento.
- Los PMV deberán utilizar letras mayúsculas y un tamaño de letra equivalente a 450mm y no menor a 265mm. Los mensajes deberán limitarse a no más de tres líneas y no más de 20 caracteres por línea.
- No deben utilizarse más de dos pantallas en un mensaje
- Cada pantalla debe transmitir una sola idea

En el caso de México este tipo de paneles se aplican principalmente para señalización de control de tránsito y no para información de usuarios de transporte público. Estos tableros se han aplicado en áreas metropolitanas como las de la Ciudad de México o la Zona Metropolitana de Monterrey. En la

Ciudad de México se cuenta con PMV en vialidades como Periférico y viaducto Miguel Alemán. Las normas para la instalación y uso de las señales dinámicas en la Ciudad de México han quedado ya incluidas en el “Manual de dispositivos para el control de Tránsito en Áreas urbanas y suburbanas”, publicado el 11 de Diciembre del 2001 en la gaceta Oficial del distrito Federal.

En la Zona metropolitana de Monterrey, se cuenta con tableros electrónicos de mensajería variable, de 5 líneas y 15 caracteres por línea, instalados en 20 puntos diferentes de la red vial. La instalación de los tableros se concluyó en Noviembre del 2000 y su puesta en funcionamiento inicio a principio del 2002. Los mensajes que los tableros muestran responden de manera automática a las condiciones de operación de la red de tránsito en un área adyacente a la señal y son tomados de una biblioteca de mensajes predefinidos. También pueden enviarse mensajes determinados por los operadores del sistema de manejo de tránsito. La mayor parte del tiempo las señales muestran mensajes de educación vial y solo bajo condiciones especiales, hacen uso de los mensajes de la biblioteca o de los determinados por los operadores.

La ciudad de León, Guanajuato, instaló en 2002 dos tableros electrónicos con mensajes fijos. Los tableros se instalaron en el Blvd. Adolfo López Mateos, avenida principal de la ciudad y servirían para proporcionar información de tránsito a los conductores.

Los beneficios de utilizar los PMV pueden ser distinguidos claramente, pero su evaluación resulta ser muy complicada ya que necesita tomar en cuenta diversas consideraciones. Los costos serán más fácilmente evaluables y dependerán del grado de complejidad que se desee para el sistema de PMV [7].

Los beneficios del uso de los PMV son:

1. Mejoras en la selección de rutas, ahorros en tiempos y distancias totales de recorrido.
2. Reducción de aglomeración en horas pico.
3. Mejoras en la selección de rutas al ocurrir incidentes y disminución en los costos por accidentes.
4. Reducción de efectos al medio ambiente debido a la disminución del consumo de combustible.
5. Reducción en el consumo de energía y el impacto medio ambiental, si hacen uso de fuentes de energía renovables.

Los PMV son un medio de información para usuarios y para el tránsito, que pueden ayudar a atacar el problema de aglomeración de vehículos y personas, su uso es útil en situaciones de emergencia o situaciones cambiantes así mismo puede ayudar a la prevención de accidentes, sin embargo el alto costo que tienen dichos tableros hace que su justificación sea poco convincente para los directivos de las empresas de transporte o instituciones gubernamentales interesadas en estas nuevas tecnologías.

### 1.2.2 Módulos fotovoltaicos

En México, se han realizado importantes desarrollo en cuanto a energía fotovoltaica se refiere, una de las actuales se dio a conocer en el año 2012, cuando la empresa *Energy Group* crearía un parque solar en Puerto Libertad, Sonora, el cual tendría el potencial para generar, en una primera fase, 1,700,000kw/h. La compañía China *Yingli* fue la encargada de proveer las celdas fotovoltaicas, mientras que la ingeniería, parte del software y la gestión de la interconexión a la red estuvo a cargo de la empresa *ABB*, esta última empresa ha tenido gran experiencia trabajando junto a la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

La planta tendrá una capacidad final de 48 mega watts y la inversión aproximada fue de 2.5 y 3 dólares por watt instalado. La construcción de este parque solar finalizó el mes de Noviembre del año 2013 [8].

En 2013, se dio a conocer otro proyecto llamado *Aura Sola I*, que se pretende estaría ubicado en La Paz, Baja California Sur. Dicho proyecto tendrá una extensión de 100 hectáreas y requerirá una inversión aproximada de 100 mdd. Este parque solar será el más grande de México y de América Latina, con este parque solar se pretende abastecer de consumo eléctrico a más de 164,000 habitantes.

La empresa encargada de la construcción de este parque solar es *Gauss Energía*. Según datos de la misma empresa, el parque solar *Aura Sola I* abarcará una superficie de 100 hectáreas en las cuales se instalaran 132,000 módulos fotovoltaicos. La energía que generará el parque en cuanto entre en operación equivaldrá al consumo del 64% de la población de La Paz.

En cuanto a la inversión. *Gauss Energía* pondrá un capital directo de 25mdd mientras que Nacional Financiera (Nafinsa) y el Banco Mundial (BM) aportarán en forma de deuda los otros 75mdd que requiere el proyecto.

De acuerdo con *Gauss Energía*, aparte del impacto económico en la región, *Aura Sola I* reducirá la quema de combustibles fósiles, para evitar la emisión de 60,000 toneladas de gases de efecto invernadero al año, asimismo, permitirá mitigar los riesgos logísticos del transporte de hidrocarburos en el ecosistema del Mar de Cortés, declarado Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO [9].

En este mismo año, pero en Chilpancingo, Guerrero, inversionistas de la empresa alemana *Belectric*, presentaron a la Secretaria de Desarrollo Económico (Sedeco), un proyecto para la instalación de 5 parques solares. Sin dar más detalles, integrantes de la empresa *Belectric*, indicaron que es indispensable identificar un área plana con alta radiación solar y con una superficie aproximada a las 60 hectáreas para la instalación de las plantas solares. Algunas de las ventajas de la construcción de estas plantas fotovoltaicas, son la generación de 850 empleos por dos años durante la construcción de las plantas, 30 empleos por cada planta durante 25 años y una derrama económica de 390 millones de dólares [10].

El antecedentes del empleo de energías renovables en el sistema de transporte de pasajeros se da en la línea 2 del sistema de transporte colectivo metro, puntualmente en la estación Xola. En esta estación se colocaron módulos fotovoltaicos de Si para dar iluminación a toda la estación y se tiene contemplado la instalación de módulos fotovoltaicos en algunas estaciones de la Línea 1 del metrobus para su iluminación.

## CAPITULO 2. PANEL DE INFORMACIÓN VARIABLE

### 2.1 Requerimientos de información de la red de transporte

En México a partir de 1957 se fue adoptando el sistema de señalamiento que aplicaba en los Estados Unidos de Norteamérica, introduciendo algunas modificaciones lo que motivó el uso de una extensa variedad de señales, situación por lo que considerando la recomendación de la ONU en 1952, dada en el proyecto de Convención para un sistema uniforme de señales, y toda vez que reúne elementos del sistema de los Estados Unidos, así como el uso de símbolos que hace particularmente valioso el Protocolo de Ginebra, se tomó la decisión de producir un manual mexicano para el control del tránsito en calles y caminos, el cual debería satisfacer dos objetivos fundamentales; el primero, de adherirse al movimiento internacional para promover y facilitar el tránsito entre los países del continente, a través de una señalización de fácil comprensión independientemente del idioma del usuario[11].

El segundo lograr uniformidad y con ésta la efectividad del señalamiento en toda la república mexicana. Bajo estos conceptos la Secretaría de Obras Públicas junto con otras dependencias gubernamentales y asociaciones civiles, elaboraron en 1965 el manual de dispositivos para el control de Tránsito, aprovechando parte del material que ya se utilizaba en otros países, así como introduciendo nuevos conceptos y símbolos no considerados por la ONU, pero que respondían a las necesidades del sistema vial del país.

De 1965 a 1989 el Manual se actualiza y en la última edición se aportan diversos elementos que fueron útiles en la elaboración del manual Interamericano; posteriormente aprovechando la actualización de las normas técnicas de la Secretaria de comunicaciones y transportes.

No obstante de disponer de manuales y de la normativa, se siguió observando el uso de criterios y señales distintas, no lográndose la uniformidad en la señalización, por lo que se decidió expedir el amparo de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, la Norma Oficial Mexicana NOM-034-st2-2003, sobre señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades cuyo objetivo era establecer los requisitos generales que han de considerarse para diseñar e implementar el señalamiento vial de las carreteras y vialidades urbanas de jurisdicción federal, estatal y municipal;

siendo esta Norma Oficial Mexicana de aplicación obligatoria, misma que establece los requisitos para la señalización invocando a la Normativa para la infraestructura del transporte, al Manual de Dispositivos para el Control de Tránsito en calles y carreteras y al Manual de Señalamiento Turístico y de servicios, en todo lo que no se oponga a ésta, e incluye las modificaciones pertinentes y otros elementos que coadyuvaron a su actualización científica y tecnológica.

Se denominan *dispositivos para el control del tránsito* a las señales, marcas, semáforos y cualquier otro dispositivo, que se coloca sobre o adyacente a las calles y carreteras por una autoridad pública, para prevenir regular y guiar a los usuarios de las mismas. Los dispositivos de control indican a los usuarios las precauciones (prevenciones) que deben tener en cuenta, las limitaciones (restricciones) que gobiernan el tramo en circulación y las informaciones (guías) estrictamente necesarias, dadas las condiciones específicas del sistema.

Cualquier dispositivo para el control del tránsito debe cubrir los siguientes requisitos fundamentales:

- Satisfacer una necesidad
- Llamar la atención
- Transmitir un mensaje simple y claro
- Imponer respeto a los usuarios del transporte
- Estar en el lugar apropiado con el fin de dar tiempo para reaccionar

Por ejemplo, el sistema de Transporte Metrobus (En todas sus líneas) requiere y utiliza básicamente tres tipos de señalización:

Señales preventivas, identificadas generalmente con la clave *SP*, son tableros con símbolos y leyendas, que tienen como función dar al usuario un aviso anticipado para prevenirlo de la existencia de un peligro potencial y su naturaleza. Así se cumple con la Regla de Oro del Tránsito que dice: *"no deben existir cambios bruscos"*. La señal por si misma debe provocar que el usuario adopte medidas de precaución, y llamar su atención hacia una reducción de su comportamiento o a efectuar una maniobra con el interés de su propia seguridad o la de otro usuario. Las señales preventivas deberán instalarse siempre que una investigación o estudio de tránsito indique que existe una condición de peligro potencial.

Señales restrictivas, se identifican con la clave *SR*, son tableros con símbolos y/o leyendas que tienen como función expresar alguna fase del reglamento para usuarios del sistema de transporte para su cumplimiento (por parte del usuario). En general, tienden a restringir algún movimiento del

mismo, recordándole la existencia de alguna prohibición o limitación reglamentada. Infringir las indicaciones de una señal restrictiva acarreará las sanciones previstas por las autoridades del sistema de transporte.

Las señales restrictivas de acuerdo a su uso se clasifican en los siguientes grupos:

- De derecho de paso o vía
- De inspección
- De velocidad
- De circulación o de dirección
- De mandato por restricciones y prohibiciones
- De estacionamiento

La ubicación longitudinal de las señales restrictivas será en el punto mismo donde existe la restricción o prohibición, eliminando cualquier objeto que pudiera obstruir su visibilidad.

Señales informativas, identificadas con la clave *SI*, son tableros fijados en postes con leyendas, escudos y flechas, que tienen como función guiar al usuario a lo largo de su itinerario a través del sistema de transporte. Las señales informativas de acuerdo a la información que proporcionan, se clasifican en:

- De identificación (*SII*)
- De destino (*SID*)
- De recomendación (*SIR*) e información general (*SIG*)
- De servicios (*SIS*)

Las señales informativas de identificación tienen como función identificar el tipo de ruta y disponibilidad de lugares en los vehículos del sistema de transporte.

Las señales informativas de destino, tienen como función informar a los usuarios sobre el nombre y la ubicación de cada uno de los destinos que se presentan a lo largo de su recorrido. Podrán ser señales bajas, diagramáticas y elevadas. Su aplicación es primordial en los transbordos, donde el usuario debe elegir la ruta a seguir según el destino seleccionado. Se emplearán de forma secuencial de tal manera que permitan a los usuarios preparar con la debida anticipación su

maniobra en el transbordo, ejecutarlo en el lugar preciso, y confirmar la correcta selección del destino.

De acuerdo a su ubicación longitudinal, las señales informativas de destino se clasifican en previas, decisivas y confirmativas. Las señales previas deberán colocarse anticipadas al transbordo, a una distancia tal que permita a los usuarios conocer los destinos y preparar las maniobras para tomar la ruta elegida. Las señales decisivas se colocaran donde el usuario deba tomar la ruta deseada. Las señales confirmativas se colocaran después de un transbordo o salida de una estación, a una distancia donde no exista el efecto de los movimientos direccionales ni la influencia del tránsito urbano, para confirmar al usuario que ha tomado la ruta deseada, indicándole la distancia por recorrer.

Señales informativas de recomendación, tienen como función recordar a los usuarios determinadas recomendaciones o disposiciones de seguridad que conviene observar durante el recorrido del usuario en el servicio de transporte. Estas serán de forma rectangular, colocadas con su mayor dimensión horizontal sobre apoyos adecuados.

Señales de información general, identificadas con la clave S/G, tienen como función proporcionar a los usuarios, información general de carácter poblacional y geográfico, así como indicar nombres de obras importantes a lo largo de la ruta, límites políticos, ubicación de servicios, puntos de inspección y sentidos de circulación del tránsito.

## **2.2 Panel de información variable propuesto para usuarios de transporte**

### **2.2.1 Componentes del panel de información**

Los componentes del panel de información dependerán de las necesidades y el presupuesto con que se cuente para el proyecto. Existen 4 formas para vaciar información al panel de mensajería variable y cada una de ellas cuenta con sus propios componentes (estas formas de comunicación se explican de manera más detallada en el Capítulo 3, apartado 3.1 “requerimientos de energía del panel de información propuesto”).

La primera forma de comunicación del panel de información variable y la más sencilla, consta de los siguientes componentes:

- Pantalla miniPIX 16\*80
- Cable serial RS232 o RS485
- Software de comunicación
- Pc o Laptop

La segunda forma de comunicación es vía Ethernet y consta de los siguientes componentes:

- Pantalla miniPIX 16\*80
- Switch Ethernet
- Software de comunicación
- Pc o Laptop

La tercera forma es vía WIFI y esta consta de los siguientes componentes:

- Pantalla miniPIX 16\*80
- Ruteador WI-FI
- Software de comunicación
- Pc o Laptop

La última forma de comunicación es por radio comunicación y esta se toma en cuenta cuando la comunicación entre Pc y panel de información variable es muy grande (los data-radios funcionan de 32 o más km de distancia), sus componentes son:

- Pantalla miniPIX 16\*80
- Data-Radio
- Software de comunicación
- Pc o Laptop

Para este proyecto y por causas de presupuesto se eligió la primera forma de comunicación, ya que es la más sencilla y de menor costo, sin embargo, al momento de llevar a cabo un proyecto con características más adecuadas al sistema de transporte se deben tomar en cuenta otros factores como son: tamaño adecuado de los paneles de mensajería variable, de acuerdo con la longitud de

las estaciones del transporte, número de paneles que se requieran instalar en la estación y tipo de tecnología que se requiera en el panel de mensajería variable.

### **2.3 Estudio de factibilidad de la implementación de un PMV en la red de transporte.**

Los costos de implementación de un panel de información dependerán en grande medida de:

- Tipo de información que se requiere transmitir al usuario
- Cantidad de información
- Distancia a la que se requiere transmitir el mensaje
- Número y tamaño de mensajes a transmitir
- Cantidad de paneles de información que se requieran instalar para el buen funcionamiento del sistema

### **2.4 Panel de información propuesto**

Este trabajo, se basa en el sistema más sencillo. Este sistema cuenta con dos componentes; el panel de mensajería variable y equipo de cómputo.

El primer elemento del sistema es la pantalla de mensajería variable. De acuerdo con la empresa NANOTRONICA la pantalla de mensajería variable más económica es la modelo miniPIX16\*80, con caracteres de 10cm de alto, se puede desplegar de hasta 2 líneas de información con caracteres de 5cms de alto, programación vía PC o RS232, gabinete en negro, aplicación interior, dimensiones 70x17cms e incluye cable RS232, software de programación y control remoto. Dicha pantalla tiene un costo de \$ 5,031 pesos, ver figura 10.

El segundo elemento es el equipo de cómputo. La empresa DELL cuenta con equipos de cómputo que se acercan a las condiciones exactas para el buen funcionamiento y compatibilidad de la pantalla de mensajería variable. Este equipo cuenta con las siguientes características: Procesador Intel® Core™ i5-3470 (6MB Caché, hasta 3.60 GHz), Windows® 7 Professional, con Medio, 64-bit,

Español, 4 GB SDRAM DDR3 a 1600 MHz, Gráficos integrados Intel® (1 DisplayPort, 1 VGA, con Adaptador DisplayPort a DVI), la cual tiene un costo de \$10,375.

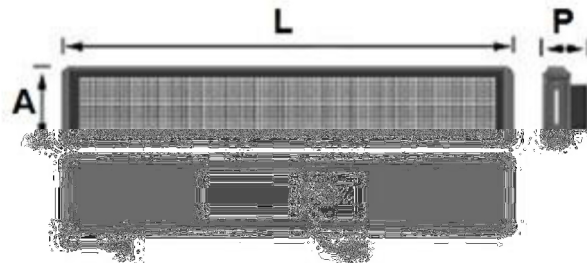


Figura 10. Pantalla miniPIX16\*80. Nanotrónica

## 2.5 Requerimientos de energía del panel de información propuesto

Los requerimientos energéticos del panel de mensajería variable dependen en gran medida del tipo de programación de los textos y la comunicación con dicho panel de mensajería variable, ya que estas dos condiciones nos permiten agregar elementos que aumentan el consumo de energía. A continuación se muestran los tipos de programación y comunicación que puede tener este tipo de panel de mensajería variable, ver figuras 11 - 14.

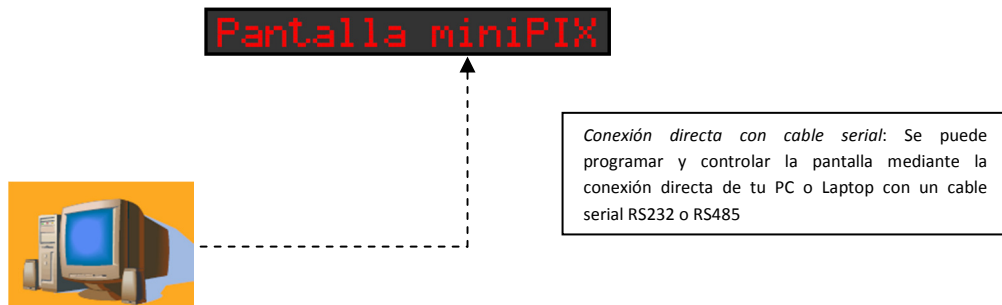


Figura 11. Comunicación directa con PC a pantalla miniPIX. Nanotrónica

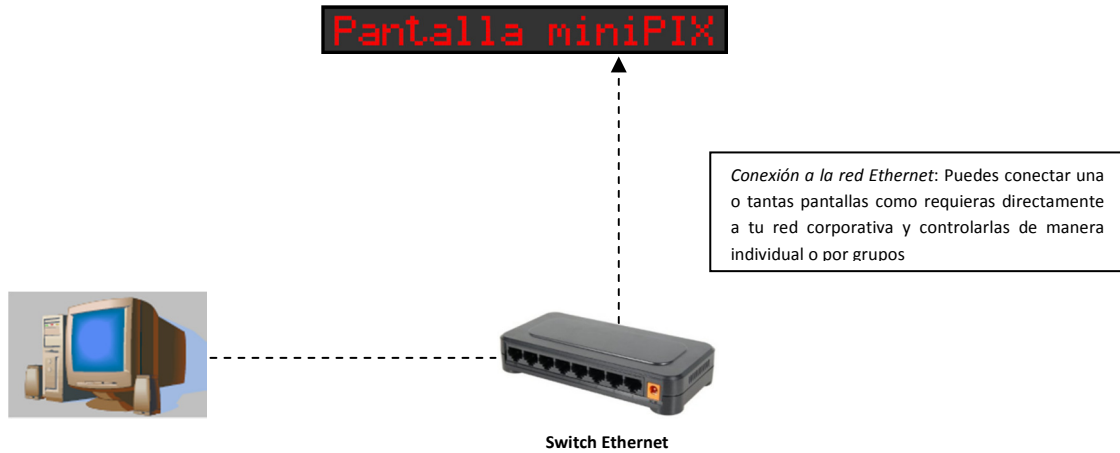


Figura 12. Comunicación a la red Ethernet pantalla miniPIX. Nanotrónica



Figura 13. Comunicación a la red inalámbrica pantalla miniPIX. Nanotrónica

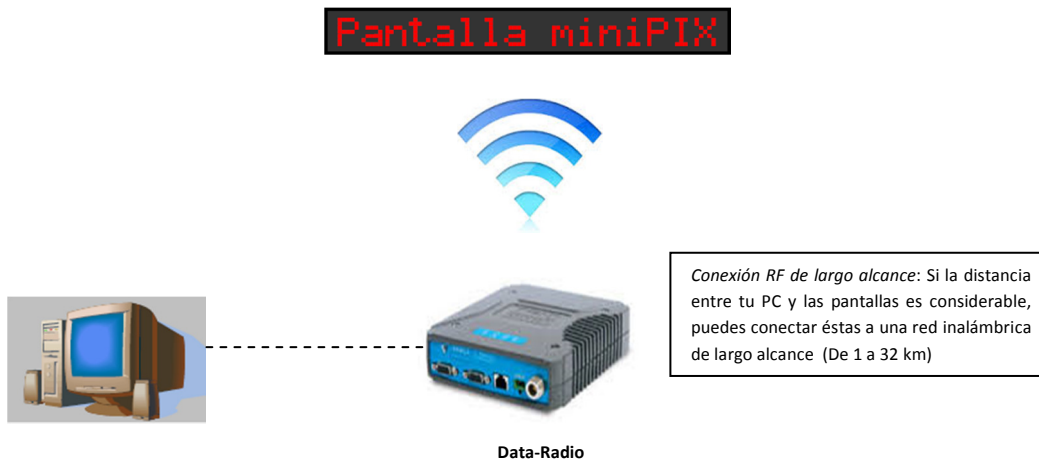


Figura 14. Comunicación a la red inalámbrica de largo alcance pantalla miniPIX. Nanotrónica

Para el presente trabajo nos concentraremos en la comunicación directa con PC o Laptop (por limitantes en recursos económicos, ya que entre más pantallas o más compleja sea la comunicación más componentes necesitamos adquirir y por consecuencia el costo del sistema aumenta en precio).

Los requerimientos de energía (entrada) del panel de mensajería variable son [12]:

- Consumo de energía 5-10 W (Depende del tamaño y color de LED'S que se maneje)
- Corriente de 1-2 A

A estos debemos sumar el consumo energético (entrada) de la PC o laptop (si la PC o Laptop está conectada al mismo sistema en caso contrario se pueden omitir los siguientes datos), que regularmente son:

- Eliminador de 100-240 V
- Consumo de energía 1.7 A
- 50 a 60 Hz

## CAPITULO 3. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DE CdTe

### 3.1 Módulo Fotovoltaico propuesto

#### 3.1.1 Componentes del módulo fotovoltaico propuesto

##### *Módulo fotovoltaico*

Por sus propiedades eléctricas, los módulos fotovoltaicos producen corriente directa (DC) en lugar de corriente alterna (AC). La corriente directa se caracteriza por el paso de electrones circulando en una sola dirección (es el tipo de corriente que se obtiene de una pila o de una linterna). La corriente alterna es una circulación de electrones que interviene su dirección a intervalos regulares, este tipo de corriente la proporciona Comisión Federal de Electricidad (CFE). La corriente alterna es la adecuada para encender la mayoría de los artículos domésticos, electrónicos, industriales, etc.

Un panel solar o módulo fotovoltaico está formado por un conjunto de celdas solares, conectadas eléctricamente, encapsuladas y montadas sobre una estructura de soporte o marco. Proporciona en su salida de conexión una tensión continua y se diseña para valores concretos de tensión (6, 9, 12, 24volts, etc.) que definirán la tensión a la que va a trabajar el sistema fotovoltaico.

La potencia que proporciona una celda solar de tamaño estándar (10x10 cm) es muy pequeña aproximadamente de 1 watt, por lo que generalmente es necesario tener que interconectar varias de ellas con el fin de proporcionar la potencia necesaria al sistema fotovoltaico.

Según la conexión eléctrica que hagamos de las celdas, nos podemos encontrar con diferentes posibilidades:

- Conexión en serie: La conexión en serie de las celdas permitirá aumentar el voltaje final del módulo, dejando constante la corriente eléctrica del mismo.
- Conexión en paralelo: La conexión en paralelo de las celdas permitirá aumentar la corriente eléctrica final del módulo, dejando constante el voltaje del mismo,.

Dependiendo de la instalación que se pretenda desarrollar y de la aplicación para la cual fue diseñado, existe la posibilidad de utilizar un solo panel o un conjunto de paneles que se montaran agrupados sobre un determinado soporte y conectados entre sí eléctricamente.

En aplicaciones de poca potencia, es posible la utilización de módulos fotovoltaicos flexibles, que permitirán aplicaciones como alimentar un equipo de telecomunicaciones, recargar la batería de un teléfono, etc.

Cuando necesitamos una potencia elevada que no se puede obtener con un único módulo fotovoltaico, se recurre a la conexión en grupo de varios módulos fotovoltaicos; en ocasiones al arreglo de varios módulos fotovoltaicos conectados entre sí se le conoce como panel fotovoltaico y a la interconexión de paneles fotovoltaicos y demás componentes electrónicos que se mencionarán más adelante se le conoce como arreglo fotovoltaico. La conexión de los módulos fotovoltaicos se realiza por la parte posterior de los mismos en una caja de conexiones preparada para tal fin. Esta caja de protección contiene dos diodos de protección (diodos de *Bypass*), que solo dejaran pasar la corriente en un sentido, y se opondrán a la circulación de la misma. Los objetivos de los diodos de protección son:

1. Impedir que las baterías de la instalación se descarguen a través de los paneles.
2. Evitar que se invierta el flujo de corriente entre bloques interconectados en paralelo cuando en alguno de ellos se produce una sombra.
3. Proteger individualmente cada módulo fotovoltaico de posibles daños ocasionados por sombras parciales que se produzcan por circunstancias especiales.

#### *Inversor de corriente directa a corriente alterna (DC a AC)*

Un inversor para módulos fotovoltaicos se encarga de transformar la corriente directa en corriente alterna, igual que la suministrada por la Comisión Federal de Electricidad (CFE). En la mayoría de los aparatos de uso cotidiano se integra una placa donde se especifica el consumo de watts, y en otras ocasiones, viene publicada en el manual de usuario que acompaña al aparato eléctrico por lo que es necesario revisar estos datos antes de conectar los aparatos eléctricos.

Las características deseables para un inversor DC-AC son:

- Alta eficiencia: debe funcionar de manera adecuada para un amplio rango de frecuencias
- Bajo consumo en vacío: es decir, que el consumo sea bajo cuando no hay cargas conectadas.
- Alta fiabilidad: resistentes a los picos de corriente.
- Protección contra cortos circuitos
- Seguridad
- Buena regulación de la tensión y frecuencia de salida

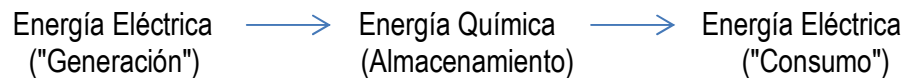
Algunos inversores funcionan también como reguladores de carga de las baterías. En este caso no es necesario incluir el regulador en la instalación.

### *Batería*

La entrada de la energía solar a los módulos fotovoltaicos no se produce de manera uniforme, por lo que presenta variaciones por diferentes motivos, algunas de estas variaciones son predecibles, como la duración de la noche o las estaciones del año, pero existen otras muchas causas que pueden producir alteraciones de manera aleatoria en la energía recibida, como puede ser un aumento de nubosidad en un determinado instante.

Es por esto que se hace necesaria la utilización de un sistema de almacenamiento de energía para aquellos momentos en que la radiación recibida sobre el módulo fotovoltaico no sea capaz de hacer que la instalación funcione en los valores determinados. Para ello se utilizan las baterías o acumuladores.

Las baterías son dispositivos capaces de transformar la energía química en eléctrica. El funcionamiento en una instalación fotovoltaica es la siguiente:



Las baterías son recargadas con la electricidad producida por los módulos fotovoltaicos, a través de un regulador de carga y pueden entregar su energía a la salida de la instalación, donde será consumida.

Las funciones que tienen las baterías son:

1. Almacenar energía durante un determinado número de días
2. Proporcionar una potencia instantánea elevada
3. Fijar la tensión de trabajo de la instalación

Uno de los parámetros más importantes de tener en cuenta a la hora de elegir una batería es la *Capacidad*. Se define como la cantidad de electricidad que puede lograrse en una descarga completa del acumulador partiendo de un estado de carga total del mismo. Se mide en Amperes/hora (Ah) y se calcula como el producto de la intensidad de descarga del acumulador durante el tiempo en el que se está actuando.

Además de la capacidad, debemos considerar otros parámetros en las baterías que vamos a utilizar en las instalaciones fotovoltaicas:

- Eficiencia de carga: Relación entre la energía empleada para recargar la batería y la energía realmente almacenada. Interesa que sea un valor lo más alto posible (próximo al 100%, lo que indicaría que toda la energía utilizada para la recarga es factible de ser empleada en la salida de la instalación). Si la eficiencia es baja, será necesario aumentar el número de módulos fotovoltaicos para obtener los resultados deseados.
- Auto descarga: Proceso mediante el cual el acumulador, sin estar en uso, tiende a descargarse.
- Profundidad de descarga: Cantidad de energía, en tanto por ciento, que se obtiene de la batería durante una determinada descarga, partiendo de la batería completamente cargada. Está relacionada con la duración o vida útil de la batería. Si los ciclos de descarga son cortos (en torno al 20%), la duración del acumulador será mayor que si se le somete a descargas profundas (en torno al 80%).

Además de los parámetros eléctricos, las características que serían deseables para las baterías a utilizar en las instalaciones solares son:

- Buena resistencia al ciclado (proceso de carga y descarga)
- Bajo mantenimiento
- Buen funcionamiento con corrientes pequeñas
- Amplia reserva de electrolito

- Depósito para materiales desprendidos
- Vasos transparentes

Existen diferentes tecnologías en la fabricación de baterías, sin embargo unas son más adecuadas que otras para utilizarlas en los llamados arreglos fotovoltaicos.

### **3.1.2 Procesamiento y manufactura de los módulos fotovoltaicos**

Los módulos FV que se utilizaron en este trabajo, fueron procesados y manufacturados en la Universidad Autónoma de la Ciudad de México. La estructura de los módulos FV de segunda generación de CdS/CdTe, empieza con un sustrato o vidrio conductor (Vidrio soda-lima con una capa conductora de Oxido de Estaño Fluorinado -  $\text{SnO}_2:\text{F}$ ), posteriormente se deposita el CdS por las técnicas de Sublimación (CSVT) o Sputtering (Sp) y el CdTe se deposita por sublimación, se realiza un tratamiento con  $\text{CdCl}_2$  por medio de sublimación, el cual ayuda a las propiedades morfológicas del CdTe (haciendo uniforme los granos de material CdTe y disminuyendo la resistividad de este material al paso de la corriente eléctrica), por último se depositan los contactos posteriores por Sputtering, primero se deposita Cobre (Cu), con un espesor aproximado de entre 2-5nm y posteriormente se deposita Oro (Au), con un espesor aproximado a los 300nm, de forma paralela a este trabajo se está optimizando el cambio de Au por Molibdeno (Mo) debido al alto costo del Oro.

En la figura 15, se muestra la estructura de un módulo fotovoltaico de segunda generación o de película delgada, elaborados en la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

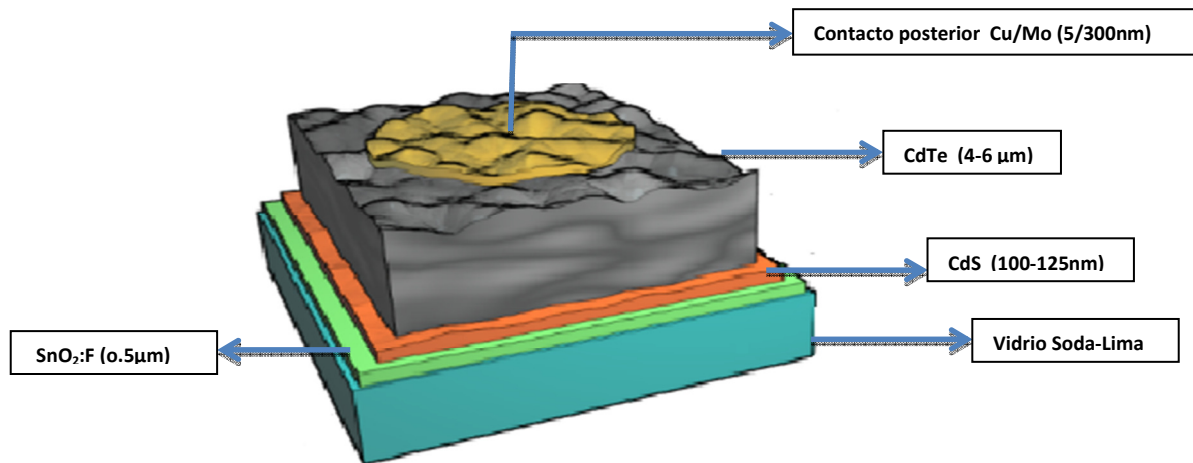


Figura 15. Estructura de los módulos fotovoltaicos de segunda generación

El equipo de sublimación empleado en este trabajo (CSVT) consta de varios componentes elementales entre los cuales destacan: bomba Mecánica (vacío primario), bomba turbo-molecular (alto vacío), sensores de bajo y alto vacío, medidores de bajo y alto vacío, controlador de bomba turbo-molecular, medidor de flujo o flujometro, bloques de grafito, lámparas infrarrojas y controladores de temperatura. En la figura 16, se muestra el equipo CSVT y sus principales componentes.



Figura 16. Equipo de sublimación CSVT. Propia realización

El proceso de elaboración de estos módulos FV inicia con la adquisición de sustratos especiales para la elaboración de celdas solares (vidrios normales con una capa de Oxido de Estaño Fluorinado (Oxido de Estaño impurificado con Flúor  $\text{SnO}_2\cdot\text{F}$ ) con un espesor de 0.5 micras, estos sustratos miden 30x30 cm. Debido a limitaciones tecnológicas y de equipos el siguiente paso es cortar, decantar y lavar los sustratos a dimensiones de 10x10 cm.

Una vez terminada esta parte, se inician los procesos de depósito de materiales; el primer material a depositar es el Sulfuro de Cadmio (CdS), una capa aproximada a los 110-125 nm, el cual se hace con el equipo CSVT. Se inicia pesando la cantidad adecuada de material y colocándolo en una base de grafito, totalmente esparcido por la base, se coloca el sustrato con la parte conductiva hacia abajo, dentro de la cámara del equipo CSVT y se inicia con el bajo y alto vacío, una vez que se llega al vacío requerido se hace entrar a la cámara cierta cantidad de gas Argón (Ar), programada en el controlador de flujo. Por otra parte, se programan las temperaturas de depósito tanto sustrato (bloque de grafito superior) como fuente (bloque de grafito inferior) se encienden los controladores de temperatura y se lleva a cabo el proceso de depósito del CdS, el mismo proceso se repite para depositar el CdTe, con un espesor aproximado de entre 4-6 micras.

El tratamiento térmico con  $\text{CdCl}_2$  ayuda a las propiedades morfológicas y eléctricas del dispositivo y se realiza mediante la técnica de sublimación, el proceso es muy parecido al proceso de depósito del CdS y CdTe.

Finalmente se depositan los contactos posteriores, este proceso se realiza por medio del sistema Pulverización Catódica Magneto Planar conocido como Sputtering en modo de corriente directa (Sp-DC). El equipo Sputtering consta de varios componentes elementales entre los cuales destacan: bomba mecánica (vacío primario), bomba turbo-molecular (alto vacío), sensores de bajo y alto vacío, medidores de bajo y alto vacío, controlador de bomba turbo-molecular, magnetrón, medidor de espesores, fuente de corriente directa (DC) para alimentar el magnetrón y generar plasma, fuente de voltaje variable para control de temperatura del porta-substrato. En la figura 17, se muestra el equipo Sputtering y sus principales componentes.

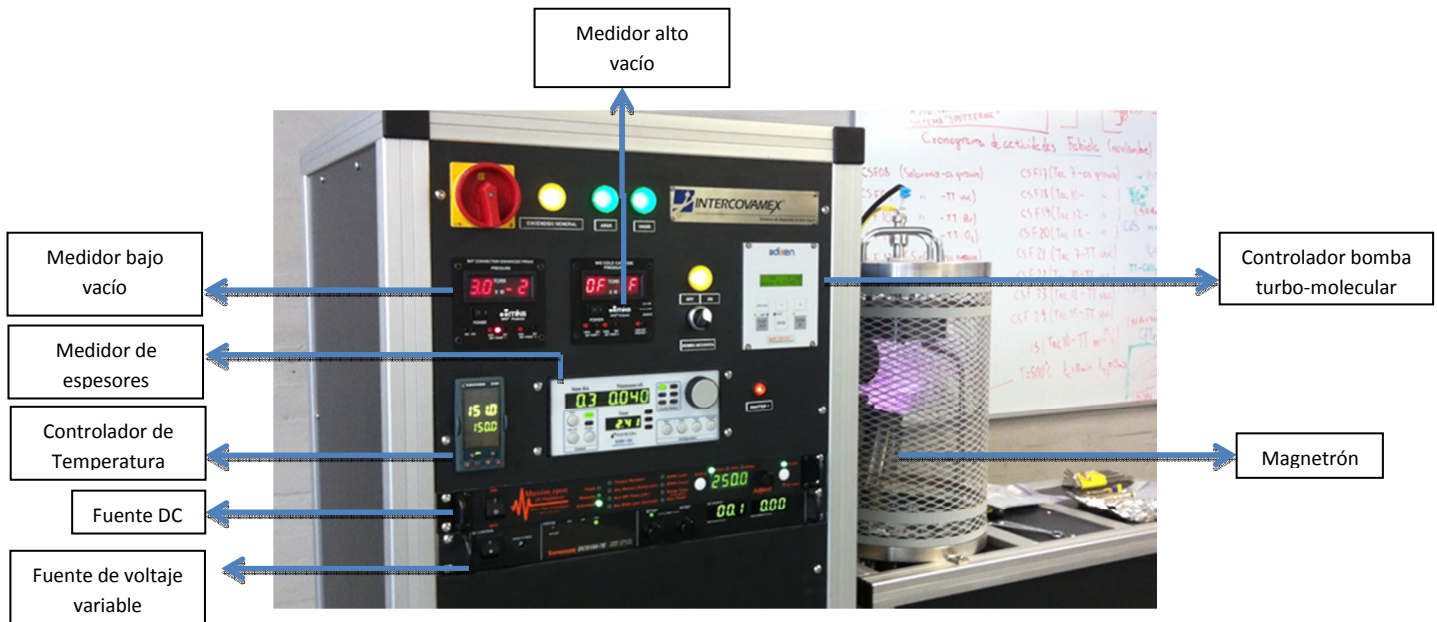


Figura 17. Equipo de Pulverización catódica Sputtering-DC. Propia elaboración

El depósito de los contactos posteriores, en el equipo Sputtering, se realiza colocando el target del material que queremos depositar, se cierra la cámara y se hace bajo y alto vacío. Después de

Para aumentar la temperatura del sustrato, encendemos el magnetrón e iniciamos el proceso, se debe tener precaución de obtener el espesor de película óptima, para el caso del Cu es de aproximadamente 5nm, de la misma forma se deposita Au, sin embargo este material se ha cambiado por Molibdeno (Mo) debido a su alto costo, en este caso se deposita de la misma manera y el espesor óptimo de la película es de 300nm. En la figura 18, se muestra un módulo fotovoltaico de CdTe en sus diferentes etapas de procesamiento de los materiales sobre el sustrato conductor.

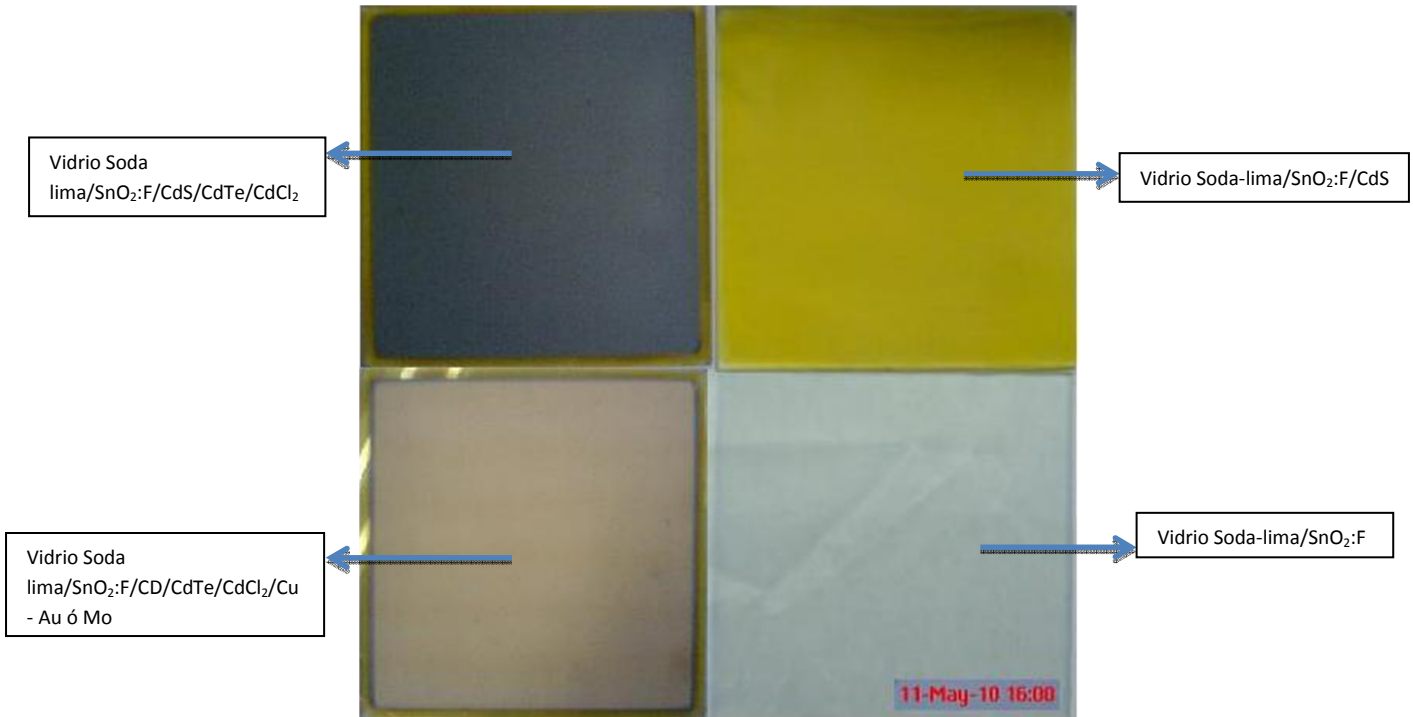


Figura 18. Módulo fotovoltaico en sus diferentes etapas de proceso. Propia realización

El proceso de manufactura consiste en: escritura láser, serigrafía, electro-depósito y encapsulado.

#### Escritura láser.

La división del módulo fotovoltaico se realiza con una técnica llamada "Escritura Laser" (Laser Scribing), ver figura 19. Una vez terminado el depósito de los materiales necesarios para efectuar el efecto fotovoltaico, el módulo se divide en 16 sub-celdas, con el fin de que las distancias que recorren los portadores de carga se han las mínimas posibles, ya que dichos portadores de carga

tienen un tiempo de vida máximo de 0.3 ms, si no se dividiera el módulo en sub-celdas la mayoría de los portadores de carga no llegarían a ser recolectados en las pistas de interconexión.

Las características del Laser que se utiliza son:

- Laser Nd-Yag a 355 nm
- Longitud de pulso 5-6 ns
- Frecuencia de repetición 30 hz
- Densidad de Energía 2 J/cm<sup>2</sup>

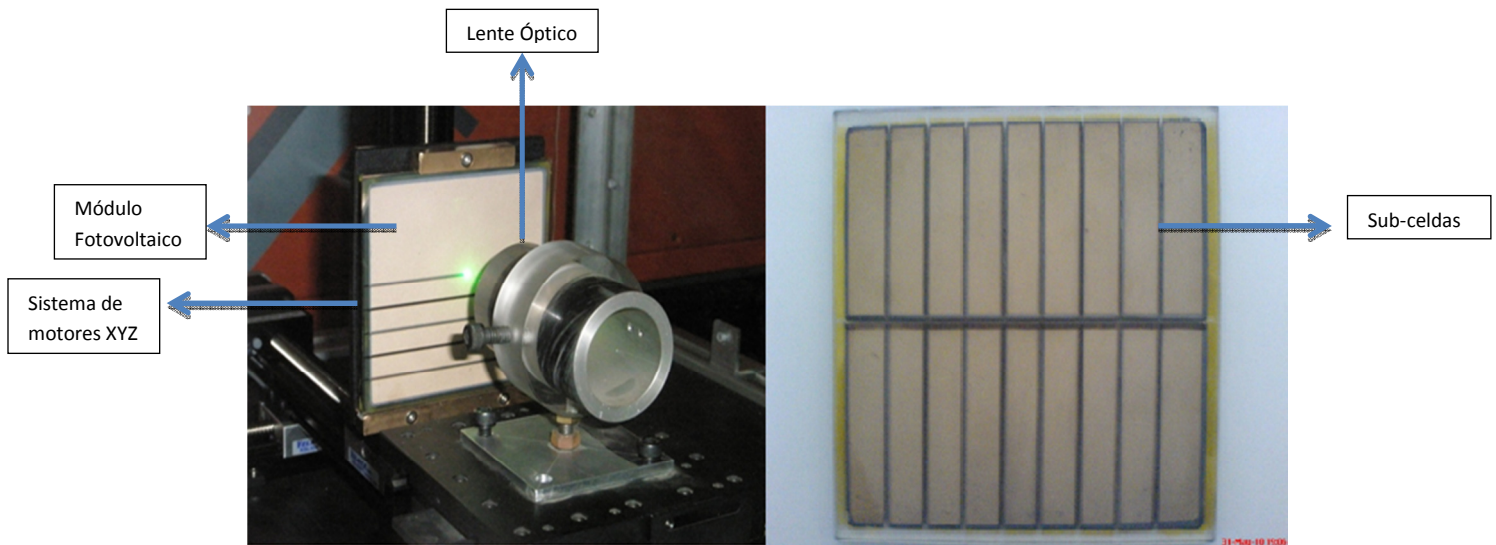


Figura 19. Escritura Laser para sub-división de módulos fotovoltaicos. Propia realización

En la tabla 3, se muestran parámetros de la escritura láser, tiempo de barrido del material y ancho de canal que deja el láser, sobre los diferentes materiales del módulo fotovoltaico a diferentes velocidades.

Tabla 3. Escritura Laser sobre materiales del módulo fotovoltaico. Propia realización

Velocidad del motor (mm/s)	Escritura sobre diferentes materiales (tiempo [seg] – ancho [mm])			
	SnO <sub>2</sub>	CdS	CdTe	Cu-Au
5	68 – 1.0	64 – 1.2	68 – 1.5	66 – 1.6
3	120 – 1.0	130 – 1.0	134 – 1.1	132 – 1.2
1	356 – 1.1	374 – 1.2	394 – 1.3	400 – 1.8

### Serigrafía.

El proceso de serigrafía, el cual consiste en hacer pasar por una malla sintética, con un patrón ya definido, y con la ayuda de una herramienta llamada “rasero”, una “tinta Policat” (polyester), la cual tiene como función primordial hacer la separación de los polos positivo y negativo, y así evitar que haya un corto circuito en el módulo fotovoltaico. Una vez que termina la aplicación de la tinta se lleva a secar a una parrilla a una temperatura de 130°C y durante un tiempo de 2 horas.

Las mallas sintéticas se clasifican de acuerdo a dos parámetros:

- Por el número de hilos por centímetro de borde del tejido que varía de 12 a 200 hilos.
- Según el grado de densidad de los hilos, se nombran con las letras:
  - HD fibra espesa y fuerte
  - T fibra normal
  - M fibra mediana
  - S fibra ligera de diámetro pequeño

Las mallas que se utilizan los procesos de interconexión por serigrafía tanto de la tinta policat como de la pasta de plata son de polyester de 90 hilos por centímetro con grado de densidad T (fibra normal) [13].

El segundo paso en el proceso de serigrafía, es aplicar una pasta de plata, de la misma manera que en el paso 1 a través de una malla sintética con un patrón ya definido, y con la ayuda de una herramienta llamada “rasero”. La pasta de plata que se utilizó (LTTF-7888 INDIUM®), se desarrolló para las tecnologías de módulos fotovoltaicos de película delgada, probada contra principales pastas

comerciales de metalización muestra buena estabilidad a la temperatura ambiente y conducción eléctrica. La vida útil de LTTF-7888 INDIUM® es de 6 meses, se recomienda almacenar el envase cerrado a temperatura ambiente (20-25°C) y mezclar bien antes de usar.

La LTTF-7888 INDIUM® tiene como función primordial recolectar la mayor cantidad de portadores de carga para dirigirlos a una de las terminales eléctricas del módulo fotovoltaico. Una vez que termina la aplicación de la tinta se lleva a secar a una parrilla a una temperatura de 130°C y durante un tiempo de 2 horas. En La figura 20, se muestran las imágenes de la tinta policat y la pasta de plata aplicadas sobre el módulo fotovoltaico.

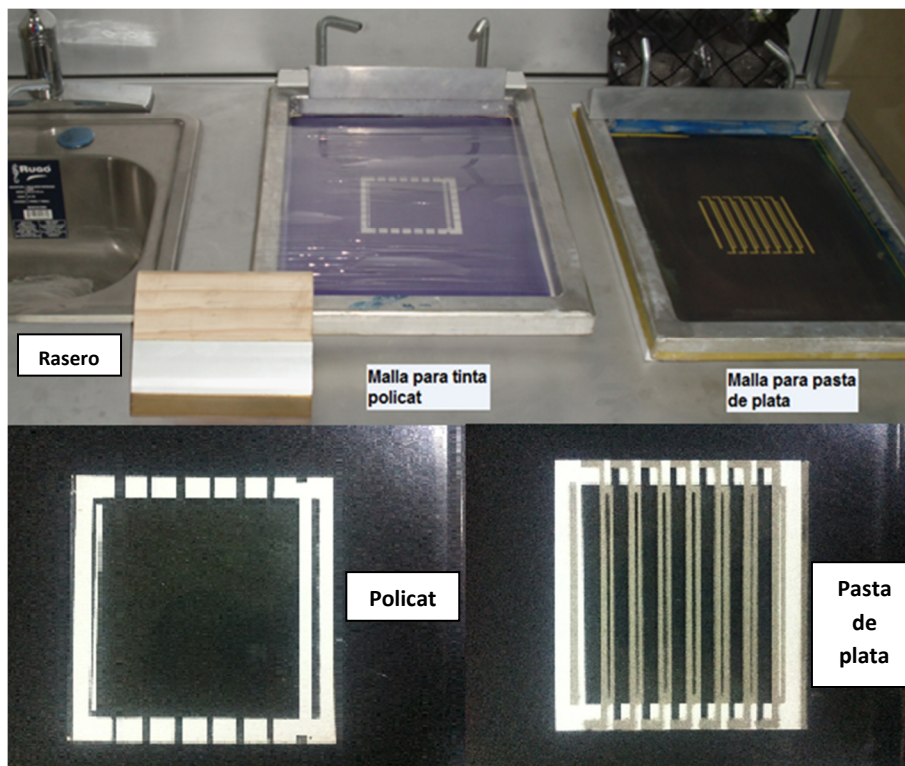


Figura 20. Herramental para la aplicación de la tinta policat y pistas de pasta de plata. Propia elaboración

Electro-depósito.

El tercer paso es el depósito de pistas de cobre que servirán para conectar las terminales borneras de los polos negativo y positivo, esto se realiza mediante un proceso de electrólisis (paso de energía eléctrica a través de un electrolito para separar los iones).La electrólisis constituye un proceso de

oxidación-reducción, dicho proceso se desarrolla “no espontáneamente”, es decir, que intervienen un conjunto de transformaciones implicando un aumento de energía libre en el sistema, y por ende, requiere para su realización la aplicación de una fuerza externa de energía [13]. En la figura 21, se muestran las áreas del módulo fotovoltaico donde se realizará el depósito de pistas de cobre (Cu) a través del proceso de electrolisis.

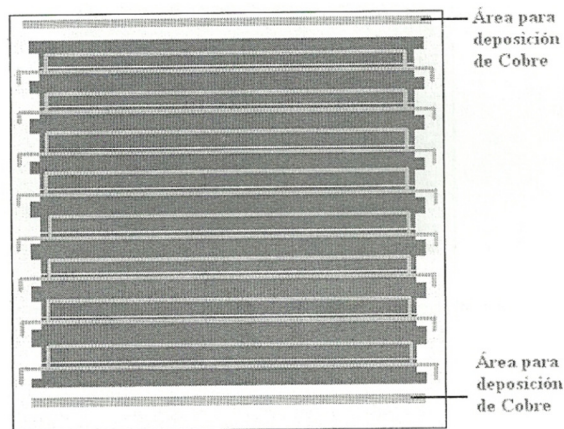


Figura 21. Superficie donde se realiza el electro-depósito de cobre. Manual de procesamiento IPN

En este proceso se utiliza sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ) como electrolito, a una concentración del 10% (100gr en un litro de agua destilada). El depósito químico se lleva a cabo a una corriente de 50mA durante 45min por medio de una fuente de voltaje regulable (corriente continua) utilizando como electrodo positivo una pieza de acero inoxidable grado alimenticio y como electrodo negativo la pasta de plata depositada.

Es importante hacerse las siguientes consideraciones para realizar el depósito por medio de electrólisis:

- Nunca deben unirse los electrodos, ya que la corriente eléctrica no tiene una dirección para seguir el proceso.
- Debe utilizarse siempre corriente continua y nunca corriente alterna.

En la figura 22, se muestra el proceso de electrolisis y la cuba electrolítica y sus principales componentes así como los límites máximos para realizar el depósito de cobre a través del electrolito

Sulfato de Cobre ( $\text{CuSO}_4$ ); posteriormente, se soldán las terminales borneras, estas se deben soldar dentro del molde donde se encapsulará el módulo fotovoltaico.

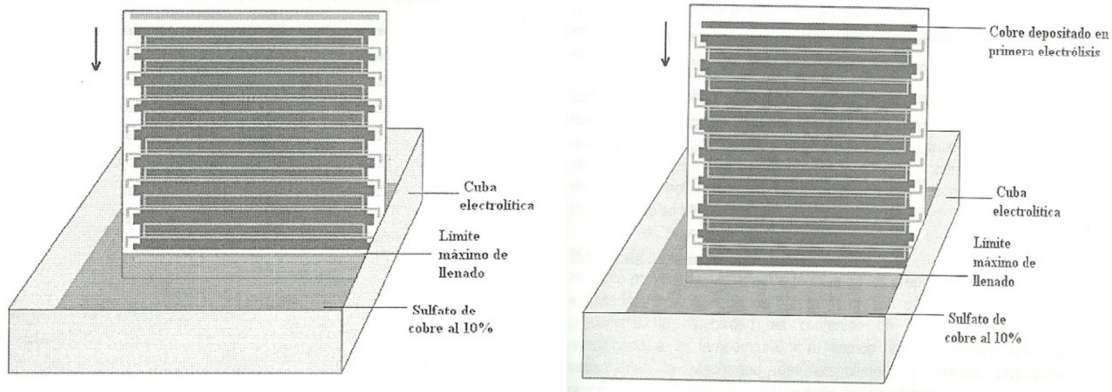


Figura 22. Proceso de depósito de pistas de cobre por electrolisis. Manual de procesamiento IPN

Encapsulado.

Este es el último paso de la manufactura, primero se limpia con alcohol isopropílico el molde para dejarlo libre de suciedad, se coloca un desmoldante sobre la superficie y perímetro del molde, se coloca el molde en la parrilla y se calienta por 5 minutos para evitar que se tenga humedad al momento de vaciar la resina, se coloca el módulo fotovoltaico en el centro del molde y se soldán las terminales borneras ( $\text{SnO}_2$ -cátodo y Mo - ánodo), una vez colocadas las terminales borneras se colocan los perfiles de aluminio (con la parte más angosta hacia el fondo del molde).

El encapsulado se hace con una resina 100% de poliuretano, consta de dos componentes, parte A y parte B, esta resina es rígida pero es formulada para aplicaciones que estén expuestas a

temperaturas de 90°C. Este tipo de plásticos son conocidos como termofijos ya que presentan buena resistencia a la humedad, propiedades dieléctricas, resistencia mecánica y buena elongación.

La resina se prepara con una proporción de 100:15 es decir, por cada 100g de resina se necesitan 15g de endurecedor para completar la reacción. El mezclado de la resina es muy importante ya que podrían encontrarse puntos blandos (puntos donde la resina no endurezca por completo) o puede incrementar la probabilidad de atrapar aire en el moldeo.

Las dos partes de la resina no deben mezclarse en el mismo contenedor, ya que existen posibilidades de que la resina o el endurecedor se adhiera a los lados, fondos o esquinas del recipiente y por ende no puedan ser mezclados correctamente. Una vez que se encuentran mezcladas las dos partes de la resina y el molde con el módulo fotovoltaico, se vierte la resina en el molde y se enciende la parrilla a una temperatura de 90°C y se deja secar durante 4 horas. Se deja enfriar y se desmolda, limpiando los residuos con alcohol isopropílico, ver figura 23.



Figura 23. Estación de encapsulado y sus principales herramientas. Manual de procesamiento IPN

Las celdas solares de segunda generación o de película delgada están ganando terreno en el mercado, debido a la reducción en los costos de producción, sin embargo a causa de los efectos esenciales en los métodos de procesamiento de bajo costo, las eficiencias se reducen cuando se les compara con las celdas de primera generación.

Por otra parte, otra de las ventajas es que las celdas de primera generación disminuyen su potencia generada con el incremento de la temperatura; caso contrario ocurre en las celdas de segunda generación que suelen ser mejores generando energía en estas condiciones. Por lo tanto, las celdas de segunda generación pueden ser usadas en lugares donde la temperatura es demasiado elevada. Además las celdas solares de segunda generación pueden alcanzar tiempos de vida cercanas a los 30 años a partir de su elaboración [14].

### **3.2 Estudio de factibilidad de implementación de módulos fotovoltaicos para alimentación de panel de información**

Para realizar este estudio, calcularemos el costo de los módulos fotovoltaicos con el propósito de saber si es factible su puesta en marcha en este proyecto. Iniciaremos con los cálculos de los materiales para la elaboración de cada módulo fotovoltaico.

El primer material usado en la manufactura de módulos fotovoltaicos de CdS/CdTe es el vidrio soda-lima, de acuerdo con la empresa Pilkington en su catálogo de productos la presentación con 15 piezas (30x30 cm/pieza) de vidrio conductor tiene un precio de US\$1,300 (si consideramos el tipo de cambio de \$13.50), el precio en pesos mexicanos es de \$17,550.

Ahora tenemos que dividirlo entre 15 para obtener el precio de cada pieza de vidrio soda-lima, el cual es de \$1,170. Recordemos que nuestros módulos fotovoltaicos cuentan con área de 100 cm<sup>2</sup> por lo que en una pieza de vidrio de 30x30cm tendríamos 9 módulos fotovoltaicos, por lo cual debemos dividir el precio por pieza de vidrio soda-lima entre 9 para obtener el precio por cada módulo fotovoltaico, el cual es de \$130 pesos por substrato conductor de dimensiones de 10x10 cm.

El segundo material en ser utilizado es Sulfuro de Cadmio (CdS), para saber el número de gramos necesarios para obtener el espesor deseado, calcularemos en primer lugar, el volumen del depósito deseado mediante la siguiente fórmula:

$$V = L \times a \times h \dots\dots\dots(1)$$

Dónde:

V= Volumen      L= Largo

a= Ancho      h= Altura - espesor

El depósito de CdS cuenta con las siguientes dimensiones: largo=9.6cm, ancho=9.6cm y un espesor de 150nm=  $1.5 \times 10^{-7}$ cm, por lo que sustituyendo en (1), tenemos:

$$V = 9.6\text{cm} \times 9.6\text{cm} \times 1.5 \times 10^{-7}\text{cm} = 1.38 \times 10^{-5}\text{cm}^3$$

Una vez que obtuvimos el volumen del depósito, el paso siguiente es encontrar la masa necesaria para el depósito, esto realiza mediante la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m}{v} \dots \dots \dots (2)$$

Dónde:

$\rho$ = Densidad del material      V=volumen

m= Masa

Si despejamos m de (2) obtendremos la siguiente ecuación:

$$m = V \times \rho \dots \dots \dots (3)$$

Entonces, si sustituimos nuestros valores en (3), tomando en cuenta que la densidad del CdS es de 4.82g/cm<sup>3</sup>, queda de la siguiente forma:

$$m = 1.38 \times 10^{-5}\text{cm}^3 \times 4.82 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 6.6 \times 10^{-5}\text{g}$$

De acuerdo con la empresa SIGMA-ALDRICH, la presentación de Sulfuro de Cadmio de 100 g (con 99.99% de pureza) tiene un precio de \$692 pesos. Si dividimos este precio entre el número de gramos, obtendremos el precio por gramo, el cual es de \$6.92 pesos/gramo. Para un depósito de CdS se utiliza  $6.6 \times 10^{-5}$  g de material, por lo que el precio por depósito de Sulfuro de Cadmio es de \$ 0.004 pesos de CdS por depósito.

El tercer material es Teluro de Cadmio (CdTe), para obtener el número de gramos necesario para el depósito deseado, repetimos el procedimiento del semiconductor CdS, tomando en cuenta las siguientes características para el depósito: largo=9.4cm, ancho=9.4cm y un espesor de  $5\mu\text{m}=5\times 10^{-4}$  cm.

Sustituyendo las características de depósito en (1), tenemos:

$$V = 9.4 \text{ cm} \times 9.4 \text{ cm} \times 5 \times 10^{-4} \text{ cm} = 4.4 \times 10^{-2} \text{ cm}^3$$

Este valor se sustituye en (3), tomando en cuenta que la densidad del CdTe es de  $6.5\text{g/cm}^3$ , obtenemos lo siguiente:

$$m = 4.4 \times 10^{-2} \text{ cm}^3 \times 6.5 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 0.29 \text{ g}$$

La empresa SIGMA-ALDRICH distribuye este material en presentaciones de 50g y dicha presentación tiene un costo de \$3,867 pesos. Dividimos este precio entre los gramos que contiene la presentación para obtener el precio por gramo, obtenemos que cada gramo de Teluro de Cadmio tenga un precio de \$77.34 pesos/gramo. Para el depósito de Teluro de Cadmio se necesitan 0.29 g, por lo que el costo por depósito de Teluro de Cadmio es de \$22.21 pesos por depósito de CdTe.

El cuarto material que se utiliza es el Cloruro de Cadmio ( $\text{CdCl}_2$ ), para obtener el número de gramos necesario para obtener el depósito deseado, repetimos el procedimiento del semiconductor CdTe, tomando en cuenta las siguientes características para el depósito: largo=9.4cm, ancho=9.4cm y un espesor de  $200\text{nm}=2 \times 10^{-5}$  cm.

Sustituyendo las características de depósito en (1), tenemos:

$$V = 9.4 \text{ cm} \times 9.4 \text{ cm} \times 2 \times 10^{-5} \text{ cm} = 1.77 \times 10^{-3} \text{ cm}^3$$

Este valor se sustituye en (3), tomando en cuenta que la densidad del  $\text{CdCl}_2$  es de  $4.1\text{g/cm}^3$ , obtenemos lo siguiente:

$$m = 1.77 \times 10^{-3} \text{ cm}^3 \times 4.1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 7.25 \times 10^{-3} \text{ g}$$

La empresa distribuidora SIGMA-ALDRICH cuenta con presentaciones de material de 50g la cual tienen un costo de \$3,635 pesos. Si seguimos los pasos anteriores, dividimos el precio total entre el

número de gramos, para obtener el precio por gramo de material, el cual es de \$72.70 pesos/gramo. Para el depósito de Cloruro de Cadmio se necesitan 7 mg, por lo que el costo por depósito de Cloruro de Cadmio es de \$0.51 pesos por depósito

El quinto material en la elaboración de un módulo fotovoltaico de CdTe es Cobre (Cu), como se ha mencionado en capítulos anteriores, el depósito de cobre se realiza mediante la técnica de erosión catódica, por lo que ahora el material no se encuentra en forma de polvo como los anteriores, en esta ocasión se encuentra en forma de target de cobre (disco de cobre).

De acuerdo con la empresa distribuidora INTERCOVAMEX, el costo de un target de cobre es de US\$249 (si consideramos el tipo de cambio en 13.50, el costo en pesos mexicanos es de \$3,361.50). Dicho target de cobre alcanza para realizar aproximadamente 150 depósitos de cobre con un espesor de 5nm cada uno.

Si dividimos el costo entre el número de depósitos que podemos realizar, obtenemos que el precio por depósito en cada módulo fotovoltaico sea de \$22.41 pesos por depósito de Cu.

El sexto y último material utilizado en la elaboración de la estructura del módulo fotovoltaico es el Mo, éste material también se deposita mediante la técnica de erosión catódica. La empresa INTERCOVAMEX, distribuye este material en forma de target y el cual tiene un costo de \$4,490.48 pesos. Este material alcanza para 40 depósitos de Molibdeno con un espesor de 500nm.

Si dividimos el costo entre el número de depósitos que podemos realizar, obtenemos que el precio por depósito en cada módulo fotovoltaico sea de \$112.26 pesos por depósito de Mo.

Una vez que tenemos terminada la estructura y división de las sub-celdas, sigue el aislamiento e interconexión de las sub-celdas, lo cual requiere materiales y por supuesto costos en la manufactura de los módulos fotovoltaicos. El primer material que se requiere es tinta policat blanca, de acuerdo con la empresa distribuidora TECNICA SERIGRAFICA, la presentación con un kilogramo de tinta tiene un costo de \$182.65 pesos. Para preparar la tinta policat necesitamos solo 9g de material. El gramo de material tiene un costo de \$0.18 pesos, este costo lo multiplicamos por los gramos necesario para la preparación del material, por lo que el costo de la cantidad de tinta necesaria para aislar las sub-celdas es de \$1.62 pesos.

Sin embargo, a la tinta policat se le agrega un catalizador, el cual la empresa TECNICA SERIGRAFICA, distribuye en presentaciones de 100g, la cual tiene un precio de \$55.60 pesos. Obtenemos el precio por gramo de material que es de \$0.56 pesos. Para la mezcla se necesitan 3g de catalizador, por lo que el costo del material necesario para la mezcla es de \$1.68 pesos. A esta mezcla se agregan otros materiales como son solvente P-200 (0.9g) y el retardante (isoforona) (0.4g), las cuales se venden en presentaciones de 1kg cada una y cuyos costos son \$50.56 y \$90.00 pesos respectivamente. El costo de los últimos componentes necesarios para la muestra es de \$0.05 y \$0.04 pesos por proceso de serigrafía.

El siguiente paso es la interconexión de las sub-celdas del módulo fotovoltaico por medio de pintura de plata, la cual se hace por medio de una pluma que sirve para reparar circuitos impresos en placas. La distribuidora AG Electrónica, cuenta con este tipo de material el cual tiene un costo de \$927.00 pesos, dicha presentación alcanza para realizar 200 interconexiones de las sub-celdas de los módulos. Si dividimos el costo de la pasta de plata entre el número de interconexiones, obtendremos que el precio de la pintura de plata por interconexión sea de \$4.64 pesos por interconexión.

La última parte de la interconexión son las pistas de cobre, esta parte se realiza por medio de electrolisis, para llevar a cabo este proceso, el materia que se utiliza Sulfato de Cobre ( $\text{CuSO}_4$ ). La presentación de 1 l de electrolito cuesta \$240 pesos, y ésta alcanza para 4 depósitos (en cada depósito se realizan pistas de cobre a dos módulos fotovoltaicos). Si dividimos el costo del electrolito entre los 4 depósitos y el resultado lo dividimos nuevamente entre dos (ya que son dos módulos por depósito) obtendremos el costo por módulo, el cual es de \$30.00 pesos.

Al terminar el depósito de las pistas de cobre, se soldán en ellas dos terminales borneras (positiva y negativa) para terminar con la interconexión. Las cuales tienen un precio de \$10.00 pesos por terminal.

Finalmente, el proceso se termina con el encapsulado del módulo fotovoltaico, para ello se hace uso de dos materiales, el primero, un perfil de aluminio el cual funciona como base para el módulo fotovoltaico. Este perfil de aluminio tiene un costo de \$260 por un tramo de 2m, para el proceso de encapsulado solo se necesitan 10cm por lado, 20cm en total; por lo tanto el costo por el aluminio utilizado en el proceso es de \$26.00 pesos.

Por último, el encapsulado del módulo se realiza con resina de poliuretano. La empresa FEROCA distribuye este producto en un kit de 2kg (1kg componente A y 1kg componente B), dicho kit tiene un costo de \$392 pesos, para el encapsulado del módulo se necesitan 35g de cada material. Por lo tanto el costo de la resina utilizada para este proceso es de \$13.72 pesos.

En la tabla 4, se presenta el resumen de los costos y el costo total de la elaboración y manufactura de un módulo fotovoltaico de CdTe en áreas de 100cm<sup>2</sup>.

Tabla 4. Resumen de costos módulo fotovoltaico de CdTe. Propia realización.

	Material	Costo
Estructura del Módulo	Vidrio Conductor	130
	Sulfuro de Cadmio	0.004
	Teluro de Cadmio	22.21
	Cloruro de Cadmio	0.51
	Cobre	22.41
	Molibdeno	112.26
	Interconexión y Manufactura	Tinta Policat
Catalizador		1.68
Solvente P-200		0.05
Isoforona		0.04
Pintura de plata		4.64
Electrolito		30
Terminales Borneras		10
Perfil de Aluminio		26
Resina de poliuretano		13.72
<b>TOTAL</b>		<b>370.50</b>

### 3.3 Sistema de información propuesto (panel de información y módulos fotovoltaicos)

Nuestro sistema de información propuesto consta de los siguientes componentes:

Nuestra pantalla electrónica es la mostrada en la figura 10, modelo miniPIX16\*80, con caracteres de 10cm de alto, se puede desplegar de hasta 2 líneas de información con caracteres de 5cms de alto, programación vía PC o RS232, gabinete en negro, aplicación interior, dimensiones 70x17cm.

Componentes electrónicos.

La figura 24, muestra el controlador de Carga y Descarga para Sistemas Solares, 10 A., 12 VCD, marca SYSCOM, Modelo SCI110, el cual permite durante el día el paso de la energía hacia los acumuladores y desconecta cuando llegan al nivel óptimo. Mide el nivel de descargas desconectando la carga cuando el nivel del voltaje de las baterías es bajo, evitando que se dañen. Dimensiones 123 x 70 x 33 mm.



**SYSCOM**

Figura 24. Controlador de carga y descarga. SYSCOM

La figura 25, muestra el inversor de corriente de 12vcd a 110vca, marca Steren, modelo INV-300, el cual cuenta con dos contactos de salida (uno sencillo y otro polarizado).



Figura 25. Inversor de corriente. Steren

## CAPITULO 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

### 4.1 Balance energético panel de información-módulos fotovoltaicos

Este capítulo muestra las cifras sobre el consumo de energía que tiene la pantalla de mensajería variable, sus pruebas y resultados obtenidos. Además, se presenta información sobre el consumo energético del PMV y que es proporcionado por los módulos fotovoltaicos, esta información es básica para complementar el estudio de este sistema.

Los objetivos de realizar este balance energético son:

- Proporcionar información básica para el análisis del desempeño del sistema de información alimentado por módulos fotovoltaicos de segunda generación.
- Sentar bases que apoyen la pertinencia, veracidad, confiabilidad y sistematización de la información.
- Dar a conocer detalladamente la estructura del sistema de información.
- Proporcionar elementos que apoyen el análisis de la implementación del sistema de información.
- Sirve como instrumento para planeación y desarrollar mejoras en el sistema.

Iniciaremos este balance energético estudiando los datos de consumo energético del panel de mensajería variable, ya que es el principal objetivo de este trabajo. En la tabla 5, se muestran las características de consumo energético del panel de mensajería variable.

**Tabla 5. Características de consumo energético panel de mensajería variable. Propia realización**

Consumo de energía del panel de información		
Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
5	2	10

Como se observa en la tabla anterior, el consumo de energía del panel de mensajería variable es bajo debido al desarrollo permanente que ésta tecnología ha tenido y al uso que dichos paneles de información han tomado en los últimos años.

Los módulos fotovoltaicos, que se manufacturaron en la Universidad Autónoma de la Ciudad de México cuentan aún con características de generación de energía baja, aunque a mediano plazo se proyecta que tengan características similares a los hechos a base de silicio, los cuales presentan mayores valores de generación de energía. En la tabla 6, se muestran las características de generación de energía eléctrica de los módulos fotovoltaicos de segunda generación.

**Tabla 6. Características de generación de energía de módulos fotovoltaicos de CdTe. Propia elaboración.**

Generación de energía por módulo fotovoltaico de CdTe (10 x 10cm)		
Voltaje (V)	Corriente (mA)	Potencia (mW)
0.5	440	220

Como se puede observar, la generación de energía de los módulos fotovoltaicos de CdTe aún es baja para cubrir las necesidades de consumo del panel de información por lo que se hace necesario buscar una alternativa que ayude a cubrir el requerimiento energético del PMV.

Por esto, es necesario realizar una comparación entre módulos fotovoltaicos elaborados con Silicio (son los mejores en cuanto a parámetros de generación de energía eléctrica en el mercado), con el propósito de analizar y observar el dimensionamiento necesario para cubrir las características energéticas del panel de mensajería variable.

En la tabla 7, se muestra una comparación entre las características de generación de energía de módulos fotovoltaicos de CdTe y Silicio.

Tabla 7. Comparación entre módulos fotovoltaicos de Silicio y CdTe. Propia realización.

COMPARACIÓN ENTRE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DE SILICIO Y CdTe PARA CUBRIR NECESIDADES ELECTRICAS DEL PANEL DE MENSAJERIA VARIABLE				
TIPO DE MÓDULO	DIMENSIONES DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO	CARACTERISTICAS ELECTRICAS		
		Vmax (V)	Imax (A)	Potencia (W)
Silicio	40*80	17.5	1.5	26.25
CdTe	50*100	5	1.75	8.75

Para el funcionamiento del sistema de información fue necesario el uso de módulos fotovoltaicos de Silicio, como se observa de las tablas 5 y 7; al utilizar módulos fotovoltaicos de silicio, cubrimos de las necesidades de corriente eléctrica, sin embargo en cuanto a voltaje tenemos un nivel mayor al que se necesita para cubrir las necesidades del panel de mensajería variable. Se observa de la tabla 6 y 7, que un arreglo de módulos fotovoltaicos de CdTe de 0.4 m<sup>2</sup> cubriría casi por completo el requerimiento energético del PMV.

Para reducir el voltaje al nivel necesario de 5 volts fue necesario construir un regulador de voltaje. En la figura 26, se muestra el regulador de voltaje que se construyó.

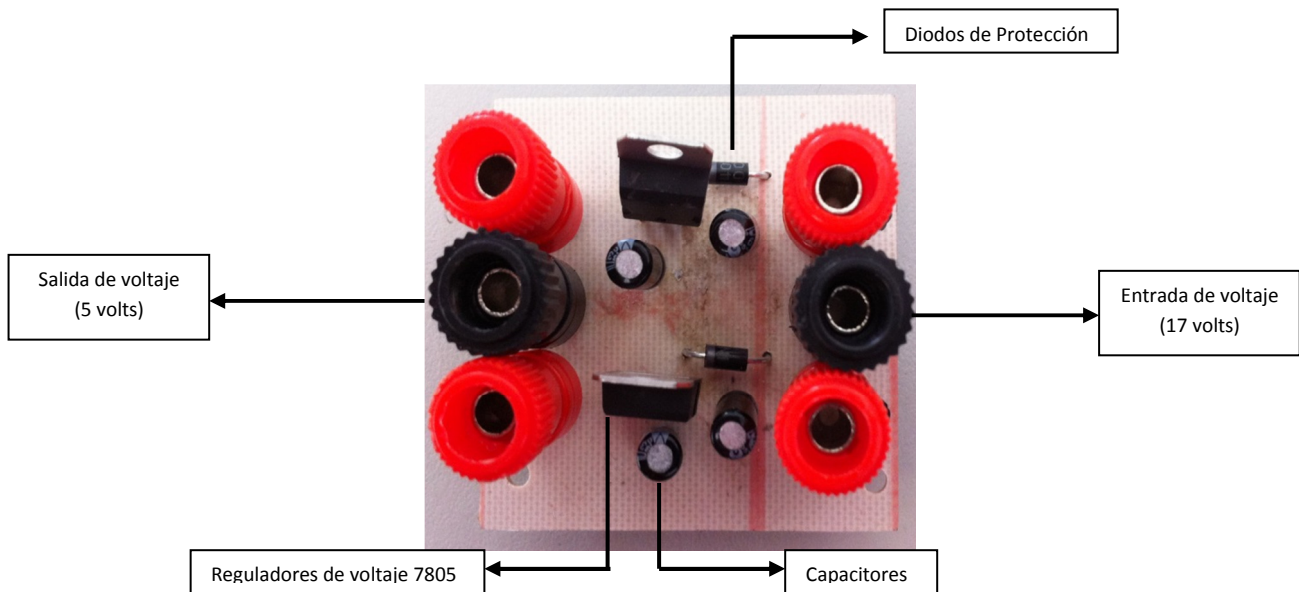


Figura 26. Regulador de voltaje. Propia realización

Generalmente, este tipo de sistemas no se conecta de manera directa, para ello se hace uso de baterías especiales para módulos fotovoltaicos, en este trabajo la conexión fue de manera directa debido al poco presupuesto y alto costo de las baterías.

La empresa LTH vende baterías de ciclado profundo especialmente para aplicaciones solares. Este tipo de baterías soportan un alto número de ciclos de vida sin afectar su desempeño. Esta empresa es capaz de construir baterías de acuerdo a las necesidades de nuestro sistema.

## **4.2 Despliegue de información**

El despliegue de información del panel de mensajería variable puede ser: informativo, restrictivo e informativo o un conjunto de ellas, también se puede ajustar a dar a conocer al usuario del sistema de transporte información en tiempo real acerca de acontecimientos como son: accidentes dentro y fuera del sistema, los cuales pueden interferir con la fluidez del mismo, posibles descomposturas en los BRT's (Bus Rapid Transit) así como las soluciones que se pueden estar dando para remediar los inconvenientes dentro del sistema. Este tipo de información en tiempo real aumenta el costo del sistema de información sin embargo, es posible y podría ser de gran utilidad y aumentar la importancia y utilidad que el panel de información nos proporciona.

Como se había mencionado en el capítulo 2, La señal por si misma debe provocar que el usuario adopte medidas de precaución, y llamar su atención hacia una reducción de su comportamiento o a efectuar una maniobra con el interés de su propia seguridad o la de otro usuario. Las señales preventivas deberán instalarse siempre que una investigación o estudio de tránsito indique que existe una condición de peligro potencial.

Por lo tanto, el panel de mensajería variable puede desplegar señales como: acceso exclusivo para mujeres, niños, adultos mayores o personas con discapacidad, distancias mínimas para esperar el BRT, medidas de seguridad dentro de los BRT's, etc.



Figura 27. PMV alimentado por módulos fotovoltaicos de segunda generación. Propia realización

### 4.3 Conclusiones

En este trabajo, se observa que por el momento el procesamiento y manufactura de módulos fotovoltaicos de película delgada de CdTe aún tiene costos muy elevados y con eficiencias bajas, por lo que se tiene que seguir trabajando en incrementar las eficiencias y disminución de costos. Debemos tomar en cuenta que si logramos este objetivo, el beneficio económico se vuelve más atractivo para la puesta en marcha de los módulos fotovoltaicos en este sistema; puesto que los módulos fotovoltaicos de segunda generación de película delgada de CdTe presentan beneficios respecto a los módulos tradicionales de primer generación de Si, como son: tiempo de vida mayor, mejor rendimiento en condiciones extremas de funcionamiento.

Durante la elaboración de este proyecto y como parte de las pruebas realizadas, se encontró que el panel de mensajería variable contaba con diferentes consumos de corriente eléctrica conforme se

modificaba el mensaje a publicar, es decir, si el panel contiene una mensaje corto y con letras pequeñas el consumo de corriente es menor, si el mensaje es más largo y con letras más grande el consumo de corriente eléctrica es mayor. En el caso del voltaje se mantiene igual (5 volts) en cualquiera de los dos casos.

En la tabla 8, se muestran los resultados de las pruebas que se realizaron al panel de mensajería variable con diferentes mensajes y con diferentes tamaños de letra.

**Tabla 8. Resultados de pruebas al panel de mensajería variable. Propia realización.**

Consumo de energía del panel de mensajería variable con distintos mensajes a publicar				
Capacidad del mensaje	Fuente reguladora de energía	LED's	Potencia de fuente reguladora de energía	Potencia de LED's
Máxima	2.25 A	0.28 A	11.25 W	1.4 W
Mínima	1.05 A	0.22 A	5.25 W	1.1 W

A estos paneles de mensajería variable se le pueden incluir alarmas auditivas que ayudan a personas con capacidades diferentes, por ejemplo a diferenciar rutas del sistema de transporte, proximidad de las llegadas de los BRT's para evitar accidentes en el sistema, además de agilizar y facilitar el ascenso de estas personas a los vehículos.

La puesta en marcha de este sistema, hará que el sistema de transporte sea más amigable con el medio ambiente, además de enriquecer la infraestructura mediante la incorporación de energías renovables en la red de transporte.

#### 4.4 Proyecciones futuras de esta implementación

Este sistema de información alimentado por paneles fotovoltaicos puede ser utilizado para distintos objetivos: sistemas de información para usuarios en tiempo real, sistema de información para

automovilistas en caso de accidentes, sistemas de señalamientos, entre otros. Por lo que este sistema hace que el sistema de transporte sea más atractivo para la ciudadanía.

#### **a) Sistema de información en tiempo real**

Otra utilidad que se le puede dar a este sistema de información alimentado por módulos fotovoltaicos es la de proporcionar información en tiempo real, anteriormente en este trabajo se dan ejemplos de países que ya utilizan esta clase de sistemas de información. Entre estos países se encuentran España y Holanda, estos países colocan estos sistemas en parabuses y estaciones de corredores de transporte de autobuses de pasajeros para informar a los usuarios el tiempo de llegada aproximada y en algunos casos se anuncian posibles retrasos en la llegada de los autobuses y la causa de estos.

Para la puesta en marcha de este tipo de sistemas se necesita, en primera instancia, realizar estudios de velocidad promedio a lo largo del recorrido así como estudios de ascenso y descenso, con el fin de hacer el cálculo del tiempo que tardara en recorrer entre estación y estación teniendo como restricción el tiempo de ascenso y descenso, para la realización de este cálculo se haría uso de un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y un software capaz de realizar el cálculo del tiempo aproximado de llegada.

En cuanto a la posible aplicación en las comunicaciones, se necesitarían pantallas de mensajería variable en las cuales la comunicación entre éstas y la PC sea a través de una comunicación vía Wi-Fi (para distancias cortas) o data-radio (para distancias menores a 32km).

Cabe mencionar que aplicar este sistema en rutas con paradas no establecidas o en ciudades donde el congestionamiento es predominante la mayor parte del día, complicaría la puesta en marcha de este sistema, ya que si el tiempo de llegada de los autobuses a las estaciones o paradas es muy alto, el sistema de transporte deja de ser atractivo para los usuarios del mismo.

## **b) Sistema de señalización**

El diseño de elementos de señalización busca la funcionalidad de la información que ofrecen, con aplicaciones a la empresa, mobiliario urbano, complejos residenciales, complejos industriales, etc. Sus formas, pictogramas y leyendas deben tener en cuenta el lugar donde se ubican y a quien van dirigidos. Las ventajas de una buena señalización se traducen la mayoría de veces en ahorro de tiempo, tan importante en todos los aspectos de la vida actual.

Los sistemas de señalización, son una parte esencial en la conformación de la imagen de un lugar o empresa, contribuyen a identificar, ayudando a las empresas a sobrevivir en un mercado competitivo. Como una extensión de su imagen pública, algunas empresas utilizan la señalización para identificar los diferentes departamentos de atención al público. Esto ayuda a reducir costos de operación al colocar señalamientos en lugares estratégicos para la mejor atención del público.

Para conseguir una buena señalización, que arroje resultados efectivos se debe tener en cuenta primero los símbolos pictográficos adecuados además de una correcta ubicación. Vivimos en una época en la que cada día están más activas personas con problemas físicos, en México se han empezado a tomar medidas que toman en cuenta a este sector de la población, la señalización debe tomar en cuenta al minusválido para orientarlo y mostrarles los servicios especiales.

De igual manera debemos considerar la debilidad visual al establecer un sistema de señalización, ya que este es un problema que se acentúa con la edad, incluso algunos proyectos de señales, por su naturaleza requieren que se emplee en su elaboración el lenguaje Braille, este sistema es el medio de lectura y escritura táctil que emplean las personas con discapacidad visual.

Las calles de nuestra ciudad son el escaparate cotidiano donde se exhiben todo tipo de gráficos en muchos casos se hace un abuso de estos sistemas de comunicación y se crea con ellos un problema llamado contaminación visual.

Este problema debe ser resuelto de forma coordinada por las autoridades competentes; sobre todo es necesaria la intervención de diseñadores especializados en sistemas de señalización con el fin de que se logre una reglamentación adecuada que controle el uso y el tamaño de los gráficos urbanos [15].

La relación de las señales con el usuario es uno de los factores que más debe de ser cuidado en la construcción de un sistema de transporte ya que es fundamental para la percepción del usuario, se debe cuidar de evitar los factores que pueden deteriorar esta relación sistema de transporte – usuario del transporte como son la contaminación visual.

## Fuentes de Consulta

- [1] Secretaría de Energía (SENER). (2011). *Balance nacional de energía*.
- [2] Jaime AgredanoDíaz (2008). Tecnología Fotovoltaica. *Boletín Instituto de Investigaciones electricas*.
- [3] Arturo Morales Acevedo, 40 años de investigación y desarrollo de celdas solares en el CINVESTAV. *Departamento de ingeniería electrica*.
- [4] Rogelio Mendoza Pérez (2002). *Desarrollo de Celdas Solares prototipo de CdTe con CdS procesado por baño químico*.
- [5] Gonzalo Angeles Ordoñez . (2012). *Depósito y caracterización de películas de CdS por la técnica de CSS para aplicaciones en celdas solares*. Temixco, Morelos.
- [6]Asociación española del transporte, (2000). Los avances tecnológicos en el transporte.
- [7] Instituto Mexicano del Transporte (2002). Señales de mensajería variable para el control de tránsito vehicular. Queretaro, Sanfandila, México.
- [8] Ivet Rodriguez (2012). Construyen parque solar en Sonora. *Manufactura "Información estratégica para la industria"*.
- [9] Web, M. B. (09 de mayo de 2013). *ObrasWeb*. Recuperado el 30 de abril de 2014, de ObrasWeb: <http://www.obrasweb.mx/construccion/2013/05/09/mexico-tendra-el-parque-solar-mas-grande-de-america-latina>
- [10] Guerrero, G. d. (25 de Agosto de 2013). *Instalarán cinco parques solares para producir electricidad en Guerrero*. Recuperado el 30 de Abril de 2014, de Gobierno de Guerrero: <http://guerrero.gob.mx/2013/08/instalaran-cinco-parques-solares-para-producir-electricidad-en-guerrero/>
- [11]Rafael Cal y Mayor R., James Cardenas G. (2006). *Ingeniería de Tránsito*. Fundamentos y aplicaciones. Editorial Alfaomega.

- 
- [12] Nanotrónica. (23 de mayo de 2006). *Diseño y Desarrollo de Equipos Electrónicos y Software — Diseño de Equipos y Soluciones a la Medida — Reingeniería, Mantenimiento y Reparación*. Recuperado el 22 de junio de 2014, de Nanotrónica  
<http://www.nanotronica.com/nTSistemas.htm/>
- [13] INTERCOVAMEX, ESFM, IPN, UACM (2012). Optimización de la calidad y costos de fabricación de los módulos fotovoltaicos de CdTe/CdS. *manuales de procesamiento*.
- [14] Moises Espindola Rodriguez (2011). Obtención de contactos de tipo CuxTe en celdas solares de CdTe mediante depositos de Te por la técnica de CSVT y evaporación de Cu.
- [15] Orozco, Rafael Quintana (s.f.). *Diseño de sistemas de señalizacion y señáletica*. Universidad de Londres.