

152
zej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

ELABORACION DE ESPEJOS DE PRIMERA
SUPERFICIE Y SU PRUEBA POR MEDIO DE UNA
CAMARA DE INTEMPERISMO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :

RENE MAURICIO SORIANO GONZALEZ



MEXICO, D. F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1993



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

RESUMEN

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1.- INTRODUCCION | 1 |
| 2.- GENERACION DE ESPEJOS | 12 |
| 2.1 TIPOS DE VIDRIO | 14 |
| 2.2 ATAQUE CON HF | 16 |
| 2.3 LIMPIEZA ULTRASONICA | 17 |
| 2.4 LIMPIEZA CON MEZCLA CROMICA | 18 |
| 2.5 LIMPIEZA CON OXIDO DE CERIO (CERIOL) | 19 |
| 2.6 LIMPIEZA POR DESCARGA LUMINOSA (OZONIZACION) | 19 |
| 2.7 DESARROLLO EXPERIMENTAL DE ESPEJOS | 20 |
| 2.7.1 CAMARA DE EVAPORACION | 21 |
| 2.7.2 EVAPORACION DE ALUMINIO | 21 |
| 2.7.3 EVAPORACION DE SiO ₂ | 21 |
| 3.- DESCRIPCION DE LA CAMARA DE INTEMPERISMO | 28 |
| 3.1 FUNDAMENTOS | 29 |
| 3.1.1 DEGRADACION DE LOS ESPEJOS | 31 |
| 3.1.2 PRIMERAS PRUEBAS DE INTEMPERIZACION | 31 |
| 3.2 PRUEBAS EN LA CAMARA DE INTEMPERISMO | 33 |
| 3.3 CALCULO DE LAS CONDICIONES NECESARIAS PARA LA CAMARA DE INTEMPERISMO | 35 |
| 3.4 CARACTERISTICAS DE LOS EQUIPOS | 39 |

| | |
|--------------------------------------------------------------|------------|
| 4.- SELECCION DE PRUEBAS EN LA CAMARA DE INTEMPERISMO | 48 |
| 5.- METODOS DE DETECCION DE DEGRADACION | 51 |
| 5.1 FOTOGRAFIA DE CAMPO OSCURO | 52 |
| 5.2 FOTOGRAFIA DE CAMPO CLARO | 52 |
| 5.3 REFLEJANCIA SOLAR ESPECULAR | 55 |
| 5.3.1 FUNDAMENTOS DE REFLEJANCIA | 56 |
| 5.3.2 REFLEJANCIA HEMISFERICA ESPECTRAL | 58 |
| 5.4 DISPERSION DE RUTHERFORD | 62 |
| 6.- DESARROLLO EXPERIMENTAL | 64 |
| 6.1 ESPEJOS FABRICADOS | 64 |
| 7.- RESULTADOS | 69 |
| 7.1 INSPECCION FISICA | 69 |
| 7.2 MEDIDAS DE REFLEJANCIAS | 76 |
| 8.- CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS | 94 |
| 9.- DEFINICIONES. | 103 |
| REFERENCIAS | 104 |

RESUMEN

Se elaboraron espejos de primera superficie para uso en energía solar con película reflectora de aluminio, utilizando como sustrato vidrio con bajo contenido de óxido de hierro y en algunos casos vidrio flotado.

Se probaron diferentes técnicas de limpieza para el sustrato las cuales incluyen: Limpieza ultrasónica, Limpieza con Mezcla Crómica, $\text{HF}(\text{H}_2\text{O})$ y Oxido de Cerio (Ceriul), estas técnicas eliminan cualquier residuo de grasa y en el caso del $\text{HF}(\text{H}_2\text{O})$, éste, forma una superficie cavernosa en el sustrato, la cual asegura la adhesión del aluminio sobre el mismo. La efectividad de cualquiera de estos métodos de limpieza se comprobó exponiendo a los espejos a ciclos térmicos y húmedos en una cámara de intemperismo, ya que se acelera el proceso de deterioro o desprendimiento de la película metálica del espejo, reduciendo el tiempo de exposición al medio ambiente que antes era de uno o dos años a solo dos o tres meses.

La exposición de los espejos en la cámara de intemperismo, se dividió en tres fases: En la fase I y II se probaron altas temperaturas y alta humedad relativa, (50°C y 80% HR), bajo estas condiciones, la película metálica se deterioró considerablemente. En la fase III se utilizó un valor de temperatura cercano a los que se encuentran en la zona Norte del país, 55°C , ya que en los estados de Baja California Norte y Sur, Sonora y Chihuahua el sistema Meteorológico Nacional reporta los valores mas altos de temperatura en comparación con los demas estados, tomando como base un periodo de 60 años, la humedad relativa en esta fase comprendió valores cercanos a 45%. En ésta etapa se incluyen espejos con y sin película protectora de óxido de silicio y con un valor de reflejancias promedio para todos ellos.

Se probó la efectividad de una película protectora de óxido de silicio de muy bajo espesor, depositada sobre la película metálica, la cuál funciona como barrera impermeable al paso de humedad y disminuye el proceso de desprendimiento de la película metálica.

Los métodos de monitoreo del desprendimiento o deterioro de la película reflejante, fueron: medición de reflejancia y fotografías al microscopio con un aumento de 100X.

Al finalizar las fases de intemperización se concluyó que la película de óxido de silicio ofrece una protección superior a la película de aluminio pero reduce la reflejancia promedio del espejo. Las técnicas de limpieza del sustrato en las cuales los espejos con o sin óxido de silicio mostraron mayor duración fueron: Mezcla crómica y Limpieza Ultrasónica.

1. INTRODUCCION

Este trabajo tiene como objetivo principal desarrollar una técnica de limpieza para la elaboración de espejos de primera superficie de aluminio; siendo complemento de una serie de proyectos que se han realizado en el Instituto de Ingeniería [1,2,3,4,5].

Las técnicas de preparación del sustrato se basan en la limpieza de la superficie del vidrio para lograr una buena adherencia de la película reflejante que se deposita sobre éste. Este aspecto es determinante para la durabilidad del espejo y principalmente de la película reflejante, pues ésta puede ser seriamente dañada por varios factores atmosféricos como polvo, agua, altas temperaturas, etc., y acorta el tiempo de operación de los espejos en los concentradores solares.

La calidad de los espejos que se desean obtener tiene que ser adecuada para soportar las condiciones meteorológicas máximas (temperatura y humedad), una vez que se encuentren colocados en las regiones geográficas del país que así lo demanden.

Una de las fuentes de energía más seguras y económicas hasta cierto punto, es la energía solar.

El uso de esta energía se ha aumentado por la reducción de reservas de hidrocarburos en el mundo, una estimación preveo que esta reserva es únicamente para algunas decenas de años y su consumo lleva un ritmo alarmante mientras que los nuevos yacimientos son difíciles de encontrar. Esto fuerza a la investigación de nuevas tecnologías para eliminar en lo posible el uso de hidrocarburos en plantas generadoras de energía eléctrica y destinarlos a usos más específicos disminuyendo también, el creciente aumento de la contaminación.

Uno de los inconvenientes del uso de la energía solar para la generación de energía eléctrica, es que no puede ser instalada en todo el país sino sólo en zonas de alta insolación como es el caso de la zona norte ya que es la región que cuenta con mayor incidencia solar por días y horas, esto hace pensar en la posibilidad de instalar una planta de este tipo en esa región. (fig. 1).

El desarrollo de una planta solar generadora de energía eléctrica y basada en concentradores tipo canal parabólico, torre central rodeada de helióstatos y paraboloïdes de revolución -entre otros- presenta la dificultad de construir espejos con un tiempo de vida muy amplio.

Por esto, en el Instituto de Ingeniería se han experimentado algunas técnicas para limpiar el sustrato [2], y una vez fabricado el espejo se han expuesto al medio ambiente para observar la duración de la película reflejante.

Como esta exposición se llevaba mucho tiempo en aportar resultados significativos sobre la degradación de la película de aluminio, y además las condiciones atmosféricas no son representativas de las existentes en la zona norte del país, se propuso la terminación y puesta en marcha de una cámara de intemperismo (envejecimiento acelerado) para probar la técnica de limpieza y fabricación de los espejos [6].

Esta cámara permitirá el desarrollo de pruebas de intemperización de espejos que reduce el tiempo de exposición al medio ambiente que iba de 1 ó 2 años a solamente 2 ó 3 meses, con lo que se espera aparezcan cambios significativos en el espejo.

Una ventaja de simular los fenómenos naturales por medio de una exposición en la cámara es el medio ambiente severo que crea la cámara y que permite un entendimiento básico de los mecanismos de degradación.

La cámara de intemperismo opera principalmente con las variables más importantes para las pruebas de deterioro de espejo según "MATM" (Matrix Approach for Testing Mirrors) [7], ya que no existen los estándares de ASTM.

El diseño estático de pruebas matriz (MATM), fué formulado para proveer un sistemático acercamiento al desarrollo de espejos confiables.

Por otra parte "MATM" identifica a siete agentes atmosféricos que contribuyen a la degradación de los espejos y que se manejan en esta cámara. También se harán pruebas para identificar cual de estos agentes proporcionan una mayor consistencia y reproductividad de la degradación en una escala aceptable de tiempo.

Los parámetros con los que más se afectan los materiales durante las pruebas y que se deben introducir en la cámara de intemperismo son:

- Temperatura
- Humedad
- Ciclos térmicos, (incluyendo congelación-deshielo)
- Radiación solar ultravioleta
- Contaminantes ambientales

Además se recomienda que las muestras se sometan a esfuerzos mecánicos. Estos parámetros aplicados en ciertas combinaciones se usarán para probar los espejos y observar su deterioro.

El entendimiento básico de los mecanismos de degradación proporcionará el conocimiento sobre qué procedimientos de elaboración y técnicas de limpieza en la fabricación de espejos solares será el más apropiado.

Se considera que la limpieza del sustrato es uno de los factores importantes en la vida del espejo, por lo tanto, se presentarán técnicas de preparación de sustratos, características particulares de la cámara de intemperismo, resultados de los espejos sometidos a la cámara y formas de mejorar la preparación del sustrato.

Tecnología Internacional

En la última década se han realizado avances importantes en la generación de electricidad utilizando plantas solares térmicas con concentradores tipo canal parabólico, y otros tipos de concentradores que se encuentran en desarrollo como la torre central rodeada de helióstatos (fig. 2) y los paraboloides de revolución (fig. 3).

Los principales países interesados en la generación de electricidad por medio de la energía solar son E.U.A., Israel y la Comunidad Económica Europea, en los que el costo por watt eléctrico instalado ha llegado a disminuirse hasta aproximadamente 2.7 dólares/watt [8].

En México, los costos por watt eléctrico aún no se tiene bien estimados ya que se tendrían que hacer fuertes inversiones por ser un país con poco avance tecnológico en el uso de energía solar.

En la actualidad, la planta solar mas grande del mundo esta en Mojave con mas de dos millones de metros cuadrados de espejos (fig. 4).

Tecnología Nacional

En el Instituto de Ingeniería de la UNAM, se han desarrollado plantas solares térmicas desde 1977.

PLANTA SOLAR DE 10 Kw

Durante 1980 se inició el diseño y construcción de una planta solar de 10 Kw. Consta de 16 módulos con concentradores tipo canal parabólico. Cada módulo tiene una longitud de 14m y la apertura de la parábola es de 2.5m con una distancia focal de 0.625m, la razón de concentración es de 25:1.

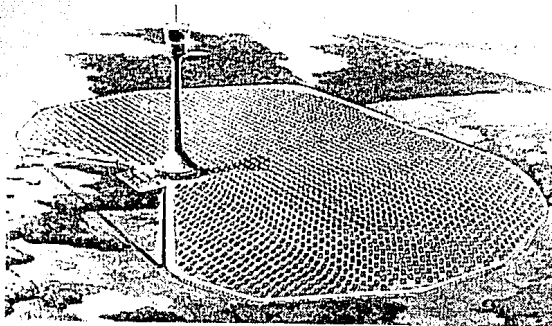


Fig. 2. Torre Central Rodeada de Helióstatos (En proyecto), Germano - Español.

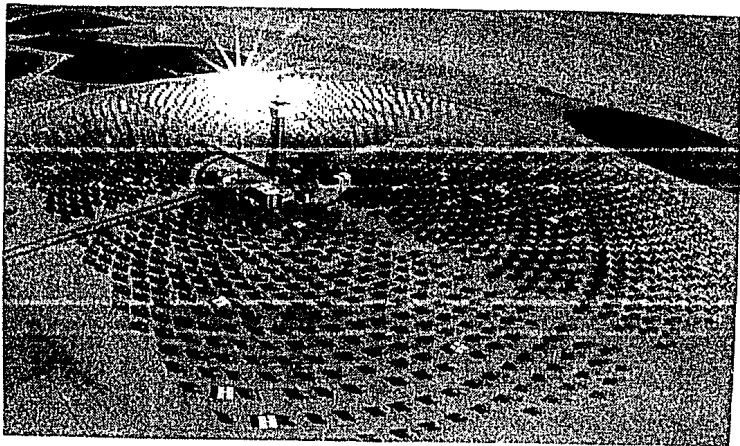


Fig. 2a. Torre Central Rodeada de Helióstatos. Barstow, E.U.A.

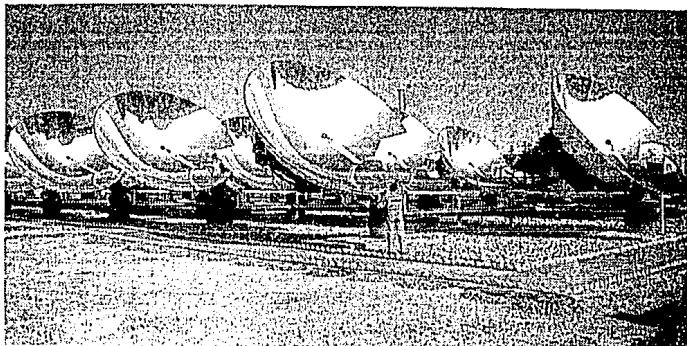


Fig. 3. Paraboloides de Revolución.
Planta Solar en Sula'byah, Kuwait.

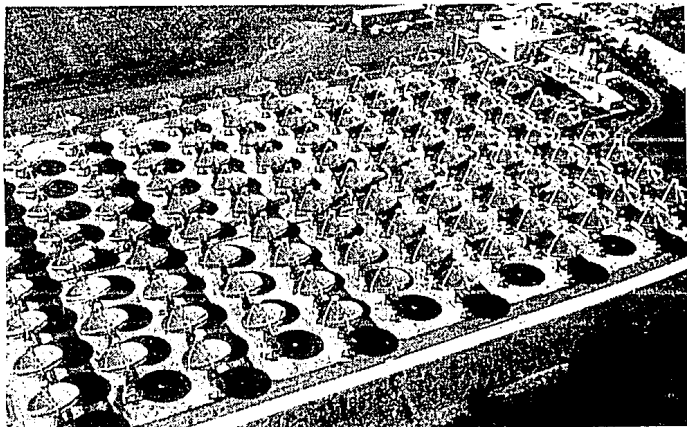


Fig. 3a. Paraboloides de Revolución.
Planta Solar en Sheandoah, E.U.A.

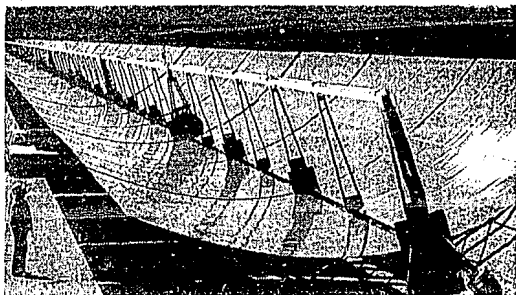


Fig. 4. Concentrador Solar Canal Parabólico.
Mojave, E.U.A. (Detalle).

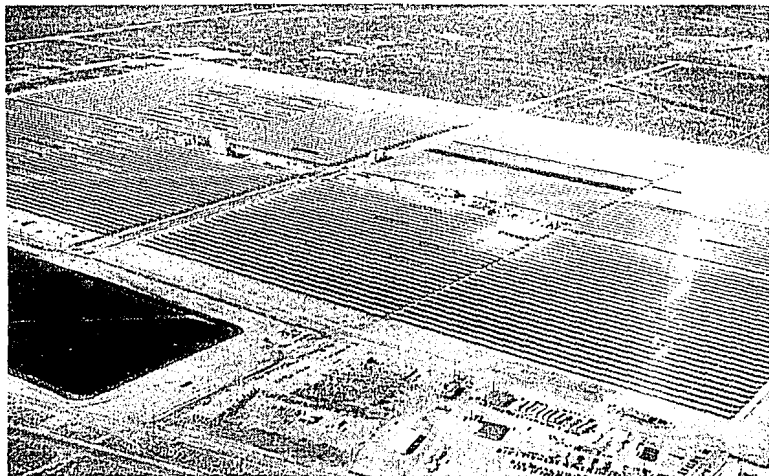


Fig. 4a. Planta Solar Canal Parabólico.

El área total de captación es de 550 m² y la orientación de estos módulos está en la dirección este-oeste. Los tubos absorbedores de 3.175 cm de diámetro colocados en el foco de la parábola son de acero cubiertos con una película selectiva de cromo negro, las propiedades de esta película son:

Absortividad: 0.95

Emisividad : 0.13

El absorbedor se encierra dentro de los tubos de vidrio Pyrex de 6 cm de diámetro concéntricos con el tubo de acero para reducir pérdidas de calor al ambiente debidas al viento. Por el interior se hace circular aceite mineral de ciertas especificaciones que se calienta hasta 250°C. Este aceite se envía directamente a un intercambiador de calor llegando a producir vapor saturado a 210°C que se alimenta a un motor de vapor.

TECNOLOGÍA EN DESARROLLO EN EL INSTITUTO DE INGENIERÍA.

Con la experiencia de la planta solar del Instituto de Ingeniería de 10 Kw, se determinó que una de las principales fallas es la durabilidad de los materiales ópticos, por lo que este trabajo se enfoca al desarrollo y prueba, específicamente, de espejos reflejantes de primera superficie.

ESPEJOS SOLARES.

A lo largo de 4 años se han fabricado y estudiado diversos tipos de espejos de aluminio, conjuntamente con el Instituto de Física.

Estos estudios han aportado buenos resultados, pero aun existen problemas en los espejos de aluminio de primera superficie.

Un espejo de primera superficie para concentradores solares debe tener las siguientes características [9]:

- a) Buen funcionamiento óptico, que incluye una alta reflectancia (0.85 o mayor), una especularidad del orden de 7 miliradianes y una adecuada configuración geométrica.
- b) Poco mantenimiento en el campo.
- c) Una vida media larga (por lo menos 10 años).
- d) Resistencia a la radiación ultravioleta, contaminación y no degradación al ambiente.
- e) Bajo costo.

La emitancia y la transmitancia no son tan relevantes en este tipo de espejo.

Prácticamente todos los espejos usan aluminio o plata como superficies reflejantes.

En algunas ocasiones se fabricaron espejos de plata, pensando que se contaba con una buena técnica para su elaboración, pero los resultados fueron negativos.

El espejo de plata, debido a la pobre adhesión de la plata al sustrato de vidrio, necesita de una película de enlazamiento como interfase, seguida de la plata; además se necesita otra película de interfase de Al_2O_3 y por último la película de vidrio transparente que principalmente es de SiO_2 , es decir; vidrio- Al_2O_3 -Plata- Al_2O_3 , (fig. 5). Al terminar la elaboración de los espejos de plata se les hicieron pruebas de adhesión, pero la película de plata nunca presentó una buena adherencia al vidrio. Aparte de este problema, se observó al poco tiempo, que la plata del espejo comenzaba a ennegrecerse como producto de la intensa oxidación y sulfatación que sufría dicho metal.

En base a estos resultados, se concluyó que la elaboración de espejos de plata de primera superficie se realizaría solo después de contar con una buena técnica de elaboración, bien conocida y dominada, a partir de los espejos de aluminio que son más sencillos de elaborar.

En este trabajo se desarrollaron exclusivamente espejos de aluminio de primera superficie con y sin películas protectoras como Si_2O_3 . Esta capa transparente, protege a la película de aluminio de un ataque masivo de los medios y condiciones que la desprenden, prolongando el tiempo de vida de dichos espejos.

Nunca antes se habían realizado investigaciones en el campo de la energía solar de películas metálicas frontales sobre sustratos de vidrio (primera superficie), por lo que este tema es innovativo en las aplicaciones de la energía solar.

Esta opción tiene diferentes ventajas sobre los espejos de segunda superficie (película metálica bajo el sustrato de vidrio). [9]:

- 1.- Se puede obtener una mejor adherencia al sustrato de la película frontal.
- 2.- Se pueden utilizar vidrios baratos (Cal-sosa) para la depositación de la película reflejante.
- 3.- Alta Reflejancia.

Para determinar si la técnica de limpieza del sustrato o la evaporación del aluminio era buena, los espejos se exponían directamente al medio ambiente y se hacían lecturas periódicas de reflejancia y se observaban al microscopio para localizar microzonas de desprendimiento. Este tipo de pruebas se

llevaron mucho tiempo y los resultados eran apenas distinguibles, esto justifica la construcción de la cámara de intemperismo. Una vez expuestos los espejos en la cámara, a intervalos definidos de tiempo, se monitorearon las condiciones del espejo por medio de 4 técnicas:

- Medición de la reflectancia hemisférica total por medio de un reflectómetro solar tipo SSR de la compañía Devices and Services (EUA).
- Descripción de las condiciones a través de la observación directa con un microscopio marca Olympus con un aumento de 100 X.
- Fotografía microscópica para observar la variación del deterioro, aumento 100 X.
- Observación directa de las condiciones del espejo.

Como se sabe [10], la durabilidad de los espejos va a depender fuertemente de los agentes contaminantes que se encuentren en la superficie del vidrio antes de la evaporación.

Por esta razón es importante desarrollar una técnica de limpieza óptima que elimine los contaminantes existentes en el sustrato.

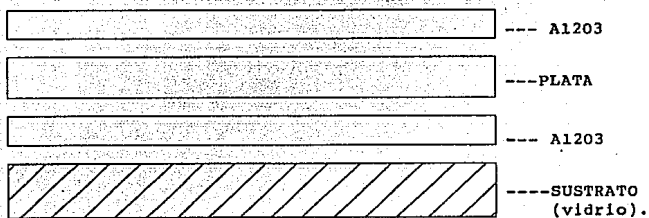


Fig. 5. Espejo de Primera Superficie de Plata.

2. GENERACION DE ESPEJOS.

La adhesión de la película reflejante obtenida por evaporación al vacío de aluminio, depende de las condiciones de preparación del sustrato y del método o forma de llevar a cabo el proceso. Una de las causas de las películas defectuosas es la inadecuada preparación de la superficie del vidrio para la aluminización, ésta se debe a una mala limpieza de la superficie del sustrato; ésta afecta no solo a la adhesión de la película al vidrio, sino también a las propiedades ópticas de los espejos.

Para obtener un alto grado de adhesión y de buenos resultados mecánicos de los espejos, se debe tener cuidado con la relación directa de la condensación del aluminio sobre la superficie del sustrato y las características mismas de este, la cual puede ser afectada en una capa intermedia (metal-vidrio) ó sobre la capa metálica ya evaporada, con esto, es posible que cambie el carácter de adhesión.

El proceso de limpieza puede ser producido por medios químicos como es la limpieza con disolventes ó administrando la suficiente energía para remover las impurezas; por ejemplo, calentando o por bombardeo con partículas atómicas. Un simple medio mecánico o químico tal como tallar, puede ser eficiente si es hecho cuidadosamente para que la superficie no sea destruida. El efecto limpiador de ácidos se debe a la conversión de algunos óxidos en compuestos solubles [9].

Otra técnica de limpieza involucra bombardeo del sustrato con partículas atómicas de alta energía [2,8,9].

Idealmente, el espejo perfecto es aquel para el cual cada rayo de radiación solar es reflejada, sin pérdida de intensidad y sin desviación del estado ideal (interacción entre moléculas), sin embargo, ningún espejo es perfecto. En todos los espejos, alguna parte de la radiación solar proveniente del espectro solar será absorbido por el material que recubre al reflector (aluminio). Irregularidades normales en la superficie causarán que el flujo de rayos sean desviados en comparación con un espejo ideal.

Los espejos de aluminio se protegen del deterioro físico y químico al evaporar sobre el aluminio una capa de vidrio transparente fig. 6.

Aunque idealmente, una cubierta transparente debiera comportarse como si ésta no estuviera presente, en la práctica ésta reduce en alguna medida el comportamiento óptico. Con esta película de SiO_2 , los colectores deben resistir los efectos del medio ambiente, incluyendo efectos térmicos, hielo, nieve, viento y abrasión.

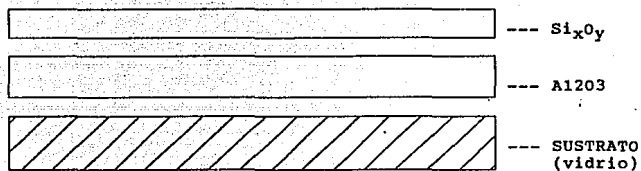


Fig. 6. Espejo de Aluminio de Primera Superficie con capa protectora de SiO_2 .

Por consiguiente es necesario el desarrollo de nuevas técnicas de limpieza.

Las técnicas empleadas se describirán detalladamente así como el cuidado que se debe tener con el vidrio ó sustrato durante todo el proceso hasta la evaporación del aluminio.

2.1 TIPOS DE VIDRIO.

Un inconveniente del uso de vidrio, en energía solar, es que debido a su flexibilidad, el vidrio requiere estructuras grandes y fuertes para sostenerse, además de su gran fragilidad que dificulta su manejo.

La transmitancia del vidrio depende de su composición química, usando un vidrio transparente y libre de impurezas de fierro, se puede llegar a tener una reflejancia de hasta 95% en espejos de plata.

La composición de este tipo de vidrio es típicamente:

| | |
|--------------------------------|-------|
| SiO | 72 % |
| Na ₂ O | 14 % |
| CaO | 8.3 % |
| MgO | 3.5 % |
| Al ₂ O ₃ | 1.3 % |
| K ₂ O | 0.3 % |
| SO ₂ | 0.3 % |
| Fe ₂ O ₃ | 0.3 % |

La composición de este tipo de vidrio puede variar en algunos casos.

El tipo de vidrio que se recomienda ampliamente, para ser utilizado como concentradores solares, por sus características es el vidrio flotado ya que tiene una superficie sumamente lisa y homogénea. [10] [12] [13].

En el proceso de su elaboración, los componentes del vidrio son fundidos a una temperatura de 1250°C. Después de pasar por varias etapas de refinamiento, que es donde quedan determinadas todas sus características, el vidrio fundido es vaciado a una línea continua de estaño fundido, el vidrio se forma sobre la superficie del estaño por diferencia de densidades produciéndose ambas caras esencialmente planas y gran tersura.

La banda del vidrio formada es pulida a lo largo del baño en estaño fundido, mientras que, simultáneamente existe una temperatura baja la cual hace solidificar al vidrio. En el transcurso de la etapa de formación es necesaria una atmósfera reductora para controlar la oxidación del metal fundido.

Una de estos lados del vidrio que estan en contacto directo con el estaño es facilmente distinguible al incidir radiación ultravioleta sobre la superficie con residuos de estaño, pues se observa una fluorescencia característica [13]. Esta cara es la que no se utiliza para la metalización. La otra cara a pesar de que se encuentra con buena tersura, tiene la misma calidad que la que está en contacto con el estaño y por lo tanto se emplea tambien para la metalización.

En el proceso de formación del vidrio, es posible estirarlo antes de que éste llegue a su temperatura de solidificación. Este proceso de estiramiento ha sido desarrollado hasta el punto en que se fabrican láminas de vidrio flotado con espesores que van de 1.5 mm hasta 12 mm.

Posteriormente la lámina de vidrio se pasa por una serie de cortadoras suspendidas en el aire que dan la medida deseada. Después de cortarlos se empaquetan.

El uso de vidrio en la fabricación de espejos para concentradores solares esta justificado por el hecho de que es un material resistente a la abrasión mecánica, químicamente estable y responde eficientemente a los esfuerzos mecánicos como la dilatación y compactación, a parte de que es muy maleable y se le puede dar cualquier forma geométrica con temperaturas del orden de 700°C.

En todos los espejos que se fabricaron en este trabajo, se utilizó vidrio tipo cal-sosa que contiene un alto grado de FeO que es fácilmente ditinguible por su coloración verdosa.

En caso de espejos de segunda superficie, el óxido de fierro absorbe fuertemente las longitudes de onda visible de la luz. Esta absorción reduce la reflectividad de la película hasta un promedio del 10% [12].

Las principales fuentes de absorción de luz en este tipo de vidrio, las constituyen los iones Fe+2 (que causan absorción a una longitud de onda de 1100 nm.) y los iones Fe+3 cuya absorción se realiza a los 300 nm. Sin embargo, el coeficiente de absorción para el Fe+2 es aproximadamente 15 veces mayor que el coeficiente del ión Fe+3.

Una forma sencilla de identificar un vidrio con alto contenido de fierro a simple vista, es observando sus bordes; si la tonalidad es gris o incoloro, el contenido de fierro es bajo, pero si es de color verde, su contenido es alto. Por lo tanto, el vidrio recomendado para aplicaciones solares es el incoloro.

Existen otros problemas que dependen directamente de la composición química del vidrio, por ejemplo, una cierta difusión o flujo de constituyentes químicos puede presentarse en el vidrio. Algunas veces estos constituyentes (como el sodio en el vidrio común), puede reaccionar con el aluminio depositado, degradando la reflectividad del aluminio [12].

Esto justifica el uso de un desecador al vacío a alta temperatura en cada método de limpieza propuesto; estas condiciones favorecen la desgasificación en toda la estructura del vidrio y eliminan cualquier contaminante que haya penetrado.

Los efectos de la limpieza del vidrio, son claramente distinguibles en el momento de tener el espejo y más todavía después de someterlos a la cámara de intemperismo.

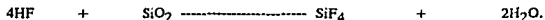
La composición en la formulación del vidrio, también puede afectar sus características mecánicas, el cual a su vez puede influenciar la integridad del espejo. Un espejo con una expansión térmica del vidrio diferente a la del aluminio, tenderá a delaminarse durante un ciclo térmico.

La mayoría de las composiciones de vidrio son vulnerables a fracturas debido a la tensión y al impacto.

2.2 ATAQUE CON HF.

La utilización de HF se basa en la disolución del vidrio por efecto del ácido.

La característica más notable de este ácido es su acción sobre la sílice (SiO_2) formando un tetrafluoruro de silicio:



Si se continúa la reacción con exceso de HF se forma al ácido fluorosilícico H_2SiF_6 .

El ácido fluorhídrico era regularmente empleado para el grabado de vidrio, aunque en este aspecto es desplazado hoy por el uso de modernos sistemas de "chiflones de arena" (Sand Blast), en todas aquellas operaciones industriales en que se debe eliminar la sílice o los silicatos.

Al disolver pequeños espesores de vidrio se eliminan deficiencias en la superficie, como los rayones.

La cantidad de vidrio disuelto depende de la temperatura del ácido, el tiempo de contacto HF-vidrio y de la concentración del ácido fluorhídrico.

El ataque del sustrato con HF, se inicia limpiando el vidrio con un jabón suave y esponja suaves; posteriormente se enjuaga con agua destilada, esto es con el fin de remover grasa y suciedad adherida al vidrio. Inmediatamente se sumerge en una solución de HF al 0.5% en volúmen; al mismo tiempo, se burbujea aire ó se mantiene una agitación rápida y constante, con objeto de evitar cualquier deposición de sales o grasas en las superficies del vidrio.

Este procedimiento se realiza cerca de 2 minutos, si el tiempo es mayor se puede provocar una devastación en la superficie del vidrio.

Se saca y se enjuaga con agua destilada hasta que el pH de la última gota que escorra del vidrio sea 6, esto indica que ya se eliminó cualquier residuo de ácido fluorhídrico y el pH es el del agua destilada.

Es necesario también, colocar el vidrio ya lavado en un desecador al vacío a una temperatura constante de 150°C durante 2-5 hrs. antes de la evaporación.

El tiempo de almacenamiento del sustrato limpio debe ser minimizado ó preferiblemente evitado.

Se recomienda que si el sustrato se limpia algunos días antes de la evaporación de aluminio, éste se guarde en envases ó recipientes de vidrio químicamente limpiados y herméticamente cerrados, también el cuarto debe encontrarse limpio y libre de contaminantes atmosféricos; el uso de contenedores de plásticos no se recomienda ya que es más frecuente la recontaminación de las superficies limpias [10].

Por consiguiente se observa que es preferible preparar los sustratos unas cuantas horas antes de la evaporación.

Con este procedimiento, la superficie del vidrio queda completamente limpia, las apariencias del vidrio antes y después de la aluminización no presentan opacidad ni manchas.

La prueba final para éstos espejos fué la intemperización; los resultados se presentarán posteriormente en otro capítulo.

2.3 LIMPIEZA ULTRASONICA.

Este método tiene como finalidad probar una nueva técnica de limpieza que conjunta un método químico de limpieza y uno al que se le puede llamar mecánico o físico [14].

Este método es completamente nuevo y se piensa que puede ser muy eficiente en la preparación del sustrato.

En el método de limpieza ultrasónica se inicia el lavado del vidrio con un jabón y detergente suaves.

Se coloca el vidrio en una solución de KOH ligeramente saturada, que está dentro del lavador ultrasónico, durante 20 minutos.

Al término de este tiempo, se coloca el vidrio en solución de H₂O destilada también por 20 minutos.

Por último se cambia el agua del lavador ultrasónico por una solución de isopropanol por un tiempo de 15-20 minutos.

Inmediatamente se coloca el vidrio dentro del desecador al vacío a las mismas condiciones que en el método anterior.

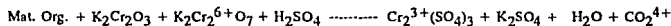
La disolución de las impurezas y de los residuos se incrementa por la acción vibracional local e intensa creada en el disolvente, lo que parece ser mas eficiente para la remoción total de todos los contaminantes solubles y gran cantidad de los insolubles.

Los resultados de la intemperización acelerada de los espejos que utilizaron esta técnica de limpieza se presentarán posteriormente.

2.4 LIMPIEZA CON MEZCLA CROMICA.

El uso de mezcla crómica como limpiador del sustrato se fundamenta en la propiedad del dicromato en presencia de ácido sulfúrico, como un agente oxidante extremadamente potente que sirve para remover la grasa de materiales de vidrio.

La adición de sales crómicas al ácido sulfúrico concentrado produce una solución fuertemente oxidante que elimina la materia orgánica.



Este método se inició con el lavado del vidrio con un jabón suave (líquido) para evitar algún rayón en la superficie del vidrio.

Se lava 1 ó 2 veces y se enjuaga con agua destilada. Se sumerge en la mezcla crómica por un tiempo aproximado de 2 horas para que la mezcla reaccione y elimine todas las impurezas, se recomienda que la muestra se agite por periodos prolongados de tiempo para que las impurezas se remuevan por completo.

Inmediatamente se lava con agua destilada hasta que el pH sea de 6 (que significa que ya no hay H_2SO_4 y se coloca dentro del desecador a las condiciones mencionadas en las otras técnicas.

2.5 LIMPIEZA CON OXIDO DE CERIO (CERIUL).

Este tipo de limpieza se basa principalmente en la operación mecánica de pulido.

Con este método se remueven las impurezas y pequeños defectos de la superficie por efecto de la abrasión mecánica.

Los limpiadores que generalmente se usan, son mezclas de metales en forma de granulos muy finos, algunos de ellos contienen óxidos, carbonatos, nitratos, nitritos y silicatos. Los mejores pulidores que se encuentran en forma sencilla, como compuesto, es el óxido de cerio y el óxido de zirconio.

El ceriul es un pulidor que principalmente esta constituido por óxido de cerio.

La técnica de limpieza comienza con el lavado del vidrio con un jabón suave ó líquido, frotándolo con una pequeña esponja.

Posteriormente se coloca el vidrio en una base de madera que impide que se mueva el vidrio cuando se esta puliendo.

Se coloca un poco de ceriul en la superficie del vidrio y se comienza el pulido con una esponja especial tipo fibra ó paño.

El tiempo de pulido puede variar de 1/2 a 2 horas, en las que constantemente se aplica ceriul y agua destilada cuando éste se seca un poco. Se debe aclarar que es preferible dedicarle el mayor tiempo que se pueda al pulido para que los resultados, en la calidad del espejo, sean mayores.

Los espejos que tienen poco tiempo de elaboración tienen sus superficies recientemente pulidas y presentan una mejor adhesión metálica [12].

2.6 LIMPIEZA POR DESCARGA LUMINOSA (OZONIZACION).

Independientemente de la técnica utilizada para la limpieza del sustrato (mezcla crómica ó ultrasonido), todos los sustratos se someten a una limpieza final consistente en un método físico llamado descarga luminosa (ozonización).

Este proceso se lleva a cabo dentro de la cámara de evaporación que se encuentra en el Instituto de Física y es el último método de limpieza antes de evaporar el metal reflejante.

Esta técnica consiste principalmente en la exposición del sustrato a ozono producido por una descarga luminosa. La descarga es establecida entre un ánodo y un cátodo situados muy próximos al sustrato, de tal manera que la superficie quede dentro del gas. Los voltajes usados en el proceso de descarga luminosa varían desde 500 a 5000 volts. Se usan electrodos de aluminio, porque este material es resistente a la corrosión en presencia de gases oxidantes y por lo tanto no hay una significativa deposición del material en la superficie del sustrato. Se pueden usar voltajes de corriente alterna o de corriente directa, sin embargo, son más comunes las descargas de corriente directa.

En la limpieza por ozonización, la eliminación de impurezas son inducidas por uno o más de los siguientes mecanismos,[15]:

1. Calentamiento directo debido al choque de partículas cargadas.
2. Desorción de impurezas por el bombardeo continuo de electrones.
3. Desorción de impurezas como resultado del bombardeo de iones de baja energía o partículas neutras.
4. Modificación de la superficie del vidrio por la adición continua de oxígeno.
5. Mejoría en la nucleación durante la subsecuente deposición de la película.

Los mecanismos 4 y 5 son los más importantes, de particular importancia para vidrios con alto contenido de SiO_2 es el mecanismo 5, por que ayuda a la formación de puentes oxidantes entre el vidrio y metales reactivos como el aluminio ó el cromo.

2.7 DESARROLLO EXPERIMENTAL DE ESPEJOS.

Durante este capítulo se han descrito las técnicas de limpieza y las películas de metal o recubrimiento que se depositan sobre el vidrio, a continuación se resumen los pasos para la elaboración del espejo y la metodología para la evaporación de las películas reflectora y protectora.

1. Limpieza del sustrato con jabón suave.
2. Limpieza del sustrato por medio de un método químico ó físico.
3. Limpieza por descarga luminosa (ozonización).
4. Evaporación del metal reflejante (Al).
5. Evaporación del recubrimiento de vidrio.

2.7.1. CAMARA DE EVAPORACION.

Para la evaporación del material reflector se utiliza la cámara de evaporación de alto vacío del Instituto de Física de la UNAM, con una capacidad total de 1.5 m^3 . En esta cámara se pueden obtener espejos de hasta 0.5 m^2 .

La cámara tiene conectadas una bomba mecánica para obtener vacíos de 10^{-3} torr y una bomba de difusión para obtener vacíos de hasta 10^{-5} torr, un termopar para lecturas de vacíos, un equipo para medir espesores de la película evaporada y una fuente de alto voltaje. En la fig. 7 se muestra un diagrama del equipo y sus componentes.

2.7.2. EVAPORACION DE ALUMINIO.

Según el espesor de la película reflejante que se desée, es la cantidad de aluminio que se coloca en el crisol. El aluminio tiene una pureza de 99.99%, se recorta la cantidad deseada de unas barras de 7 cm de largo y 2 mm de diámetro. Los recortes de aluminio son colocados en el crisol que para este caso se recomienda que sea de nitruro de boro ó grafito, pues de ser otro material, es posible que el desprendimiento de partículas en el momento de evaporar el aluminio contamine la superficie del sustrato.

La evaporación se inicia con la limpieza por descarga luminosa (ozonización), con 3000 volts, 0.5 amp., y una presión de 10^{-3} torr en atmósfera de oxígeno por 20 minutos; al término de este tiempo y cuando la presión del sistema es constante con un valor de $5 \cdot 10^{-5}$ torr se inicia la evaporación del aluminio con un cañón de electrones (fig. 8) elevando la corriente del haz hasta un valor de 20 mA, esto eleva la temperatura del aluminio hasta su punto de evaporación, lo cual debe hacerse lentamente para ir depositando la película en el sustrato de forma homogénea (fig.9), alcanzando así espesores de película de aproximadamente 5000 \AA . Cuando se alcanza el espesor deseado, se elimina la intensidad de corriente y se apagan todos los aparatos, después de un tiempo se admite aire en la cámara, esto es para evitar cualquier problema como consecuencia de un choque térmico.

2.7.3. EVAPORACION DE SiO_2 .

Cuando la película de aluminio es protegida por un recubrimiento de SiO_2 , la resistencia a la abrasión y a la penetración de humedad aumenta considerablemente, pero en algunos casos la reflectancia llega a bajar hasta un 10% del valor inicial.

La evaporación de SiO_2 se realiza inmediatamente después de evaporar el aluminio. Se carga nuevamente el crisol, que en este caso se recomienda que sea de grafito, con suficiente SiO_2 (pureza 99.98%) a las mismas condiciones de presión que al evaporar el aluminio, se inicia la evaporación con una corriente del haz de electrones de 100 mA para alcanzar la temperatura de 1150 a 1250°C necesarios para evaporar el SiO_2 .

Cuando ya se evaporó y se apagaron los instrumentos, se espera unas horas para abrir la cámara y evitar cualquier fractura de la superficie por choque térmico. El espesor de la película de SiO es de 1500 a 2000 Å.

Para evaporar el aluminio y SiO_2 se utilizó un cañón de electrones construido en el Instituto de Ingeniería [5]. Para transformar el SiO en Si_2O_3 se evapora SiO en una atmósfera de oxígeno (10^{-4} Torr) y a diferencia de la evaporación del aluminio, el SiO se evapora a una velocidad de 3 a 4 $\mu\text{A}/\text{seg}$, esto es con el fin de crear una evaporación reactiva con el oxígeno.

La técnica de evaporación con cañón de electrones al vacío para producir películas delgadas, ofrece un mínimo grado de contaminación, ya que intervienen recipientes (crisoles) que contienen un mínimo de contaminantes.

Con esta técnica el transporte del metal al sustrato se realiza por medio del vapor que se genera al cambiar su estado de agregación, debido al aumento de la temperatura.

Al utilizar éste método, las principales fuentes de impurezas las constituyen el mismo sustrato cuando su limpieza es deficiente y las que naturalmente contiene el Al a evaporar o el SiO_2 , si las tuviera.

Considerando lo anterior, la realización de este trabajo toma como objetivo principal la eliminación de cualquier contaminante que tuviera el sustrato y utiliza sustancias de alta pureza para ser evaporadas.

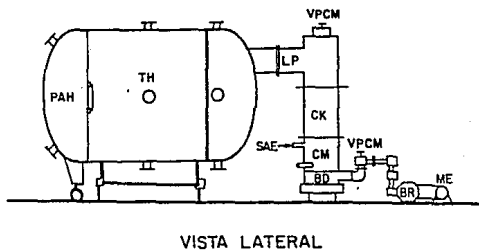
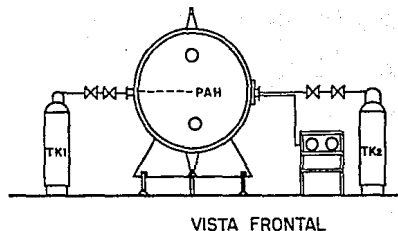
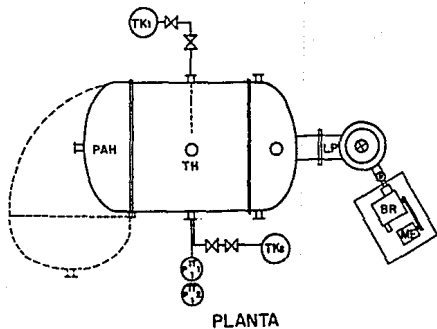
A través de los años de experimentación en la elaboración de espejos en el Instituto de Ingeniería, se ha observado que la superficie del espejo presenta gran cantidad de microzonas que se creó que se forman por las siguientes causas:

- Mala limpieza del sustrato por métodos químicos.
- Fuerte adhesión de partículas a la superficie imposibles de remover con altos vacíos y ozonización.
- Por adhesión de partículas contaminantes del crisol desprendidas por el haz de electrones durante la evaporación del aluminio.
- Baja pureza del aluminio evaporado.

Todas estas posibles causas impiden la formación de una película metálica homogénea, creando las microzonas que hace a los espejos mas vulnerable al ataque de la humedad, pues estas microzonas son el punto de partida para el inicio del desprendimiento de la película de aluminio.

En algunos espejos elaborados en este proyecto se consiguió eliminar estas microzonas dando como consecuencia una mayor reflejancia y vida útil.

Las nuevas técnicas empleadas en la limpieza, así como los cuidados especiales durante la evaporación hicieron posible la alta calidad de los espejos obtenidos en más de una ocasión, hay que mencionar que en otros casos no se pudieron eliminar las microzonas por completo.



- TK Tanques de almacenamiento de gases
- BD Bomba de difusión
- BR Bomba rotatoria
- ME Motor eléctrico
- TH Tanque horizontal
- LP Línea principal
- CK Condensador
- CM Serpentin
- PAH Puerta de acceso
- SAE Sistema de agua de enfriamiento
- VPCM Válvula de plato

Fig. 7 *Equipo completo de la cámara para evaporación térmica (alto vacío) (Esquemático)*

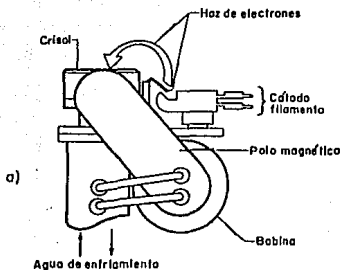


Fig 8 a. Cañón de electrones con trayectoria curva del haz y enfriado con agua. Enfoque con bobina

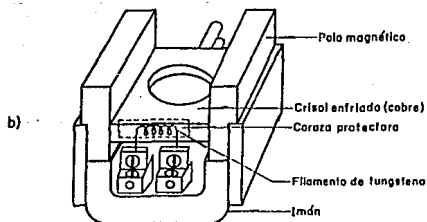


Fig 8 b. Cañón de electrones con trayectoria curva del haz y enfriado con agua. Enfoque con imán permanente

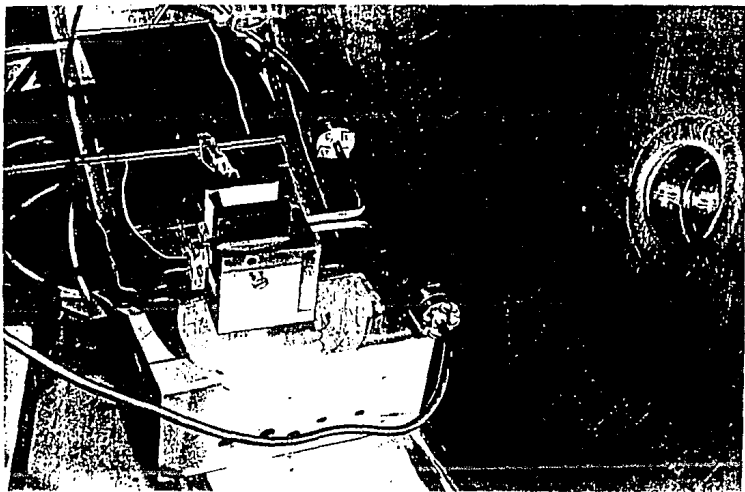
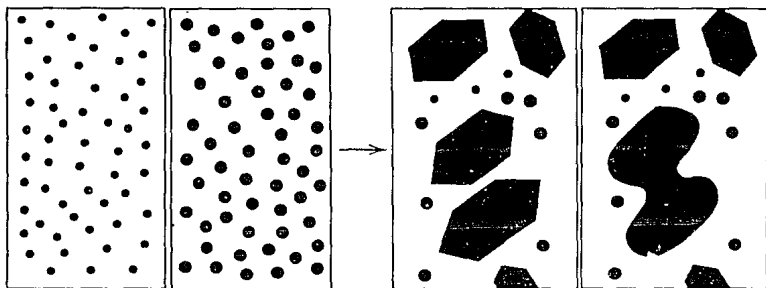
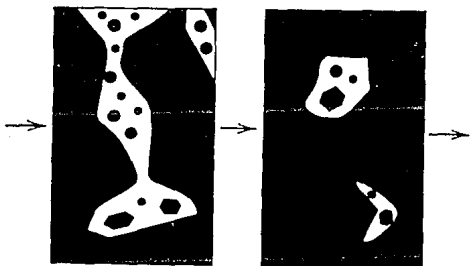


Fig. 8c.- Cañón de electrones dentro de la cámara de evaporación.



Nucleación.

Coalescencia.



Canales.

Hoyos.

Película Continua.

Fig. 9.- Etapas de formación de la película de Al sobre el sustrato.

3. DESCRIPCION DE LA CAMARA DE INTEMPERISMO.

La cámara de intemperismo cuenta con un volumen total de 1 m^3 , en donde se colocan los espejos para su estudio, la cual esta aislada por medio de lana mineral con un espesor en todas sus paredes de aproximadamente 10 cm. El material interno y externo de esta cámara es de acero inoxidable calibre 16. Cuenta con un banco de tubos para el sistema de refrigeración y se encuentra por el interior del volumen disponible protegido por otra placa de acero inoxidable del mismo calibre.

La tapa de la cámara tiene como esqueleto principal ángulo de fierro negro de $1" \times 1/8"$; tiene como aislante fibra de vidrio y como acabado lámina de acero galvanizado calibre 18.

Esta lámina esta remachada con pop de $1/8" \times 3/8"$. La cara interna de la tapa esta protegida contra corrosión por una capa de primario. Se utilizó empaque imantado de una pulgada de ancho, para obtener una buena hermeticidad al cerrar la tapa.

El sistema de refrigeración se encuentra en el costado derecho de la cámara, tiene un motor General Electric modelo 5K486A, RMM-1725. C.P. 3/4, V 220/440, Fases 3, Amp. 2.8/1.4, Hz 60, tamaño 56, factor de servicio 1.25 Amp. a factor de servicio 3.2/1.6 y un compresor de gas Freón 12 marca Gilbert.

El diámetro de los tubos de cobre que contiene al gas dentro de la cámara de refrigeración (motor, compresor, etc.), esta protegido con lámina galvanizada calibre 18, con dos puertas que permiten el acceso al sistema.

En el panel de control se encuentran el termostato, el humidificador ultrasónico y el apagador del ventilador; este panel se encuentra al lado contrario del sistema de refrigeración, es decir, en el costado izquierdo de la cámara. Este panel tiene como estructura principal ángulo de fierro negro de $3/4" \times 1/8"$ de pulgada, protegido con una película de primario como anticorrosivo. El tablero superior e inferior del panel son de madera.

En el tablero superior se encuentra el termostato y el apagador del ventilador. El tablero inferior tiene el equipo de humidificación ultrasónico.

3.1 FUNDAMENTOS.

La realización de las pruebas de intemperismo en la cámara, no se pueden hacer arbitrariamente; se necesita una metodología para establecer, en lo que podría ser un laboratorio, una atmósfera sumamente degradante. Como son 7 los principales parámetros causantes del deterioro y cada uno de estos tienen un largo intervalo de magnitudes y graduación, estos parámetros tienen un número infinito de posibles pruebas para identificar los impactos individuales y sus combinaciones.

Se conocen generalmente las normas internacionales de la ASTM para pruebas de materiales, sin embargo como estas pruebas son sumamente específicas no se encontraron dichas pruebas en este manual. El estudio de la energía solar se ha convertido en una rama de la ciencia tan importante, que se han realizado numerosos experimentos de espejos solares que han permitido la creación de algunas normas que manejan estos 7 parámetros. Algunos son estáticos y otros dinámicos, estas normas son conocidas como MATM (Matrix Approach for Testing Mirrors).

Se conocen 2 aproximaciones para el estudio de la degradación de los espejos solares. Estas se refieren a la fase vapor y la aproximación en fase líquida. La aproximación en fase líquida es a menudo favorable para electroquímica, proporciona a la vez, información de reacciones químicas y velocidades de corrosión.

Estas pueden indicar la presencia de pasivación de las capas en las multicapas metálicas presentes en el espejo.

La desventaja de este tipo de pruebas está en aplicaciones eléctricas, que se deben efectuar con este método y esto determinadamente no es representativo del medio ambiente.

La aproximación en fase vapor, es más representativa del medio ambiente actual encontrado por los espejos; una pequeña desventaja es que no proporciona directamente información de la velocidad de corrosión al nivel que lo hace la naturaleza.

Para poder determinar los valores de cada uno de los parámetros, fué necesario el desarrollo de numerosas pruebas que los incluyeran y la eliminación de algunos valores de parámetros que no aportaron datos significativos [7].

Para la fase vapor, los parámetros identificados como principales agentes degradantes son en función del tiempo:

- Humedad. (vapor de agua).
- Temperatura.
- Ciclos térmicos.
- Radiación solar ultravioleta.
- Contaminantes ambientales.
- Esfuerzos mecánicos.
- Congelación - deshielo.

Desde un punto de vista de diseño y bajo consideraciones estadísticas, se usaron valores extremos y algunos intermedios de cada parámetro para realizar las pruebas. La elección de los parámetros y valores se lista en la siguiente tabla [7].

| Parámetros usados en esta prueba. | Valores de los parámetros. |
|-----------------------------------|----------------------------|
| Humedad | 50% 90% |
| Temperatura | 45, 60, 80°C |
| Tiempo | 1,2,4 y 6 semanas |
| No. de muestras recomendadas | 3 como mínimo |

PRIMERA ETAPA.

El comité de "MATM", que estableció estas normas, recomienda que la primera fase de estudio tenga una duración de 8 semanas, un valor de humedad relativo de 78%, temperatura de 80 °C y un ciclo térmico entre 20 y 80 °C a alta humedad.

SEGUNDA Y TERCERA ETAPA.

"MATM" recomienda estas etapas con temperaturas fijas de 40 y 60 °C respectivamente y valores de humedad relativa fijos también, con valores de 90% y 50% respectivamente.

Los valores de humedad y temperaturas se definirán posteriormente de acuerdo con los valores de reflejancias obtenidos en los espejos y a la calidad del recubrimiento protector que tenga cada uno.

3.1.1. DEGRADACION DE LOS ESPEJOS.

El primer paso en el programa de pruebas para la cámara de intemperización, esta basado en el conocimiento de los agentes causantes de la degradación.

Los concentradores solares continuamente estan expuestos al agua, excepto espejos heliostáticos, que usualmente estan puestos boca abajo en la noche cuando se reduce un poco la acumulación de polvo.

Las condiciones de exposición incluyen:

1. Exposición solar durante todo el día.
2. Exposiciones periódicas a la humedad en forma de lluvia, rocío y nieve derretida.
3. Exposiciones ocasionales al granizo.
4. Exposiciones al polvo y otras superficies contaminantes.
5. Exposición a fuertes vientos.
6. Exposición a la erosión provocada por materiales transportados por el viento tan finos como arena.

La humedad en la interface de los espejos de aluminio es el factor mas importante en la degradación y en general, de todos los tipos de espejos.

Como agentes externos se tienen:

- Contaminantes ambientales, luz ultravioleta, luz infraroja, ciclos térmicos.
- Elevadas temperaturas y vapor de agua.

Las elevadas temperaturas de los espejos, debido al calor absorbido por su exposición al sol, aceleran su destrucción.

La degradación en realidad, es una combinación de agentes causantes como altas temperaturas y vapor de agua.

3.1.2. PRIMERAS PRUEBAS DE INTEMPERIZACION.

Las primeras pruebas de intemperismo realizadas en E.U.A., se efectuaron con la exposición directa del espejo al medio ambiente, en diferentes localidades y en algunos complejos industriales con altos índices de contaminación [26].

Degradación ambiental de superficies de espejos.

Se inició con un programa de 12 meses de exposición al medio ambiente de espejos para colectores solares, se investigó la naturaleza de los agentes contaminantes absorbidos, los contaminantes naturales y la posible degradación de la superficie del espejo como una función de los diversos sitios industriales.

Las muestras seleccionadas fueron colectadas en base a un mes para cada sitio industrial y caracterizadas por su reflejancia especular, al mismo tiempo que los contaminantes.

Las muestras fueron lavadas con agua destilada y secadas con aire comprimido para su análisis final, este análisis reveló:

- La orientación del espejo como prueba, parece ser un factor importante en la exposición y la retención de los agentes contaminantes. Con mayor contaminación para el horizontal de cara al sol, seguido de cerca por un ángulo de 45° fijo hacia la orientación sur.
- Las muestras expuestas en zonas con alto índice de precipitaciones, nevadas ó granizadas presentan un grado de deterioro mayor que las muestras que tuvieron menor precipitación.
- Las muestras expuestas a tormentas de arena con velocidades de viento de 30 millas /hora, mostraron severos daños por abrasión.

La degradación de estas muestras fue mas severa con dos meses de exposición, con lo que se concluye:

- La retención de contaminantes en la superficie del espejo, muestra que es influenciada por la localización o zonas industriales.
- En las localidades donde se reportaron lluvia, nieve y hielo se produjeron muestras de espejos relativamente libres de contaminantes pero con un daño muy serio de la pellicula reflejante.
- La orientación de las muestras expuestas en bastidores a la degradación ambiental, es un factor crítico en la contaminación y deterioro de la superficie, la orientación horizontal de frente al sol, es el de mayor grado de contaminación, seguido de cerca por el de 45° de angulo fijo de orientación al sur.

La mayoría de las pruebas de intemperización realizadas en Estados Unidos, tuvieron un tiempo de duración que iba de 2 a 11 años, en algunos casos, convirtiéndose así en un molesto y difícil método de cuantificación de los daños producidos por el medio ambiente sobre el espejo.

En el Instituto de Ingeniería, las pruebas de intemperización se han realizado también con la exposición de las muestras al medio ambiente, lo cual da información del deterioro a muy largo plazo, en estos experimentos se cumplió con los altos índices de precipitación así como de contaminación, pero no con las altas temperaturas alcanzadas por la exposición directa al sol ni por el número de horas expuestas a las radiaciones solares.

La exposición de los espejos en la Ciudad de México no es para nada representativa de las zonas o estados de la República donde sería factible la construcción de una planta solar a gran escala.

Como podemos ver en la tabla 1 a 4, para los estados de Baja California Norte y Sur, Sonora y Chihuahua, las temperaturas máximas y mínimas promedio son, por mucho, superiores a las de la Ciudad de México. Esto es un factor determinante para el empleo de la cámara de intemperismo.

3.2.- PRUEBAS DE LA CÁMARA DE INTEMPERISMO.

Las primeras pruebas realizadas en la cámara para alcanzar las temperaturas y la humedad relativa propuestas en la primera etapa de trabajo presentan los datos mostrados en la tabla 5.

Como se pudo observar experimentalmente, para una humedad relativa de 78% la temperatura es de aproximadamente 51.7 a 53°C, no cumpliendo con la temperatura deseada de 80°C. Un análisis matemático de las características nos darán un mejor enfoque:

Bases teóricas:

Humedad absoluta.

Cuando en las operaciones ocurren cambios en el contenido de vapor de una mezcla vapor-gas sin cambios en el contenido del gas, es más conveniente utilizar una unidad basada en la cantidad no cambiante del gas.

La relación masa del vapor/masa de gas es la humedad absoluta Y' . Si las cantidades se expresan en moles, la relación es la humedad molar absoluta Y .

El término vapor se va a aplicar a la sustancia A, que en estado de vapor esté relativamente cerca de su temperatura de condensación a la presión dominante.

El término gas se aplicará a la sustancia B, la cual es un gas relativamente sobrecalentado.

Humedad absoluta molar.

$$Y = \frac{Y_A}{Y_B} = \frac{\bar{P}_A}{\bar{P}_B} = \frac{\bar{P}_A}{P_t - \bar{P}_A} \frac{\text{moles A}}{\text{moles B}}$$

Humedad absoluta.

$$Y' = Y \frac{M_A}{M_B} = \frac{\bar{P}_A}{P_t - \bar{P}_A} \frac{M_A}{M_B} \frac{\text{masa A}}{\text{masa B}}$$

Mezclas de vapor-gas saturadas.

Si un gas seco insoluble B se pone en contacto con suficiente líquido A, el líquido se evaporará en el gas hasta que finalmente, en el equilibrio, la presión parcial de A en la mezcla vapor-gas alcanza su valor de saturación, la presión de vapor $^{\circ}P_A$ a la temperatura dominante. La humedad molar absoluta a saturación dependerá de la presión total; la humedad absoluta a saturación $Y's = \bar{P}_A(P_t - \bar{P}_A)$ dependerá de la presión total; la humedad absoluta a saturación $Y's = Y_s (M_A / M_B)$ dependerá también de la identidad del gas.

Las dos humedades saturadas se vuelven infinitas en el punto de ebullición del líquido a la presión total dominante.

Saturación relativa.

La saturación relativa, llamada también humedad relativa, expresada como un porcentaje se define por:

$$\frac{P_A}{^{\circ}P_A} * 100$$

en donde:

$^{\circ}P_A$ = Es la presión de vapor a la temperatura del bulbo seco de la mezcla.

Volumen húmedo.

El volumen húmedo VH de una mezcla vapor-gas es el volumen de masa unitaria de gas seco y de su vapor acompañante a la temperatura y presión dominantes.

$$(VH) = (0.00283 + 0.000456 Y') (t_g + 273)$$

$$VH = \frac{m^3 \text{ mezcla}}{\text{Kg aire}}$$

donde: Y' = Humedad absoluta

t_g = temperatura de bulbo seco para una presión de 1 ATM.

Calor húmedo.

El calor húmedo C_s es el calor que se requiere para aumentar la temperatura de la masa unitaria del gas y su vapor acompañante 1°C a presión constante. Para una mezcla de humedad absoluta Y' .

$$C_s = C_B + Y' C_A$$

$$C_s = 1005 + 1884 Y'$$

= Joules para la mezcla/kg de aire $^\circ\text{C}$

donde:

C_B = Capacidad calorífica de la sustancia B

C_A = Capacidad calorífica de la sustancia A

Y' = Humedad absoluta para agua $A = 0.45$

para aire seco $B = 0.24$

para una presión de 1 atm

En base a lo anterior, se realizó el cálculo para poder obtener la temperatura y HR que podíamos alcanzar en la cámara.

3.3 CALCULO DE LAS CONDICIONES NECESARIAS Y EXPERIMENTALES PARA LA CAMARA DE INTEMPERISMO.

Calculo de presión de vapor para el agua a 80°C según la fórmula y las constantes de Antoine:

$$\log {}^\circ P = A - B / (C + t)$$

para el agua:

$$A = 7.96681$$

donde:

$${}^\circ P = \text{mmHg}$$

$$B = 1668.21$$

$$t = \text{°C}$$

$$C = 228$$

sustituyendo:

$$\log \text{°P} = 7.96681 - 1668.21/(228 + 80)$$

$$\log \text{°P} = 2.55$$

$$\text{°P} = 355.25 \text{ mmHg}$$

El vapor de alimentación tiene las siguientes condiciones:

temperatura bulbo seco = 21 °C

temperatura bulbo humedo = 19 °C

HR = 80%

Pero se desea una humedad relativa de 78 % a 80 °C por tanto, calcularemos la humedad absoluta molar, humedad absoluta y el volúmen humedo para saber si podemos obtener estas condiciones.

Para una mezcla de aire-vapor de agua a 585 mmHg, 80 °C y aproximadamente 78 % de HR, se calcula:

Humedad Absoluta Molar.

$$Y = \frac{\bar{P}_A}{P_T - \bar{P}_A}$$

$$0.80 = \frac{Y}{Y_S}$$

$$Y_S = \frac{\text{°P}_A}{P_T - \text{°P}_A}$$

donde:

$$\text{°P}_A = 355.25 \text{ mmHg}$$

$$Y_S = 355.25/(585-355.25)$$

$$Y_S = 1.546$$

$$0.78 Y_S = Y$$

$$Y = 1.20 \frac{\text{moles de agua}}{\text{moles de aire}}$$

Humedad absoluta

$$Y' = 1.20 \left(\frac{MA}{MB} \right)$$

donde:

$$Y' = 1.20 \left(\frac{18}{29} \right)$$

MA = masa de agua

MB = masa del aire

$$Y' = 0.744 \frac{\text{Kg de agua}}{\text{Kg de aire}}$$

Humedad relativa

$$VH = 8315 \left(\frac{1}{29} + \frac{0.744}{18} \right) \left(\frac{80 + 273}{585 * 133.3} \right)$$

$$VH = 630.41 * 4.526 * 10^{-3}$$

$$VH = 2.85 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

Donde este volúmen es necesario para obtener las condiciones necesarias en la cámara de intemperismo.

Calculando el volúmen húmedo obtenemos:

Humedad absoluta mola.

La presión de vapor a 50 °C se calcula:

$$\log \text{°PA} = 7.96681 - 1668.21 / (228 + 50)$$

$$\text{°PA} = 92.48 \text{ mmHgYS}$$

$$Y_s = \frac{\text{°PA}}{PT - \text{°PA}}$$

$$Y_s = 0.1877$$

$$Y = Y_s * 0.80$$

$$Y = 0.150 \frac{\text{moles de agua}}{\text{moles de aire}}$$

Humedad absoluta.

$$Y' = 0.150 \left(\frac{M_A}{M_B} \right)$$

$$Y' = 0.150 * \left(\frac{18}{29} \right)$$

$$Y' = 0.093 \frac{\text{Kg de agua}}{\text{Kg de aire}}$$

Volúmen humedo.

$$VH = 8315 \left(\frac{1}{29} + \frac{0.093}{18} \right) \left(\frac{80+273}{585*133.3} \right)$$

$$VH = 329.77 * 4.52 * 10^{-3}$$

$$VH = 1.4927 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

Donde todas estas condiciones, son las obtenidas experimentalmente, como se puede observar, las condiciones de operación que necesitamos tienen un valor humedo igual a:

$$VH = 2.85 \text{ m}^3/\text{kg}. \quad \text{para } 80 \text{ } ^\circ\text{C y } 78\% \text{ de HR.}$$

y experimentalmente se obtiene un valor de:

$$VH = 1.49 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

Esto nos indica que es necesario un mayor flujo de vapor hacia la cámara, o un vapor de mayor calidad, es decir, un vapor con una temperatura superior a los 70 °C con el fin de acercar su presión de vapor lo suficiente para alcanzar un volúmen humedo similar al obtenido teóricamente.

Como se puede observar en la carta psicométrica (tabla 6), las condiciones necesarias salen de la escala de la misma, esto no significa que no se pueda obtener, sino que se debe de forzar el sistema para alcanzar esas condiciones. No se debe olvidar que mientras mas se acerca el agua a su punto de ebullición, será mas difícil saturar el aire.

Por no poder contar con un equipo que nos ayudara a alcanzarlas condiciones optimas del vapor, decidimos ajustar los valores de temperatura y HR para las diferentes fases y trabajar con ellas.

3.4 CARACTERISTICAS DE LOS EQUIPOS.

El termostato es marca Atto, Modelo CMP 30, tiene un intervalo de trabajo de 0 a 300 °C y funciona con termopares tipo "J". Recibe una alimentación de 127-220 volt y 50/60 Hertz.

Como sistema de recirculación de aire se tiene un ventilador de 1/60 HP, 1550 RPM, alimentado con 127 volt, modelo OTN-22. El tamaño de las aspas es de 10 cm y son de acero inoxidable.

A este ventilador se le construyó una pieza especial para el rotor, el cual incrementa la distancia entre el motor y las hélices con aproximadamente 15 cm.

El ventilador se encuentra colocado en el costado izquierdo de la cámara, en una abertura especial de ésta, permitiendo que el motor quede fuera de ella y la hélice por dentro, controlándolo desde el panel por medio de un apagador. Este ventilador tiene como objetivo principal homogeneizar el sistema, es decir, recircular el aire dentro de la misma cámara para que el sistema sea uniforme.

Para el sistema de calentamiento se tienen dos resistencias en forma de "U" con una longitud total lineal de 1m. Las resistencias son de acero inoxidable de 5 mm. de diámetro.

La capacidad de las resistencias son de 250 watts cada una y estan colocadas en paralelo.

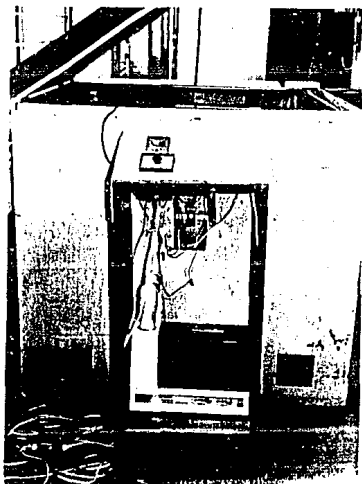
El tiempo aproximado para elevar la temperatura de 17 °C a 80 °C, de un volúmen de aire de 1 m³ es de 60 minutos. La temperatura que suministran estas resistencias esta controlada por medio del termopar ó pirómetro tipo J (cobre-constantán) forrado de asbesto, en conjunción con un termostato.

El suministro de humedad es un humidificador ultrasónico marca Samsung modelo NU-820A que funciona con una alimentación de 120 VAC. y 60 Hz, consume 44 watts y 0.4 amp.

La capacidad del tanque de agua es aproximadamente 8 litros. La salida de humedad esta conectada a la cámara por medio de una línea de tubería PVC de 2 in. de diámetro y con sistema de desagüe.

El humidificador ultrasónico produce partículas de agua muy pequeñas a temperatura ambiente.

El sensor de humedad para un control exacto de la humedad relativa es marca Cole-Parmer modelo 3327-10 con las siguientes especificaciones:



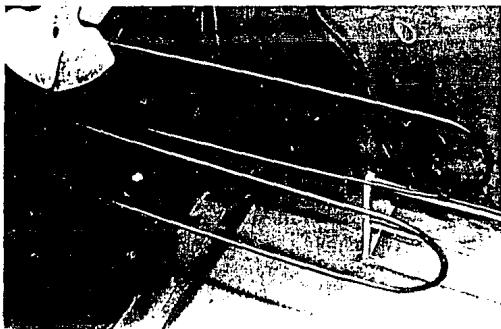
FOTOGRAFIA No. 1

Vista general de la cámara de intemperismo, en primer plano se observa el panel de control que contiene en el tablero superior el termostato, parte del termopar y el apagador del ventilador. En el tablero inferior se encuentra el sistema de humidificación ultrasónico.



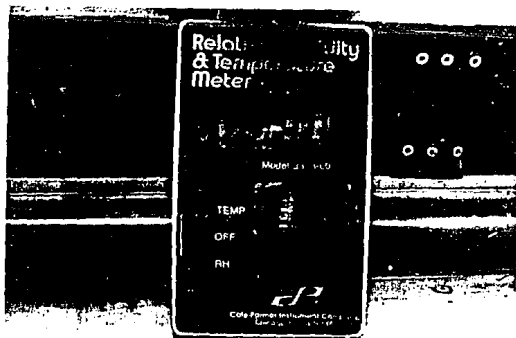
FOTOGRAFIA No. 2.

Detalle del sistema de humidificación ultrasónico.



FOTOGRAFIA No. 3

Detalle de las resistencias eléctricas en forma de "U" y parte de las aspas del ventilador usado para la recirculación del aire caliente.



FOTOGRAFIA No. 4

Leitura de la humedad relativa alcanzada en una de las pruebas realizadas en la cámara de intemperismo.



FOTOGRAFIA No. 5

Sistema de refrigeración de la cámara, colocado en el costado opuesto al panel de control.

Intervalo: 0% a 100% HR, -40 °C A 115 °C.

Resolución: 0.1% HR, 0.1 °C.

Precisión: $\pm 2\%$ HR. (0% a 80%), $\pm 3\%$ HR (80% a 100%), 0.3 °C.

Temperaturas límites para lectura de HR: -40 a 80 °C.

Sensor: capacitancia en HR, Pt100 para temperatura.

Tiempo de respuesta: 5 segundos.

Fuente de poder: Baterías de 9 V. 115/230 VAC.

Carátula digital: LCD 3 1/2 dígitos.

Se tiene otro sensor, con el que se han efectuado pruebas de calibración de la cámara y sus componentes tiene las siguientes especificaciones:

Medidor de temperatura y humedad relativa Cole-Parmer modelo 3313-00.

Intervalo: 0% a 100% HR, -30 a 150 °C.

Resolución: 0.1% HR, 0.1 °C.

Precisión: $\pm 2\%$ HR, ± 0.5 °C.

Fuente de poder: 5 baterías de 1.5 v "AA".

Carátula digital: LCD 3/8".

El sistema de refrigeración está constituido por los siguientes elementos:

COMPRESOR..

El compresor tiene dos funciones en el ciclo de refrigeración por compresión. En primer lugar succiona el vapor refrigerante y reduce la presión en el evaporador a un punto en el que puede ser mantenida la temperatura de evaporación deseada. En segundo lugar, el compresor eleva la presión del vapor refrigerante a un nivel lo suficientemente alto, de modo que la temperatura de saturación sea superior a la temperatura del medio enfriante disponible para la condensación del vapor refrigerante.

CONDENSADOR.

El condensador es básicamente un intercambiador de calor en donde el calor absorbido por el refrigerante durante el proceso de evaporación es cedido al medio de condensación. Como se ha

mencionado previamente, el calor cedido por el condensador es siempre mayor que el calor absorbido durante el proceso de evaporación debido al calor de la compresión. Conforme el calor es cedido por el vapor de elevada temperatura y presión, su temperatura desciende al punto de saturación y el vapor se condensa convirtiéndose en líquido, de aquí el nombre de condensador.

El condensador de la cámara de intemperismo es un condensador enfriado por aire que consta de un pequeño intercambiador de calor de tubos con aletas.

EVAPORADOR.

El evaporador es la parte del lado de baja presión del sistema de refrigeración en la que el refrigerante líquido hierve o se evapora, absorbiendo el calor a medida que se convierte en vapor, con ello se logra el objetivo del sistema, la refrigeración.

Control de baja y alta presión.

Un control de baja presión actúa con la presión de succión del refrigerante y normalmente se utiliza para regular el ciclo del compresor con el fin de controlar la capacidad, o como control límite de baja presión. El control de baja presión se utiliza frecuentemente como único control de pequeños sistemas, que pueden tolerar ciertas fluctuaciones en la temperatura que ha de mantenerse. El control de baja presión estandar cierra el circuito al subir la presión y lo interrumpe al descender ésta.

Un control de alta presión es sensible a la presión de descarga del compresor, y normalmente se utiliza para detener al compresor en el caso de que exista una presión excesiva.

Deberá utilizarse el control adecuado de alta presión para el tipo de refrigerante del sistema, puesto que el límite de presión permisible varía según los diferentes refrigerantes. Un control de alta presión cierra un contacto al bajar la presión y lo abre con un aumento de la misma.

Los controles de alta y baja presión están compuestos de un control de baja presión y otro de alta presión montados en una misma caja y con un solo interruptor accionado por cualquiera de ellos.

TERMOSTATO.

Un termostato actúa para conectar o interrumpir un circuito en respuesta a un cambio de temperatura. Existen numerosos tipos de termostatos que van desde un simple interruptor bimetalico a

interruptores múltiples que actúan con la señal de bulbos sensibles y remotos. Los termostatos pueden tener un punto de control fijo o bien pueden ser ajustables.

Normalmente un termostato de refrigeración cerrará su circuito con una elevación de la temperatura y lo interrumpirá con un descenso de ésta, mientras que el termostato que controla las resistencias, en el sistema de calentamiento, cerrará su circuito con un descenso de la temperatura y lo interrumpirá con una elevación.

MOTORES.

Los motores eléctricos se utilizan como fuentes de energía en la gran mayoría de los compresores de refrigeración y, en la actualidad prácticamente todos ellos son de corriente alterna.

La casi totalidad de los motores utilizados para refrigeración son del tipo de inducción, cuyo nombre proviene del hecho de que la corriente es inducida en la parte móvil del motor, no teniendo conexión a la fuente de corriente del componente móvil. La parte estática de un motor de inducción se denomina estator y la parte móvil rotor.

Los devanados del estator están conectados a la fuente de energía, mientras que al rotor está montado en la flecha del motor, cuya rotación viene a ser la fuerza motriz del estator.

MOTOR TRIFASICO.

Los motores trifásicos son devanados con tres enbobinados separados. Cada una de las bobinas se encuentra desplazada 120 grados con respecto a la otra bobina, con lo que se obtiene un par de arranque muy elevado, no precisando de mecanismos ni dispositivos adicionales para el arranque. La dirección de giro del motor puede cambiarse invirtiendo dos de las tres conexiones de la línea.

4. SELECCION DE PRUEBAS EN LA CAMARA DE INTEMPERISMO.

La cámara de intemperismo tiene como objetivo acelerar el proceso de deterioro de los espejos expuestos. Las condiciones de humedad y tiempo de exposición fueron bien definidas para las 3 diferentes fases de las que consta este trabajo.

Las pruebas efectuadas en la cámara de intemperismo seguirán las normas establecidas por MATM "Matrix Approach for Testing Mirrors" [7], las cuales se ajustaron a las condiciones de trabajo con las que podría trabajar la cámara, tratando de apearse a lo establecido por dichas normas.

Para cada etapa se escogió el tipo de espejo que se iba a exponer basándose solamente por el promedio de reflejancia que presentara, así para la fase 1, la reflejancia promedio era de 0.905; para la etapa 2 de 0.848 y para la etapa 3 de 0.809.

Este promedio de reflejancias fue resultado de las diferentes técnicas de limpieza y de la calidad de la superficie del vidrio antes de evaporar el aluminio. Como la fase 1, involucraría temperatura y humedad altas y el daño iba a ser mayor, se decidió que los espejos a utilizar fueran los de reflejancia menor, ya que el daño iba a ser evidente.

A todos los espejos expuestos en la cámara en sus diferentes fases se les monitoreó antes y después de ser expuestos por medio de la medición de reflejancia hemisférica total, observación y fotografía al microscopio con un aumento de 100 X y observación directa.

FASE I.

La fase 1 consistió principalmente en someter a los espejos a condiciones extremas, es decir alta humedad casi a saturación y elevada temperatura, siendo estas condiciones, mayores que las extremas existentes en las zonas geográficas de interés para el desarrollo de una planta solar en el norte del país.

También se trató de tener una idea clara del daño que estas condiciones podían provocar a la película de aluminio con las diferentes técnicas de limpieza.

Características de la fase I.

| | |
|------------------------------|---------|
| Humedad relativa: | 80% |
| Temperatura: | 50°C |
| Tiempo de duración: | 15 días |
| Número de espejos expuestos: | 4 |
| Reflejancia: | 0.905 |

FASE II.

Como los daños provocados a los espejos en la Fase I fueron muy severos, es decir, se observó una gran corrosión en la película reflejante, se decidió elevar la temperatura en esta fase y bajar el valor de la humedad relativa en comparación con la fase anterior.

Con la fase I y II se abarcaron valores elevados o extremos de temperatura y humedad, dejando valores intermedios y mas reales a los atmosféricos para la fase III.

También se redujo el tiempo de exposición de 8 semanas a 4 semanas, ya que el daño evidente en los espejos se presenta en un tiempo menor [11].

El número de espejos se incrementó por razones de comparación con las técnicas de limpieza, pues se contaron con más métodos.

Los ajustes en los valores de HR y temperatura, también tiene como objetivo apegarse en lo posible a las normas "MATM".

Características de la Fase II.

| | |
|------------------------------|-----------|
| Humedad relativa: | 40% |
| Temperatura: | 70°C |
| Tiempo de duración: | 4 semanas |
| Número de espejos expuestos: | 10 |
| Reflejancia: | 0.848 |

La exposición de los espejos se realizó en ciclos de 4 horas. En esta fase se introdujeron muestras con una película protectora de Si_2O_3 que fué evaporada en la cámara de alto vacío.

Esto nos permite hacer un análisis más de comparación del grado de deterioro de espejos provistos de la capa protectora de Si_2O_3 y de los que carecían de ella.

Las condiciones extremas de temperatura son para observar la respuesta de la película de Si_2O_3 a altas temperaturas y en menor grado, a la humedad.

FASE III.

Esta fase se caracteriza principalmente por la exposición de las muestras en la cámara en periodos continuos de tiempo, hasta cubrir aproximadamente 300 horas. Al término de 168 horas, fueron analizados los espejos con las técnicas ya mencionadas.

Los valores de las condiciones de humedad y temperatura son un valor medio de las características climatológicas y muy reales de los estados de la zona norte del país.

Características de la fase III.

| | |
|------------------------------|----------------------|
| Humedad relativa: | 60% |
| Temperatura: | 45°C |
| Tiempo de duración: | 276 hrs. (2 semanas) |
| Número de espejos expuestos: | 12 |
| Reflejancia: | 0.809 |

Como las condiciones de operación de la cámara en las fases I y II no son muy representativas de las condiciones atmosféricas del norte del país, ésta fase tiene como objetivo principal acercarnos más a dichas condiciones, con el fin de poder hacer una recopilación de los datos que proporcionaron las fases anteriores y proponer las mejores técnicas de preparación de espejos.

5. METODOS DE DETECCION DE DEGRADACION.

El objetivo de monitorear el deterioro que sufre el espejo durante su exposición en la cámara de intemperismo, es conocer el inicio y desarrollo de los mecanismos por el cual la película reflejante se desprende del vidrio y pierde sus propiedades.

Este monitoreo se llevó a cabo periódicamente al inicio y durante la exposición en la cámara.

Los métodos de monitoreo del desprendimiento de aluminio que pueden ser usados son principalmente:

| TECNICA | RAZONAMIENTO | COMENTARIOS |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 1.- Reflejancia solar usando un reflectómetro portátil tipo Gierdunkle. | Se mide el promedio de la reflejancia hemisférica. | Rápida y muy exacta. |
| 2.- Fotografía (1 X) | Se mide cualitativamente la dispersión de la luz por el espejo. | Rápido y con un registro permanente. |
| 3.- Fotografía de Campo Oscuro (100 X). | Se monitorean regiones locales sin aluminio. | Rápido y con registro permanente. |
| 4.- Reflejancia Especular con reflectómetro portátil tipo sandia. | Mide directamente el funcionamiento de zonas de mayor interés. | Difícil de usar consistentemente. |

Eventualmente se puede usar la técnica de dispersión de Rutherford, usando el acelerador Van de Graff de 5 MeV del Instituto de Física. Con este acelerador se realiza un análisis superficial determinando cambios en la composición y productos contaminantes en las capas metálicas.

El número de técnicas utilizadas se consideran las necesarias para determinar las condiciones del espejo y detectar tempranamente la degradación [7].

Las técnicas escogidas para monitorear cada una de las fases fueron aquellas para las cuales la instrumentación y equipo estaba disponible.

La técnica de fotografía microscópica de campo oscuro se considera muy útil para la deducción objetiva de la morfología de la película de aluminio.

5.1 FOTOGRAFIA DE CAMPO OSCURO.

La fotografía de campo oscuro tiene la característica de presentar las zonas de la superficie del espejo sin aluminio en un tono oscuro y la superficie reflectora en un contraste claro. El desprendimiento de aluminio se observa como pequeños orificios o zonas discontinuas de la superficie metálica.

Las observaciones realizadas con un aumento de 100 X nos muestran un incremento en el número de los orificios (5μ m-diámetro) en la película de aluminio [7].

Generalmente en todos los estudios antes realizados en el Instituto de Ingeniería, se utilizaba un microscopio de campo oscuro, pero en este trabajo se utilizó un microscopio de campo claro; esto fue por el echo de no contar con el microscopio adecuado.

5.2 FOTOGRAFIA DE CAMPO CLARO.

Las fotografías y observaciones se realizaron con un microscopio de campo claro que se encuentra en el Instituto de Física, adaptándole un foco de 500 watts para observar las microzonas.

El microscopio óptico es marca Olympus modelo BU2 con una cámara fotográfica automática integrada de 35 mm modelo C-35AD-4.

Las fotografías tomadas fueron blanco y negro con un aumento de 100 X y película fotográfica Kodak Plus-X.

En este tipo de microscopio, los orificios ó zonas de degradación de la película metálica se observan en un tono claro cercano al blanco. La superficie de la película reflejante se observa de un tono oscuro casi negro.

En algunas fotografías se pueden observar rayones sumamente marcados y en ocasiones la superficie en un tono claro, mostrando algunos defectos que para este trabajo no son importantes.

Los orificios que se observan son puntos en los que la película metálica no se adhirió durante la evaporación. En este tipo de orificios, comienza en proceso de deterioro de la película reflejante Fig.10.

En otros casos, la película reflectora pierde sus propiedades adherentes al vidrio por efecto de las condiciones ambientales y comienza el proceso de desprendimiento mostrando una forma característica Fig. 11.



Fig. 10. Las imágenes blancas muestran orificios sin aluminio.

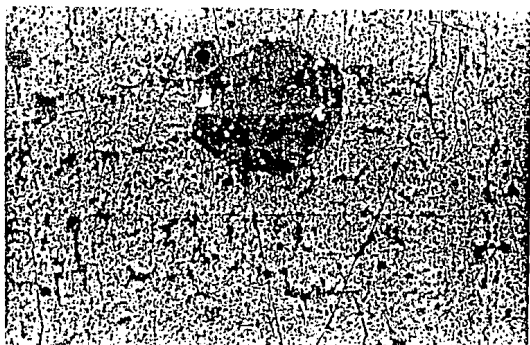


Fig. 11. Imágenes características de un centro de desprendimiento de película reflectora. La humedad empieza a desprender la película de aluminio.

Todos estos puntos de desprendimiento, aumentan su superficie según el daño provocado por las condiciones atmosféricas. Es importante hacer notar que la película protectora de vidrio transparente (Si_2O_3) es muy importante para frenar el ataque de la humedad.

Las fotografías se tomaron a todos los espejos que se elaboraron en este trabajo; estas fotografías se sacaron después de haber observado completamente toda la superficie y haber escogido los puntos mas representativos.

Una vez escogida la zona del espejo para sacar la fotografía, se anotaron las coordenadas de la posición, que vienen integradas a la platina del microscopio, y esto sirvió de referencia para todas las fotografías que posteriormente se sacarón.

El intervalo de tiempo en las que se sacaron las fotografías de los espejos en las tres fases, está resumido en la tabla 7.

Las observaciones efectuadas con el microscopio de todos los vidrios estan resumidas en el capítulo ; esta observación únicamente aporta datos cualitativos de las condiciones de la película metálica en los diferentes espejos y tiene como objetivo principal ser un medio de comparación entre las diferentes técnicas de limpieza del sustrato.

Las fotografías al microscopio, la medida de reflejancia y la observación visual al microscopio, se realizaron antes de exponer los espejos en la cámara de intemperismo. Posteriormente, el monitoreo de los espejos se realizó con los siguientes intervalos de tiempo después de iniciarse la exposición:

TABLA 7.

| FASE | I | II | III |
|---------------------|---------|----------|----------|
| Intervalo de tiempo | 28 Hrs. | 28 Hrs. | 168 Hrs. |
| | 56 Hrs. | 56 Hrs. | 336 Hrs. |
| | | 84 Hrs. | 504 Hrs. |
| | | 112 Hrs. | 672 Hrs. |

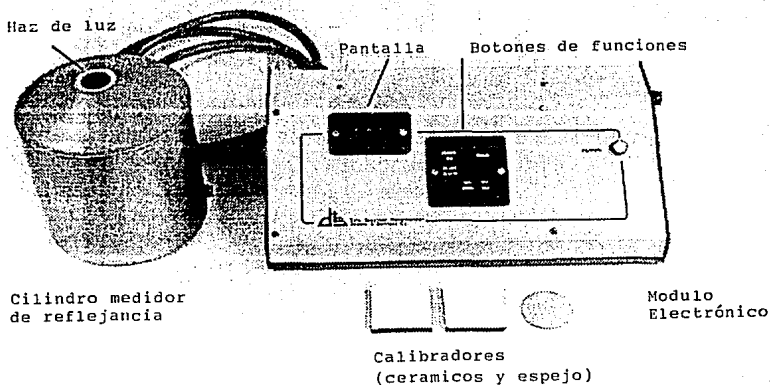
5.3 REFLEJANCIA SOLAR ESPECULAR.

La reflejancia solar es la única propiedad usada para medir la calidad de los espejos en las pruebas de aceleración.

En todos estos casos, la reflejancia decae según el desprendimiento de la película reflejante al exponerlo al medio ambiente o en la cámara de intemperismo. Esta propiedad disminuye a medida que aumentan las zonas de desprendimiento.

La medición de la reflejancia de materiales especulares como los espejos es sumamente importante, ya que nos indica cuantitativamente el daño provocado en la superficie metálica por las condiciones de operación en la cámara de intemperismo.

Para medir la reflejancia se utilizó un reflectómetro de reflejancia hemisférica total modelo SSR-ER marca Devices and Services Co., fig. 12.



5.3.1 FUNDAMENTOS DE REFLEJANCIA.

Las leyes de reflexión estudian los efectos producidos con haces de luz incidentes y reflejados por una superficie, (esto en el caso de haces proveniente de una fuente sobre un espejo), o más precisamente, los ángulos de los rayos incidentes y reflejados por una superficie reflectora respecto a un plano normal a ésta; lo cual se conoce como la ley de Snell. Al incidir un haz en el plano de incidencia, el ángulo reflejado es igual al ángulo de incidencia.

Se tiene entonces que $\theta_{\text{ref}} = \theta_{\text{inc}}$.

Los ángulos θ_{inc} y θ_{ref} están medidos a partir del plano normal a la superficie reflectora; la superficie anterior se considera completamente lisa o con irregularidades muy pequeñas que no afectan la reflexión. A éste tipo de reflexión se le llama reflexión especular [17], fig. 13.

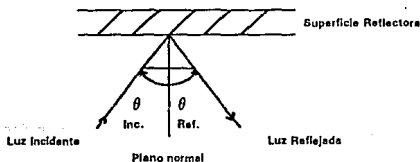


Fig. 13. Reflexión teórica por una superficie lisa.

Existen diferentes tipos de reflexiones según la superficie del material, a continuación se explican las características de dichas superficies partiendo de la incidencia de un cono de luz con un ángulo sólido de 32° .

Se considera un ángulo sólido, ya que el sol tiene un tamaño finito de 32° , visto desde la tierra, lo cual nos hace recibir conos de luz iguales sobre cualquier superficie, si la radiación solar no fuera dispersada.

Al incidir un haz de luz con cierto ángulo sólido, las superficies pueden reflejar este haz de tres formas distintas, fig.14:

Especular.- En el que la reflexión se realiza conservando el mismo ángulo del haz incidente respecto a un plano normal si el material es altamente especular.

Difusa.- En el que la reflexión pierde el ángulo de incidencia y se distribuye reflejado con igual intensidad hacia todas direcciones en forma hemisférica como un material completamente blanco y plano.

General.- En el que la reflexión de la superficie pierde el ángulo de incidencia y refleja hacia todos lados con diferentes intensidades; como materiales especulares con mucha rugosidad o materiales con diferentes matices de color.

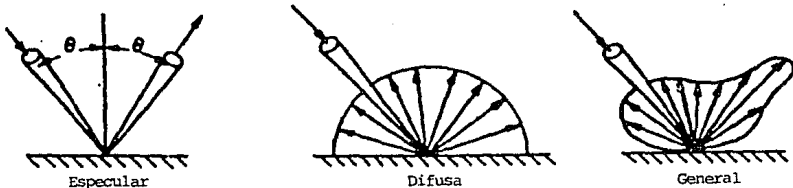
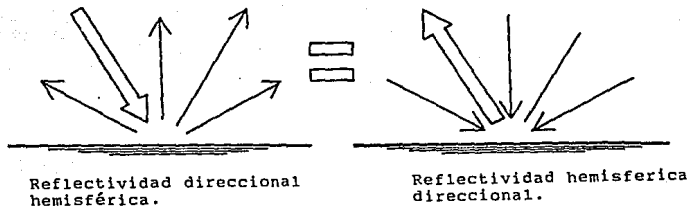


Fig. 14. Tipos de reflexión de las superficies, según Beckman y Duffie. (1974).

En el caso de la reflejancia hemisférica existe una reciprocidad entre la reflectividad hemisférica direccional y la reflectividad direccional hemisférica, para este caso:



La figura 15.a. muestra la incidencia de un haz de luz colimada y reflejado en forma difusa; la figura b, muestra la incidencia de una luz difusa sobre una superficie blanca, reflejando una porción de ella en forma especular ó colimada.

En resumen, el reflectómetro de reflejancia hemisférica total mide la reflejancia del espejo, cuando la luz incidente en forma difusa es reflejada en forma igualmente difusa; pero al incidir en el colimador a un cierto ángulo, éste la dirige al detector en todas las longitudes de onda del espectro visible e inmediatamente nos da la lectura usando 4 detectores que integran su señal para simular el espectro solar Figs. 16, 17, 18.

Para un tratamiento matemático de estos conceptos se tiene:

5.3.2. REFLEJANCIA HEMISFERICA ESPECTRAL.

Si la radiación incidente proviene de todo un hemisferio como lo muestra la Figura 19 y 20, toda la radiación que llega a la superficie del elemento de área dA está dada por [16]:

$$d^2Q_{\lambda, i}(\lambda) = d\lambda dA \int i'_{\lambda, i}(\lambda, \theta, \psi) \cos \theta dw$$

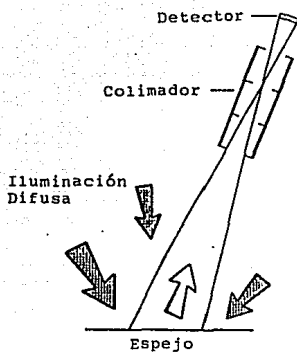


Fig. 16. Medición de la reflectancia en el reflectómetro.

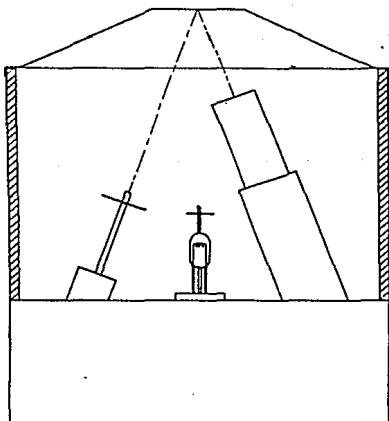


Fig. 17. Vista interior del cilindro de medición mostrando el colimador y la fuente de luz.

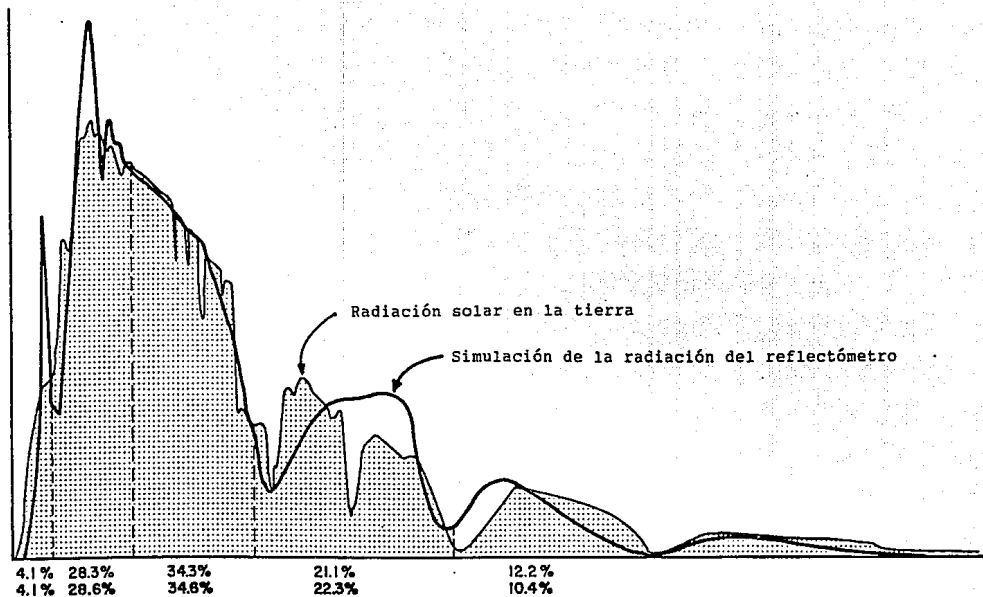


Fig. 18. Espectro de la radiación solar en la superficie terrestre (área sombreada) y simulación del espectro con el reflectómetro.

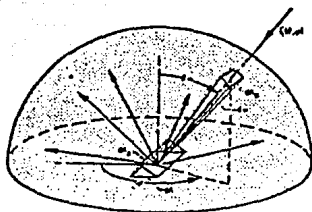


Fig. 19. Reflectividad hemisférica direccional

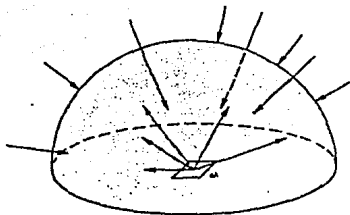


Fig. 20. Reflectividad hemisférica.

y la cantidad reflejada será:

$$d^2Q_{\lambda, r}(\lambda) = d\lambda dA \int \rho'(\lambda, \theta, \psi) i'_{\lambda, i}(\lambda, \theta, \psi) \cos \theta dw$$

Existen dos tipos de superficies, las que reflejan difusamente y las que reflejan especularmente. Para una superficie difusa, si la energía incide con dirección (θ, ψ) , produce una intensidad que se refleja, la cual varía en función del ángulo incidente.

Cuando un haz incide sobre un elemento de superficie difusa se produce un nuevo haz en todas las direcciones, con lo que la reflectividad espectral hemisférica direccional se puede simplificar a:

$$\rho'_{\lambda, d}(\lambda, \theta, \psi) = d'\lambda(\lambda, \theta, \psi) \int \cos \theta_r dw_r$$

o integrando sobre una superficie difusa

$$\rho'_{\lambda, d}(\lambda, \theta, \psi) = \pi \rho'_{\lambda}(\lambda, \theta, \psi)$$

En donde para cualquier ángulo incidente, la reflectividad espectral hemisférica direccional es π veces la reflectividad espectral bidireccional. Esto es porque $\rho'_{\lambda, d}$ contribuye a la energía reflejada en todas las direcciones (θ_r, ψ_r) .

Las superficies que reflejan especularmente obedecen las leyes de la reflexión. Para el caso de un haz incidente de cualquier dirección, un reflector especular por definición obedece una relación definida entre los ángulos incidente y reflejado. El haz reflejado hace el mismo ángulo con la superficie normal que el haz incidente, y esta en el plano definido por el haz incidente y la normal.

Entonces:

$$\theta_r = \theta; \psi_r = \psi + \pi$$

Para los otros ángulos la reflectividad espectral de una superficie especular es cero con lo que se puede escribir:

$$\rho'_{\lambda}(\lambda, \theta, \psi, \theta_r, \psi_r)_{\text{esp}} = \rho'_{\lambda}(\lambda, \theta, \psi, \theta_r = \theta, \psi_r = \psi + \pi) \equiv \rho'_{\lambda, s}(\lambda, \theta, \psi)$$

y la reflectividad espectral direccional de una superficie especular se considera que es función de la dirección incidente.

La reflectividad espectral hemisférica direccional para una radiación uniforme que incide en una superficie especular está dada por:

$$\rho'_{\lambda,d}(\lambda) = 1/\pi \int \rho'_{\lambda,s}(\lambda, \theta, \psi) \cos \theta \, dw$$

Que incluye las contribuciones para todas las longitudes de onda, lo que nos lleva a obtener las reflectividades totales [16].

En donde:

λ = Longitud de onda.

π = (Pi) = 3.141516

s = Reflectividad hemisférica espectral.

ρ = Superficie.

Q_r = Energía incidente.

(θ, ψ) = Coordenadas polares.

dw = Angulo sólido.

dA = Diferencial de área.

Los subíndices r e i indican reflejado e incidente respectivamente.

5.4. DISPERSION DE RUTHERFORD.

Es un método analítico que usa iones de 1-3 MeV (usualmente He^4), para analizar las superficies y regiones externas de 0.5 a 3.0 μm de materiales. Esta técnica nos da información de la composición atómica de la superficie de películas de espesores atómicos.

Provee de información cualitativa y cuantitativa acerca de la distribución de átomos cercanos a la superficie. Los diferentes elementos son distinguidos por sus masas con una resolución a una profundidad de por lo menos 100 Å. Es una técnica de análisis sumamente rápida para el monitoreo de reacciones en la película delgada, determinación de estructuras cristalinas por conducción de iones, etc.

Un típico sistema consiste en un acelerador de iones de helio y el análisis de una cámara automatizada. La muestra es bombardeada por los iones de He con alta energía. Los iones entrantes sobre

La reflectividad espectral hemisférica direccional para una radiación uniforme que incide en una superficie especular está dada por:

$$\rho'_{\lambda, d}(\lambda) = 1/\pi \int \rho'_{\lambda, s}(\lambda, \theta, \psi) \cos \theta \, d\omega$$

Que incluye las contribuciones para todas las longitudes de onda, lo que nos lleva a obtener las reflectividades totales [16].

En donde:

λ = Longitud de onda.

π = (Pi) = 3.141516

s = Reflectividad hemisférica espectral.

ρ = Superficie.

Q_r = Energía incidente.

(θ, ψ) = Coordenadas polares.

$d\omega$ = Angulo sólido.

dA = Diferencial de área.

Los subíndices r e i indican reflejado e incidente respectivamente.

5.4. DISPERSION DE RUTHERFORD.

Es un método analítico que usa iones de 1-3 MeV (usualmente He^4), para analizar las superficies y regiones externas de 0.5 a 3.0 μm de materiales. Esta técnica nos da información de la composición atómica de la superficie de películas de espesores atómicos.

Provee de información cualitativa y cuantitativa acerca de la distribución de átomos cercanos a la superficie. Los diferentes elementos son distinguidos por sus masas con una resolución a una profundidad de por lo menos 100 Å. Es una técnica de análisis sumamente rápida para el monitoreo de reacciones en la película delgada, determinación de estructuras cristalinas por conducción de iones, etc.

Un típico sistema consiste en un acelerador de iones de helio y el análisis de una cámara automatizada. La muestra es bombardeada por los iones de He con alta energía. Los iones entrantes sobre

el material chocan con la superficie exterior atómica por dispersión y presentan una pérdida de energía, característica de la masa de los elementos en la muestra.

La mayoría de los iones penetra en la superficie de la capa, y se difunde en una forma sucesiva de profundidad en las capas atómicas. Esto nos da pruebas de la distribución de varios elementos (masas).

La dispersión de iones es detectada por un detector de barrido superficial (usualmente dos) colocado en varios ángulos para optimizar la detección de masas y la resolución en la profundidad. Estos datos son almacenados en un analizador multicanal, y la superficie es provista de un número de dispersiones en función de la energía. La escala de la energía provee información del grosor de la capa, una interpretación espectral puede indicar el grado de la interacción química de especies estequiométricamente, o su cristalinidad [18].

Esta técnica no se utilizó durante éste trabajo, pero si se requiere un estudio más profundo de las muestras expuestas en la cámara de intemperismo, se pueden realizar, aunque se utiliza principalmente para estudiar espejos expuestos al medio ambiente con objeto de conocer los agentes contaminantes involucrados en la superficie del espejo, como se ha hecho en anteriores proyectos donde los espejos han estado expuestos al medio ambiente.

6. DESARROLLO EXPERIMENTAL.

La elaboración de los espejos realizados en el Instituto de Física será detallada en esta sección, en la que se especificarán las condiciones de vacío, amperaje, voltaje, espesores y tipos de crisol empleados en la fabricación de espejos.

Estos datos se proporcionarán tanto para la evaporación de Al como para la evaporación de SiO_2 .

La elaboración de los espejos se realizó en grupos de 3 a 6 espejos a la vez, en los que las características de evaporación fueron las mismas variando únicamente la técnica de limpieza.

Dado que se construyeron 26 espejos especialmente para la intemperización en la cámara, la descripción de las condiciones se realizará según el "lote" elaborado y no por fases de estudio, con la aclaración posterior por medio de una tabla resumida, del número de espejo y fase de estudio que lo contiene.

6.1 ESPEJOS FABRICADOS

Evaporación de aluminio.

Todos los espejos fabricados en este trabajo tuvieron una etapa de limpieza final (ozonización) con las siguientes condiciones de operación:

Ozonización:

Atmosfera: O_2

Vacío: $5 \cdot 10^{-5}$ Torr

Voltaje: 3000 V

Amparaje: 0.5 Amp.

Duración: 20 min.

Las condiciones de operación para la evaporación de aluminio en los diferentes lotes de espejos fabricados, fueron las siguientes:

| LOTE | # DE VIDRIO | VACIO (* 10 ⁻⁵ Torr) | CTE. DEL HAZ (mA) | ESPESOR (Å) | HORA |
|------|-------------|---------------------------------|-------------------|-------------|-------|
| 1 | 51.1 | 5.4 | 0 | 0 | 12:35 |
| | 52 | 5.5 | 80 | 3600 | 12:37 |
| 2 | F4 | 5.9 | 0 | 0 | 12:10 |
| | | 5.7 | 50 | 57 | 12:15 |
| | | 5.2 | 90 | 4000 | 12:25 |
| 3 | F5 | 5.8 | 0 | 0 | 11:45 |
| | F6 | 6.6 | 20 | 10 | 11:50 |
| | | 5.4 | 70 | 249 | 11:52 |
| | | 5.4 | 80 | 1360 | 11:53 |
| | | 5.2 | 90 | 4822 | 11:55 |
| 4 | 43 | 5.8 | 0 | 0 | 11:40 |
| | 45 | 6.6 | 30 | 30 | 11:45 |
| | 46 | 5.5 | 60 | 112 | 11:47 |
| | 47 | 5.4 | 75 | 730 | 11:48 |
| | 48 | 5.3 | 85 | 2735 | 11:50 |
| | | 5.2 | 85 | 4292 | 11:51 |
| | | 5.1 | 0 | 6248 | 11:52 |
| 5 | 50 | 5.5 | 0 | 0 | 13:53 |
| | 51 | 5.7 | 20 | 25 | 13:55 |
| | 53 | 5.5 | 40 | 320 | 13:56 |
| | 54 | 5.3 | 40 | 1302 | 13:58 |
| | 55 | 5.2 | 40 | 2235 | 14:00 |
| | 56 | 5.1 | 40 | 3123 | 14:02 |
| | | 5.2 | 40 | 4230 | 14:04 |
| | | 5.5 | 50 | 4429 | 14:06 |
| 6 | 38 | 5.2 | 40 | 3045 | 11:43 |
| 7 | 57 | 5.8 | 0 | 0 | 11:50 |
| | 59 | 5.9 | 15 | 0 | 11:56 |
| | 60 | 5.1 | 30 | 48 | 11:56 |
| | 61 | 5.0 | 30 | 370 | 11:57 |
| | 62 | 5.0 | 30 | 600 | 11:58 |
| | 63 | 5.0 | 30 | 865 | 11:59 |
| | | 5.0 | 30 | 1062 | 12:00 |
| | | 5.0 | 30 | 4081 | 12:07 |

En la mayoría de los lotes, la distancia entre el cañón de electrones y el sustrato fué de 36.5 cm, en los dos primeros lotes, la distancia fué de 28.5 cm.

Evaporación de SiO₂.

La evaporación de SiO₂ se realizó posteriormente a la de aluminio y solo se llevó a cabo en ciertos espejos. El procedimiento para evaporar SiO₂ es admitiendo oxígeno hasta una presión de 10⁻⁴ torr para transformar SiO₂ en Si₂O₃.

| # DE VIDRIO | VACIO(*10 ⁻⁴ Torr) | CTE. DEL HAZ (mA) | ESPESOR | HORA |
|-------------|-------------------------------|-------------------|---------|-------|
| 51 | 6.2 | 0 | 0 | 12:05 |
| 51.1 | 6.0 | 10 | 43 | 12:07 |
| 52 | 6.3 | 30 | 60 | 12:10 |
| | 5.3 | 40 | 625 | 12:11 |
| | 5.0 | 40 | 2630 | 12:13 |
| | 4.9 | 40 | 3965 | 12:14 |
| | 5.0 | 0 | 4258 | 12:15 |
| 62 | 1.0 | 0 | 0 | 11:24 |
| 63 | 1.0 | 15 | 230 | 11:28 |
| | 1.0 | 336 | 2120 | 11:41 |

Tabla No. 8 Metodología de limpieza de sustratos.

Esta tabla resume la metodología usada para limpiar los sustratos, presentada de acuerdo al número de espejos.

| # DE ESPEJO | TECNICA UTILIZADA |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 51 51.1 52 55 56 57 38 | Limpieza con mezcla crómica durante dos horas |
| F4 F5 F6 53 54 62 63 | Limpieza con ultrasonido: 20 minutos KOH 20 minutos H ₂ O destilada 20 minutos isopropanol |
| 45 46 59 60 61 | Limpieza con ácido fluorhídrico al 0.5% en volúmen durante 2 minutos |
| 47 48 50 | Limpieza con óxido de cerio durante media hora |

Tabla No. 9.- Espejos que integran cada una de las fases de estudio

Esta tabla presenta los números de los espejos expuestos en la cámara de intemperismo en cada una de las fases de estudio.

| FASE | NUMERO DE ESPEJO |
|------|------------------|
| I | 53 |
| | 54 |
| | 55 |
| | 56 |
| II | F4 |
| | F5 |
| | 45 |
| | 46 |
| | 47 |
| | 48 |
| III | 51.1 |
| | 38 |
| | 51 |
| | 52 |
| | F6 |
| | 50 |
| | 57 |
| | 59 |
| | 60 |
| | 61 |
| 62 | |
| 63 | |

7. RESULTADOS.

Los resultados de la exposición de los espejos en la cámara de intemperismo para las diferentes fases de estudio se presentarán a continuación comenzando con una descripción visual y al microscopio de las condiciones de la película reflejante, las medidas de reflejancia y una secuencia de fotografías al microscopio con aumento de 100 X, de la superficie del espejo para poder comparar de forma mas o menos rigurosa el daño que se espera que cause la intemperización prolongada.

Estas observaciones se realizaron con el mismo intervalo de tiempo mostrados en la tabla 7 del capítulo 5.

7.1 INSPECCION FISICA.

Durante esta sección, describimos las características observadas, tanto a simple vista como al microscopio en todos los espejos, separándolos por fase experimental y resumiendo las condiciones en las que se encontraron en los periodos de tiempo establecidos.

FASE I.

Espejos expuestos en esta fase: 53,54,55,56.

Al inicio los espejos presentaron pocos rayones, pero gran cantidad de microzonas. Aparentemente la película de aluminio no presentó aglomeraciones pues no se observa ondulamiento de la imagen reflejada. No presenta manchas de ningún tipo y tiene el color característico del aluminio puro, el aluminio tiene buena adherencia sobre el sustrato.

A las 28 horas de exposición:

Los espejos tienen ligera opacidad provocada por una película sumamente delgada color blanco (óxido de aluminio).

Se encontraron al microscopio algunos puntos iniciales de deterioro y desprendimiento de la película; esto se observa como pequeños círculos de un color más oscuro. En las orillas del espejo es mas notorio el desprendimiento del aluminio.

Al finalizar (56 hrs de exposición):

Las superficies de los espejos están sumamente opaca por la película de óxido, no presentan desprendimiento de aluminio ni rayones al observarse a simple vista.

Al microscopio se observa un aumento de centros de deterioro o desprendimiento en cantidad y tamaño, así como zonas con desprendimiento de aluminio. La película blanca adherida se removió un poco cuando se lavó con jabón suave y esponja, la película metálica se rayó considerablemente.

FASE II.

Espejos expuestos en esta fase: F4, F5, 43, 45, 46, 47, 48, 51.

| Espejo No. | Al inicio: |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| F4. | El espejo presentó algunas rayas no muy anchas pero si largas, no se observa ondulamiento de las imágenes reflejadas (evaporación de aluminio homogénea), no tiene manchas ni coloraciones extrañas. La película reflejante tuvo muy buena adherencia sobre el sustrato. Al microscopio se observaron pocos microagujeros, la superficie es muy homogénea y existen zonas grandes que no tienen ningún microagujero. |
| F5 | El espejo F5 se encuentra en las mismas condiciones que el espejo F4 pero con menos rayones. |
| 45 y 46 | Estos espejos no presentan coloraciones raras ni manchas, no tienen aglomeración de aluminio las superficies y no presentan rayones. Al microscopio se observan muy pocas microzonas, existen zonas homogéneas (sin microagujeros) con áreas muy grandes y los rayones son muy pocos. A estos espejos también se les evaporó SiO_2 . |
| 47 y 48 | Estos espejos tienen evaporación de SiO_2 como capa protectora, lo cual hace que la superficie presente tres colores característicos del SiO_2 evaporado, aparte de estos colores no tienen rayones ni manchas. Al microscopio se observan muchas microzonas y pocos rayones de pequeño tamaño que eliminan cualquier área homogénea, ni siquiera de un tamaño regular. |

- 51 Este espejo no tiene aglomeraciones del aluminio en la superficie, rayones ni manchas extrañas. Al microscopio se observan muchas zonas homogéneas exentas de microzonas.

A las 56 horas de exposición:

- F4 El espejo presenta pocas microzonas y pequeños rayones. Se observa un poco opaco el espejo, sobre todo en un costado, con una gran mancha y algunas zonas con película desprendidas, ésta es a la altura media del espejo.
- F5 A diferencia del espejo F4, no tiene ninguna mancha ni zonas desprendidas de aluminio.

45 y 46 Tienen pocas microzonas y los dos presentan un opacamiento provocado por una película sumamente delgada de color blanco.

El espejo 45 no tiene ningún cambio apreciable, no tiene centros de corrosión y ningún desprendimiento de película reflectora.

El espejo 46 presenta algunos centros de desprendimiento de película, pero no presenta un aumento aparente de microagujeros.

47 y 48 Tienen pocas microzonas en comparación con la observación anterior. Ambos presentan la opacidad por la película blanca.

El espejo 47 tiene un ligero incremento en el número de microzonas, el número de rayones se incrementó. Tiene una mancha circular en un extremo.

El espejo 48 no tiene incremento en el número de microzonas. El número de rayones si se incrementó a diferencia del espejo 47.

- 51 Se observa un incremento considerable en el número de microzonas, no tiene rayones y la película de aluminio comienza a mostrar una ligera opacidad. No tiene ninguna mancha extraña.

A las 84 horas de exposición:

- F4 Se observa un incremento en el diámetro de algunas microzonas y también comienzan a formarse centros de desprendimiento de aluminio en la mancha que tiene. Tiene un poco más de rayones. No tiene mucha opacidad.
- F5 El espejo tiene un gran incremento en el número de microzonas, tiene algunas zonas homogéneas. También se observan 2 centros de desprendimiento un poco grande. Tiene también, algunas microzonas con un diámetro mayor que los demás.
- 45 y 46 El número de microzonas permanece constante aparentemente, así como el opacamiento. Tienen muchas zonas muy homogéneas.
El espejo 45 casi no tiene zonas de desprendimiento.
- 47 y 48 Se observa un pequeño incremento en el número de microzonas. La opacidad no ha aumentado. Tienen un poco más de rayones y comienzan a aparecer, en ambos, algunos centros de desprendimiento en las orillas.

La mancha del espejo 47 permanece sin cambio.
- 51 El número de microzonas aumentó aun más. Casi no tiene zonas homogéneas. Los rayones no se incrementaron. La opacidad tampoco cambió. Tiene algunas zonas de desprendimiento sobre todo en las orillas del espejo.

A las 112 horas de exposición.

- F4 Las microzonas permanecen constantes en tamaño y número. Los centros de desprendimiento no han aumentado su tamaño, solo tiene desprendimiento en la gran mancha que es de aproximadamente 0.3cm de diámetro. La opacidad se incrementó considerablemente.
- F5 Las microzonas no se incrementaron ni tampoco el diámetro de alguno de ellos, presentan casi las mismas zonas homogéneas. Los centros de desprendimiento no aumentaron. Tiene una opacidad menor que el espejo F4.
- 45 y 46 Las microzonas no se incrementaron, ni en número ni en diámetro de los ya existentes. La opacidad no se incrementó, las zonas homogéneas siguen siendo muy grandes.

Las zonas de desprendimiento del espejo 45 no se incrementaron y las existentes no presentaron desprendimiento de aluminio.

47 y 48

Las microzonas permanecen constantes en diámetro pero no en cantidad, parece existir un incremento en su número, los rayones si se incrementaron, la opacidad en ambos es mínima.

La mancha del espejo 47 permanece sin cambios.

El espejo 48 presenta 2 zonas de desprendimiento del aluminio en formas rectangulares. En general, el espejo 48 esta más dañado que el 47.

51

Aumentó el número de microzonas, así como el número de rayones, la opacidad no aumentó, las zonas de desprendimiento aumentaron en cantidad y estos se observan en las orillas.

FASE III.

Espejos expuestos en esta fase: 38,51.1,52,F6,50,57,59,60,61,62,63.

Espejo No.

Al inicio:

38

Este espejo presenta pocas microzonas, no tiene aglomeraciones de aluminio en su superficie y no se observan rayones. Tiene áreas muy grandes homogéneas y no presenta coloraciones extrañas, el aluminio tiene buena adherencia a la superficie del vidrio.

51.1

No tiene muchas microzonas, es un espejo con la superficie muy homogénea, no presenta aglomeraciones en la superficie y no tiene rayones. No tiene manchas ni coloraciones extrañas, el aluminio tiene buena adherencia a la superficie del vidrio. A este espejo se le evaporó SiO_2 .

52

Este, al igual que el espejo 51 es muy homogéneo, no tiene rayones, no presenta aglomeraciones en la superficie y no tiene manchas ni coloraciones extrañas, tiene buena adherencia entre el Aluminio y la superficie del vidrio.

F6

Tiene muy pocas microzonas, presenta algunos rayones no muy largos, la película de aluminio no tiene aglomeraciones ni manchas, no tiene tampoco

coloraciones extrañas y presenta buena adherencia entre la superficie de Al y el vidrio.

50 Este espejo no tiene aglomeraciones de aluminio en la superficie, tiene una mancha en forma circular en una esquina color gris oscuro, y presenta pocas microzonas, hay buena adherencia Aluminio-vidrio.

57 Este espejo tiene pocas microzonas y rayones, presenta algunas zonas homogéneas y no tiene aglomeraciones en la película de aluminio. No tiene manchas ni rayas y tiene buena adherencia entre Aluminio - vidrio.

59 Presenta pocas microzonas, no tiene coloraciones extrañas ni manchas, tiene algunos rayones.

60 Tiene pocas microzonas y rayones, no tiene manchas raras. No tiene aglomeraciones la superficie de aluminio y presenta buena adherencia la película de aluminio al vidrio.

61 Tiene muchas microzonas y no tiene manchas ni coloraciones extrañas aún que se observa un poco opaco, no tiene aglomeraciones la película de aluminio y tiene buena adherencia entre el Aluminio y el vidrio.

62 Tiene pocas microzonas y muchos rayones, no tiene coloraciones extrañas ni manchas.

63 Tiene algunas microzonas y no tiene rayones, no tiene coloraciones extrañas y no presenta aglomeración en la superficie del aluminio. Tiene buena adherencia Aluminio-vidrio.

A las 168 horas de exposición:

Espejo No:

38 El número de microzonas se incrementó y se observan rayones un poco grandes.

51.1 El número de microzonas permanece constante aparentemente, los rayones se presentan muy pequeños y en poca cantidad.

- 52 Aquí se incrementaron las microzonas y los rayones en la superficie del aluminio.
- F6 Los microagujeros no aumentaron ni los rayones.
- 50 La mancha que tiene en la esquina no ha cambiado de forma, tamaño o color, las microzonas no han aumentado ni tampoco los rayones.
- 57 No han aumentado las microzonas, pero si los rayones en la película.
- 59 Las microzonas no han aumentado en número ni los rayones.
- 60 Las microzonas no aumentaron en número y no se encontraron rayones.
- 61 No aumentaron los microagujeros ni los rayones.
- 62 Se observa un aumento en el número de rayones pero no de microzonas.
- 63 No aumentó el número de microagujeros y no tiene rayones.

A las 336 horas de exposición:

Espejo No.:

- 38 Aumentó el número de microzonas y el número de rayones, no aparecen todavía centros de desprendimiento.
- 51.1 No aumentaron los microagujeros y si la cantidad de rayones.
- 52 También aumentaron las microzonas y los rayones, ambos se encuentran en mayor proporción que el espejo 51.1.
- F6 Hay poco cambio en el número de microagujeros y en los rayones.

- 50 Aumentaron en gran cantidad las microzonas y los rayones, la mancha en la esquina no ha cambiado de forma ni color, aparecen algunas zonas de desprendimiento.
- 57 Las microzonas aumentaron un poco al igual que los rayones, éstos solo en la superficie del aluminio, lo que significa que no hay desprendimiento de aluminio, las zonas homogéneas disminuyeron.
- 59 Las microzonas aumentaron un poco, los rayones permanecen constantes y no hay zonas de desprendimiento.
- 60 Aumentaron muy poco las microzonas y los rayones, no tiene zonas de desprendimiento.
- 61 Las microzonas no aumentaron al igual que los rayones, las zonas homogéneas permanecen constantes.
- 62 Aumentaron un poco las microzonas y la cantidad de rayones, disminuyeron mucho las zonas homogéneas, no tiene zonas de desprendimiento.
- 63 Las microzonas se incrementaron igual que el número de rayones, todavía presenta zonas homogéneas y no tiene zonas de desprendimiento.

7.2 MEDIDAS DE REFLEJANCIAS.

Las medidas de reflejancias se tomaron a todos los espejos expuestos en la cámara de intemperismo.

Se escogieron zonas específicas de los espejos para tomar las lecturas. Para algunos espejos fué posible tomar 5 lecturas, para otros, únicamente 3.

Las mediciones se efectuaron por el lado derecho del espejo (D), que es donde se encuentra el aluminio. El lado opuesto se designa como el lado revers (R). Al ser espejos de primera superficie, el lado revers no se mide.

FASE I.

Resumen de las reflejancias de los espejos tomando en cuenta las reflejancias promedio solo del lado derecho (D).

TABLA 10.

| REFLEJANCIAS ESPEJO #. | INICIO | 28 HORAS | 56 HORAS | % DE PERDIDA TOTAL |
|---------------------------|--------|----------|----------|-----------------------|
| 53 | 0.906 | 0.875 | 0.815 | 11 |
| 54 | 0.905 | 0.889 | 0.877 | 4 |
| 55 | 0.900 | 0.854 | 0.658 | 27 |
| 56 | 0.910 | 0.861 | 0.666 | 27 |

Esta fase se suspendió a las 56 horas de exposición continua, por el daño tan severo que mostraron los espejos.

FASE II

Resumen de las reflejancias obtenidas para la fase II, tomando en cuenta reflejancias promedio para el lado donde se encuentra la película reflectora (D).

TABLA 11.

| REFLEJANCIAS ESPEJO # | INICIO | 28 HORAS | 56 HORAS | 84 HORAS | 112 HORAS | % DE PERDIDA TOTAL. |
|--------------------------|--------|----------|----------|----------|--------------|---------------------------|
| F4 | 0.902 | 0.897 | 0.886 | | | 2% |
| F5 | 0.824 | 0.817 | 0.813 | | | 1.3% |
| 45 | 0.810 | 0.793 | 0.782 | | | 3.5% |
| 46 | 0.802 | 0.780 | 0.779 | | | 3% |
| 47 | 0.817 | 0.793 | 0.789 | | | 3.5% |
| 48 | 0.845 | 0.827 | 0.821 | | | 3% |
| 51.1 | 0.849 | 0.845 | 0.843 | | | 1% |

Las lecturas para los intervalos de 84 y 112 horas se omitieron por no ser representativas, ya que se utilizó un reflectómetro diferente por descomponerse el de uso regular y las lecturas dieron para ambos casos, resultados similares a los valores iniciales en esta prueba.

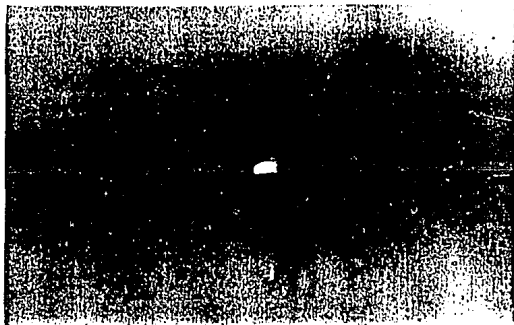
FASE III.

Resúmen de las reflejancias obtenidas para la fase III, tomando en cuenta reflejancias promedio para el lado donde se encuentra la película reflectora (D).

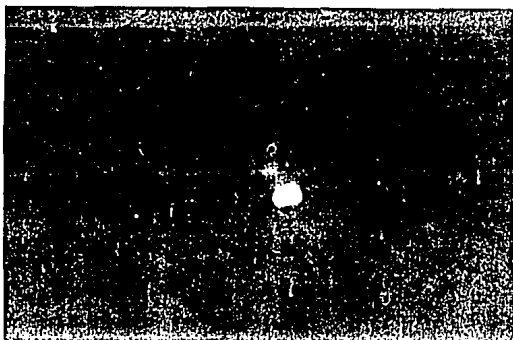
TABLA 12.

| ESPEJO # | INICIO | 168 HORAS | 336 HORAS | % DE PERDIDA. |
|----------|--------|-----------|-----------|---------------|
| 38 | 0.877 | 0.866 | 0.853 | 3 |
| 51 | 0.903 | 0.903 | 0.895 | 1 |
| 52 | 0.901 | 0.896 | 0.891 | 1 |
| F6 | 0.894 | 0.893 | 0.885 | 1 |
| 50 | 0.850 | 0.839 | 0.832 | 1 |
| 57 | 0.902 | 0.841 | 0.840 | 1 |
| 59 | 0.898 | 0.892 | 0.888 | 1 |
| 60 | 0.900 | 0.895 | 0.883 | 1 |
| 61 | 0.853 | 0.853 | 0.845 | 1 |
| 62 | 0.902 | 0.899 | 0.885 | 1 |
| 63 | 0.904 | 0.899 | 0.884 | 1 |

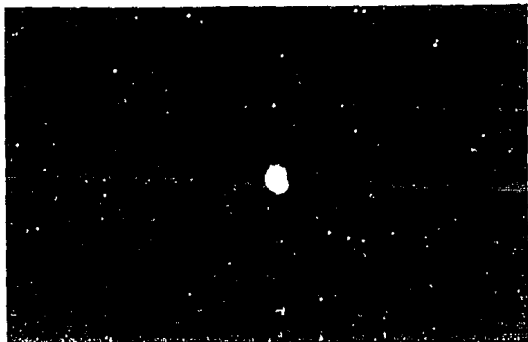
A continuación se presentan las fotografías al microscopio, mas representativas de las condiciones de los espejos a lo largo de las etapas de exposición. También se presentan graficamente las perdidas de reflejancia en función del tiempo para cada uno de los espejos a lo largo de todo el estudio.



Espejo 47. Antes de iniciar las pruebas en la cámara de intemperismo.



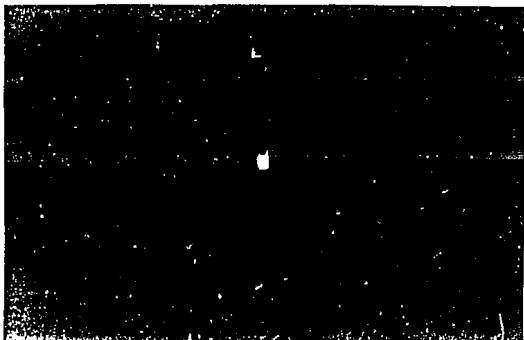
Espejo 47. Al finalizar la exposición en la cámara. Es notable el incremento del área del elemento central.



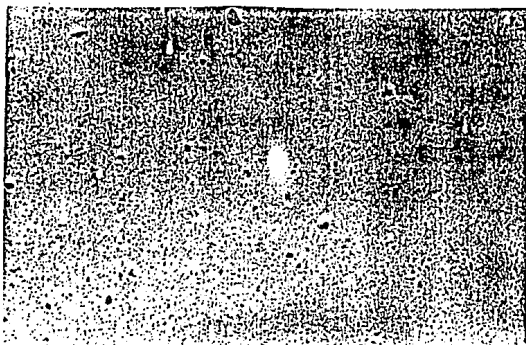
Espejo 47. Antes de iniciar la intemperización acelerada.



Espejo 47. Al finalizar la intemperización. La superficie tiene mas áreas sin aluminio.



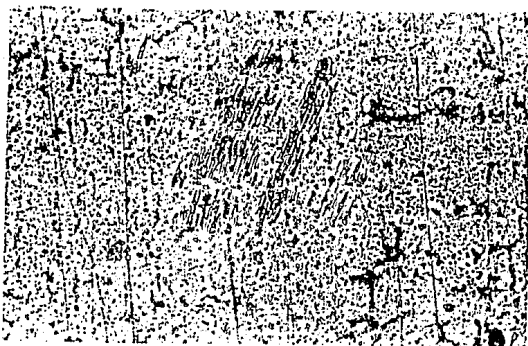
Espejo 47. Superficie antes de iniciar la intemperización.



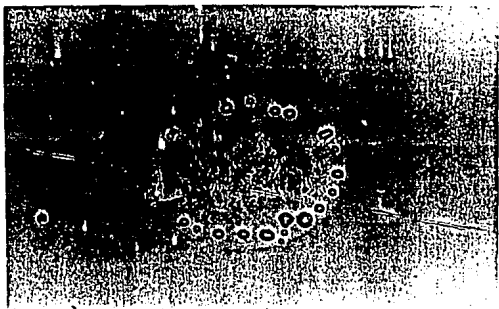
Espejo 47. Superficie el final de la intemperización. La superficie tiene mas con rayones.



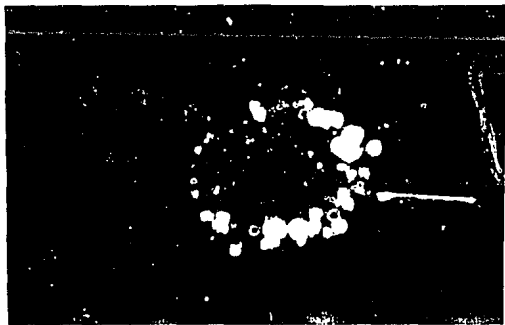
Espejo F4. Apariencia antes de iniciar la intemperización.



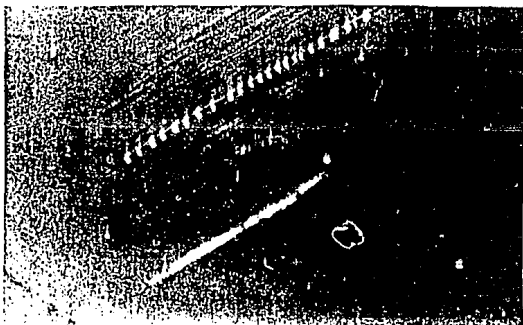
Espejo F4. Superficie después de intemperización. El cambio es poco considerable.



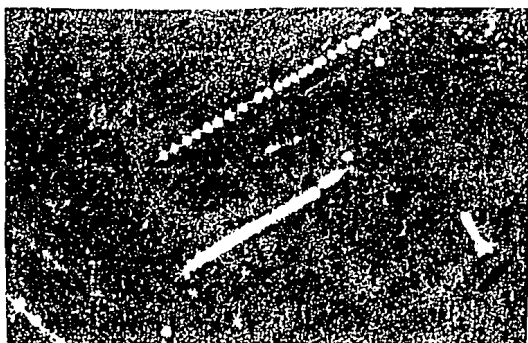
Espejo 41. Superficie después de 28 horas de exposición. Formación de un centro de desprendimiento.



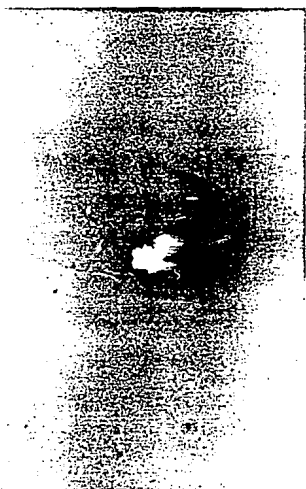
Espejo 41. Superficie después de 56 horas de exposición. El centro de desprendimiento aumenta su área (zonas blancas).



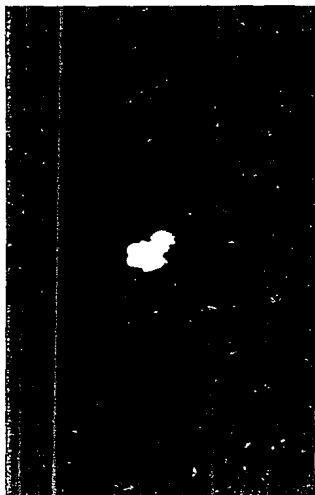
Espejo 41. Rayones observados a las 28 horas de exposición.



Espejo 41. Los rayones aparecen un poco mas grandes después de 56 horas de exposición.



Espejo 51.1. Superficie antes de la exposición en la cámara



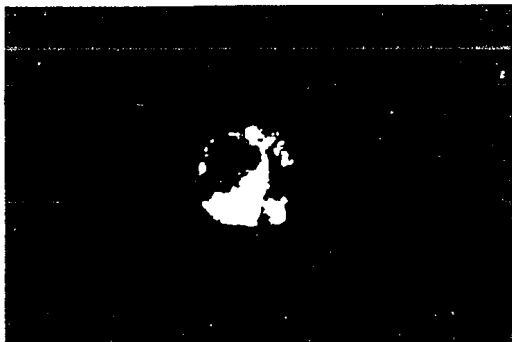
Espejo 51.1. Superficie a las 28 horas de exposición.



Espejo 51.1. Superficie a las 56 horas de exposición. Las superficies no han tenido ningun cambio.



Espejo 50. Iniciación de zona de desprendimiento.



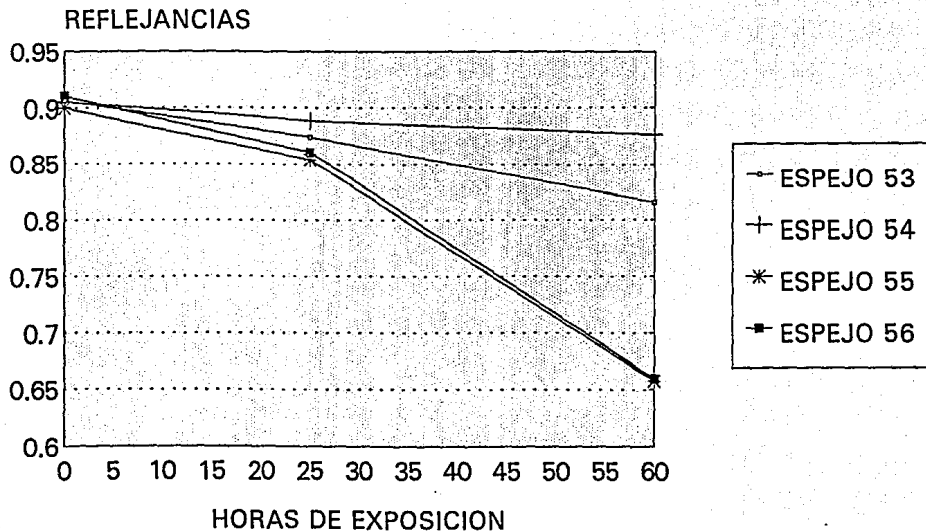
Espejo 50. Crecimiento de la microzona al termino de la exposición.



Fibra de papel que impidió el depósito de aluminio al momento de evaporarlo, en algunos espejos, ningún método de limpieza fué suficiente para remover este tipo de contaminantes, por eso la importancia de ambientes sumamente limpios.

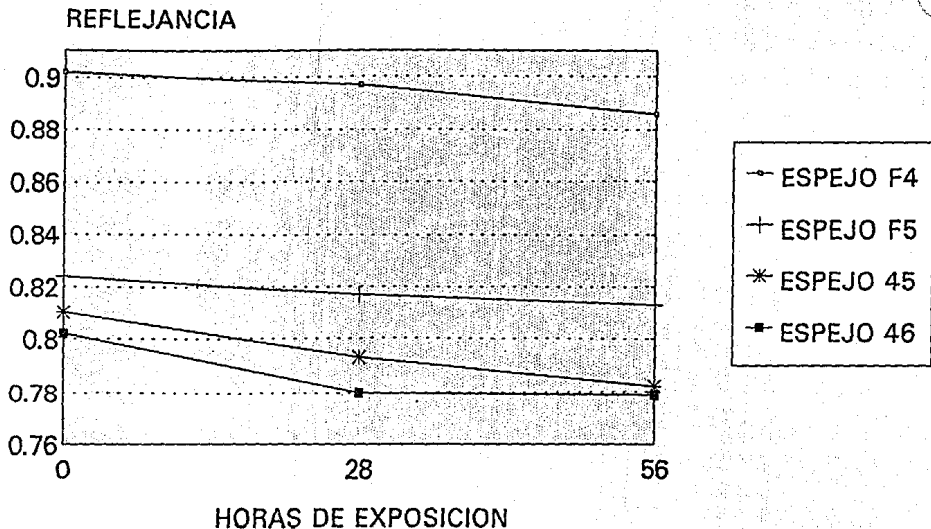
FASE I

PERDIDA DE REFLEJANCIA



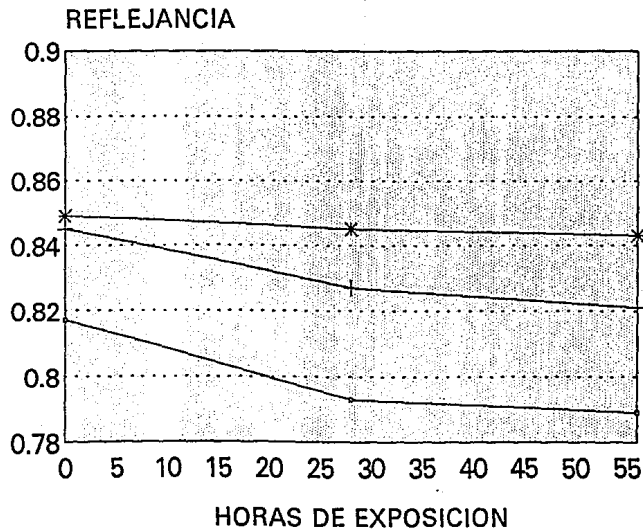
FASE II

PERDIDA DE REFLEJANCIA



FASE II

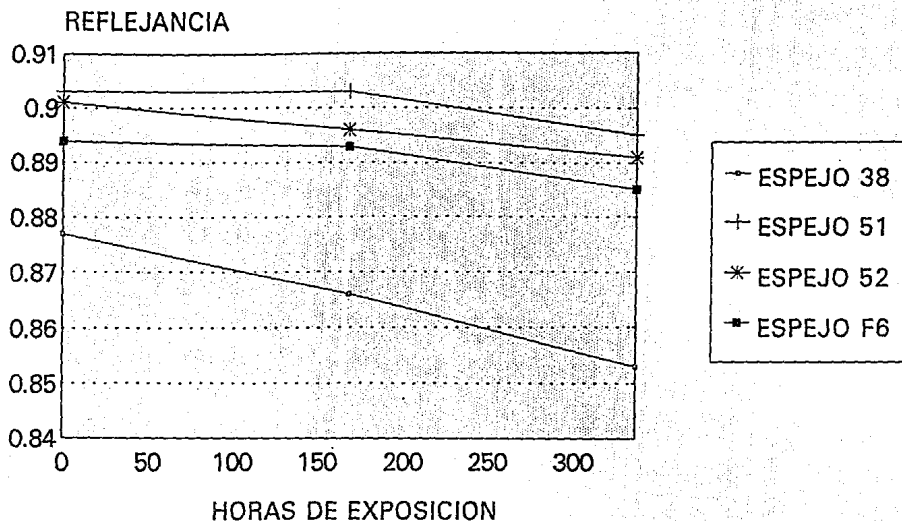
PERDIDA DE REFLEJANCIA



—+ ESPEJO 47
—+ ESPEJO 48
—* ESPEJO 51.1

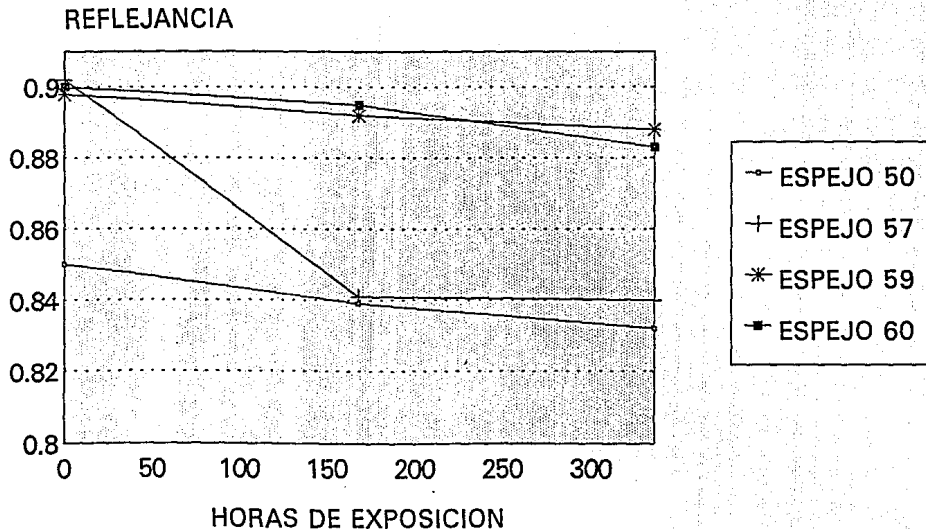
FASE III

PERDIDA DE REFLEJANCIA



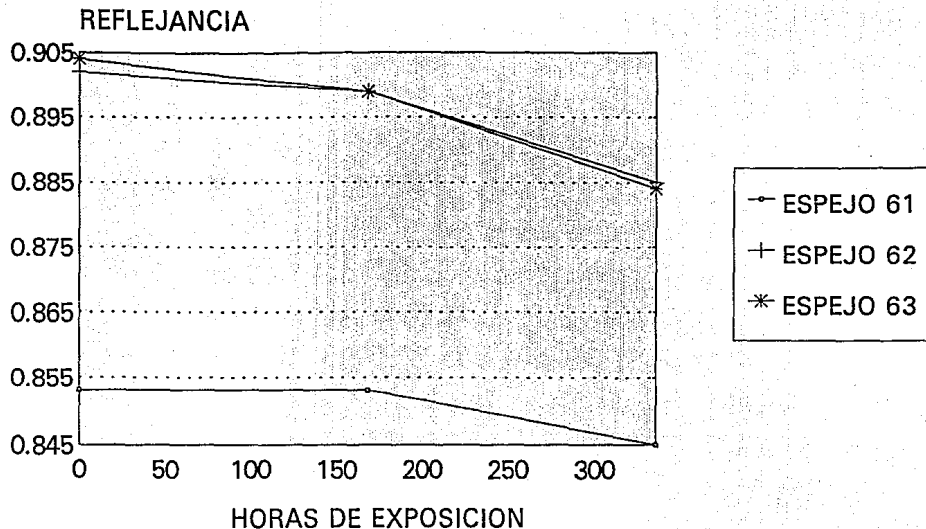
FASE III

PERDIDA DE REFLEJANCIA



FASE III

PERDIDA DE REFLEJANCIA



8. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS.

CONCLUSIONES.

Básicamente se tienen dos técnicas de limpieza con las que los espejos resistieron mejor la intemperización acelerada:

- Limpieza con ultrasonido
- Limpieza con mezcla crómica

y como técnica complementaria a cualquiera de estas es la limpieza con HF

Los espejos limpiados con estas técnicas más el recubrimiento protector, tuvieron la menor pérdida de reflectancia promedio de todos los espejos (51, 51.1, 60, 61); una tercera técnica que mostro buen desempeño fué la limpieza con ácido fluorhídrico, a pesar de que ningún espejo limpiado con este ácido fue recubierto con SiO_2 estos perdieron poca reflectancia. Esto es explicable por el efecto del ácido sobre el vidrio al hacer su superficie mas rugosa y cavernosa facilitando el anclaje de la película de aluminio.

Todos los espejos expuestos en la cámara de intemperismo sufrieron un daño severo en algunos casos y en otros, un daño parcial o mínimo. Los principales factores que afectaron a los espejos durante su exposición fueron:

1. La humedad y temperatura son las condiciones mas importantes que activan el proceso de desprendimiento de la película de aluminio. Por esta razón en MATM-II [11], se recomienda no realizar pruebas con humedades tan altas.

2. El manejo de los espejos hacia los lugares donde se medía la reflectancia provocó el aumento de rayones al igual que la intensidad de los ya existentes, lo que permitió la entrada de humedad y contaminantes a la interfase vidrio-aluminio, promoviendo la formación de centros de desprendimiento y desprendimiento total de la película reflejante.

3. Otra causa que provocó muchos rayones en la película reflectora, es el traslado de los espejos hasta el Instituto de Física para sacar las microfotografías correspondientes y posteriormente su colocación en la cámara de intemperismo.

4. La falta de un aseo riguroso en el laboratorio de Implantación de Iones en el Instituto de Física y de la cámara de vacío, provocan un acumulación de partículas de polvo en la superficie del vidrio provocando algunos de los microagujeros.

5. La deficiencia de algunos de los métodos químicos para la limpieza de los sustratos provocan también la formación de microagujeros; que son sitios en los cuales el aluminio no se deposita o se desprende con mucha facilidad.

6. La disminución de la reflejancia en los espejos de aluminio que no contienen película protectora de SiO_2 , se debe a la formación de una capa de óxido de aluminio sumamente delgada como producto de la reacción entre el aluminio y el oxígeno del medio ambiente.

Esta película de óxido es muy delgada y cuando se realiza un lavado mas drastico del espejo, provoca un rayado excesivo en la película de aluminio.

7. Algunos espejos de la Fase II y principalmente de la Fase I presentan una película color gris, que causa una disminución en la reflejancia de los espejos.

Esta película fué consecuencia de haber usado agua potable ó "corriente" en el humidificador que alimenta a la cámara de intemperismo. Esta película son acumulamientos de sales minerales y son sumamente difíciles de eliminar.

8. Las reflejancias que permanecieron con un valor mas constante son las de los espejos con película protectora de SiO_2 , aunque inicialmente su reflejancia es un poco baja, esta se mantiene constante por periodos prolongados de exposición.

9. En algunos casos, las reflejancias de espejos con protección de SiO_2 llegan a bajar demasiado y presentan un aumento de microagujeros, esto posiblemente sea provocado por la fractura ó perdida total o parcial de dicha película por el transporte de las muestras a los lugares antes mencionados.

10. Como la evaporación de SiO_2 se realiza posterior a la de aluminio, y esto implica abrir la cámara de evaporación, el sustrato se recontamina e impide una superficie homogénea de SiO_2 que hace mas vulnerable al espejo del ataque del agua y contaminantes atmosféricos. En posteriores estudios es necesario usar dos cañones de electrones para evitar abrir la cámara de evaporación.

11. Las técnicas de limpieza química que mejores resultados dieron después de la intemperización de los espejos son:

- Limpieza por ultrasonido.
- Limpieza con mezcla crómica.
- Limpieza con HF al 0.5%.

12. La importancia de una superficie de vidrio extremadamente lisa y homogénea para evaporar aluminio, es sumamente relevante. Este aspecto es importante ya que un vidrio "viejo" presenta mas rayones y a mayor profundidad que uno nuevo.

13. El uso de equipos buenos y seguros (en el caso del reflectómetro), facilita el monitoreo y el control de mediciones reales y confiables.

14. Al finalizar las exposiciones de las muestras de espejos con película de SiO_2 la reflejancia se elevó después de lavarlos con agua corriente y jabón líquido sin sufrir muchos rayones. Esto afirma la eficiencia de la película protectora de vidrio (SiO_2).

15. El descenso de la reflejancia en los espejos es provocado por la dispersión de luz por efecto de los rayones y del aumento de los microagujeros.

16. Algunas impurezas que impiden la formación de zonas homogéneas en el vidrio, posiblemente sean partículas desprendidas del crisol de grafito ya que esto no es de alta pureza. En las siguientes etapas de estudio se usarán crisoles de grafito de alta pureza.

SUGERENCIAS.

Las recomendaciones mas importantes que se pueden dar para alcanzar el máximo éxito en la fabricación de espejos para concentradores solares son:

- Manejar los vidrios antes de la evaporación de aluminio con guantes, y por las orillas; estos guantes se utilizarán solo una vez y se deschararán.
- Lavar los espejos con jabon industrial que no contenga perfumes.
- Lavar posteriormente todos los espejos con ácido fluorhídrico para provocar las superficies cavernosas en en el vidrio y asegurar el anclaje del aluminio.
- No se debe enjuagar por ningún motivo los vidrios con ningún tipo de alcohol.
- Se debe de tener especial cuidado de enjuagar los vidrios con agua desmineralizada, el pH de las gotas finales que escurran del vidrio debe sear igual al del agua desmineralizada.
- En lugar de agua destilada, se pueden secar los vidrios con aire comprimido y filtrado.
- Colocar los vidrios en el desecador al vacio y a temperatura de 150 °C durante 2 ó 3 horas antes de la evaporación.
- Transportar los espejos con el mayor cuidado posible para evitar rayones profundos en su superficie.
- Mantener una máxima higiene y limpieza en el sitio donde se evapore aluminio y SiO_2 .

- Proteger la película de aluminio con SiO_2 .
- Es necesario colocar la cámara de evaporación en un cuarto completamente aislado, con filtros de aire y presiones internas positivas.
- Utilizar 2 cañones de electrones para evaporar aluminio y SiO_2 sin necesidad de abrir la cámara de vacío, con esto se eliminan suciedades obteniendo ahorros en tiempo para la evaporación y de energía para alcanzar los vacíos necesarios.
- Se deberá tener mucho cuidado en el material del crisol utilizado para colocar las sustancias a evaporar, es recomendable que se usen crisoles de alta pureza de nitruro de boro para evaporar aluminio y grafito para evaporar el SiO_2 .
- No es necesario utilizar vidrio flotado para fabricar los espejos, ya que superficies cavernosas favorecen la adhesión del aluminio. Tener cuidado de no usar vidrios con rayones sumamente profundos, estos no serán cubiertos en su totalidad al evaporar aluminio.
- Adquirir una lámpara de luz ultravioleta tipo mineralógica, ya que con ésta es posible detectar en el vidrio flotado la cara que está en contacto con el estaño. Es posible identificar esta cara ya que hay absorción, reflejancia y fluorescencia de la radiación ultravioleta por el estaño.
- Utilizar agua destilada o desmineralizada para el humidificador de la cámara de intemperismo siempre que ésta se utilice.
- Usar en la cámara de intemperismo valores de humedad relativa semejantes a las de las condiciones de noroeste del país, por ejemplo en Chihuahua la máxima es de 57%, en Hermosillo es 53%.

Tabla No. 1.

DIRECCION GENERAL DE GEOGRAFIA Y METEOROLOGIA.

SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL

TEMPERATURAS EXTREMAS MAXIMAS Y MINIMAS

(PROMEDIO POR ENTIDADES)

ESTADO: BAJA CALIFORNIA NORTE.

ENTIDADES CON LAS MAS ALTAS TEMPERATURAS.

| No. DE ENTIDAD | MAXIMA (°C) | MINIMA (°C) |
|----------------|-------------|-------------|
| 1 | 43.5 | -1.6 |
| 2 | 35 | 1 |
| 3 | 57 | -8.9 |
| 4 | 45 | -5 |
| 5 | 57 | -3 |
| 6 | 48 | -6.5 |
| 7 | 45 | -18 |
| 8 | 54.3 | -7 |
| 9 | 42.1 | -3 |
| 10 | 48 | -6 |
| 11 | 49.5 | -7.5 |
| 12 | 45 | -5 |
| 13 | 49 | -4 |
| 14 | 48.5 | -11 |

Por lo tanto, las temperaturas extremas que se tienen registradas son las siguientes:

Máxima extrema: 57°C

Mínima extrema: -18°C

Tabla No. 2.

ESTADO: BAJA CALIFORNIA SUR.

ENTIDADES CON LAS MAS ALTAS TEMPERATURAS.

| No. DE ENTIDAD | MAXIMA (°C) | MINIMA (°C) |
|----------------|-------------|-------------|
| 1 | 43.1 | 1.9 |
| 2 | 39 | 1 |
| 3 | 44 | 3 |
| 4 | 39.5 | 2 |
| 5 | 38.5 | 5 |
| 6 | 43 | 1.5 |
| 7 | 42.5 | 0 |
| 8 | 46 | 0 |
| 9 | 45 | -8 |
| 10 | 47 | 0 |
| 11 | 49 | 0 |
| 12 | 50 | -5 |
| 13 | 44 | 0 |
| 14 | 45 | -5 |
| 15 | 42 | -0.5 |
| 16 | 45.5 | 0 |
| 17 | 40 | 2 |
| 18 | 36 | -7 |

Por lo tanto, las temperaturas extremas que se tienen registradas son las siguientes:

Máxima extrema: 50°C

Mínima extrema: -8°C

Tabla No. 3.

ESTADO: CHIHUAHUA.

ENTIDADES CON LAS MAS ALTAS TEMPERATURAS.

| No. DE ENTIDAD | MAXIMA (°C) | MINIMA (°C) |
|----------------|-------------|-------------|
| 1 | 41.3 | -12.8 |
| 2 | 43 | -26 |
| 3 | 50.5 | -26 |
| 4 | 43 | -26 |
| 5 | 45 | -20.5 |
| 6 | 40 | -29 |
| 7 | 43 | -16 |
| 8 | 45 | -19 |
| 9 | 39 | -26 |
| 10 | 46 | -20.5 |
| 11 | 49 | -8 |
| 12 | 38.5 | -15 |
| 13 | 42 | -12 |
| 14 | 48 | -7 |
| 15 | 47 | -20 |
| 16 | 35 | -12 |
| 17 | 49 | -23 |
| 18 | 39 | -26 |
| 19 | 38 | -11.5 |
| 20 | 38.5 | -23 |

Por lo tanto, las temperaturas extremas que se tienen registradas son las siguientes:

Máxima extrema: 50.5°C

Mínima extrema: -29°C

Tabla No. 4.

ESTADO: SONORA.

ENTIDADES CON LAS MAS ALTAS TEMPERATURAS.

| No. DE ENTIDAD | MAXIMA (°C) | MINIMA (°C) |
|----------------|-------------|-------------|
| 1 | 46.8 | 0.0 |
| 2 | 47 | -6.0 |
| 3 | 38.5 | 6.0 |
| 4 | 50 | -5 |
| 5 | 39 | -17 |
| 6 | 52 | -6.5 |
| 7 | 49 | 0.0 |
| 8 | 52.5 | -1.0 |
| 9 | 46.5 | -6.5 |
| 10 | 50 | -5 |
| 11 | 47.5 | -5 |
| 12 | 41 | -8 |

Por lo tanto, las temperaturas extremas que se tienen registradas son las siguientes:

Máxima extrema: 52.5°C

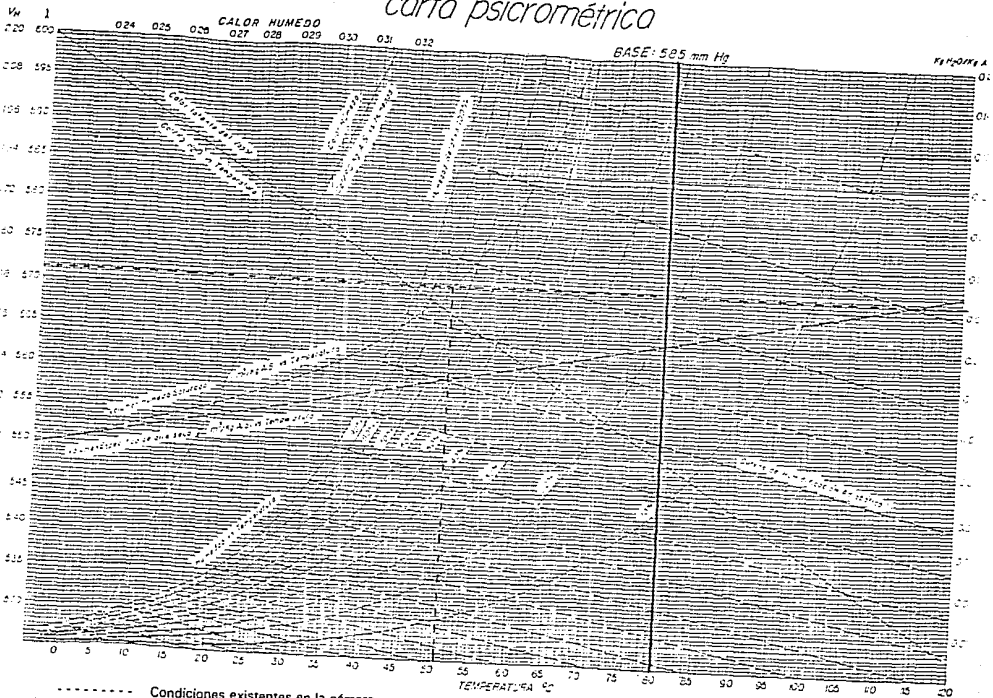
Mínima extrema: -17°C

Tabla No. 5.

LECTURAS DE HUMEDAD RELATIVA EN FUNCION DE LA TEMPERATURA,
TOMADAS EN LA CAMARA DE INTEMPERISMO.

| TEMPERATURA (°C) | HUMEDAD RELATIVA (%) |
|------------------|----------------------|
| 50 | 81 |
| 51.7 | 78 |
| 53.4 | 77 |
| 55.1 | 72 |
| 55.3 | 69 |
| 57.1 | 66 |
| 57.2 | 66 |
| 57.4 | 66 |
| 57.5 | 66 |
| 57.7 | 66 |
| 58.2 | 67 |
| 58.3 | 68 |
| 58.4 | 67 |
| 58.7 | 68 |
| 59 | 67 |
| 59.1 | 50 |
| 66 | 48 |
| 68 | 45 |
| 70 | 42 |
| 71 | 40 |
| 72.4 | 38 |
| 73 | 37 |
| 73.1 | 37 |
| 73.9 | 36 |
| 75.4 | 34 |

carta psicrométrica



----- Condiciones existentes en la cámara.
 _____ Condiciones necesarias para la cámara.

9. DEFINICIONES.

A continuación se presentan algunas definiciones y conceptos teóricos de uso continuo a lo largo de este trabajo, que facilitarán su entendimiento.

Radiación solar: Energía radiante recibida del sol en su forma directa y difusa. La componente directa es la que se recibe directamente del sol sin haber sufrido ninguna desviación en su trayectoria; la difusa se debe a su dispersión al atravesar la atmósfera y reflexión sobre la tierra.

Concentrador Solar: Dispositivo que concentra la componente directa de la radiación solar sobre un absorbedor.

Absorbedor: Componente de un dispositivo solar que tiene como función captar y retener la mayor cantidad de radiación solar.

Área del absorbedor: Área que recibe la radiación concentrada.

Área de apertura: Área del captador que intercepta la radiación solar.

Razón de concentración: Se define como el cociente entre el área de apertura colectora y el área del absorbedor.

Absortancia: Razón de la radiación solar absorbida a la radiación incidente.

Absortividad: Propiedad del material que se utiliza para retener la radiación solar.

Emitancia: Razón de radiación emitida por la superficie de un cuerpo a la radiación emitida por un radiador perfecto a la misma temperatura.

Eficiencia de un colector: Razón de la energía captada por el colector solar a la energía solar incidente sobre el colector.

Helióstato: Dispositivo que sirve para reflejar la componente directa de la radiación solar sobre un blanco fijo.

Reflejancia: Razón de radiación reflejada de un material a la radiación incidente sobre el mismo.

Reflejancia especular: Reflejancia de un espejo en que el ángulo de radiación incidente es igual al ángulo de la radiación reflejada, ambos medios con respecto a la normal a la superficie en el punto de incidencia.

Factor de forma: Razón de la energía (radiación) incidente sobre el absorbedor a la radiación directa incidente sobre el área de apertura del concentrador.

Transmitancia: Razón de la energía radiante transmitida por un material dado a la energía solar incidente.

Eficiencia óptica de un colector: Razón de radiación que recibe la apertura de un colector ideal en dirección al sol a la que es eventualmente absorbida por el absorbedor de un colector real que puede no estar dirigido directamente al sol. Esta eficiencia depende de la reflejancia del espejo, transmitancia de la envolvente que pueda existir sobre el absorbedor, absorptividad del absorbedor, factor de forma del sistema concentrador y del ángulo de incidencia de los rayos concentrados hacia el absorbedor.

REFERENCIAS.

- 1) Almanza R, Mazari M y Peña V.M., "Desarrollo de espejos para aplicaciones de la energía solar (1a. etapa)", Proy. 5139. Informe Interno Instituto de Ingeniería, UNAM, Junio 1986.
- 2) Almanza R, Mazari M y Muñoz F, "Desarrollo de espejos para aplicaciones de la energía solar (2a. etapa)", proy. 6135. Informe Interno del Instituto de Ingeniería, UNAM, Mayo 1987.
- 3) Almanza R, Mazari M, Muñoz F y Ramírez M, "Espejos de primera superficie con películas delgadas", Proys. 7125 y 8112. Informe Interno Instituto Ingeniería, UNAM, Marzo 1988.
- 4) Almanza R, Mazari M, Muñoz F, Ramírez M y Bazán J.L.. "Construcción y puesta en marcha de un cañón de electrones para evaporación de diferentes vidrios sobre espejos solares", Proy. 8134, Informe Interno Instituto de Ingeniería, UNAM, Enero 1989.
- 5) Almanza R, Mazari M, Ramírez M y González H., "Uso de un cañón de electrones para el desarrollo de espejos de primera superficie", Proy. 9108, Informe Interno Instituto de Ingeniería, UNAM, Mayo 1990.
- 6) Almanza R y Soriano R, "Terminación y puesta en marcha de una cámara de intemperismo", Proy. 0101 Informe Interno Instituto de Ingeniería, UNAM, Agosto 1990.
- 7) Masterson K y Lind M., "Matrix Approach for Testing Mirrors-Part I", SERI/TR-255-1504 DE 83009398, Abril 1983.
- 8) Kearney D., Jaffe D. y Daniel L.. "Design aspects of an 80 MV solar electric plant", Solar 90 Proceedings of ASES, 1990.
- 9) Almanza R, Muñoz F. y Mazari M, "Development of aluminum first surface mirrors for solar energy applications", Solar Energy 1991 (en prensa).

10) Borisova I.I., Sobolevskaya E.S., et al. "The preparation of a glass surface for vacuum coatings".

11) Masterson K, Czanderna A, Blea J, Goggin R, et al. "Matrix Approach for Testing Mirrors. Part II", SERI/TR-225-1627, Julio 1983.

12) Czanderna A, Masterson K, Thomas T, "Silver/glass mirrors for solar thermal systems", SERI/SP-271-2293 DE 85 000 537, Junio 1985.

13) Richmond J., "Measurement techniques for evaluating solar reflector materials", National Bureau of Standards Gaithersburg. PB85-119469 NBS-GCR-84-475, septiembre 1984.

14) Baouchi, A.W., "Preparation and properties of a multilayer reflector stack consisting of glass/Al₂O₃/Al/Ag", University of Denver, Master Thesis, Junio 1983.

15) Brawn R. "Thin film Substrates" Handbook of thin film technology. Maissel L.I., Glang R. Mc. Graw-Hill 1970.

16) Fernández A. "Propiedades ópticas de las superficies selectivas elaboradas por pulverización catódica con campo magnético para aplicaciones en energía solar". Tesis Maestría. UNAM, 1988.

17) Mc Graw-Hill "Encyclopedia of science and technology." 6th. edition. Vol. 15.

18) Advances in Solar Energy. An annual review of research and development Vol. 3. American Solar Energy Society, inc.

19) Mahan, B. "Química Curso Universitario" 2da. ed. Fondo Educativo Interamericano.

- 20) Atlas del agua. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México 1976.
- 21) Perry H. Robert, "Manual del ingeniero Químico", Mc Graw-Hill Book Co., 5ta edición, Vol. 3, México 1979.
- 22) Farrington D. "Uso directo de la energía solar" Ediciones Blume, España 1978.
- 23) Vitro J. and Shelby J.E., "Solarization of heliostat glasses", Solar Energy Materials Vol. 3, No. 1,2, Septiembre 1980.
- 24) Mills B.E., "Surface studies of corrosion in second surface silver heliostat mirrors", Solar Energy Materials. Vol. 3, Septiembre 1980.
- 25) Bargalló M. "Tratado de Química Inorgánica Fundamental y sistemática" 2da. edición México, 1972.
- 26) Dake L, Lind S, "The effect of exposing two commercial manufacturers second-surface silver/glass mirrors to elevated temperature, mechanical loading and high humidity environments". April 1982 Solar Energy Research Institute.
- 27) Treybal R, "Operaciones de Transferencia de masa" 2da. edición. Mc Graw Hill . México 1989.