

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN  
ELECTROQUÍMICA S.C**

**DESARROLLO INTEGRAL DE UN PROTOTIPO DE ESPEJOS SOLARES  
POLÍMERO-Ag CON CAPA PROTECTORA DE SiO<sub>2</sub> PARA SU  
COMERCIALIZACIÓN COMO PRODUCTO FINAL**

**Para obtener el grado de:**

**MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA CON ESPECIALIDAD EN  
INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Tesis presentada por:**

**I.G.E. YAEL IVONNE TORRES CHACÓN**

**Director de tesis:**

**DR. JOSÉ DE JESÚS PEREZ BUENO**

**Querétaro, Qro., México a 30 de junio de 2018.**



CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Dr. Luis Antonio Ortiz Frade  
Coordinador de Estudios de Posgrado  
PICYT – CIDETEQ  
Querétaro

Los abajo firmantes, miembros del Jurado de Examen de la alumna Yael Ivonne Torres Chacón una vez leída y revisada la Tesis: **“DESARROLLO INTEGRAL DEL PROTOTIPO DE ESPEJOS SOLARES POLÍMERO/AG CON CAPA PROTECTORA DE SiO<sub>2</sub>, PARA SU COMERCIALIZACIÓN COMO PRODUCTO FINAL”**, aceptamos que la referida tesis revisada y corregida sea presentada por la alumna para aspirar al grado de Maestra en Ciencia y Tecnología con la opción terminal en INGENIERIA AMBIENTAL durante el Examen de Grado correspondiente.

Y para que así conste firmó la presente a los 22 días del mes de junio del año dos mil dieciocho.

Dr. Yunny Meas Vong  
Presidente

Dr. Jorge Morales Hernández  
Secretario

Dr. Francisco Javier Rodríguez Valadez  
Vocal



**Este trabajo fue realizado en el Centro de Investigación y Desarrollo  
Tecnológico en Electroquímica S.C. bajo la supervisión del Dr. José de  
Jesús Pérez Bueno**

Contenido	
<b>RESUMEN</b> .....	6
<b>ABSTRACT</b> .....	7
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	8
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	10
<b>HIPÓTESIS</b> .....	11
<b>OBJETIVO</b> .....	11
<b>General</b> .....	11
<b>Específico</b> .....	11
<b>CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO</b> .....	12
<b>Energía solar en México</b> .....	13
<b>Energía solar por concentración y centrales termo-solar</b> .....	14
Cilíndrico parabólicos (CCP) .....	14
Discos parabólicos DP .....	15
Fresnel .....	16
Torre central .....	16
<b>Tipos de concentradores solares para torre central</b> .....	17
Sistema1. Concentrador de vidrio .....	18
Sistema 2. Concentrador de aluminio .....	18
Sistema 3. Concentrador de polímeros metalizados .....	19
<b>Tipos de capas protectoras</b> .....	19
Inorgánicos .....	19
Orgánicos .....	20
Híbridos .....	20
<b>Capa protectora de SiO<sub>2</sub> por plasma</b> .....	21
SiO <sub>2</sub> .....	21
Plasma .....	22
<b>Aplicación de procedimientos con plasma</b> .....	24
<b>Plasma como capa protectora en concentradores solares</b> .....	25
<b>Principio de aplicación</b> .....	26
<b>Plan de negocios</b> .....	28
El plan de negocio incluye .....	28
Objetivos .....	28

Etapas .....	28
<b>Sistema TRL CONACYT .....</b>	<b>28</b>
<b>CAPITULO 2. SISTEMA Polímero/Ag/Pintura .....</b>	<b>30</b>
<b>Prototipo 1. Espejos Polímero/Ag/Pintura .....</b>	<b>31</b>
<b>Aplicación comercial .....</b>	<b>33</b>
<b>CAPITULO 3. SISTEMA Polímero/Ag/Plasma.....</b>	<b>36</b>
<b>Aplicación comercial .....</b>	<b>39</b>
<b>CAPITULO 4. METODOLOGÍA .....</b>	<b>40</b>
<b>1. Montaje experimental .....</b>	<b>41</b>
<b>2. Caracterización de recubrimiento SiO<sub>2</sub> por plasma.....</b>	<b>42</b>
<b>3. Evaluación electroquímica / Resistencia a la corrosión.....</b>	<b>45</b>
<b>4. Comercialización .....</b>	<b>46</b>
<b>CAPITULO 5. RESULTADOS.....</b>	<b>47</b>
<b>Caracterización morfológica y físico-química .....</b>	<b>48</b>
<b>Análisis XPS .....</b>	<b>48</b>
<b>Transmitancia .....</b>	<b>56</b>
<b>Reflectancia.....</b>	<b>57</b>
<b>Evaluación electroquímica .....</b>	<b>59</b>
Curvas de polarización AgOp.....	59
Impedancia AgOp.....	60
Curvas de polarización de AgPlus.....	60
<b>Conclusiones .....</b>	<b>66</b>
<b>CAPITULO 6. DESARROLLO COMERCIAL.....</b>	<b>67</b>
<b>Sistema TRL .....</b>	<b>68</b>
<b>Modelo de negocios CANVAS .....</b>	<b>69</b>
<b>Evaluación de negocio .....</b>	<b>72</b>
<b>CONCLUSIÓN GENERAL.....</b>	<b>74</b>
<b>CONCLUSIÓN GENERAL.....</b>	<b>75</b>
<b>PERSPECTIVAS .....</b>	<b>77</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>78</b>

## Índice de tablas

Tabla 1. Referencia para recubrimientos de SiO <sub>2</sub> [12].....	22
Tabla 2. Industrias con aplicación de tecnología CSP [20]. .....	35
Tabla 3. Valores de corrosión obtenidos a partir de curvas de polarización e impedancia. ....	63
Tabla 4. Informe de resultados para pruebas en cámara de niebla salina. ....	65
Tabla 5. Reflectancia promedio de metales usados en fabricación de espejos solares.....	72
Tabla 6. Costos de instalación en dólares por kWh de espejos solares [26]....	72
Tabla 7. Costos estimados de instalación en sistema tipo torre central CIDETEQ. ....	73

## RESUMEN

En el presente trabajo, se presenta el desarrollo de espejos de concentración solar para centrales de tipo torre central, con una arquitectura plana y una capa reflejante de plata (Ag) sobre un sustrato polimérico de policarbonato con dimensión de 1.22 m x 1.22 m, mediante la técnica de Dynamic Chemical Deposit (DCP) y recubierto contra intemperie, considerando esta estructura como óptima para su mayor eficiencia y valor agregado sobre el mercado actual. Se da a conocer cada etapa del proceso de fabricación de los concentradores solares, así como una propuesta de mejora en la etapa del proceso de producción enfocado al recubrimiento de capa protectora, que desarrolla el cambio de protección híbrida PMMA/SiO<sub>2</sub> a un depósito a partir de Óxido de silicio (SiO<sub>2</sub>) por plasma.

Uno de los principales objetivos es estudiar el comportamiento de la Ag al interactuar con el recubrimiento protector de SiO<sub>2</sub>, caracterizándolo mediante XPS, GDS, FTIR, DRX, y SEM. Se evalúa también, la adherencia del recubrimiento y se espera que la reflectividad se mantenga por encima de un 90%. Para analizar propiedades determinantes de resistencia a la corrosión, se utilizan técnicas electroquímicas como espectroscopía de impedancia electroquímica y curvas de polarización.

Aunado al estudio técnico, se desarrolla un modelo de negocio enfocado al mercado nacional de las energías renovables y se define la aplicación del recubrimiento de SiO<sub>2</sub> por plasma como un servicio abierto al público, fungiendo como posible recubrimiento protector en el giro aeronáutico, automotriz y de electrodomésticos.

Los concentradores solares son elaborados en las instalaciones del CIDETEQ, en colaboración con la SENER y la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ). Finalmente, y en conjunto con la cadena de partners, se deja abierta la posibilidad de desarrollar con esta nueva tecnología de aplicación para el prototipo de espejos solares, un producto tecnológicamente viable, definiendo un segmento de clientes específico.

## ABSTRACT

In this thesis, the business analysis of each manufacturing process to the solar concentration mirrors development for central tower-type power plants is presented, with a plane architecture with a reflective layer of silver (Ag), on a polycarbonate polymeric substrate with a dimension of 1.22 x 1.22, using de Dynamic Chemical Deposit (DCP) technique, and coated with an against the weather by the sol-gel technique, considering this structure as optime to its high efficiency and added value the current market. Each phase of the manufacturing process of the solar concentrators is disclosed, as well as a proposal for improvement in the stage of the production process focused on the coating of protective layer, which develops the hybrid protection change PMMA / SiO<sub>2</sub> to a deposit starting from of silicon oxide (SiO<sub>2</sub>) by plasma.

One of the main objective is to study the behavior of the Ag when interact with the protective coating of SiO<sub>2</sub>, characterizing it by means of XPS, GDS, FTIR, DRX, and SEM. The adhesion of the coating is also evaluated and the reflectivity is expected to remain above 90%. To analyze the determining properties of resistance to corrosion, electrochemical techniques are used, such as electrochemical impedance spectroscopy and polarization curves.

In adiction to the technical study, its development a business model focused on the national market of renewable energies and the application of the SiO<sub>2</sub> coating by plasma is defined as a service open to the public, acting as a possible protective coating in the aeronautical, automotive and home appliances turn.

The solar concentrators are manufactured in the facilities of CIDETEQ, with the SENER team and the Autonomous University of Querétaro (UAQ by its initials in Spanish). By last, and in conjunction with the chain of partners, the possibility of developing this new application technology for the prototype of solar mirrors, a technologically viable product, defining a specific customer segment is left open.



# INTRODUCCIÓN

Dada la ubicación geográfica de México, este se identifica como el tercer país más atractivo del mundo para invertir en proyectos de energía solar. La irradiación solar media diaria durante el año es de 5.5 kWh/m<sup>2</sup>, y puede presentar valores superiores a los 8 kWh/m<sup>2</sup> [1], gracias a esto, tiene un gran potencial para la generación de energía solar. Existen principalmente dos tipos de tecnologías solares: los sistemas fotovoltaicos, donde se presenta una interacción de la radiación solar con un material semiconductor, y los térmicos, que concentran esta radiación y la focalizan en puntos geométricos reducidos alcanzando altas temperaturas, por otro lado, los sistemas térmicos que funcionan con la tecnología de energía solar por concentración (CSP) que utiliza espejos o lentes integrados en heliostatos para concentrar los rayos del sol, producen electricidad de manera similar a las centrales térmicas convencionales utilizando vapor para accionar una turbina. Los campos de concentración solar utilizan materiales como el aluminio y cobre en la elaboración de los espejos solares .

La fabricación de espejos solares con objeto comercial, deriva dos etapas definidas en el presente trabajo de tesis. La primera, la aportación técnica de fabricación, y la segunda el desarrollo comercial del producto resultante.

Primero se identifica el lugar en que se encuentra el desarrollo de concentradores solares en el mercado de la energía termo-solar en México, energía solar por concentración y tipos de concentradores solares, así como su proceso de producción. De esta forma se desarrolla la elaboración de concentradores solares con soportes flexibles con el uso de sustratos poliméricos, un recubrimiento óptico reflejante de Ag implementados por técnicas simples como es DPC, y con un recubrimiento protector que asegure la protección de la capa reflejante. Con este prototipo se ha alcanzado el arranque de un proyecto en paralelo, con la UAQ Juriquilla, Querétaro, el cual consta de una área dedicada a la planta piloto.

Posteriormente se presenta, en el capítulo dos, la mejora en el proceso de producción para la capa protectora de los espejos solares al sustituir la capa protectora de pintura acrílica por SiO<sub>2</sub> por plasma, donde se describe el proceso

de fabricación que contempla dos líneas principales que son: la limpieza y activación de la superficie o capa reflectiva denominada para fines prácticos como plasma Openair, y la aplicación de SiO<sub>2</sub> llamada plasma Plus.

Se utiliza SiO<sub>2</sub> como capa protectora debido a las referencias de uso en concentradores solares y sus propiedades, tales como conductividad y resistencias.

Se estudian y determinan condiciones específicas de fabricación como distancias y tiempos de aplicación para lograr un espesor óptimo de 1 μm.

Se realiza la caracterización del producto resultante por XPS, GDS, FTIR, DRX y SEM y se presenta el análisis comparativo entre el original y el actual proceso, de acuerdo a los resultados obtenidos. De igual forma se determina la resistencia del material como recubrimiento protector del concentrador solar.

La segunda etapa está definida por la determinación de costos del proceso de aplicación del recubrimiento de SiO<sub>2</sub> por plasma, comparando ambos procesos, para definir el precio de este como un servicio. Posteriormente se lleva a cabo el desarrollo de un modelo de negocio que, basado en el nivel de desarrollo tecnológico que presenta, lleve el prototipo de un concentrador solar base polímero con un depósito de plata y capa protectora de SiO<sub>2</sub>, a un producto establecido en el mercado nacional.

## JUSTIFICACIÓN

La energía termo-solar, actualmente representa una de las tecnologías con mayor impacto ambiental para la obtención de energía renovable. La tecnología tipo torre central requiere de concentradores solares que representan aproximadamente el 60% de los costos de una central de este tipo. El proyecto de investigación presentado surge de la importancia de generar productos (concentradores solares) que permitan la concentración de energía solar mediante procesos innovadores que den como resultado la reducción de los costos, mayor tiempo de vida y calidad en la eficiencia de los productos finales. El mantener un nivel óptimo de producción, permite a estos productos incursionar en un mercado exigente y competitivo en la generación de energía.

El Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica ha trabajado en la línea de energías renovables y cuenta con la capacidad y apoyo necesario para cubrir las exigencias de la sociedad actual. La importancia de ofertar al mercado alternativas viables, mediante los productos que disminuyan la dependencia al uso de combustibles fósiles como principales generadores de energía, y la constante degradación del ambiente, es vital para las industrias y los sistemas económicos a nivel global.

El proceso de producción de espejos solares utilizado por CIDETEQ, proyecta un área de oportunidad en la etapa de recubrimiento de la capa protectora de los espejos con el uso de pintura acrílica, la cual mostró buena adherencia a la plata y valores de reflectividad mayores al 90%, pero la desventaja principal de este recubrimiento, es la fragilidad que presenta en medios húmedos. La aplicación de SiO<sub>2</sub> por plasma como capa protección implementa una nueva tecnología y mejora constante, sin afectar así, el producto original ni la eficiencia que esta mostró en el primer prototipo. Así mismo, representa un amplio potencial de mercado para ofrecer el proceso como una aplicación comercial.

## **HIPÓTESIS**

Si se sustituye la aplicación de pintura acrílica por SiO<sub>2</sub> depositado por plasma como capa protectora en el proceso de producción de espejos solares, se obtendrá un recubrimiento que no altere las propiedades ópticas de Ag como capa reflectiva, la proteja y permita porcentajes de reflectividad más altos.

El recubrimiento de SiO<sub>2</sub> como capa protectora en los concentradores solares con capa reflectiva de Ag, representan un material más resistente a intemperie, y son viables económica y tecnológicamente en aplicaciones industriales.

## **OBJETIVO**

### **General**

Estudiar y analizar la propuesta de mejora en el proceso de producción de espejos solares de base polimérica con capa reflectiva de Ag, al sustituir pintura acrílica por SiO<sub>2</sub> con aplicación por plasma como capa protectora, identificando posibles alteraciones de la Ag, e implementando el proceso propuesto como un producto técnica y económicamente viable.

### **Específico**

- Definir condiciones de aplicación de SiO<sub>2</sub> por plasma para concentrador solar elaborado en CIDETEQ.
- Conocer las alteraciones de Ag respecto al tratamiento aplicado por plasma Openair y plasma Plus.
- Evaluar que la reflectancia del concentrador solar con una protección de SiO<sub>2</sub> por plasma, se mantenga en la superficie por arriba del 90%.
- Evaluar, mediante técnicas electroquímicas, que la sustitución de pintura acrílica por SiO<sub>2</sub> depositado por plasma en la capa protectora, cumple condiciones de uso en pruebas de adherencia con una área removida menor al 15%.
- Caracterizar los recubrimientos mediante XPS, GDS, FTIR, DRX y SEM.
- Analizar la viabilidad económica del producto en comparación con otros tipos de concentradores solares, definiendo un modelo de negocio y precios por servicios de aplicación.

# CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO

## Energía solar en México

La energía solar es el recurso energético más abundante en la tierra, cerca de 885 millones de Tera Watt hora (TWh) llegan a la superficie del planeta cada año, aproximadamente 6200 veces la energía primaria comercial consumida por la humanidad en el año 2008, y 3500 veces la energía que la humanidad consumiría en 2050 [2]. Gracias a esto es posible explotar fuentes energéticas renovables, enfrentando el agotamiento de los yacimientos de combustibles fósiles a fin de promover un desarrollo sostenible. Es importante además que no existan tensiones geopolíticas por el control de los yacimientos de los hidrocarburos (HC), ni una degradación irreversible del medio ambiente natural [3].

Se sabe que el uso racional y eficiente de las actuales fuentes energéticas y las energías alternativas, esto es, las energías renovables, son la solución a este problema. Lo anterior, bajo la premisa de que, por razones de seguridad nacional, en todo momento se deberá garantizar la oferta energética al país. Esto lleva a considerar todas las alternativas energéticas no fósiles y preferentemente aquellas de carácter sostenibles [4]

De entre la generación alternativa de energía, las fuentes renovables ocupan particular atención; éstas son aquellas que por su capacidad de regeneración natural y cantidad en relación a los consumos que los seres humanos pueden hacer de ellas, son inagotables y su explotación con responsabilidad poco afecta al medio ambiente. Estas son: la energía solar, la eólica, la biomasa, la geotérmica, las pequeñas centrales hidráulicas y la oceánica [1].

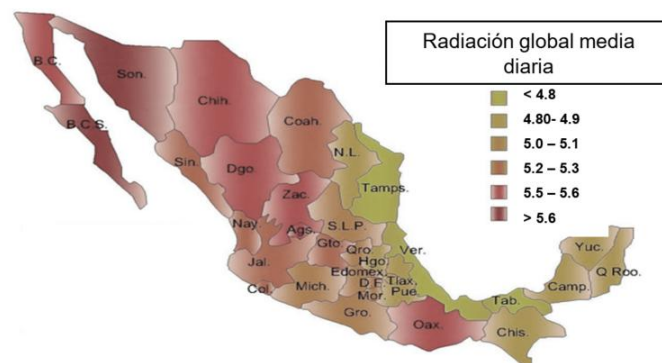


Figura 1. Radiación solar en México [5].

México cuenta con abundancia de recursos en energía renovables (mucho más que de HC) y con capital humano capaz de generar investigación y desarrollos para apropiarse o crear las tecnologías necesarias para su aprovechamiento, al igual que para promover una nueva tecnología de operación en el sector industrial [6].

### **Energía solar por concentración y centrales termo-solar**

La energía solar por concentración, captura la energía del sol utilizando parábolas o espejos (también llamados helióstatos). Los Helióstatos se instalan sobre sistemas de seguimiento y concentran la luz del sol para generar energía. Principalmente utilizada para generar energía eléctrica, esta tecnología también promueve otras aplicaciones, por ejemplo: operaciones de recuperación de petróleo, aplicaciones agrícolas, aumento de eficiencia de procesos termodinámicos, entre otros [7].

#### Cilíndrico parabólicos (CCP)

La tecnología cilíndrico parabólica consiste en colectores o concentradores solares (espejos), recibidores de calor y estructuras de soporte. Los espejos en forma parabólica se construyen formando una hoja del material reflectivo concentran la luz solar en tubos receptores térmicamente eficientes ubicados en la línea focal de la parábola. Se hace circular por esos tubos un fluido de transferencia. El fluido se calienta a unos 400°C mediante los rayos solares concentrados y se bombea por una serie de intercambiadores térmicos para producir un vapor supercalentado, que se convierte en energía eléctrica en un generador de turbinas de vapor convencional que puede formar parte de un ciclo de vapor convencional o integrarse en un ciclo combinado de turbinas de vapor y gastérmica, como aceite térmico sintético [8]

#### Componentes

- Reflector cilíndrico parabólico. espejo curvo que forma en una de sus dimensiones una parábola.
- El tubo de absorción o Receptor. Puede constar de un solo tubo o de dos tubos concéntricos. El tubo interior es metálico que presenta un elevado rendimiento térmico, y el tubo exterior es de cristal que reduce las pérdidas térmicas por convección del tubo metálico.

- Sistema de Seguimiento Solar. Estos sistemas pueden tener seguimiento a dos ejes o a un único eje. Normalmente el seguimiento se realiza a un eje pues mecánicamente es más sencillo, esto implica menos costos y menores pérdidas térmicas por no haber tuberías pasivas.

#### Discos parabólicos DP

Un reflector parabólico en forma de disco concentra los rayos solares en un receptor situado en el punto focal de un disco. La radiación de los rayos concentrados se absorbe en el receptor para calentar un fluido o gas (aire) a unos 750°C. Este fluido o gas se utiliza para generar electricidad en un pequeño pistón o motor Stirling o micro turbina, conectada al receptor. Las principales ventajas de tecnologías Stirling son que: la ubicación del generador que se encuentra típicamente en el receptor de cada plato ayuda a reducir las pérdidas de calor y significa que la capacidad de generación de plato individual es pequeña.

#### Componentes

- Concentrador de discos parabólicos. La forma de la superficie reflexiva en este tipo de sistema, es la de un paraboloide de revolución, cuyo tamaño depende de la potencia nominal y de la energía que se desea generar en un determinado tiempo y bajo unas condiciones de radiación determinadas.
- El tubo de absorción o Receptor. Sistema de discos parabólicos que tienen dos funciones fundamentales, por un lado, la de absorber la radiación solar reflejada por el concentrador, y por el otro transferir la energía absorbida al fluido de trabajo de la máquina asociada.
- Sistema de Seguimiento Solar. Los discos parabólicos realizan un seguimiento de éste en dos ejes. Se realiza según dos tipos de montaje:
  - Seguimiento en azimut-elevación, en el que el movimiento se realiza según dos ejes, el vertical y el horizontal.
  - Seguimiento polar, en el que el movimiento en un eje es muy lento, pues solo se debe seguir las variaciones estacionales del sol, y el movimiento en el otro eje es a velocidad constante.



## Fresnel

Los colectores solares lineales (LFCs) son similares a los colectores cilindro-parabólicos, con la diferencia de utilizar series de espejos largos y planos, o ligeramente curvados, los espejos se colocan a diferentes ángulos para concentrar los rayos del sol en cada lado de un receptor fijo. Cada línea de reflectores está equipada con un sistema de seguimiento de un solo eje y es optimizada individualmente para asegurar que la luz solar es concentrada siempre al receptor. El receptor consiste en un tubo absorbedor largo y recubierto selectivamente. Este sistema es de concentración lineal, similar a un canal parabólico, con la ventaja de su bajo costo en soporte estructural y reflectores, un receptor separado del sistema de reflectores, y grandes longitudes focales que permiten utilizar espejos planos [9]

## Componentes

- Campo de espejos primario. Reflectores planos
- Espejo secundario. Los espejos se disponen de forma que la radiación solar queda focalizada sobre un receptor lineal que refleja la radiación entrante hasta el tubo de absorción usando unos reflectores secundarios.
- Tubo absorbedor. En este fluye agua que se evapora con la energía absorbida y una vez convertida en vapor a 270°C de temperatura y 55 bares de presión alimentan la turbina productora de electricidad y retorna al circuito cerrado consiguiendo que el consumo de agua sea mínimo.
- Receptor. Es una cavidad fija orientada hacia los espejos planos que puede tener una construcción más simple que la de tubos evacuados y ser más flexible en el dimensionamiento.

## Torre central

Un conjunto circular de heliostatos (grandes espejos con sistemas de seguimiento solar) concentra la luz solar en un receptor central montado sobre una torre. Un medio de transferencia térmica en este receptor central absorbe la radiación altamente concentrada reflejada por los heliostatos y la convierte en energía térmica que se utiliza para generar el vapor supercalentado para la

turbina. Hasta la fecha, los fluidos de transferencia térmica que se han desarrollado incluyen agua/vapor, sales fundidas y aire [10] [11].

## Componentes

- Concentrador tipo torre central. El heliostato es, junto con el receptor, uno de los componentes que representa mayor importancia dentro del sistema, llegando a suponer hasta un 60 % del coste total de la parte solar. Está compuesto básicamente por una superficie reflectante -espejos de vidrio como los de los CCP's, además de una estructura soporte, mecanismos de movimiento y un sistema de control.
- Fluido portador de calor: Es el dispositivo que transfiere el calor recibido a un fluido de trabajo, que puede ser agua, sales fundidas, etc. Este fluido es el encargado de transmitir el calor a la otra parte de la central termosolar, generalmente a un depósito de agua, obteniéndose vapor a alta temperatura para producción de electricidad mediante el movimiento de una turbina.
- La torre/receptor. Sirve de soporte al receptor, que normalmente debe situarse a una cierta altura sobre el nivel del campo de heliostatos para reducir las sombras y bloqueos entre éstos, y a diversos elementos auxiliares, por ejemplo, los sistemas de medida. Hasta hoy, las torres construidas han sido de estructuras metálicas o de hormigón.
- Caldera: Es la parte de la central solar en la que convergen los rayos solares reflejados por los heliostatos, alcanzando una gran temperatura. Al alcanzar esa gran temperatura, calienta el agua que pasa por ella y la transforma en vapor.
- Acumulador: Almacena la energía calorífica que no ha sido utilizada, ejemplo de los clásicos termos de agua caliente, para su posterior empleo en ausencia de radiación solar.

## **Tipos de concentradores solares para torre central**

Dentro de las centrales termoeléctrica, se conoce que el componente más importante por costo y eficiencia del sistema, son los espejos o concentradores solares [2]. Los materiales y estructuras más utilizados para su elaboración, son los siguientes:

### Sistema 1. Concentrador de vidrio

- Características. Se construyen con el proceso de plateado vía húmeda. Se deposita una capa de plata protegida posteriormente con una capa de cobre, misma que se protege con pintura de alta resistencia en la cara anterior del espejo y finalmente una capa protectora de pintura. El Cu tiene un papel protector significativo ya que retarda el deslustre de la plata y provee un área para la pintura donde adherirse, pero exige un soporte adicional y un manejo cuidadoso.
- Proceso de producción. Costo de proceso. \$43.2 - \$64.8 m<sup>2</sup> (Kennedy, 2005).

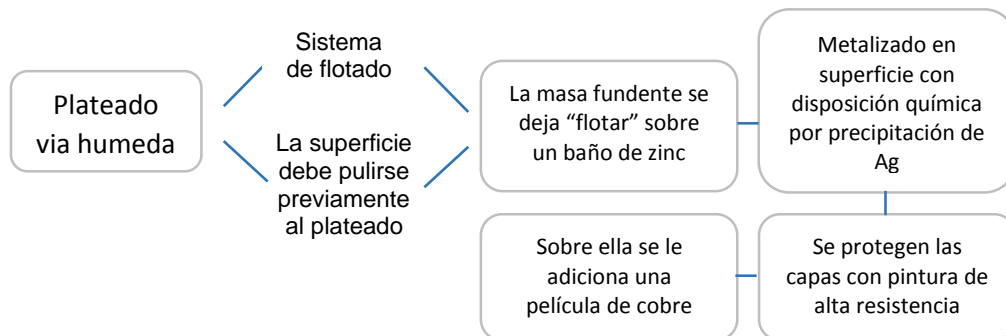


Figura 2. Proceso de producción de espejos con Cu.

### Sistema 2. Concentrador de aluminio

- Características. Este sistema consiste en una capa de aluminio reflectante mejorado, sobre un sustrato de aluminio pulido y una capa protectora de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. El aluminio es un material que, una vez pulido y protegido por anodización, alcanza altas reflectancias.

La principal desventaja de este tipo de concentradores es la diferencia de reflectividad inicial, la cual es aproximadamente 5% menor que los concentradores solares que utilizan plata como material reflectante. A pesar de ser un material blando y con dispersiones altas, el aluminio protegido por óxido de aluminio hace frente a la abrasión y al UV [10].

- Proceso de producción. Costo de proceso. \$10 m2 (Kennedy, 2005).

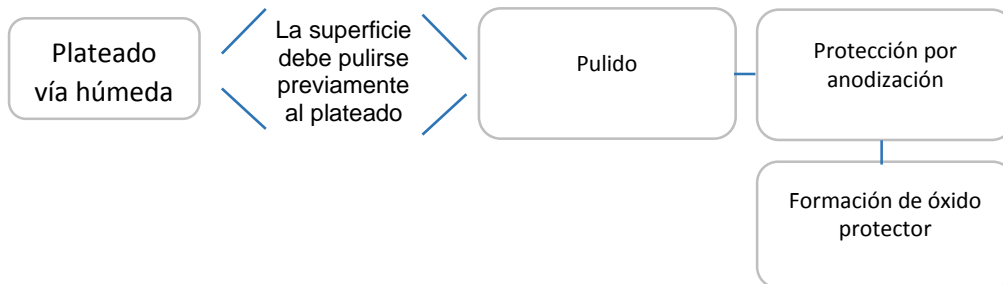


Figura 3. Proceso de producción de espejos con Al.

### Sistema 3. Concentrador de polímeros metalizados

- Características. Los concentradores de base polimérica tienen un depósito, ya sea por evaporización o con aplicación por spray, de una película reflectora de plata y posteriormente una capa protectora de cobre. Este sistema presenta una alternativa para la obtención de concentradores flexibles y ligeros por lo que pueden tomar las diferentes formas que requieren las variadas tecnologías de concentración solar. Los concentradores solares poliméricos presentan ventajas significativas frente a los sistemas anteriores ya que muestra altos porcentajes de reflectividad (más de 90%).
- Proceso de producción. Costo de proceso. \$14/m2

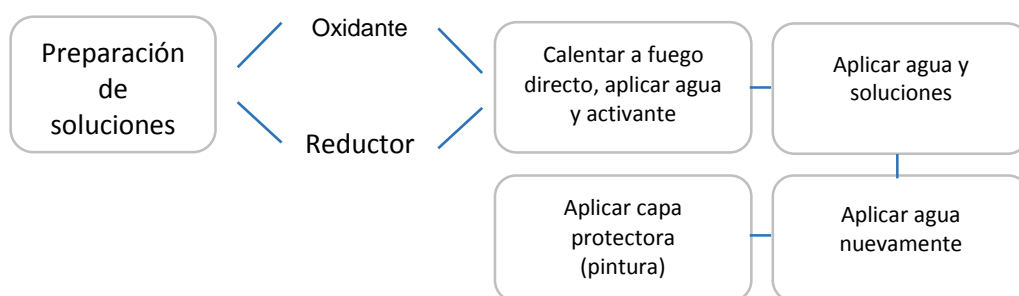


Figura 4. Proceso de producción de espejos con polímeros metalizados.

### Tipos de capas protectoras

#### Inorgánicos

Los recubrimientos inorgánicos son los más resistentes a abrasión, además de presentar alta resistencia a los rayos UV, lo que los hace altamente duraderos.

Estos recubrimientos presentan una flexibilidad muy baja, lo que se dificulta su aplicación en superficies curvas.

- $\text{SiO}_2$ . Gracias a sus propiedades protectoras contra la corrosión ha sido uno de los recubrimientos más utilizados y estudiados para aplicaciones en concentradores solares.
- $\text{TiO}_2$ . Tienen una excelente estabilidad química, resistencia al calor y baja conductividad electrónica, lo que lo hace un gran material protector contra la corrosión.
- $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Es uno de los materiales abrasivos más importantes y ampliamente utilizados, es un material cerámico muy versátil, además su dureza hace que sea un excelente candidato para su aplicación como protector para concentradores solares.

### Orgánicos

Tienen la ventaja de ser flexibles, además se puede utilizar el espesor deseado sin sufrir deformaciones o cuarteaduras. Se debe tener cuidado, utilizando aditamentos en estos ya que por sí solos, frecuentemente, resultan presentar una baja resistencia a UV.

- Acrílicos. evita la adhesión de polvo que se presenta debido a las fuerzas electrostáticas de la superficie. La efectividad también se mantiene, reduciéndose 5% después de un año de exposición.
- Polimetilmetacrilato (PMMA). Es uno de los polímeros con valores de transmitancia más altos presenta una transparencia tan perfecta como el cristal, incluyendo su índice de refracción. Además de su rigidez y tenacidad, buena resistencia química y a la intemperie.
- Resinas epoxi. Son resinas sintéticas, endurecibles, de un producto acetilénico y una clase de fenol. Las resinas se adhieren extraordinariamente bien a casi todos los materiales, especialmente a los metales.

### Híbridos

Los recubrimientos híbridos sol-gel orgánicos-inorgánicos, son mucho más populares que las capas puras de óxidos inorgánicos en términos de protección a la corrosión por dos razones principales. La primera, es que los recubrimientos

híbridos pueden formar capas más gruesas que una micra sin fracturas. En segundo lugar, los sistemas híbridos, tiene una mejor flexibilidad a la adaptación de aditivos anticorrosivos [10].

- PMMA-SiO<sub>2</sub> (Orgánico-Inorgánico). Pueden formar capas más gruesas que una micra sin fracturas. Mejor flexibilidad a la adaptación de aditivos anticorrosivos, tales como los inhibidores, pigmentos, entre otros.
- TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> (Inorgánico-Inorgánico). Combinan sus propiedades favoreciendo la protección contra UV, además de poseer propiedades anti reflejantes (favorece transmitancia) y disminuye el índice de refracción).

### **Técnica de recubrimiento sol gel**

El proceso sol gel está compuesto por cinco etapas iniciando con la preparación homogénea de la solución de los precursores que generalmente es un solvente orgánico, después la conversión de la solución a la forma sol, la inducción del sol para cambiar a gel por policondensación, con esto la formación del gel a la forma deseada y por ultimo un tratamiento térmico al gel.

El gel será una red sólida tridimensional donde sus polos estén llenos del solvente original del sol donde, al momento en que la red de óxidos abarque el contenedor teniendo al sol, se llegará a un punto gel. De esta forma el sol se convierte en alcogel y puede ser removido del contenedor inicial.

El recubrimiento protector puede depositarse por el método por inmersión (dip-coating) o por proyección. En el primer caso está la etapa de inmersión del sustrato en el recubrimiento líquido donde se define el espesor del recubrimiento debido a la resistencia viscosa, la fuerza de gravedad y factores como la inercia o presión, posteriormente la etapa de consolidación por secado. Para el depósito de recubrimiento por proyección, se usa pistola neumática simple con condiciones de temperatura ambiente.

### **Capa protectora de SiO<sub>2</sub> por plasma**

SiO<sub>2</sub>

La sílice puede usarse como precursor para la fabricación de productos cerámicos avanzados, además de productos electrónicos, como tarjetas de circuitos, semiconductores, piezoeléctricos, etc. En el área de materiales como aislantes de sistemas ácidos debido a su alto punto de fusión; así como también

en vidrios refractarios, arenas, polvos cerámicos, en este caso se utilizará como recubrimiento superhidrofóbico.

Propiedad	Rango	
Espesor	3.05 nm	3.51nm

Tabla 1. Referencia para recubrimientos de SiO<sub>2</sub> [12].

Los valores presentados en la tabla 1, son un reporte bibliográfico donde además se concluye que al hacer la estimación de un espesor promedio, este es mayor cuando se trabaja el substrato a temperaturas altas.

## Plasma

El plasma se basa en un simple principio físico. A través de aportación de energía se cambia el estado de la materia: de sólido a líquido y de líquido a gaseoso. Si al gas se aporta energía adicional, éste se ioniza, es decir, que por la mayor energía el gas se convierte en plasma.

El plasma fue descubierto en 1928 por Irving Langmuir. Más de un 99% de la materia visible se encuentra en estado de plasma. En la Tierra, el plasma se encuentra en forma natural en relámpagos o en las luces polares en el Ártico y la Antártida. Durante un eclipse del Sol, el plasma se puede observar en la corona solar [13].

El nivel energético define el estado físico sólido, líquido o gaseoso. A través de una descarga eléctrica se aporta energía adicional al gas y éste se convierte en plasma.

El plasma es un estado de la materia que se caracteriza por su alta energía e inestabilidad. La energía del plasma, entrando en contacto con la superficie de materiales sólidos, plásticos o metales, modifica sus propiedades fundamentales, como por ejemplo la tensión superficial.

En la fabricación industrial este principio se aplica para modificación selectiva de las propiedades de los materiales. El pretratamiento con la energía de Plasma genera aumento relevante y exactamente ajustable de la adhesión y la

humectación de las superficies. De esta manera, en la industria se pueden utilizar materiales nuevos (también apolares), así como capas de lacado libre de compuestos orgánicos volátiles (COV) y adhesivos ecológicos, libres de disolventes. Hoy en día, muchos métodos de pretratamiento químico se pueden sustituir por Plasma.

Las medidas significativas del plasma son la temperatura de los electrones y las emisiones de partículas aceleradas en el espectro visible y ultravioleta.

Sobre todo, la alta temperatura de los electrones y la baja temperatura de los iones hacen posible que también plásticos termo sensibles se pueden someter a un tratamiento con plasma atmosférico sin que sean dañados.

Las bandas de emisión de las especies químicas en el plasma se transmiten por fibra óptica en el espectro visible, y en particular ultravioleta, de la electrónica de evaluación, analizadas UV-Viz (Fig. 5). Los componentes para control de proceso de las instalaciones de plasma se basan en el concepto de control óptico. Esto proporciona la calidad constante durante el completo tratamiento con plasma.

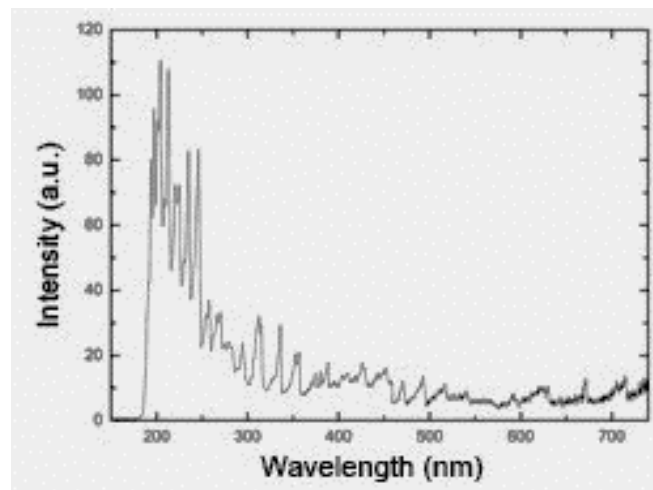


Figura 5. Espectro óptico del plasma en el espectro visible y ultravioleta [13].



## Aplicación de procedimientos con plasma



Figura 6. Plasma de baja presión.

### **Plasma de baja presión**

El plasma de baja presión se genera en cámaras de vacío ( $10^{-3}$  a  $10^{-9}$  bar). En comparación con la presión atmosférica, en este plasma hay menos partículas por unidad de volumen. Éstas poseen mayor recorrido libre, es decir, mayor distancia entre una partícula y otra y por consiguiente hay menos colisiones. El plasma no tiende a la relajación y se puede expandir rápidamente en el espacio. Para la evacuación de las cámaras se necesitan bombas resistentes. El plasma de baja presión no se puede instalar en líneas.



Figura 7. Plasma de alta presión.

### **Plasma de alta presión**

El plasma de alta presión se genera, por ejemplo, en una lámpara de descarga de gas. Este plasma no tiene importancia en el tratamiento de superficies.

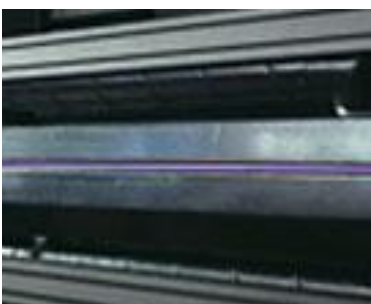


Figura 8. Método Corona

### **Método Corona, Pretratamiento Corona**

El método Corona es un pretratamiento físico de alto voltaje que se utiliza principalmente para el tratamiento de películas. Las desventajas del pretratamiento Corona son el relativamente bajo potencial de activación, así como el tratamiento desigual de la superficie que ocurre a veces. En algunos casos, esto puede causar daños en la parte de atrás de la película. La estabilidad de la tensión superficial obtenida es muy limitada en el tiempo, los componentes tratados no se pueden almacenar por mucho tiempo.



*Figura 9. Plasma atmosférico.*

### ***Plasma atmosférico – la forma moderna del tratamiento con plasma***

El plasma atmosférico se genera bajo presión atmosférica. Por esta razón no se necesitan cámaras de baja presión. Con la tecnología patentada Openair®, por primera vez se ha logrado la integración de un plasma eficiente y delicado (libre de potencial) directamente en los procesos de fabricación en condiciones de presión atmosférica. Por esta razón, el pretratamiento con plasma atmosférico es muy económico y una buena alternativa del plasma de alta o baja presión y del tratamiento Corona.

La mayor ventaja del plasma atmosférico es su posibilidad de integración en línea. Por lo general se puede integrar fácilmente en las líneas de fabricación existentes.

### **Plasma como capa protectora en concentradores solares**

Los módulos, los colectores y la tecnología solar que se montan en las instalaciones de energía solar, se encuentran expuestos continuamente a los agentes meteorológicos. Por lo tanto, estos elementos se tienen que proteger, en especial, contra las influencias ambientales, como son la humedad y las fluctuaciones de temperatura. Fundamentalmente en las zonas de la tierra con más irradiación solar se producen las mayores diferencias de temperatura entre el día y la noche. Todo esto impone altas especificaciones de protección y una impermeabilización segura y duradera de módulos solares.

La eficiencia de la central solar depende de la intensidad de la potencia de reflexión y de la exacta posición de los espejos [6]. Cada revestimiento convencional de polímeros para la protección contra la corrosión adicional reduce la eficacia y, con ello, su rendimiento.

El recubrimiento de plasma presenta un material cristalino y casi completamente inorgánico, ofrece una protección fiable y duradera contra la corrosión, incluso a altas temperaturas. Una vez implementada la tecnología propuesta, se deben conocer las alteraciones que tendrá la plata en contacto con el plasma activador y el plasma de recubrimiento protector.

### **Principio de aplicación**

#### Generadores de plasma

Los generadores de plasma con un diseño especial son el prerrequisito para sistemas de pretratamiento muy eficaces y con alta eficiencia energética.

Los generadores de Plasmatreteat son desarrollados para sistemas completos, simples, robustos y confiables con amplias funciones de control y diagnóstico, tales como sistemas de doble resonancia, modulación de código de impulsos y adaptación de la alimentación, basadas en la tecnología IGBT (Transistor Bipolar de Puerta Aislada, por su traducción al español) y mosfets de potencia basados en la tecnología de semiconductores [13].

Los generadores de la serie "5000" se destacan por su excelente rendimiento gracias a la combinación de tecnología innovadora de semiconductores, al sofisticado sistema de sensores y su facilidad de manejo. El control analógico de presión dentro de la cámara de plasma, las funciones integradas de control de la corriente, la tensión, la frecuencia y la evaluación de la luz emitida por el plasma proporcionan una máxima seguridad de proceso. El resultado son instalaciones de plasma Openair que han mostrado su calidad mil veces en las aplicaciones prácticas:

- Funcionamiento continuo (24/7)
- Disponibilidad máxima de la instalación >99%
- Bajo costo de mantenimiento, casi resistente al desgaste
- Alto grado de rendimiento (eficiencia energética)

#### Aplicaciones típicas

- Integración en instalaciones completas
- Apto para la producción en turnos y las crecientes demandas ambientales
- Aplicaciones industriales que requieren registros extensos

- Sistemas robóticos de producción

### Revestimiento de Plasma

Mediante un cabezal especial de tobera, al plasma se aportan sustancias específicas según la aplicación deseada. Las partículas se excitan por el plasma y su reactividad aumenta de manera significativa. De esta manera, las sustancias se pueden colocar y adherir a la superficie. Se crea una capa con propiedades funcionales, definidas individualmente por el proceso. Con la tecnología PlasmaPlus se pueden revestir muy diversos materiales como por ejemplo metal, vidrio, cerámica, plástico como también tejidos.

Técnicamente, una instalación de Plasma Openair se suministra con el sistema PlasmaPlus. Este sistema facilita la vaporización un aditivo, líquido a temperatura ambiente, que es exactamente reproducible y a través de un gas portador se introduce al plasma. Así originan nano recubrimientos hidrófilos y también por primera vez hidrófobos con un espesor específico de hasta 1000 nm [14] [15].

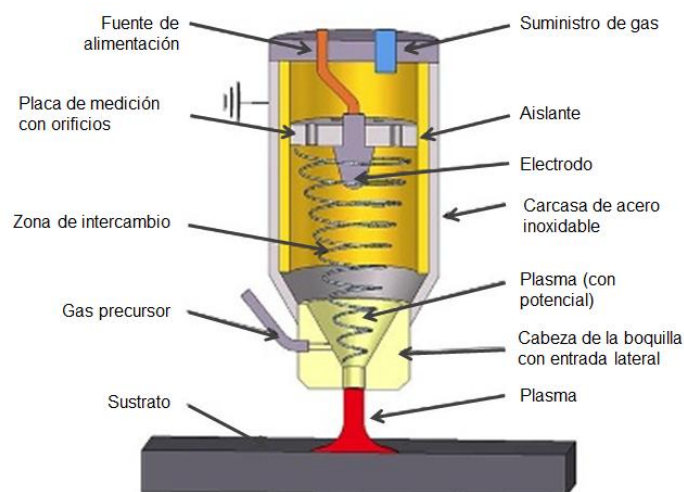


Figura 10. Tobera para aplicación de recubrimientos [13].

## **Plan de negocios**

El plan de negocio incluye la información básica necesaria para planificar una nueva actividad empresarial con base a un producto o servicio. Antes de lanzaros a un nuevo negocio, es conveniente meditarlo de manera organizada y el plan de negocio es una herramienta adecuada para ello.

### **Objetivos**

Son muchos los objetivos que se buscan al desarrollar un plan de negocio, pero en términos generales, se buscan los siguientes:

1. La aclaración de ideas para plasmarlas de forma real en un formato estándar que permita una gestión, tanto visionaria para el generador del plan, como de fácil interpretación para cliente.
2. La cuantificación de costes e ingresos esperados, abriendo el panorama y con ello la viabilidad del nuevo lanzamiento al mercado.

### **Etapas**

1. Planeamiento estratégico. Estudio de mercado y estructura del entorno
2. Análisis técnico operativo. Estructura mecánica
3. Análisis económico-financiera. Estructura financiera
4. Valoración del riesgo. Recursos humanos
5. Sumario ejecutivo

## **Sistema TRL CONACYT**

Se consideran 9 niveles, desde los principios básicos de la nueva tecnología hasta llegar a un desarrollo comercial exitoso, donde la tecnología presentada en este proyecto, se considera en un nivel 4 y 5 de validación. [16] [17]

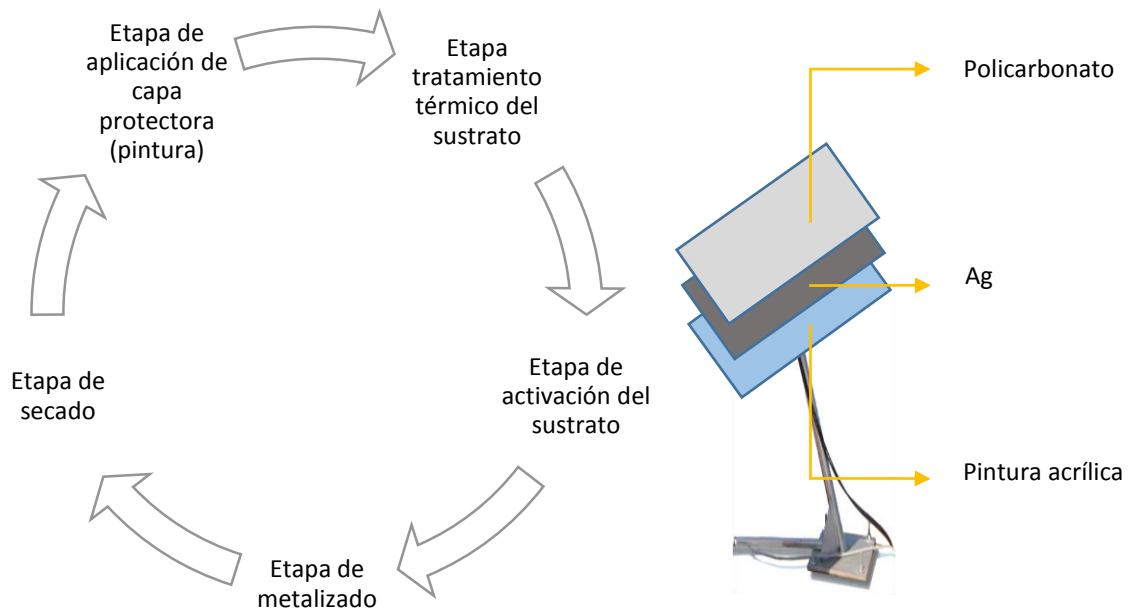
- TRL 1: Principios básicos observados y reportados.
- TRL 2: Concepto y/o aplicación tecnológica formulada.
- TRL 3: Función crítica analítica y experimental y/o prueba de concepto característica.
- TRL 4: Validación de componente y/o disposición de los mismos en entorno de laboratorio.
- TRL 5: Validación de componente y/o disposición de los mismos en un entorno relevante.

- TRL 6: Modelo de sistema o subsistema o demostración de prototipo en un entorno relevante.
- TRL 7: Demostración de sistema o prototipo en un entorno real.
- TRL 8: Sistema completo y certificado a través de pruebas y demostraciones.
- TRL 9: Sistema probado con éxito en entorno real.

# **CAPITULO 2. SISTEMA**

## **Polímero/Ag/Pintura**

## Prototipo 1. Espejos Polímero/Ag/Pintura



*Figura 2.1. Proceso de producción de espejos solares sistema Polímero/ Plata /Pintura con su estructura de instalación final en heliostato.*

Para el proceso de metalizado, se usa el sistema DCP, el cual consiste en una reacción redox sobre la superficie del sustrato, donde a través de un sistema de aplicación por spray se depositan las dos soluciones al mismo tiempo. El sistema consta de cinco etapas, de las cuales la limpieza superficial no es necesaria ya que la placa de polímero está protegida por una película polimérica, posteriormente se aplica un tratamiento de la superficie a metalizar, se activa y es enjuagada con agua desionizada, se continúa con la proyección de un oxidante y un reductor y finalmente se hace un segundo enjuague y se deja secar a intemperie.

Tratamiento preliminar:

Se hace una aplicación en flama de gas LP sobre la placa de policarbonato a una distancia Y con técnicas estratégicas de ejecución, determinadas por el equipo de investigación del proyecto. Posteriormente se rocía agua desmineralizada, dejando la superficie lista para el siguiente paso.

Después de un tratamiento térmico, se realiza una activación de la superficie.



## Preparación del sustrato

Se rocía la superficie del sustrato con una solución activante a base de cloruro de estaño. Se continúa con el enjuague usando agua desionizada, seis aplicaciones en total, tres en vertical y tres en horizontal. En esta etapa se establecen enlaces químicos entre el sustrato y el recubrimiento de Ag.

## Metalizado

Se depositan las soluciones, oxidante (plata) y reductora a una velocidad continua, a una distancia de 50 cm con un cambio de vertical a horizontal en cada capa, completando un total de 16 capas donde, al finalizar, se enjuaga nuevamente la placa durante un minuto aproximadamente para la correcta limpieza de la misma y evitando así que la reacción continúe.

La formulación de las soluciones está dada por la empresa Jet Metal y por lo tanto es confidencial, por esta razón sólo se da a conocer la relación:

Oxidante	A: ox1010 2%	Reductor	R2 2%
	B: ox2020 3.6%		
	C: cd 1000 1.8%		

Después del metalizado, se deben retirar las soluciones de los contenedores del oxidante, reductor y activante, estos se enjuagan con agua desmineralizada y se colocan los residuos en garrafas o contenedores del proceso.

## Secado

En la etapa de secado la placa se mantiene en posición vertical y se usa aire a presión para evitar que el agua forme alguna alteración en la superficie.

## Aplicación de capa protectora (pintura)

Una vez que la placa ha secado, debe transportarse el tablero sobre el que se encuentra el sustrato polimérico fijo. La primera capa es de primario universal blanco Rusacril, que se prepara diluyendo al 50% con solvente acrílico de la misma marca, en un recipiente limpio, e inmediatamente vaciarlo en el recipiente de la pistola neumática de gravedad, que deberá tener disponible una toma de aire comprimido con conexión rápida de 60 PSI. Por cada 800 ml se pone la mitad de thinner acrílico.

Debe aplicarse inmediatamente sobre el depósito de plata a una distancia de unos 15-18 cm de la superficie, lentamente, pero sin detenerse sobre esta,

cubriendo toda el área en un patrón de abajo hacia arriba y de derecha a izquierda, hasta por 3 o 4 capas logrando un acabado uniforme, pero no totalmente blanco, que estará completamente seco al finalizar su aplicación.

Es necesario que se sellen también las orillas del sustrato, aplicando en los 2 bordes paralelos verticales, y girando el tablero de la base 90°, los otros 2 bordes que ahora quedan verticales. Una pieza de 1.22 m x 1.22 m se lleva 400 ml de base universal ya diluida.

El acabado final, se prepara con el acabado Acrílico blanco alto brillo de la marca Rusacril, que se prepara diluyendo este al 35-40% con solvente acrílico de la misma marca, en un recipiente limpio, de igual forma que el anterior inmediatamente a otra pistola de aire de gravedad en las mismas condiciones del paso anterior.

La aplicación es similar, pero teniendo especial cuidado en que no se hagan acumulaciones de producto en la superficie o nata de pintura, porque estas se evidenciarán inmediatamente en el resultado final, de la misma forma que la capa anterior sellar los bordes. Es preferible aumentar la velocidad de aplicación sobre la superficie, aunque tenga darse otra capa y no arruinar la muestra por una acumulación involuntaria. Posteriormente se deja secar para su etiquetado y almacenamiento. La cantidad de acabado acrílico blanco brillante Rusacril, diluido es aproximadamente 300 ml para una pieza de 1.22 m x 1.22 m [18].

### **Aplicación comercial**

La generación de energía a partir de concentración solar, tiene aplicaciones térmicas de procesos en la industria y de generación directa de energía eléctrica.

La tecnología por concentración solar, ha aumentado la producción en capacidad instalada y generación de GW/h. Por lo tanto, la inversión a este sector también continúa en crecimiento constante, y por ende, la investigación de materiales óptimos que a su vez, están permitiendo una reducción de costos considerable en la fabricación de espejos solares para concentración solar.

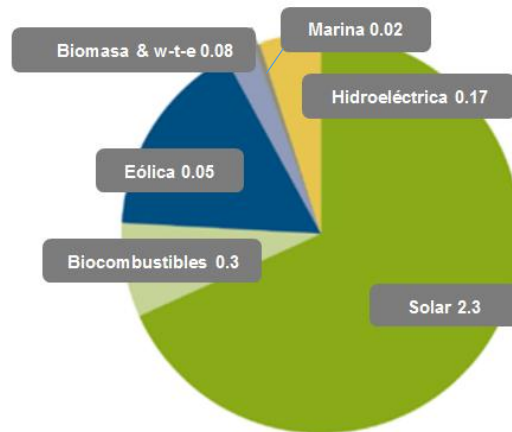


Figura 2.2. CR/CP, inversión en energía renovable por sección (Finance, 2017).

En la figura 2.2, se muestra la inversión por capital de riesgo y capital privado en una firma de fondos exclusivos para energías renovables. La inversión fue de \$3.3 mil millones de dólares en 2016, donde de estos, los concentradores solares fueron compuestos por \$2.3 mil millones de dólares (Finance, 2017).

Como puntos de referencia para entender el desarrollo comercial, y el impacto económico que este representa en el mercado de la energía solar, se mencionan los siguientes:

- Un total de \$ 6,3 mil millones de dólares fue recaudado por compañías de energía limpia en mercados públicos globales en 2016.
- Los fondos recaudados a través de ofertas públicas iniciales aumentaron en un 12% a \$2,6 mil millones de dólares.
- En general, las compañías y fondos solares recaudaron \$1.7 mil millones de dólares en el año 2016, pero el sector eólico, siguió por encima con \$4,2 mil millones de dólares.
- El gasto gubernamental estimado en investigación de energías renovables aumentó en un 25% a un récord de \$ 5.5 mil millones de dólares, rompiendo una racha perdedora de tres años. [19].

La energía solar termoeléctrica se posiciona actualmente con proyectos líder en el sector de energías renovables. Por ejemplo, la planta solar térmica Gemasolar, planta de torre central, Fuentes de Andalucía, Sevilla, España. Gemasolar es

una central termosolar de 19,9 MWe con receptor central de sales fundidas de 120 MWt, y tiene un campo solar de 310.000 m<sup>2</sup> de espejos.

Por otro lado, está la Planta tipo torre central NOORo III, Ouarzazate, Marruecos, donde la SENER participa en fase de puesta en marcha en la planta NOORo II, de 200 MWe, con un área reflectiva total de 1.300.000 m<sup>2</sup>.

En el caso de los concentradores solares, con una estructura y con capas protectoras de pintura similar a las que se mencionaron en el marco teórico de este documento, tienen aplicación para procesos de fabricación en algunas de las industrias siguientes:

<b>Industria</b>	<b>Proceso</b>	<b>Rango de temperatura (°C)</b>
<b>Láctea</b>	Esterilización	100-120
	Secado	120-180
<b>Comida enlatada</b>	Esterilización	110-120
<b>Textil</b>	Secado	100-130
	Desengrasado	100-130
	Fijado	160-180
<b>Papel</b>	Blanqueo	30-150
<b>Subproductos de la madera</b>	Preparación de pulpa	120-170
<b>Plásticos</b>	Preparación	120-140
	Destilación	140-150
	Separación	200-220
	Extensión	140-160
	Secado	180-200
	Mezclado	120-140

*Tabla 2. Industrias con aplicación de tecnología CSP [20].*

# **CAPITULO 3. SISTEMA**

## **Polímero/Ag/Plasma**

## Prototipo 2. Espejos Polímero / Plata / Plasma

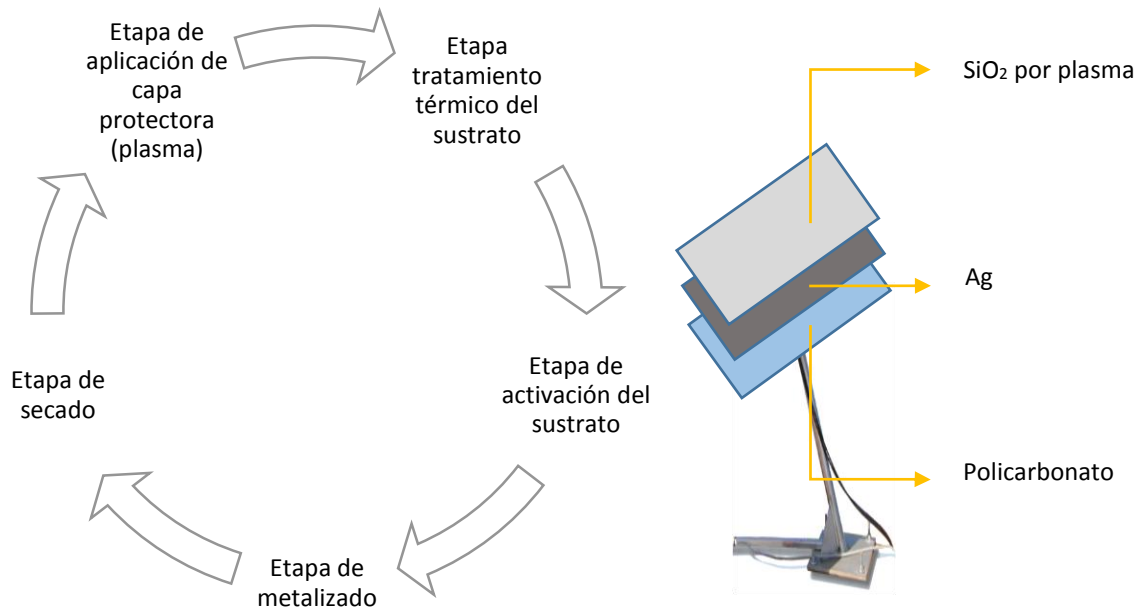


Figura 3.1. Proceso de producción de espejos solares sistema Polímero/ Ag/SiO<sub>2</sub> con su estructura de instalación final en heliostato.

En la figura 14 se muestra el proceso de producción de espejos solares con un sistema de base polímero, un depósito de plata y una capa protectora de SiO<sub>2</sub> aplicada por plasma. Las etapas de tratamiento y activación del sustrato, metalizado y secado, se llevan a cabo de la misma forma que en el proceso de producción del sistema polímero / plata / pintura.

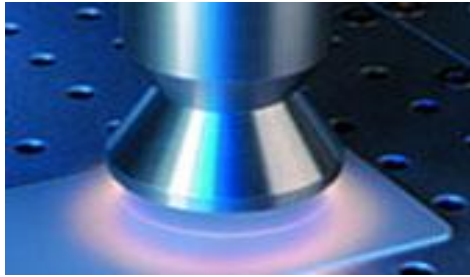
Especificaciones de aplicación

### Proceso. Tratamiento de plasma atmosférico

En el proceso de producción de los espejos solares, se presenta como propuesta en la etapa de capa protectora para la capa reflectiva Ag, el tratamiento con plasma para:

1. Activación. Proporciona la adhesión posterior de adhesivos y recubrimientos. Se presenta una modificación de la superficie del metal. A través de activación con plasma, la energía superficial se genera precisamente allí donde se necesita. El resultado es una notablemente

mejor humectación de la superficie. Con esto se facilita el tratamiento posterior.



*Figura 3.2. Activación con plasma.*

2. Recubrimiento. Mediante el nano recubrimiento se pueden crear propiedades funcionales de la superficie que cumplen con los requerimientos específicos.



*Figura 3.3. Aplicación de recubrimientos de plasma.*

#### Ventajas de la tecnología plasma

- Alto grado de seguridad de proceso:  
La tecnología Plasma se destaca por gran fiabilidad y alta seguridad de proceso.
- Alto grado de rentabilidad:  
La alta velocidad de proceso, también en plantas de producción en turnos, y un mínimo de desechos aseguran un proceso altamente eficiente.
- Alto grado de activación:  
Al contrario del método Corona, el tratamiento con Plasma proporciona un alto grado de activación de la superficie tratada.
- Amplia ventana de proceso:  
El plasma proporciona una amplia ventana de proceso mediante un el chorro homogéneo plasma. En comparación con el tratamiento con llama, el riesgo de daño térmico es mínimo.

- Ecológico:  
El tratamiento con plasma, proporciona un pretratamiento libre de disolventes y compuestos orgánicos volátiles (COV). En comparación con algunos métodos electroquímicos, como por ejemplo galvanizado, decapado o cromado, los procesos de química húmeda no son necesarios [13].

### **Aplicación comercial**

La tecnología del plasma se puede encontrar en distintas aplicaciones industriales como son:

- Industria automotriz
  - Faros, perfiles EPDM, piezas del interior y exterior del vehículo, parabrisas y tren motriz.
- Transporte
  - Aeronáutica, construcción naval, camiones-remolques-caravanas, y motocicletas-vehículos de dos ruedas.
- Electrónica
  - Displays, circuitos impresos, obleas-chips, y teléfonos móviles.
- Tecnología del embalaje
  - Envasado con plásticos, cartonaje y papel, y envases de cristal y metálicos [21].



# CAPITULO 4. METODOLOGÍA

La metodología detallada establecida para el desarrollo del proyecto se encuentra dividida en cuatro etapas

## 1. Montaje experimental

- Limpieza de superficie

La limpieza de superficies con plasma de presión atmosférica es un proceso de eliminación de contaminantes orgánicos, inorgánicos y microbianos de la superficie, así como partículas de polvo fuertemente adherentes. Es muy eficiente y al mismo tiempo muy suave a la superficie tratada. Con mayor resistencia, puede eliminar las capas superficiales débiles de la superficie, las moléculas de la superficie de reticulación e incluso reducir los óxidos de metal duro. La limpieza del plasma favorece la humectabilidad y la adhesión. La aplicación del tratamiento se considera térmica y es denominado plasma Openair. [13]

- Recubrimiento de plasma

1. Para aplicar la capa protectora sobre los concentradores solares, se usa el sistema plasma-polimerización APPJ, empleando una pistola de gravedad donde se juntan los precursores en una llave de paso de aire que es regulado por una válvula de ajuste. La aplicación del recubrimiento protector será denominada en este trabajo como plasma Plus.

2. Recubrimiento de plata a partir de la elaboración de soluciones (oxidante y reductor) patentadas, sobre polímero de policarbonato de una dimensión de 1.22 m x 1.22 m por 1.594 mm de espesor, por la técnica DCP (16 capas con espesor de 100 a 110 nm). Se aplica por medio de una estación de spray marca JetMetal Technologies con el precursor es Hexamethyldisiloxano ( $C_6 H_{18} OSi_2$ ) y se trabaja a una temperatura de 120 C°.

Para la aplicación de plasma se utilizó el equipo de recubrimientos Openair Plasma PAD10 (Instalación industrial para recubrimientos de nano-capas funcionales de plasma a presión atmosférica).

Para cada experimento se han usado tres muestras con tres repeticiones cada una, las cuales serán identificadas de la siguiente forma: plata con tratamiento

térmico (Ag/Op), plata con SiO<sub>2</sub> por plasma (Ag/Plus), y plata con tratamiento térmico y SiO<sub>2</sub> por plasma (Ag/Op/Plus).

## **2. Caracterización de recubrimiento SiO<sub>2</sub> por plasma**

### **Morfología**

- Microscopia Electrónica de Barrido (SEM)
  - Espectroscopia de Energía Dispersiva (EDS)

Se utilizó un Microscopio Electrónico de Barrido SEM (por sus siglas en inglés) con una emisión de electrones JSM – 7800F utilizando 200 kV de voltaje de aceleración.

Se tomaron las placas y se les introdujo a condiciones de vacío por cuatro horas, para evitar que se formara carga en la superficie del material semiconductor o bien, evitar que se formaran partículas suspendidas en gas dentro del semiconductor [22].

Se fue ajustando cada uno de los objetivos con el fin de tener una imagen de calidad, se tomaron fotografías con diferentes objetivos de las tres muestras; Ag/Op, Ag/Plus y Ag/Op/Plus.

Equipo. Marca Newport, modelo Microfab, objetivo de microscopio de 20X.

- Perfilometría

La técnica de perfilometría mecánica permite realizar análisis superficiales, la técnica se basa en un estilete donde este realiza un desplazamiento vertical mientras se realiza un barrido lineal manteniendo una fuerza constante sobre la superficie de la muestra. La realización de barridos sucesivos y paralelos permite componer los resultados para obtener un mapa tridimensional con resolución nanométrica en el eje vertical.

Equipo. Perfilómetro 3D, marca Bruker

- Espectroscopia Fotoelectrónica de rayos X (XPS)

La técnica de caracterización XPS, trabaja con electrones fotoemitidos donde existe la expulsión de un electrón de uno de los niveles de energía dado, por la incidencia de un fotón de rayos x. El electrón es excitado por un electrón externo,

conservando la energía por emisión del fotón para posteriormente contribuir a los picos del espectro y obtener la energía de enlace en  $E_v$ , que representa la diferencia entre la energía total de los estados iniciales y finales del átomo después de la fotoemisión (Fig. 4.1)

Una fuente de rayos x, donde estos mantienen un filamento de aceleración de electrones impactando sobre un objetivo o muestra. Un analizador de energía, compuesto de espejos cilíndricos analizadores en serie con una energía fija y un potencial constante, que escanea un campo preseleccionado. Un detector de electrones con un multiplicador de electrones o una placa de canal multiplicadora complementada con una computadora que permite hacer escaneos repetitivos. Finalmente, una instrumentación para los datos adquiridos, son los componentes del espectrómetro fotoelectrónico de rayos x [22].

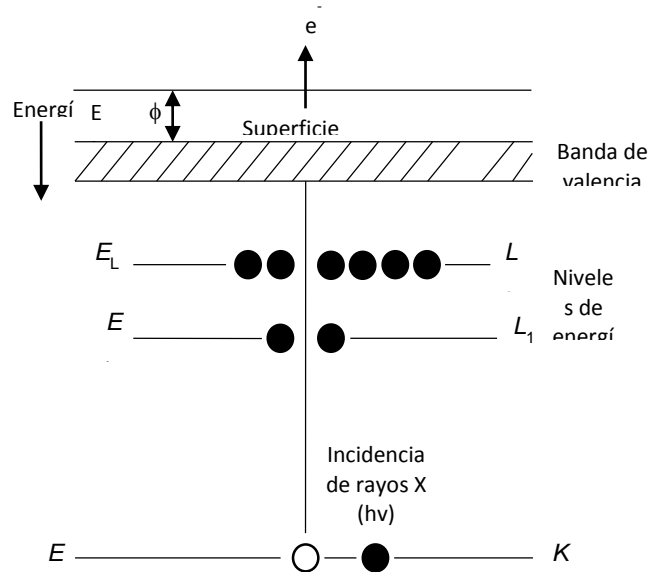


Figura 4.1. Diagrama de niveles de energía en la técnica XPS

Las condiciones de operación para el análisis son: tiempo de adquisición 3 min 42.0 s, fuente de arma tipo Al K Alpha, tamaño de punto 400 $\mu$ m, modo de lente estándar, modo analizador CAE: energía de paso de 160.0 eV y tamaño de energía de paso de 0.100 eV.

Equipo. Sistema XPS Monocromático Magics, marca Thermo Scientific.

- Espectroscopía de Descarga de Brillo (GDS)

Las condiciones de operación bajo las cuales se obtuvieron los reportes del análisis por GDS son:

Generador RF: potencia real aplicada, tiempo de flujo: 70 s, tiempo de preintegración: 30 s, fondo: 5 s, tiempo de medida: 423.4 s, presión: 650 Pa y potencia: 35 W.

Equipo. Espectrofotómetro Horiba, GDS RF.

- Difracción de Rayos X (DRX)

Los recubrimientos fueron caracterizados por Difracción de Rayos – X. La muestra se colocó sobre una placa con una superficie de silicio en línea recta, de tal manera que el láser dentro del equipo pasara por el ancho de la película sin ninguna interferencia.

Se configuró el equipo para ajustar los parámetros a utilizar, así como las lámparas y se colocó la muestra con recubrimiento de SiO<sub>2</sub> dentro del equipo. Se midió con una abertura de ángulo de  $2\theta$  (teta) con un barrido de 20 – 80. Posteriormente, se apagaron las lámparas del equipo antes de abrir la tapa.

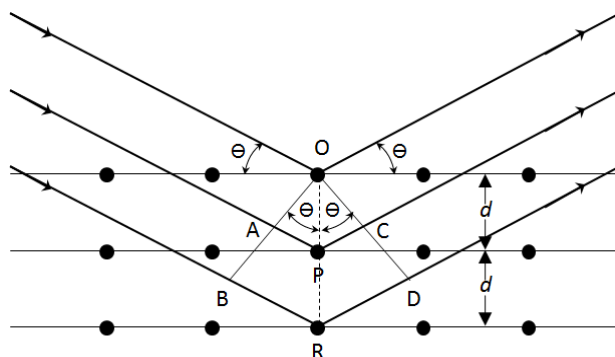


Figura 4.2. Interacción de rayos X con un grupo de átomo ordenado [23].

Equipo. Marca Bruker, Modelo D2 PHASER.

### Adherencia

Para las pruebas de adherencia se utilizaron cuatro muestras, considerando la capa protectora de pintura. Se analizó la adherencia mediante la técnica pull off en la zona central de cada placa, la clasificación se determina a partir de la norma ASTM D3359-09.

## Óptica

- UV-Vis

Los materiales medidos, fueron analizados en películas delgadas, las cuales contenían tres tipos de recubrimientos: Recubrimiento de Plata, Plata-Polímero y un recubrimiento al cual llamaremos Ag Plus.

Los espectros de transmitancia de los materiales analizados fueron medidos en el rango de 200 – 800 nm por el método de reflectancia difusa.

Para estandar el equipo y tener una referencia sobre nuestro material, fue tomada una “línea base” para tener un criterio de medida unificado, después de esto, se colocó en una placa con base silicio, las placas que contenían las películas delgadas, una por una, con el fin de tener un espectro definido.

Se hizo un barrido para cada una de las muestras de 200 – 1800 nm, es decir, en todo el espectro Ultravioleta-visible e infrarrojo, para determinar la absorción y bien la transmitancia de las muestras frente al sol. Una vez terminado el barrido, se guardó en un formato compatible para posteriormente ser graficado y presentar una gráfica legible y precisa.

Equipo. Espectrofotómetro UV–VIS–NIR Modelo Cary 6000i, Marca Varian con una esfera de integración y una resolución de <0.05 nm en UV – VIS.

### **3. Evaluación electroquímica / Resistencia a la corrosión**

- Curvas de polarización

Se obtuvieron las curvas de polarización correspondientes a cada uno de los recubrimientos mencionados anteriormente. Para estas, las condiciones de operación son: Velocidad de barrido de 0.166 mV/s, con una ventana de potencial de +- 500 mV respecto al potencial de circuito abierto y un medio de cloruro de sodio al 3.5 wt. Se utilizó una celda electroquímica de tres electrodos, como electrodo de referencia se usó un electrodo de Ag/AgCl, como contra electrodo se utilizó un alambre de platino y como electrodo de trabajo se utilizaron muestras de 2cm x 2cm.

- Impedancia

Los recubrimientos fueron evaluados mediante Espectroscopia Electroquímica de Impedancia (EIS por sus siglas en inglés), donde las condiciones de operación fueron: La frecuencia de 10 kHz a 10 mHz, una amplitud de 10 mV, el medio de exposición fue de cloruro de sodio al 3.5 wt. Se utiliza un electrodo de referencia de Ag/AgCl y contraelectrodo de platino.

Equipo. Potenciostato Galvanostato, marca Bio-Logic

- Cámara de niebla salina

Cámara de Niebla Salina. Se trataron pruebas en condiciones establecidas por la norma B-117 con áreas de 10 cm<sup>2</sup>, obtenido resultados a las primeras 24 hrs [23].

#### **4. Comercialización**

- Modelo y Plan de negocio
- Sistema TRL

# **CAPITULO 5. RESULTADOS**



## Caracterización morfológica y físico-química

### Análisis XPS

Ag

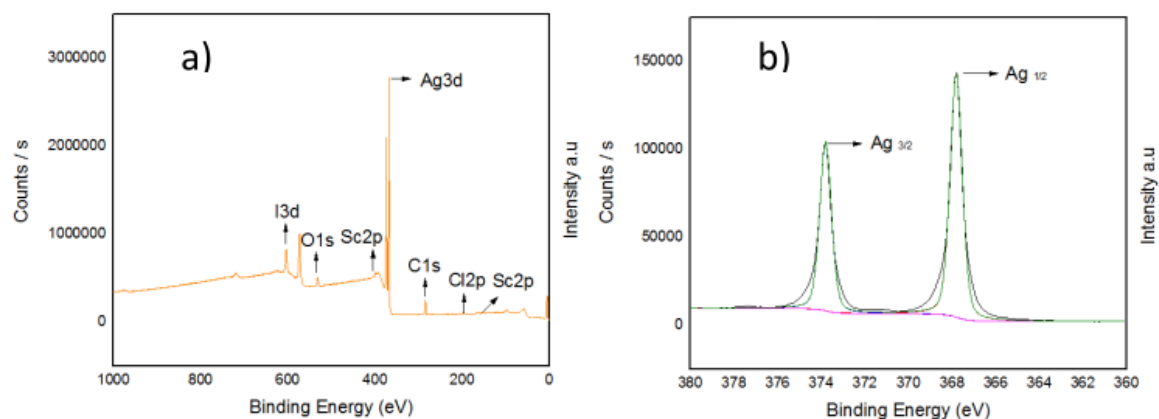


Figura 5.1. a) Espectro survey de XPS para muestra Ag, b) Espectro de la región de plata sobre sustrato polimérico.

El análisis por XPS en la placa de plata, muestra a presencia de  $\text{Ag}^{1/2}$  y  $\text{Ag}^{3/2}$ . No se identifica alguna alteración en depósito de plata y se observa oxígeno, carbono y cloro principalmente.

AgOp

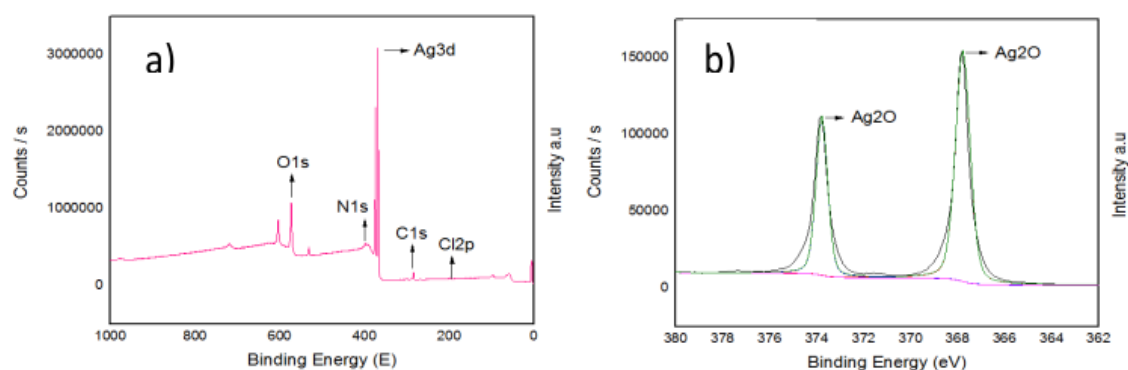


Figura 5.2. a) Espectro survey de XPS para muestra AgOp, b) Espectro de la región de plata con tratamiento térmico sobre la superficie.

En la muestra de plata con un tratamiento térmico de superficie, previo a la aplicación de  $\text{SiO}_2$  por plasma, se identifica a la plata en un estado de oxidación.

Esto se debe a la reacción de la plata con el tratamiento mencionado anteriormente.

### AgPlus

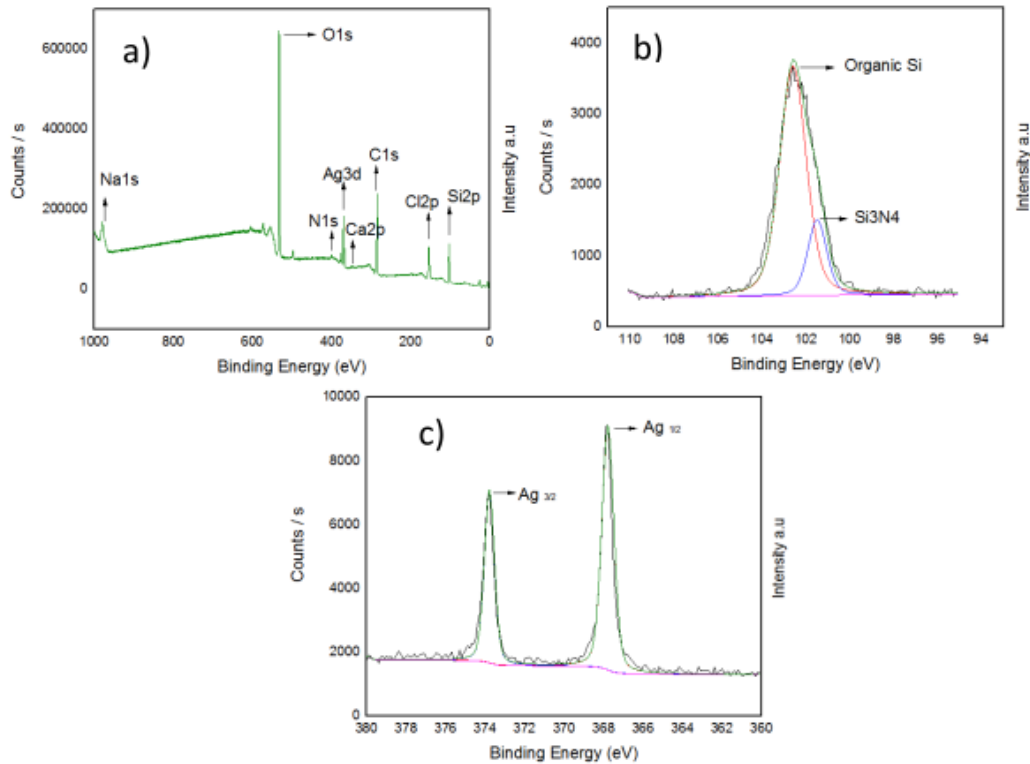


Figura 5.3. a) Espectro survey de XPS para muestra AgPlus, b) Espectro de la región del SiO<sub>2</sub>, c) Espectro de la región de plata con tratamiento térmico y recubrimiento de SiO<sub>2</sub> por plasma.

Para la muestra tres, un sustrato polimérico con depósito de plata, tratamiento térmico de superficie y recubrimiento protector de SiO<sub>2</sub>, se identificó mayor presencia de oxígeno, junto con plata, sodio, carbono, silicio y cloro. El espectro para el análisis de plata muestra la presencia de nitrato de silicio, lo que muestra una mejor combinación de propiedades y por ende estabilidad en el recubrimiento.

## Análisis GDS

AgOp

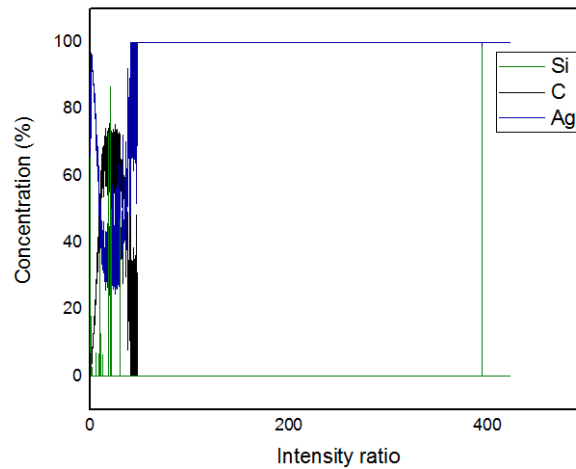


Figura 5.4. Perfil de GDS a depósito de plata con tratamiento térmico de superficie.

En el perfil de GDS para la muestra con depósito de plata y un tratamiento térmico de superficie, se identifica además, la presencia de carbono durante el análisis de la fase de SiO<sub>2</sub>, lo que demuestra que este elemento está presente desde el proceso de aplicación de plasma hasta su depósito sobre la superficie, posteriormente se identifican los elementos presentes en la muestra. Las imágenes muestran un alto grado de perturbaciones en la prueba, lo que podría deberse al sustrato polimérico y/o al recubrimiento de plasma.

AgOpPlus

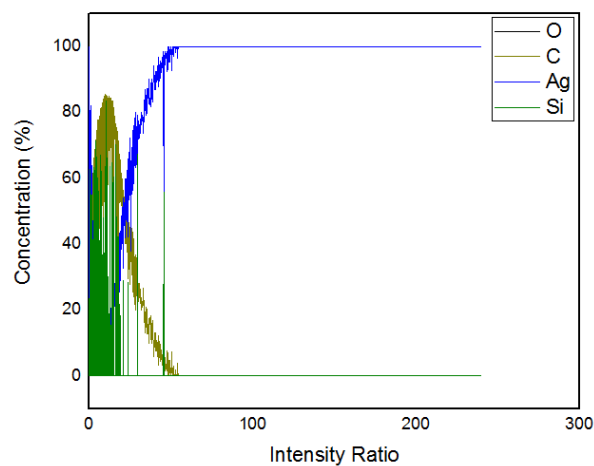


Figura 5.5. Perfil de GDS a depósito de plata con tratamiento térmico de superficie y recubrimiento protector de SiO<sub>2</sub>.

En el perfil de GDS para el depósito de plata con un tratamiento térmico de superficie y el recubrimiento de SiO<sub>2</sub>, se observa de igual forma que en las muestras pasadas, un alto de grado de perturbaciones. Se sigue notando la presencia de carbono sobre el recubrimiento de SiO<sub>2</sub>. El espectro de plata hace parecer que la prueba no llegó hasta al sustrato, por lo que se pretende usar para análisis posteriores, un sustrato de vidrio o aluminio para obtener mejores resultados.

## Análisis SEM

SEM

Ag

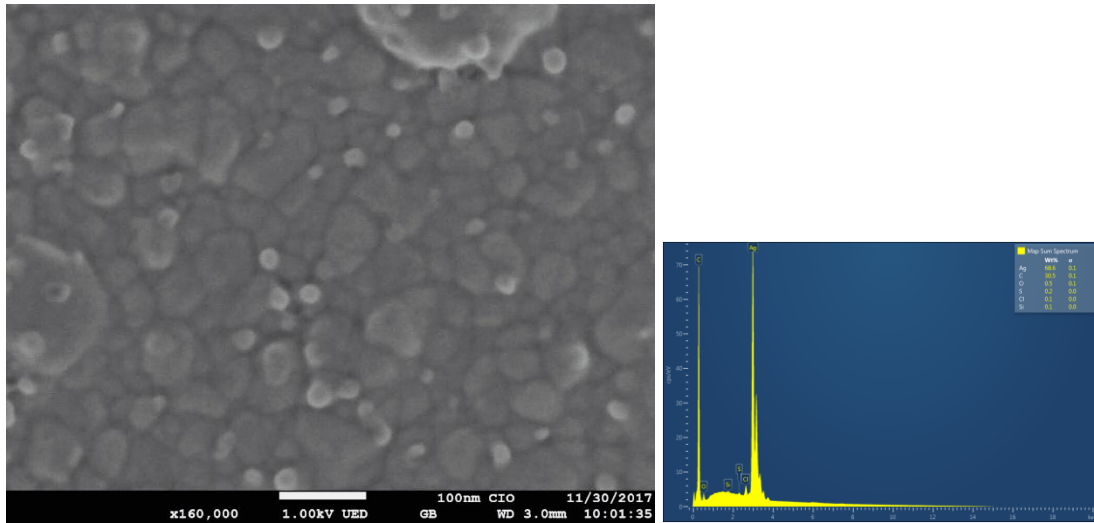


Figura 5.12. Imagen SEM 160,000x del recubrimiento Ag.

En la figura 5.12 se muestra una imagen obtenida por SEM, con depósito de Ag sobre un sustrato de policarbonato.

Ag/Op

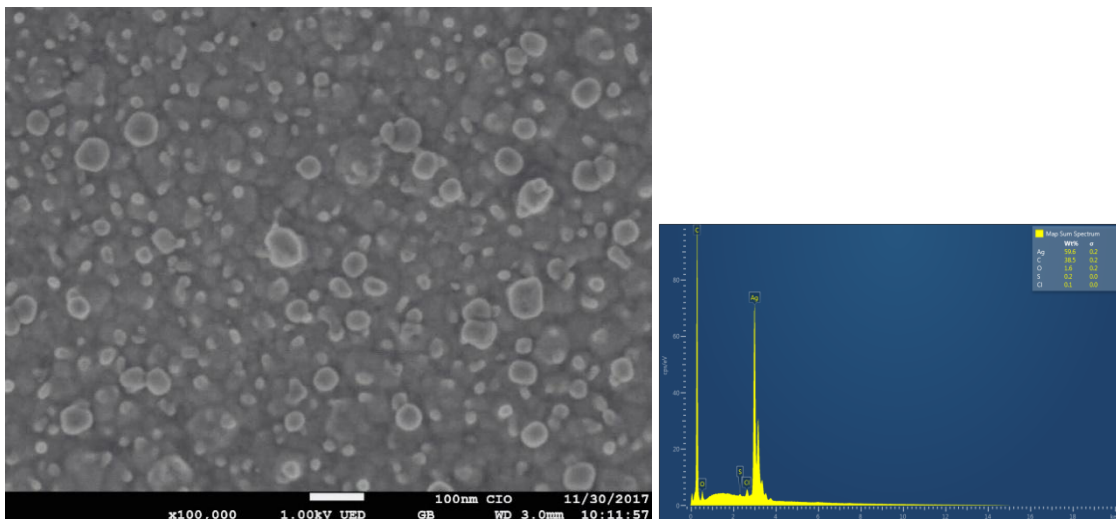


Figura 5.13. Imagen SEM a 100,000x del recubrimiento AgOp.

La figura 5.1 muestra una imagen por SEM del recubrimiento de Ag con tratamiento térmico Openair.

## Ag/Op/Plus

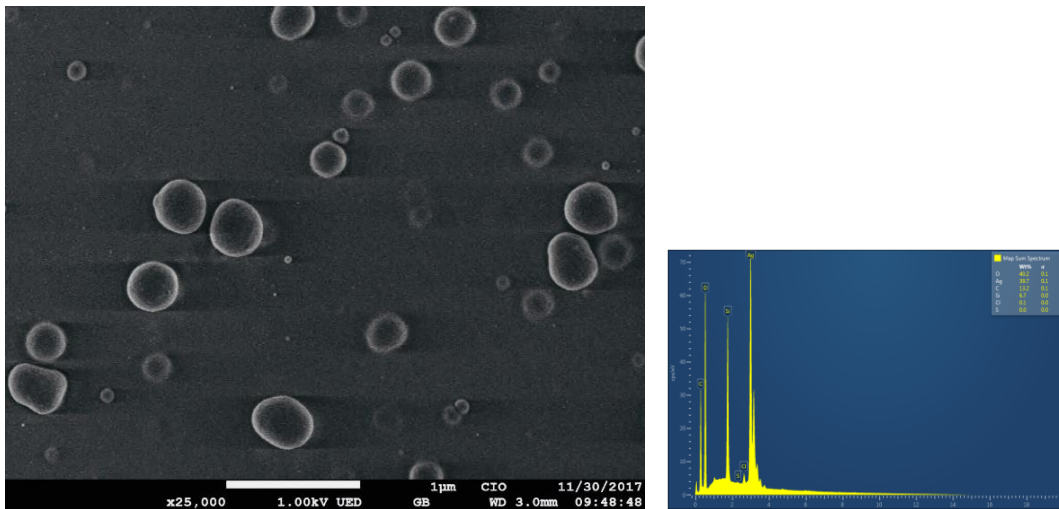


Figura 5.14. a) Imagen y mapeo en SEM a 25,000X del recubrimiento AgOpPlus.

Las imágenes 5.14 y 5.15, muestran el recubrimiento de Ag con el tratamiento térmico Openair y una capa protectora de SiO<sub>2</sub> aplicado por plasma.

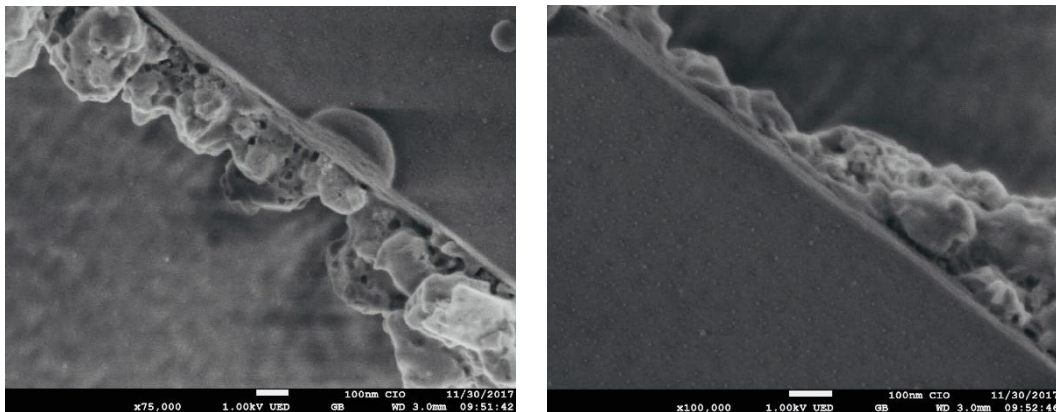


Figura 5.15. Imagen SEM a 70,000x del recubrimiento AgOPlus.

La figura 5.15 muestra imágenes obtenidas por SEM, con un depósito de plata con tratamiento térmico de superficie y recubrimiento protector de SiO<sub>2</sub> aplicado por plasma. Se identifica que las partículas de SiO<sub>2</sub>, cuando estas son desprendidas, pasan a la solución en forma de cloruros. La ilustración 5.15 muestra que en la superficie del depósito de Ag y recubrimiento protector de SiO<sub>2</sub>, no hay presencia de algún tipo de óxido de plata.

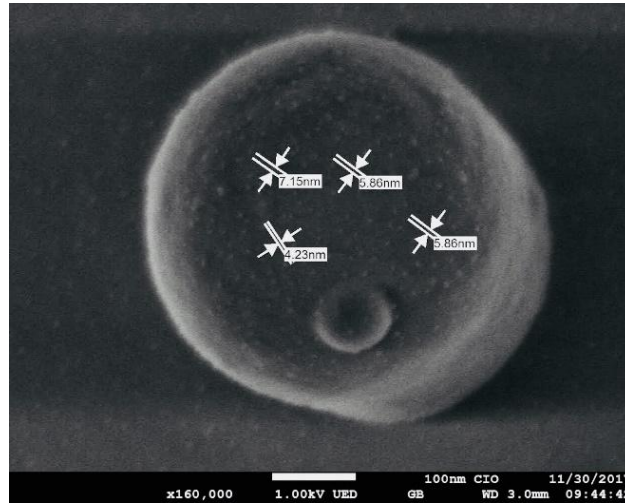


Figura 5.16. Imagen SEM a 160,000 de esfera de SiO<sub>2</sub>.

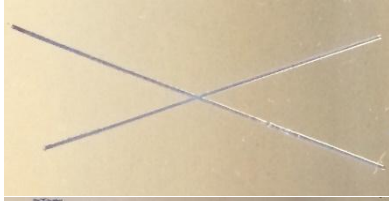
La figura 5.16 muestra una esfera de SiO<sub>2</sub> sobre el depósito de Ag con tratamiento térmico. La imagen muestra además, que a pesar de tener un recubrimiento homogéneo por el depósito de Ag, se identifican granos muy finos en la superficie que representan mediciones de entre 4.23nm y 7.15nm.

### Adherencia

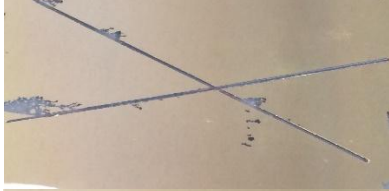
Se analizó la adherencia de las tres muestras mediante la técnica pull off en la zona central de cada placa, los resultados se muestran en la tabla 5.1.

Clasificación	Área removida	AgOp	AgPlus	AgOpPlus	Pintura
5A	0% Nada				
4A	Menos del 5%			✓	
3A	5-15%				
2A	15-35%		✓		
1A	36-65%				
0A	Mayor al 65%	✓			✓

Tabla 5.1. Clasificación de adherencia para muestras de Ag, AgOp y AgOpPlus.



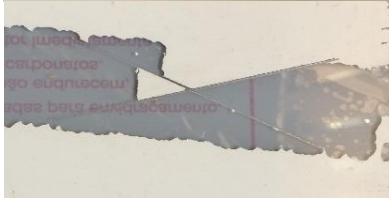
(4A) Placa con sustrato polimérico, depósito de plata, tratamiento térmico de superficie y recubrimiento protector de óxido de silicio. Desprendimiento menor al 5%.



(2A) Placa con sustrato polimérico, depósito de plata, y tratamiento térmico de superficie. Desprendimiento de entre 5 y 15%.



(0A) Placa con sustrato polimérico, depósito de plata, tratamiento térmico de superficie y recubrimiento protector de óxido de silicio. Desprendimiento mayor al 65%.



(0A) Placa con sustrato polimérico, depósito de plata, y recubrimiento protector de pintura acrílica. Desprendimiento mayor al 65%.



## Transmitancia

Las muestras van colocadas en un portamuestra que se ubica en forma horizontal o vertical, según sea el dispositivo del equipo. El difractómetro consta de un detector móvil de rayos X que para cada ángulo  $2\theta$  registrará la intensidad, permitiendo obtener el difractograma propio del material.

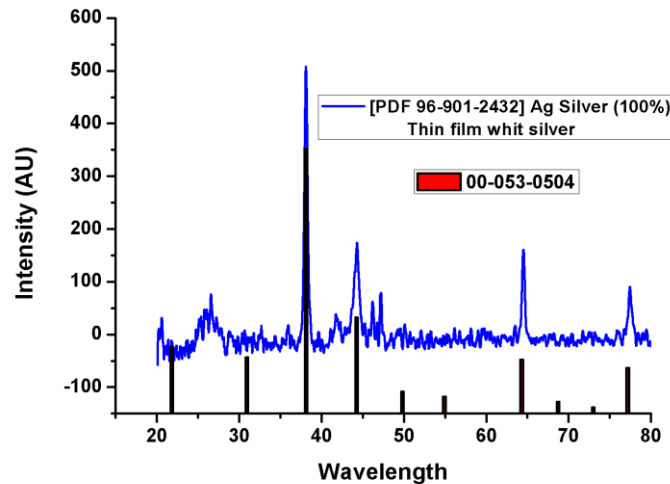


Figura 5.11. Powder Diffraction File 00-052-0504

La indexación de alguna estructura, en este específico caso, de los materiales con recubrimientos de plata y polímeros, se hacen con base de fases cristalinas muy específicas de las moléculas, es decir, cada estructura muestra fases cristalinas diferentes, como huellas dactilares en cada ser humano lo cual es necesario para saber de qué material estamos hablando y cuál es su fase cristalina que lo caracteriza.

Para la indexación del patrón experimental fue utilizado una base de datos con el PFD (Powder Diffraction File) 00-052-0504, con el fin de mostrar los picos que hacen referencia a la intensidad de la composición de la plata dentro del material. En comparación con la placa que tiene el recubrimiento de plata sin tratamiento térmico (Ag), se logró identificar el recubrimiento de  $\text{SiO}_2$  completamente homogeneizado sobre el material, como se muestra a continuación.

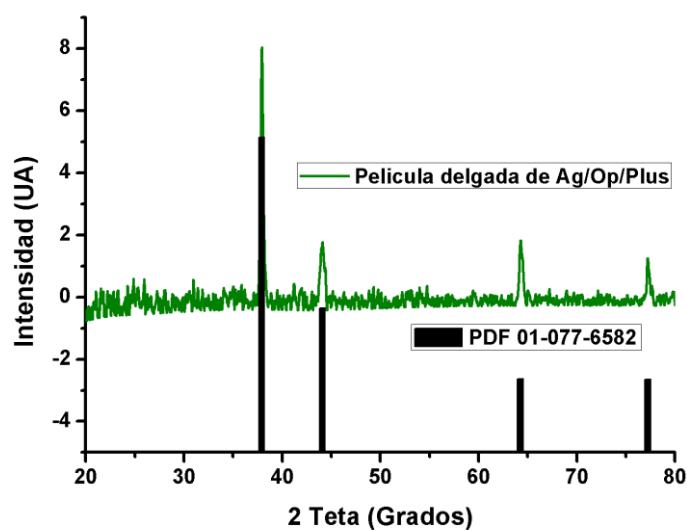


Figura 5.12. Transmitancia AgOpPlus.

Los rayos X mostraron tres picos principalmente alrededor de los 40-80 grados  $\theta$ , esto es debido a los iones característicos de la plata, presentes en el material homogéneo, perfectamente distribuidos.

## Reflectancia

### Ag

Se utilizó la primera muestra con depósito de Ag, y se midió en el rango de 200-800 nm, con el fin de ver si la capacidad de reflejar la luz era buena. Esta muestra tiene menor reflexión con respecto a la capa protectora de SiO<sub>2</sub>.

### Ag/Op

Se impurificó una muestra con depósito de Ag y tratamiento térmico, demostrando que su reflectancia es mayor. La muestra mostró una reflectancia grande en el rango de 300-800 nm, después del proceso de impregnación. La cantidad de reflexión puede medirse con respecto a la longitud de onda específica de cada muestra.

Dicho esto, la medición mostró una reflectividad casi del 100% en el rango de 300-800 nm en comparación de la síntesis sin tratamiento térmico, y mostró picos

más intensos y definidos en comparación de la síntesis anterior en la región infrarrojo del espectro.

#### Ag/Op/Plus

Posteriormente, se analizó la muestra con depósito de Ag, tratamiento térmico, y en esta ocasión impurificada o recubierta con una capa protectora de SiO<sub>2</sub>, con el propósito de incrementar su capacidad de reflexión y ver si el material podía ser más eficiente que los anteriores. Se observó notablemente que esta estructura logro reflejar casi en todo en gran parte del espectro infrarrojo y el visible, solo en algunos partes el ultravioleta, y la reflectividad se mantuvo en un porcentaje por encima del 95%, con respecto a la estructura que originalmente se empleaba para la instalación de espejos solares

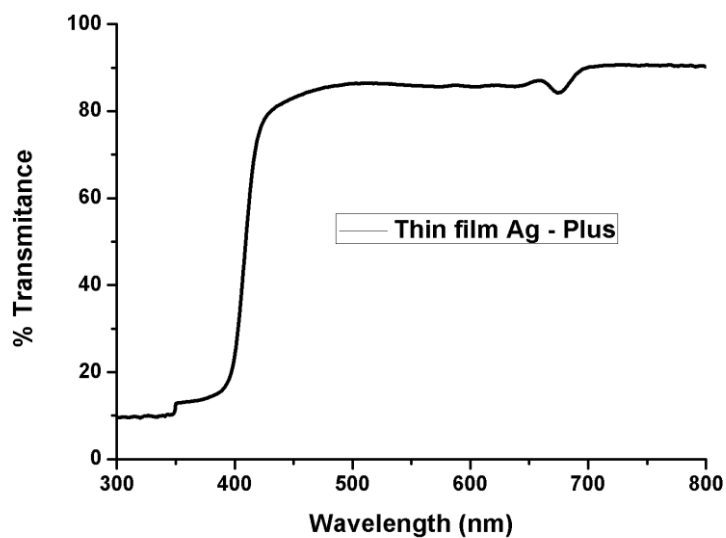


Figura 5.13. Reflectancia AgOpPlus.

### Evaluación electroquímica

Se obtuvieron las curvas de polarización correspondientes a cada uno de los recubrimientos mencionados anteriormente. Para estas, las condiciones de operación son:

Velocidad de barrido de 0.166 mV/s, con una ventana de potencial de 500 mV + - respecto al potencial de circuito abierto y un medio de cloruro de sodio al 3.5 wt. Los electrodos utilizados son de referencia de Ag/AgCl, y un contra electrodo de platino

Los recubrimientos fueron evaluados mediante Espectroscopia Electroquímica de Impedancia (EIS por sus siglas en inglés), donde las condiciones de operación fueron: La frecuencia de 10 kHz a 10 mHz, una amplitud de 10 mV, el medio de exposición fue de cloruro de sodio al 3.5 wt. Se utiliza un electrodo de referencia de Ag/AgCl y contraelectrodo de platino.

Curvas de polarización AgOp

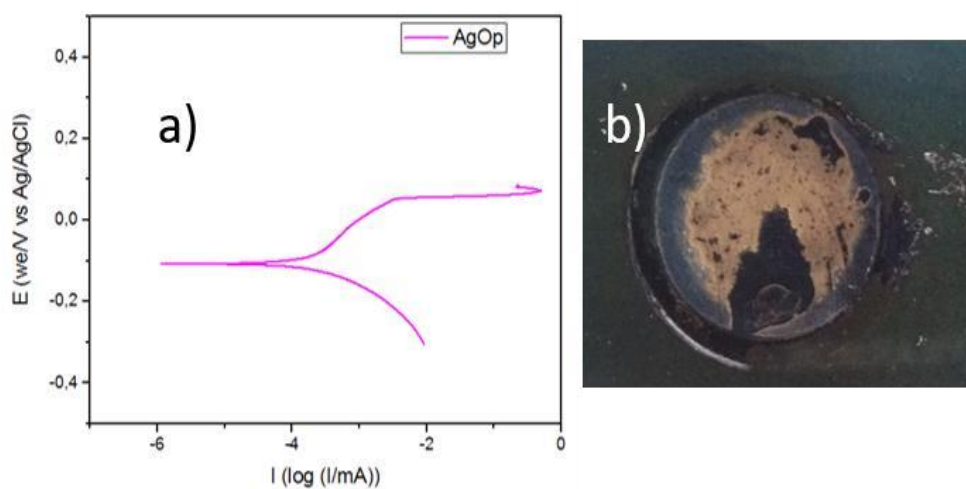


Figura 5.6. a) Curva de polarización para recubrimiento de plata AgOp, b) daño generado después de la prueba.

En la ilustración 5.6, en la curva de polarización se observa que a partir de potenciales mayores a 0.075 m se llevan a cabo los procesos de oxidación del recubrimiento. Para mejorar la precisión de este análisis se hizo un ajuste mediante curvas de Tafel los resultados se muestran en la tabla número 3. Para corroborar la información obtenida a partir de esta técnica se realizó impedancia a la misma muestra.

## Impedancia AgOp

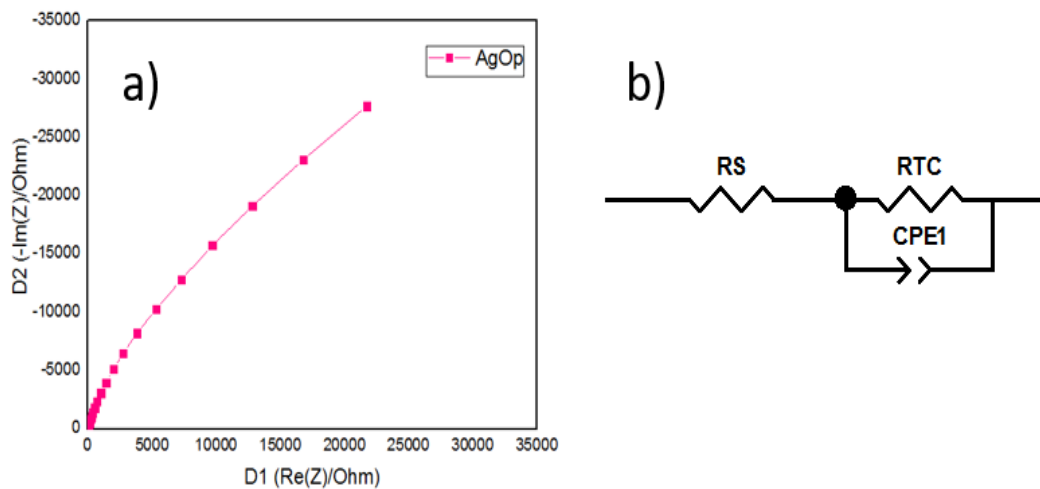


Figura 5.7. a) Espectro de Nyquist para recubrimiento de p lata AgOp, b) circuito equivalente utilizado para el ajuste en una solución de cloruro de sodio.

El diagrama de Nyquist correspondiente a la muestra AgOp (Figura 5.7), presenta 3 componentes eléctricos, dos resistencias y un capacitor. Para el ajuste de estos, fue utilizado el modelo de circuitos equivalentes mostrado en la ilustración 5.7 b).

## Curvas de polarización de AgPlus

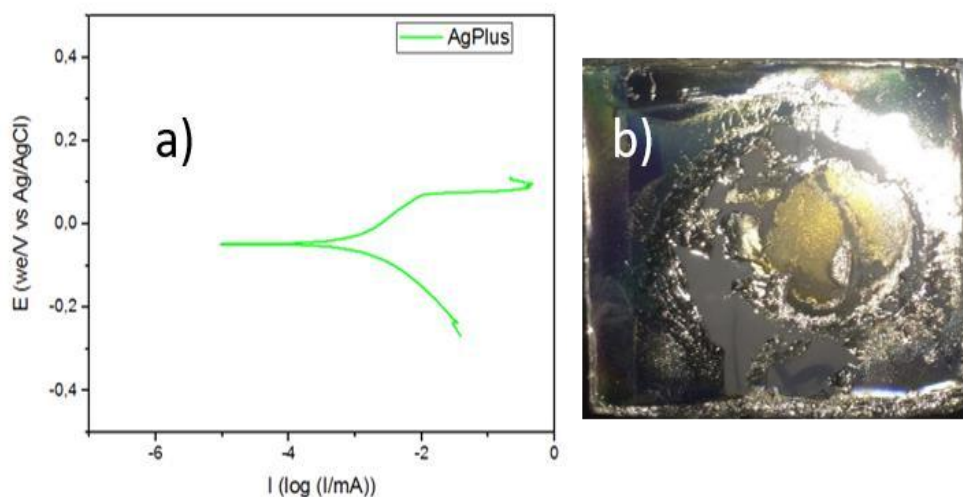


Figura 5.8 a) Curva de polarización para recubrimiento de p lata AgPlus, b) daño g en erado después de la prueba.

La curva de polarización mostrada en la Figura 5.8 a) muestra un comportamiento similar al que se observa en el recubrimiento de plata AgOp;

sin embargo, la pendiente de la rama anódica es menor, lo cual indicaría que este es más resistente. En 5.8 b) se observa el daño generado al depósito después de la prueba, es posible observar una zona con una tonalidad amarilla, lo cual puede indicar la oxidación de la plata a cloruro de plata. Se realizaron pruebas de impedancia para determinar el valor de la resistencia del recubrimiento.

### Impedancia AgPlus

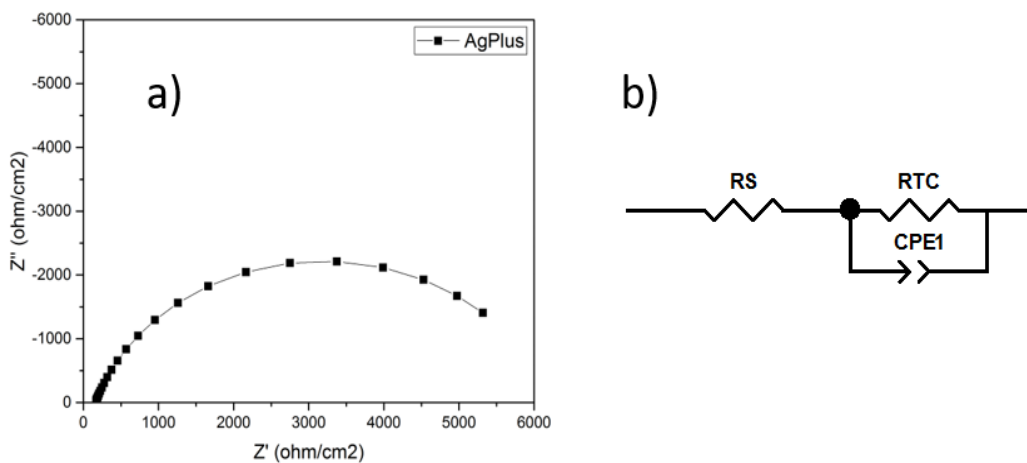


Figura 5.9 a) Espectro de Nyquist para recubrimiento de plata AgPlus, b) circuito equivalente utilizado para el ajuste.

El espectro de Nyquist obtenido del recubrimiento de plata AgPlus muestra un patrón similar al de AgOp, lo cual es de esperarse porque no se observa una tendencia diferente desde la curva de polarización. Se utilizó el mismo modelo de circuito equivalente que el depósito anterior.

### Curvas de polarización AgOpPlus

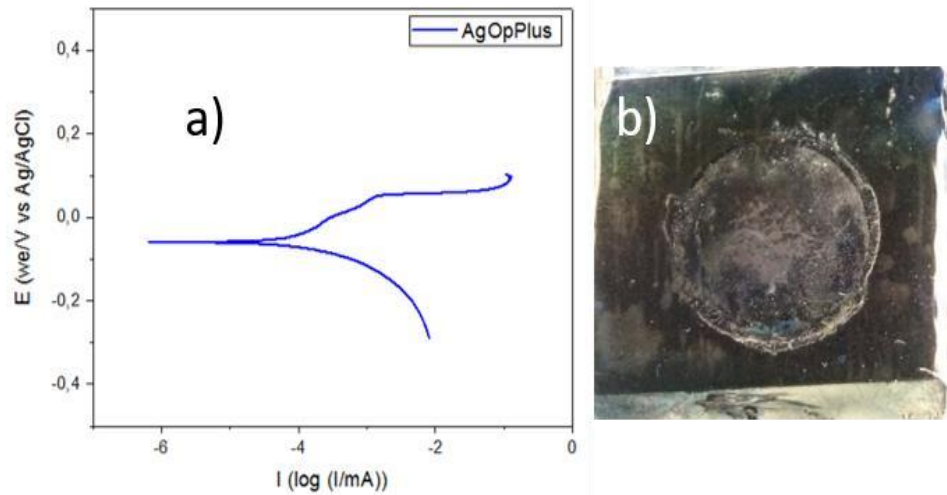


Figura 5.10. a) Curva de polarización para recubrimiento de plata AgOpPlus, b) daño generado después de la prueba.

La curva de polarización del recubrimiento de plata AgOpPlus (Figura 5.10), a diferencia de los otros depósitos se observan dos procesos. Estos podrían estar relacionado con el doble tratamiento que se le ha dado a la muestra; sin embargo, ambos oscilan dentro de las mismas corrientes y potenciales. El daño para esta muestra es menos que las anteriores, esto se puede relacionar con una mejor adherencia del depósito sobre el sustrato.

### Impedancia AgOpPlus

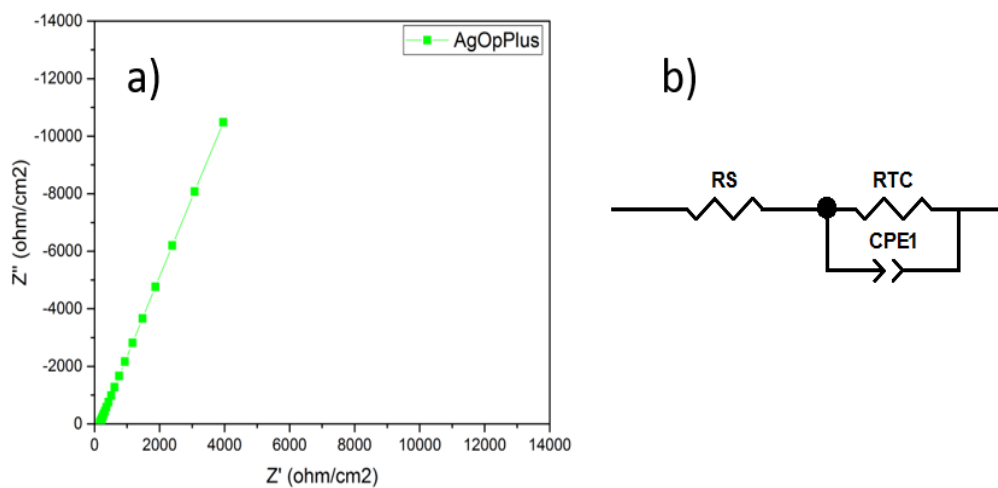


Figura 5.11. a) Espectro de Nyquist para recubrimiento de plata AgOpPlus, b) circuito equivalente utilizado para el ajuste.

De manera similar que para los recubrimientos anteriores se obtuvo el espectro de Nyquist para el recubrimiento de plata AgOpPlus. En este se observa un comportamiento diferente a los anteriores; es decir, valores de resistencia a la transferencia de carga, mayores. En la siguiente tabla se hace un resumen de los valores de corrosión obtenidos para los 3 recubrimientos.

	AgOp	AgPlus	AgOpPlus
<b>I<sub>corr</sub></b> <b>(<math>\mu\text{A}/\text{cm}^2</math>)</b>	0.018	0.126	0.031
<b>E<sub>corr</sub></b> <b>(mV vs Ag/AgCl)</b>	-108.660	-43.898	-61.445
<b>R<sub>p</sub></b> <b>(<math>\Omega\text{cm}^2</math>)</b>	19149	6066	17586
<b>V<sub>corr</sub></b> <b>(mmpy)</b>	29.941e-6	0.210 027e-3	51.565 1e-6

*Tabla 3. Valores de corrosión obtenidos a partir de curvas de polarización e impedancia.*

Con la tabla es posible concluir que los 3 recubrimientos presentan potenciales de circuito abierto ( $E_{\text{corr}}$ ) sin diferencias significativas; sin embargo, la corriente si varia en un orden de magnitud siendo la menor para AgOp. Se determinó la velocidad de corrosión donde el que presentó la más baja fue para el depósito de plata AgOp esta información concuerda con los valores obtenidos por impedancia, donde la resistencia mayor fue para el AgOp.

A partir de la información anterior se puede proponer este recubrimiento para aplicaciones industriales, por lo que en el siguiente apartado se abordará sobre el tema de comercialización.



## **Cámara de Niebla Salina**

Las muestras fueron llevadas a pruebas en cámara de nieblas salina bajo la norma ASTM B111 durante 250 horas, y se manejaron las siguientes condiciones de operación:

La solución de prueba se realizó con: NaCl grado analítico y H<sub>2</sub>O tipo IV, gravedad específica (25°C): 1.034, pH de la solución de 6.82 y temperatura de prueba a 34.85°C.

El reporte obtenido se muestra en la tabla 4, donde se observa que la muestra de un espejo con una capa protectora de pintura acrílica, tiene una mayor resistencia bajo pruebas en cámara de niebla salina, que los espejos que se han sometido al depósito de SiO<sub>2</sub> por plasma.






Muestras	Tiempo de prueba	Sin defecto	Más de 96 h	72 h	48 h	24 h
	AgOp					✓
	AgPlus				✓	
	AgOpPlus				✓	
	PlusAgPlus					✓
	Pintura		✓			

Tabla 4. Informe de resultados para pruebas en cámara de niebla salina.

## Conclusiones

La caracterización de los espejos solares propuestos en este proyecto, fue ejecutada a recubrimientos de plata a partir de la elaboración de soluciones (oxidante y reductor) patentadas, sobre polímero de policarbonato de una dimensión de 1.22 m x 1.22 m por 1.594 mm de espesor, por la técnica DCP (16 capas con espesor de 100 a 110 nm). Esto, aplicado por medio de una estación de spray marca JetMetal® Technologies. Éstos fueron modificados por plasma SiO<sub>2</sub>, plasma Openair, el equipo utilizado para el tratamiento fue un Openair® Plasma PAD10 y PlasmaPlus®.

A partir de los resultados anteriores es posible concluir que el aplicar el depósito de plasma se mejoran las propiedades anticorrosivas de los recubrimientos, aunque no en un nivel significativo. El que presenta mejores resultados, es el recubrimiento que no tiene dióxido de silicio, esto indica que la velocidad de corrosión se reduce con el tratamiento Openair.

Por otro lado, las pruebas de adherencia indican que el recubrimiento de SiO<sub>2</sub> (Ag/Op/Plus), con el previo tratamiento térmico, presenta un desprendimiento mínimo por lo que esta mejora significativamente.

Los resultados obtenidos por curvas de polarización, se pueden corroborar a partir de impedancia, donde se observa la misma tendencia de los recubrimientos en las diferentes muestras. Es decir, que la muestra Ag/Plus muestra una velocidad de corrosión menor en comparación con la muestra Ag/Op y Ag/Op/Plus. Con base en este resultado, se inician investigaciones futuras para analizar el impacto de un tratamiento térmico aplicado en el proceso de fabricación de los espejos solares.

# **CAPITULO 6. DESARROLLO COMERCIAL**



*Figura 6.1. Estructura de propuesta final para espejos solares.*

En la ilustración 6.1 se muestra la estructura final para la producción de espejos solares con AgOp por plasma, dos con una capa protectora de SiO<sub>2</sub> por plasma, y los tres restantes una capa protectora de pintura.

Considerando la capa protectora de AgOp con aplicación por plasma, se espera que esta quede en la parte superior, expuesta al sol.

## **Sistema TRL**

### **Nivel 4**

Nivel relativo de la tecnología. Desarrollo tecnológico

Definición. Validación de componentes o sistema en un ambiente de laboratorio

Descripción concepto industrial. Los componentes básicos están integrados, estableciendo que funcionarán en conjunto. Las etapas del 4 al 6 representan el puente de la investigación científica a la ingeniería. Este nivel es el primero para determinar si los componentes individuales trabajarán juntos como un sistema. Un sistema de laboratorio muy probablemente será una mezcla de equipo manual y componentes que requieran manejo especial, calibración o alineación para que funcionen en conjunto.

Descripción concepto de negocio. Los componentes de la tecnología han sido identificados. Una unidad de desarrollo de prototipo ha sido construida en el laboratorio y en un entorno controlado. Las operaciones han proporcionado datos para identificar el potencial de ampliación y cuestiones operativas. Las medidas validan las predicciones analíticas de los distintos elementos de la

tecnología. Se ha validado la simulación de los procesos Se han desarrollado evaluaciones del ciclo de vida preliminares y modelos de evaluación económica

Esfuerzos de negocio. Diseño de producto

## **Nivel 5**

Nivel relativo de la tecnología. Desarrollo tecnológico

Definición. Componentes integrados a manera que la configuración del sistema sea similar a su aplicación final. Su operatividad es aún a nivel laboratorio.

Descripción concepto industrial. Los componentes tecnológicos básicos son integrados a manera de que la configuración del sistema sea similar a una aplicación final en casi todas sus características. Se dan pruebas a escala en laboratorio y un sistema operativo condicionado. La diferencia mayor entre el nivel 4 y 5 es el incremento en la fidelidad del sistema y su ambiente hacia la aplicación final. El sistema probado es casi prototipo [17].

Descripción concepto de negocio. La tecnología se ha validado a través de pruebas en el entorno previsto, simulada o real. El nuevo hardware está listo para comenzarse a usar; se refina el modelado de los procesos (técnica y económicamente). Se han validado evaluaciones del ciclo de vida y modelos de evaluación económica. Cuando sea relevante para su posterior ampliación, se han identificado los siguientes conceptos; salud y seguridad, limitaciones ambientales, regulatorios y de disponibilidad de recursos.

Esfuerzos de negocio. Desarrollo de prototipo comercial.

## **Modelo de negocios CANVAS**

El modelo de negocios CANVAS tiene su origen en 2010. Es un esquema de 9 bloques el cual consiste en esquematizar cada uno de los elementos que necesita un empresario/emprendedor para la apertura de una empresa.

Utilidad del modelo CANVAS. Es indispensable identificar y visualizar los elementos que se necesitan para la creación y comienzo de una empresa y la relación que hay entre ellos, principalmente en la gestión de los recursos económicos. [24].

La tabla 6.2 define los nueve puntos clave para el desarrollo de comercial de una nueva tecnología, iniciando con una propuesta de valor y continuando por estrategia, con un segmento de clientes definidos, determinando así los alcances que el negocio puede alcanzar y considerando además las necesidades a las que se enfrentará según los mismos.

Los canales y la relación establecida con el cliente, permiten limitar la dirección con la que el producto se integrará al mercado industrial, evitando al mismo tiempo, la pérdida de recursos clave que se definen en el punto 6.

Continuando con el desarrollo del producto para llevarlo a su comercialización, lo socios y las actividades clave nos permiten determinar el punto 5 y 9, ya que con base a esta interconexión y adquisición de socios, y con la ejecución de actividades específicas, se lleva el desarrollo comercial del producto a un escenario real y aplicable a la demanda actual.

**PROYECTO: Automatización de Proceso de Fabricación de Espejos por Aerosol sobre Policarbonato para Concentración Solar.**

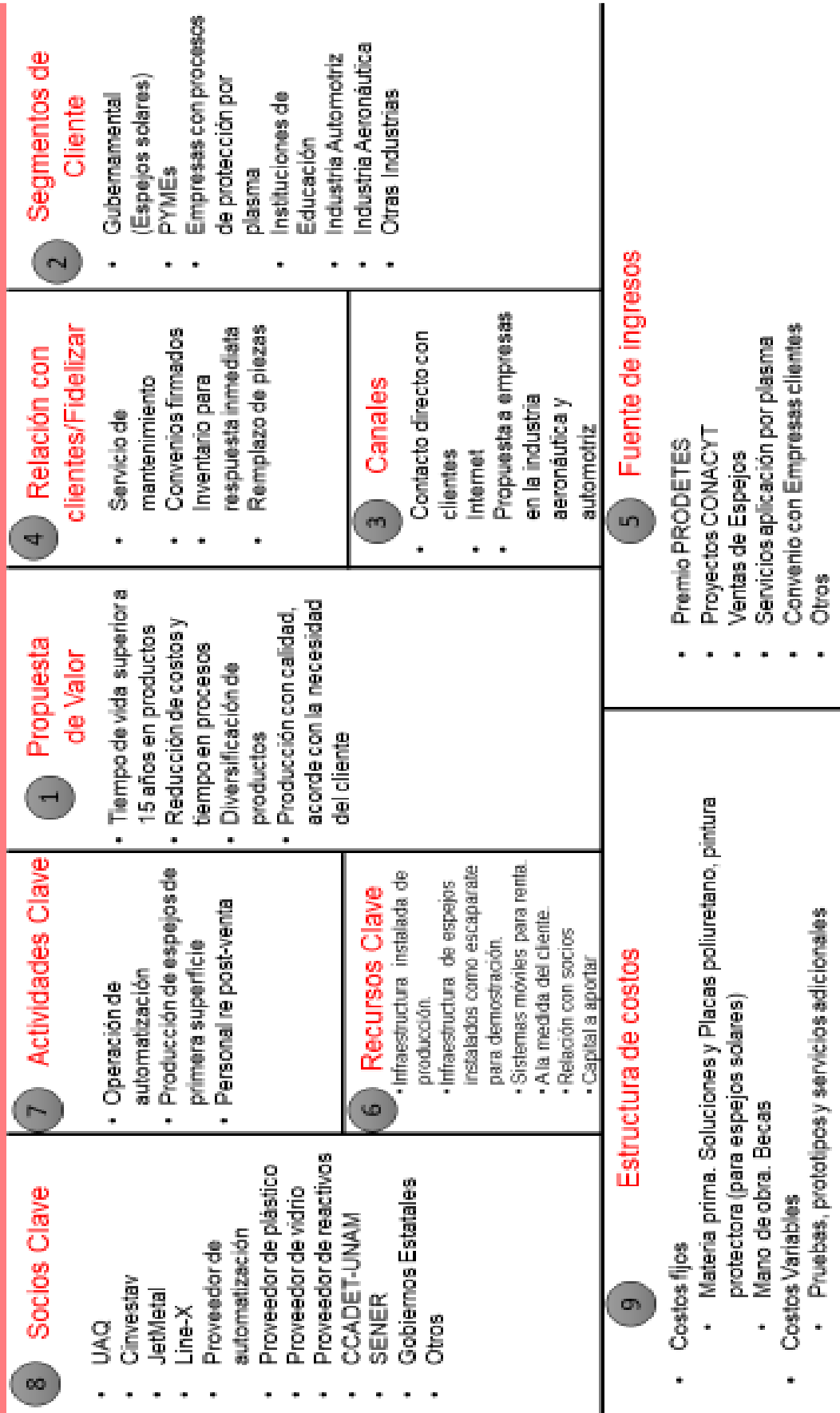


Figura 6.2. CANVAS Proceso de fabricación de espejos solares.



## Evaluación de negocio

### Costos

Se muestra en la tabla 1 la comparación de eficiencia de reflectancia por tipo de metal comúnmente utilizado en la elaboración de espejos solares. Con esta información se determina el metal de mayor ventaja competitiva sobre los demás, pero se continua la investigación para reducir los costos de instalación en dólares por kWh actuales de espejos cilíndrico-parabólicos y de torre central que se muestran en la tabla 2. Además, deben considerarse los gastos de operación y mantenimiento que representan 0.02 – 0.035 US/kWh, dando un costo estimado actual de 196/m<sup>2</sup> – 237 USD/m<sup>2</sup> [25]

Metal	Reflectancia promedio	Costo por m2 (USD)
Plata	97.7	\$14
Aluminio	91.9	\$10
Cobre	86.9	\$43.2 - \$64.8

Tabla 5. Reflectancia promedio de metales usados en fabricación de espejos solares.

Costos de Instalación (USD/kWh)	
Cilíndrico -Parabólico	
Sin almacenamiento	\$4 600
6 hrs de almacenamiento	\$7 100 – \$9 800
Torre Central	
6 – 7.5 hrs	\$6 300 – \$7 500
12 – 15 hrs	\$9 000 – \$10 500

Tabla 6. Costos de instalación en dólares por kWh de espejos solares [26].

Costos Instalación sistema tipo torre central						
Etapa	Costo Estimado		Costo Reportado	Desglose		
	USD	Pesos				
Proceso de Producción	140	\$ 2,730.00	\$5,730.00	Metalizado		\$ 2,730.00
				Protección		\$ 3,000.00
Instalación (Heliostato)	4600	\$ 89,700.00	\$73,000.00	M.P	\$ 3,437.50	\$ 55,000.00
				M.O	\$ 62.50	\$ 1,000.00
				Cimentación	\$ 1,062.50	\$ 17,000.00
Mtto./ m2	196	\$ 3,822.00	-	Limpieza		
	237	\$ 4,621.50				
<b>TOTAL</b>		\$100,873.50	\$78,730.00		\$4,562.50	\$ 78,730.00
* Tipo de cambio	USD					
	\$ \$ 19.50					

Tabla 7. Costos estimados de instalación en sistema tipo torre central CIDETEQ.

Los costos reportados en la tabla 7, son el resultado del análisis comercial desarrollado en este proyecto. Con esto identificamos que la tecnología tipo torre central, frente a la tecnología cilindro parabólica y/o disco Stirling, representan una ventaja competitiva sobre los costos finales ya que disminuyen considerablemente respecto a los heliostatos (espejos solares) los cuales, la capacidad de almacenamiento térmico y la eficiencia alcanzada.

# CONCLUSIÓN GENERAL

## CONCLUSIÓN GENERAL

El proceso de producción de espejos solares se lleva a cabo en la actualidad mediante la integración de tecnologías innovadoras que permiten la reducción de costos y el aumento de eficiencia en los productos finales.

Al hacer un análisis de los tipos de espejos solares fabricados actualmente y la reflectancia que muestran, se encontró entre los más comunes al cobre con 86.9%, aluminio con 91.9% y plata con 97.7%, siendo esta última la de mayor porcentaje en reflectancia promedio.

A partir de esto se trabajó con la producción de espejos policarbonato/Ag/pintura acrílica. En el presente trabajo se tomó como propuesta de mejora, la sustitución de pintura acrílica por  $\text{SiO}_2$  por plasma, donde se encontró que este tratamiento tiene un alto grado de seguridad en el proceso, de rentabilidad, de activación sobre el sustrato, una amplia ventana de proceso de fabricación y además, es ecológico.

Después del recubrimiento del  $\text{SiO}_2$  por plasma, se determinó que la reflectancia del espejo se encuentra con un 95%, por lo que se cumplió con el índice esperado.

A partir de los resultados obtenidos en la evaluación electroquímica, es posible concluir que el aplicar el depósito de  $\text{SiO}_2$  con aplicación por plasma no mejora significativamente las propiedades anticorrosivas de los recubrimientos. El que presenta mejores resultados, es el recubrimiento que tiene  $\text{SiO}_2$ , ya que la velocidad de corrosión se reduce con el tratamiento térmico Openair. Los resultados obtenidos por curvas de polarización, se pueden corroborar a partir de impedancia, donde se observa la misma tendencia de los recubrimientos.

De acuerdo a estos resultados obtenidos, es posible concluir que de los tres recubrimientos analizados, el que presenta una velocidad de corrosión menor en mm por año es el correspondiente a Ag/Op/Plus. Por lo anterior, sabemos que para obtener una calidad mayor en la protección de la capa reflectiva de plata con la propuesta presentada, es necesario tratar el depósito de plata con un tratamiento térmico previo a la aplicación de  $\text{SiO}_2$  por recubrimiento con APPJ.

En cuanto al desarrollo comercial, se desarrollaron prototipos con el sistema de arquitectura propuesto. Sin embargo, y gracias al desarrollo del proyecto junto con la Secretaría de Energía (SENER), el proyecto tomó un giro comercial enfocado en servicios. Estos, representan una ventaja competitiva dirigida hacia el uso de recubrimientos de SiO<sub>2</sub> aplicado por plasma, donde su aplicación se direcciona principalmente hacia las grandes industrias con procesos enfocados a la protección de recubrimientos por plasma, y automotriz. Sin embargo, este nuevo proceso tecnológico se encuentra en un nivel TRL 4 y 5, de validación.

La actividad económica incluye el asesoramiento académico del personal sin intercambiar información confidencial, entre las sociedades participantes. La rentabilidad del proyecto se genera a través de cadenas de valor establecidas con pequeñas, medianas y grandes empresas, anexo a las investigaciones previas que se desarrollan en colaboración con instituciones vinculadas al proyecto.

## PERSPECTIVAS

1. Se continúa con investigación para encontrar, en la estructura del espejo, soluciones y materiales óptimos tecnológica y económicamente, para el desarrollo de un concentrador solar de 1<sup>ra</sup> superficie.
2. Con beneficio del premio PRODETES para el proyecto P18: “Materiales selectivos y reflejantes para sistema de conversión de energía solar en energía térmica”, se desarrolla la propuesta de automatización para la línea de producción de espejos con base polimérica/Ag/Plasma.
3. Presentación de patente ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] ProMéxico, «Energías Renovables,» Secretaría de Economía, México, 2015.
- [2] Agency, International Energy, «Renewables 2017,» 15 Octubre 2017. [En línea]. Available: [www.iea.org/publications](http://www.iea.org/publications). [Último acceso: 5 Noviembre 2017].
- [3] C. A. E. Gasca, «Sistemas de Concentración Solar para la Generación Eléctrica,» Universidad Nacional Autónoma de México, Estado de México, 2016.
- [4] S. d. Energía, Reforma Energética, Mexico, 2013.
- [5] Servicio Meteorológico Nacional, «Servicio Meteorológico Nacional,» 10 Febrero 2017. [En línea]. Available: <http://smn.cna.gob.mx/es/>. [Último acceso: 5 Noviembre 2017].
- [6] C. A. E. G. y. J. I. Samperio, Energías Alternas: Propuesta de Investigación y Desarrollo Tecnológico para México, México, D.F: Casa Tlalpan, 2010.
- [7] CEMAER, «Centro de Estudios en Medio Ambiente y Energías Renovables,» Enero 2017. [En línea]. Available: <http://www.cemaer.org/energia-solar-en-mexico/>.
- [8] C. P. VELASCO, «DISEÑO DE CAPTADOR SOLAR CILÍNDRICO PARABÓLICO PARA APLICACIONES RURALES EN PARAGUAY,» de *Física Aplicada a los Recursos Naturales* , Paraguay, 2012, p. 56.
- [9] E. Saettone, «DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y UTILIZACIÓN DE UN CONCENTRADOR SOLAR TIPO FRESNEL LINEAL PARA DESALINIZACIÓN,» de *Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente*, Lima, IDIC, 2012.
- [10] M. G. Muñoz, *Recubrimientos multicapas de tipo orgánico/metal/cerámica*, Querétaro: Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica S.C , 2016.
- [11] P. Mulás, «,» de *UNA VISIÓN AL 2030 DE LA UTILIZACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO*, Mexico, Universidad Autónoma Metropolitana , 2005.
- [12] Vázquez-Valerdi, «Propiedades ópticas, de composición y morfológicas de películas delgadas de SiOx,» *Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales*, pp. 54-60, 2011.

- [13] Plasmamatreat, «Plasmamatreat Latinoamérica,» 20 Enero 2017. [En línea]. Available: [http://www.plasmamatreat.es/tecnologia\\_del\\_plasma/que\\_es\\_el\\_plasma.html](http://www.plasmamatreat.es/tecnologia_del_plasma/que_es_el_plasma.html).
- [14] Plasmamatreat, «Plasmamatreat GmbH,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.plasmamatreat.es>. [Último acceso: 19 Agosto 2017].
- [15] P. technology, «Nature as a Role Model,» Plasmamatreat, Canadá, 2017.
- [16] I. M. d. N. y. C. A.C., «Gestión de la Tecnología- Proyectos,» IMNC , Mexico, 2008.
- [17] D. d. C. d. T. d. CONACYT, «Fondo de Innovación Tecnológica,» 16 Febrero 2015. [En línea]. Available: <http://conacyt.gob.mx/index.php/el-conacyt/>.
- [18] H. M. Medécigo, *CONSTRUCCIÓN DE HELIOSTATOS PARA UN CAMPO*, Querétaro, Querétaro: Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica S.C, 2016.
- [19] C. & S. E. Finance, «Global Trends in Renewable Energy Investment 2017,» Frankfurt, 2017.
- [20] Sitiosolar, «Sitiosolar,» Octubre 2016. [En línea]. Available: [sitiosolar.com](http://sitiosolar.com). [Último acceso: 15 Octubre 2017].
- [21] G. energy, «First Long Term Auction,» GALOenergy colsuming, Mexico, 2016.
- [22] D. W. D. Skoog, « Analisis Instrumental,» Mc Graw Gill, Madrid, 2001.
- [23] D. A. B. R. y. M. e. C. A. d. J. G. Mendoza, Principios de electroquímica, Mexico: UNAM, 2011.
- [24] M. B. Fabrea, «MiriadaX,» 16 Septiembre 2016. [En línea]. Available: <https://miriadax.net/web/innotools-transforma-tu-idea-de-negocio-5-edicion-/inicio?timestamp=>.
- [25] I. R. E. A. IRENA, «Concentrating Solar Power,» *Irena Working P. Per*, p. 42, 2012.
- [26] CeMIE-Sol, «Entregables Precisos,» CeMIEsol, Mexico, 2016.
- [27] D. C. Mongomory, Diseño y Análisis de experimentos, Arizona: Limusa Wiley, 2004.
- [28] S. F. y. consultoria, Contabilidad básica - Manual, México: Larousse Editorial SA, 2010.



- [29] I. M. d. I. P. I. IMPI, «Acciones y Programas,» 28 Enero 2017. [En línea]. Available: <http://www.gob.mx/impi>.
- [30] *Ley de la Propiedad Industrial*, México: DOF 01-06-2016, 2016.
- [31] I. N. d. T. I. INTI, «Proceso del Diseño. Fases para el desarrollo de productos,» Boletín Informativo , Buenos Aires, Argentina, 2009.