

Estudio del Contenido en gel del Material Encapsulante EVA, como una Medida de Calidad del Proceso de Laminación de Módulos Fotovoltaicos

Study of the Gel Content of the EVA Encapsulant Material, as a Measure of the Quality of the Lamination Process of Photovoltaic Modules

SALAZAR-PERALTA, Araceli^{1†*}, PICHARDO-SALAZAR, José Alfredo², PICHARDO-SALAZAR, Ulises³

¹Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, Carretera Toluca Atlacomulco km 44.8, Ejido de San Juan y San Agustín, Jocotitlán, México.

²Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios No. 161, Exhacienda la Laguna S/N Barrio de Jesús 2a Sección, San Pablo Autopan, Toluca. Estado de México

³Centro de Estudios Tecnológicos Industrial y de Servicios No. 23. Avenida, Del Parque s/n, 52000 Lerma de Villada, México.

ID 1^{er} Autor: Araceli, Salazar-Peralta / ORC ID: 0000-0001-5861-3748, Researcher ID Thomson: U-2933-2018, CVU CONACYT ID: 30 0357

ID 1^{er} Cautor: José Alfredo, Pichardo-Salazar / ORC ID: 0000-0002-8939-9921

ID 2^{do} Coautor: Ulises, Pichardo-Salazar / ORC ID: 0000-0002-3758-2038

DOI: 10.35429/JRE.2020.12.4.1.7

Recibido 16 de Marzo, 2020; Aceptado 30 Junio, 2020

Resumen

El contenido en gel, es un ensayo que pone a prueba la resistencia del material de la capa de encapsulado del módulo, asegurando que las vías de conducción de corriente de las células queden aisladas herméticamente de las inclemencias ambientales. Para garantizar una buena laminación de un módulo fotovoltaico y por lo tanto, una larga vida útil del mismo es necesario que el grado de curado del encapsulante se encuentre entre el 65% - 90%. El objetivo de este trabajo fue estudiar el contenido en gel del EVA, después del laminado. La determinación del contenido en gel se realizó por medio del método de ensayo del proveedor EVASA, tomando muestras de EVA, después del proceso de laminación de los módulos fotovoltaicos. Los resultados obtenidos fueron de 73 a 96%. Se concluye que el contenido en gel es un parámetro que sirve para garantizar el proceso de laminación, ya que en el proceso de curado se forman enlaces químicos transversalmente entre las moléculas largas del EVA, las cuales antes de la reacción se encuentran unidas entre sí débilmente. Los porcentajes de contenido en gel, significan el porcentaje de EVA en el que ha tenido lugar dicha reacción.

EVA, Laminación, Contenido en gel, Módulo Fotovoltaico

Abstract

The gel content is a test that tests the resistance of the material of the module encapsulation layer, ensuring that the current conduction pathways of the cells are hermetically isolated from the inclement weather. In order to guarantee a good lamination of a photovoltaic module and therefore, a long service life of the same it is necessary that the degree of curing of the encapsulant be found between 65% - 90%. The objective of this work was to study the gel content of the EVA, after rolling. The gel content was determined using the EVASA supplier test method, taking EVA samples, after the lamination process of the photovoltaic modules. The results obtained were 73 to 96%. It is concluded that the gel content is a parameter that serves to guarantee the lamination process, since in the curing process chemical bonds are formed transversely between the long molecules of the EVA, which are weakly bound together before the reaction. The percentages of gel content, mean the percentage of EVA in which said reaction took place.

EVA, Lamination, Gel content, Photovoltaic module

Citación: SALAZAR-PERALTA, Araceli, PICHARDO-SALAZAR, José Alfredo, PICHARDO-SALAZAR, Ulises. Estudio del Contenido en gel del Material Encapsulante EVA, como una Medida de Calidad del Proceso de Laminación de Módulos Fotovoltaicos. Revista de Energías Renovables. 2020. 4-12: 1-7

*Correspondencia al Autor (correo electrónico: araceli.salazar@tesjo.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Los módulos fotovoltaicos están formados por una estructura tipo “sándwich”, compuesta por una capa protectora superior de vidrio, un gel siliconado de Etilen Vinil Acetato (EVA), resistente a la radiación ultravioleta con una alta transparencia, la celda fotovoltaica, el gel siliconado posterior, y una capa protectora colocada en el reverso conformada por una lámina TEDLAR (Fluoruro de polivinilo) PVF. La capa de EVA es afectada por su prolongada exposición a la radiación solar lo cual hace que sus propiedades ópticas, en especial su transmitancia cambie. Su función es la unión de los diferentes componentes y la protección de las células. Las propiedades requeridas son; buena transmisión a la radiación solar, estabilidad a altas temperaturas, alta resistividad, baja absorción de la humedad, alta resistencia a los rayos UV y elevada adherencia.

El proceso de laminación consiste en hacer un compacto de todos los materiales sin aire en su interior y con las capas de los distintos materiales adheridas entre sí. Se emplean equipos llamados ‘laminadoras’ que realizan un ciclo de calentamiento, vacío y presión para conseguir tal fin. El conjunto de materiales de laminación se coloca en una plataforma caliente (145°C) y se cierra la tapa del laminador quedando un sándwich, al mismo tiempo que se calienta se va haciendo el vacío. Cuando se alcanza el nivel de vacío deseado, baja un diafragma que hace presión sobre los materiales de laminación prensándolos.

El Etileno Vinil Acetato (EVA) es un copolímero termoplástico que consta de unidades repetitivas de acetato de vinilo y etileno, con presencia de grupos polares en su estructura, caracterizado por un fácil procesamiento, alta adhesión, buena flexibilidad y compatibilidad. De esta manera, la compatibilidad con otros polímeros, ceras, resinas, cargas, entre otros, depende del contenido de acetato de vinilo (VA) y del índice de fluidez, evidenciando una mejor compatibilidad aquellos con índice de fluidez elevado.

El contenido de acetato de vinilo está estrechamente relacionado con las propiedades del producto final del EVA, y puede encontrarse entre el 1 y el 28%, principalmente dependiendo del tipo de aplicación o uso al que esté destinado.

Sin embargo, el contenido promedio de acetato de vinilo en el copolímero es de 18%, con el fin de obtener un expandido con buena procesabilidad y versatilidad.

La síntesis a nivel industrial del copolímero EVA se retorna a hace aproximadamente 40 años, mediante la reacción a alta presión entre sus monómeros, el etileno y el acetato de vinilo (VA). La obtención de EVA por primera vez se remonta al año 1938 en los laboratorios de Dupont, en Estados Unidos, proceso que se dio únicamente a nivel experimental y del cual se tomó como referencia para la primera planta productora de EVA, surgida a principios del año 1960. Gracias a las propiedades que presentó el expandido, en la década de 1970 fue empleado en artículos como sandalias, por las ventajas significativas respecto a su densidad, fácil pigmentación y procesado, mayor durabilidad, costo competitivo y menor encogimiento. A partir de la década de 1980, se comenzó a utilizar en mayores aplicaciones como calzado deportivo, zapato casual, y diferentes partes como suelas, entresuelas, plantillas, piso, entre otras.

Principales propiedades. Cuando este copolímero es obtenido por el proceso de autoclave a alta presión, tiene como propiedades flexibilidad y suavidad, resistencia a bajas temperaturas, al agrietamiento, a la radiación UV y a la corrosión, y por su facilidad de ser prensado en caliente, es una resina con alta dureza y alta resistencia a la tracción. Las propiedades del E.V.A. dependen en gran medida del peso molecular y del contenido de acetato de vinilo. El incremento de acetato de vinilo produce que:

- La cristalinidad del EVA decrezca.
- La densidad del EVA aumente.
- El EVA se vuelva claro.
- El EVA se vuelva más flexible a bajas temperaturas.
- El EVA se vuelva más resistente al impacto.
- Si el contenido de acetato de vinilo es mayor a 50%, el EVA es amorfo y transparente Figura 1.

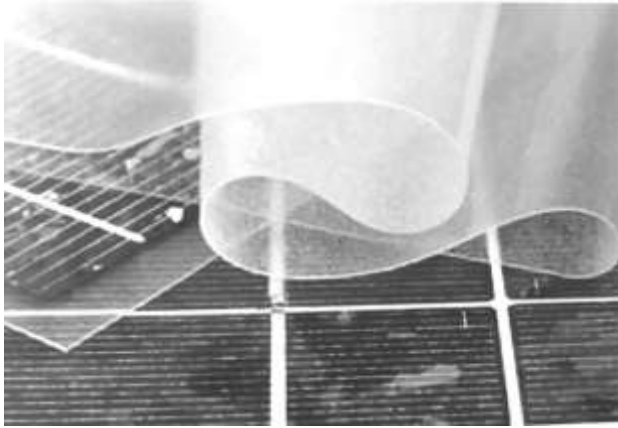


Figura 1 Película de Material EVA

Fuente: *Elaboración Propia*

Cuanto más porcentaje de acetato de vinilo (AV) mayor dilatación con calor.

Propiedades

- Excelentes propiedades ópticas
- Alta flexibilidad a bajas temperaturas
- Buena resistencia a la perforación y al impacto.
- Alta elasticidad y fácil procesamiento
- Buena resistencia a la flexión.
- Baja temperatura de contracción.
- Excelente aislante de ruidos.
- Buenas propiedades de absorción de vibración.
- Buena resistencia a la luz ultravioleta
- Alta resistencia mecánica con relación a su densidad.
- Excesiva plasticidad (cuando se estiran no se recuperan). (Marcillo Proaño, W. y Moreno Garrido, F. 2008).

En los módulos fotovoltaicos, la función del encapsulante EVA, es unir las células tanto con la cubierta frontal como con la posterior, de forma que el sándwich de materiales quede sellado Figura 2.



Figura 2 Estructura del panel

Fuente: *Elaboración Propia*

Además, de maximizar el acoplamiento óptico y proteger a las células de la humedad ya que constituye una barrera frente al oxígeno y vapor de agua. su índice de refracción está adaptado para minimizar la reflectancia producida en la interfaz. Asimismo relaja el estrés termomecánico, generado entre las células y la cubierta frontal.

El grado de curado se puede relacionar con el contenido en gel, siendo este el porcentaje de masa insoluble de la muestra. En este estudio, se utilizó EVA como encapsulante, a continuación se resumen las especificaciones que debe cumplir para que el grado de curado sea aceptable.

El encapsulante EVA inicialmente es un termoplástico, pero se le añade un agente de curado llamado peróxido para que pueda tener lugar el curado. Aunque no existen requerimientos del grado de curado estandarizados, los fabricantes recomiendan un nivel de curado que varía desde el 60% hasta el 90%. Es esencial superar el nivel mínimo de curado para garantizar una larga vida útil del módulo fotovoltaico.

Con el fin de comprobar que el grado de curado es suficiente, es necesario realizar el ensayo químico del contenido en gel del EVA una vez laminado. El cual se puede medir por (Extracción Soxhlet, DSC, etc.). El EVA que está curado no se disuelve, ya que es insoluble en el disolvente de dihidroxitolueno.

Descripción del Método

La forma tradicional de medir el grado de curado del encapsulante es utilizando el método primario (extracción Soxhlet). Las desventajas de este método son la necesidad del uso de sustancias tóxicas como el tolueno y la duración del ensayo, ya que se necesitan varios días para su realización. Para medir el grado de curado de una manera más rápida y sencilla, se utiliza el método secundario (DSC, etc.). Sin embargo, hay que tener en cuenta que el método secundario debe calibrarse con el método primario. El método primario consiste en procesar el EVA en un disolvente, de manera que el EVA que está curado no se disuelva ya que es insoluble en cualquier disolvente. Por lo tanto, para calcular el grado de curado, se divide la cantidad de residuo insoluble entre la masa inicial.

Es importante que desde que se haya realizado la laminación hasta que se haga el ensayo haya transcurrido el menor tiempo posible, periodo inferior a un día para que los resultados sean fiables, ya que con el paso del tiempo el peróxido que contiene el EVA se degrada. Por ello, desde la laminación hasta realizar el análisis de las muestras no deberán pasar más de 24 horas, las muestras deben de almacenarse en ambientes secos, con una humedad relativa inferior al 50%, a temperatura ambiente y en la oscuridad.

La persona que esté en contacto o que manipule las muestras tiene que usar guantes limpios para evitar contaminar las muestras. La metodología del laminado en este estudio fue la siguiente:

Laminado

- 1.1 Se conectó la laminadora a la fuente de energía.
- 1.2 Se colocaron las condiciones del laminado: temperatura $145\pm 3^{\circ}\text{C}$, vacío (tiempo de evacuación de 5 a 8 minutos, tiempo de prensado (6 a 8 minutos)).
- 1.3 Se introdujo el módulo en la laminadora Marca Spire.
- 1.4 Se evacuó el módulo durante 7 minutos.
- 1.5 El prensado se realizó durante 8'30 minutos.
- 1.6 El proceso completo del laminado del módulo fotovoltaico, se realizó a 145°C y durante 15'30 minutos. Figura 3.

Enseguida se resume el proceso:

El proceso completo de la laminación consistió en hacer un compacto de todos los materiales sin aire en su interior y con las capas de los distintos materiales adheridas entre sí, para ello se realizó un ciclo de calentamiento, vacío y presión. El conjunto de materiales de laminación se colocó en una plataforma caliente (145°C) y se cerró la tapa del laminador quedando un sándwich, al mismo tiempo que se calentó, se fue haciendo el vacío. Cuando se alcanzó el nivel de vacío deseado, se bajó el diafragma que hizo presión sobre los materiales de laminación prensándolos.



Figura 3 Cámara de proceso del Laminador marca Spire
Fuente: *Elaboración Propia*

- 1.7 Finalmente, se determinó el porcentaje de contenido en gel de acuerdo al siguiente procedimiento del proveedor EVASA.

Determinación del contenido en gel (EVASA)

Este ensayo pone a prueba la resistencia del material de la capa de encapsulado del módulo, asegurando que las vías de conducción de corriente de las células queden aisladas herméticamente de las inclemencias ambientales. En esta prueba se determinó el contenido en cinco puntos diferentes del módulo para sacar un promedio. El procedimiento fue el siguiente:

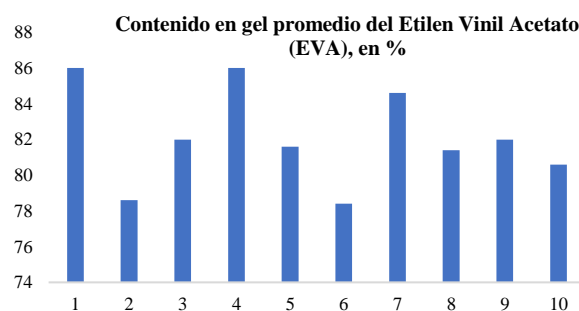
- 1.7.1 Se encendió el horno marca Memmert, y se ajustó a 105°C .
- 1.7.2 Se introdujeron en el horno los frascos de vidrio con sus respectivas tapas y papeles filtro (Whatman No.51) para cada muestra durante 2 horas
- 1.7.3 Se sacaron de la estufa los frascos, con los filtros y tapas y se colocaron en un desecador de vidrio.
- 1.7.4 Se tomaron muestras de EVA de 10 x10 cm en 5 puntos del laminado.
- 1.7.5 De cada sección se pesó 1 gramo de EVA y se registró como (W1).
- 1.7.6 Se prepararon 100 ml de tolueno para cada muestra.
- 1.7.7 Se pesaron 0.0865 gramos de Butil Hidroxi Tolueno (BHT).
- 1.7.8 Se disolvió el BHT en los 100 ml de Tolueno.
- 1.7.9 Se introdujeron las muestras de EVA en la disolución de tolueno y BHT, y se taparon los frascos.
- 1.7.10 Se colocaron los frascos en la estufa a $60^{\circ}\text{C} (\pm 5)$ durante 24 horas.

- 1.7.11 Tras 24 horas se retiraron los frascos de la estufa, y se quitaron sus respectivas tapas y dejaron reposar durante 1 hora.
- 1.7.12 Se pesaron cada uno de los papeles filtro y se registró el peso (W2).
- 1.7.13 En el área de campana de extracción de gases, se colocó un embudo de vidrio sobre un Matraz de Erlenmeyer de 1000 ml y se puso el papel filtro sobre el embudo y se filtraron cada una de las muestras por separado.
- 1.7.14 Se colocó una temperatura de 105°C en el horno y se secaron las muestras con el papel filtro respectivo.
- 1.7.15 Se sacaron las muestras con el papel filtro y se colocaron en un desecador
- 1.7.16 Se pesó el residuo junto con el papel filtro y se registró el peso (W3).
- 1.7.17 Se calculó el porcentaje de contenido en gel. Ec. 1

$$\% \text{ contenido en gel} = \frac{w3-w2}{w1} \times 100 \quad (1)$$

Resultados

- 1.8 Como puede observarse en la tabla 1, la temperatura de la laminadora durante las pruebas osciló de 143 a 147°C, hubo una variación $\pm 2^\circ\text{C}$, de acuerdo a la temperatura establecida para la prueba de 145°C. El tiempo se mantuvo en 15'30 en todos los ensayos.
- 1.9 El porcentaje de contenido en Gel en todo el estudio, osciló de 73 a 96%, valores dentro de especificación de acuerdo a lo establecido por el proveedor del EVA. Tabla 1.
- 1.10 El valor promedio de contenido en gel de todo el estudio se encontró dentro de especificación, entre 78.4 a 86%. Valores que indican que el proceso de curado del EVA fue adecuado, ya que en el proceso de curado se lleva a cabo una reacción química en la cual se forman enlaces químicos transversalmente entre las moléculas largas del EVA, las cuales antes de la reacción se encuentran unidas entre sí débilmente. Tabla 1, Gráfica 1.



Gráfica 1 Contenido en gel promedio del EVA

Fuente: Elaboración Propia

Muestra	Contenido en gel (%)	Contenido en gel (%) Promedio	Condiciones de laminación
1	86, 96, 83, 80, 85	86	Laminador 1 a 145°C, durante 15'30 minutos
2	76, 75, 73, 73, 96,	78.6	Laminador 1 a 146°C, 16 minutos
3	81, 82, 84, 86, 77	82	Laminador 1 a 143°C, 15'30"
4	86, 83, 87, 87, 87	86	Laminador 1 147°C, 15'30
5	79, 83, 79, 84, 83	81.6	Laminador 1 145°C, 15'30
6	79, 78, 77, 77, 81	78.4	Laminador 1. 145°C, 15'30
7	85, 83, 84, 85 86	84.6	Laminador 1. 145°C, 15'30
8	79, 83, 79, 83, 83	81.4	Laminador 1. 145°C, 15'30
9	82, 84, 82, 81, 81	82	Laminador 1. 145°C, 15'30
10	81, 79, 80, 82, 81.	80.6	Laminador 1. 145°C, 15'30

Tabla1 Contenido en gel del EVA, después del proceso de laminación

Fuente: Elaboración Propia

Agradecimiento

Al Centro de vinculación Academia Industria (CCAI), del Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán.

Conclusiones

Se logró el procesamiento de laminación del módulo fotovoltaico con buena calidad, a la temperatura de 145°C durante 15'30 minutos, lo cual se pudo estudiar por medio de la determinación del contenido en gel del material encapsulante de Etilen vinil acetato, y por medio de un estudio visual, en el cual no se observaron burbujas en el material.

De este estudio se concluye que el proceso de laminación es un factor clave para asegurar que los módulos fotovoltaicos queden herméticamente sellados, lo cual contribuye directamente en la protección de sus componentes de las condiciones ambientales a las cuales estarán sujetos durante su vida útil.

Un buen proceso de laminación del módulo asegura la vida útil del módulo fotovoltaico en funcionamiento.

El contenido en gel es una medida eficiente para asegurar un buen proceso de laminación el cual se relaciona de forma directa con la vida útil del módulo fotovoltaico.

Después del laminado el Módulo fotovoltaico, no presentó burbujas las cuales pueden generar fisuras, esto indica que el proceso de laminación con el EVA fue bueno.

Este estudio sirvió para determinar que la eficiencia y calidad del producto fueron buenos, ya que el módulo fotovoltaico después del laminado fue sujeto a una prueba de degradación de choques térmicos y medición de potencia, antes y después del ensayo obteniéndose una variación del 3%.

Referencias

A. Gabor, M. Ralli, S. Montminy, L. Alegria, C. Bordonaro, J. Woods, L. Felton, "Soldering induced damage to thin Si solar cells and detection of cracked cells in modules," Proceedings of the 21st EUPVSEC, Dresden, Germany, 2006, pp. 2042– 2047

A. W. Czanderna and F. J. Pern, Encapsulation of PV modules using ethylene vinyl acetate copolymer as a pottant: a critical review, Solar Energy Material and Solar Cells, vol. 43, pp.101-181, 1996.

A. Ketola, K. R. McIntosh, A. Norris, and M. K. Tomalia, Silicones for photovoltaic encapsulation: In: Proceedings of the 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Feria Valencia, Spain, pp. 2969-2973, WIP-Munich, 2008.

BGI Research, Ethylene vinyl acetate (EVA) global market to 2015 -photovoltaic encapsulants to drive EVA demand in the future, 2011.

G. Oreski and G. M. Wallner, Aging mechanisms of polymeric films for PV encapsulation, Solar Energy, vol. 79, pp. 612-617, 2005.

H. Schmidhuber and K. Krannich, Why using EVA for module encapsulant if there is a much better choice? In: Proceeding of the 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Munich, Germany, pp. 662-663, 2001.

I. Kunze, S. Kajari-Schröder, X. Breitenmoser, B. Bjørneklett, "Quantifying the risk of power loss in PV modules due to micro cracks," Solar Energy Materials and Solar Cells 95, 2011, pp. 1131-1137.

Manuel Fernández Barrera. (2010). Energía Solar: Energía Fotovoltaica. Madrid: Liberfactory.

Marcillo Proaño, W. y Moreno Garrido, F. (2008). Diseño y Construcción de una Matriz para Fabricar Material Didáctico en Goma E.V.A. (Etil Vinil Acetato). F. J. Pern, Factors that affect the EVA encapsulant discoloration rate upon accelerated exposure, Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 41-42, pp.587-615, 1996.

M. Sander, S. Dietrich, M. Pander, M. Ebert, M. Karraß, R. Lippmann, M. Broddack and D. Wald, "Influence of manufacturing processes and sub-sequent weathering on the occurrence of cell cracks in PV modules," Pro-ceedings of the 28th EUPVSEC, Paris, France, 2013, pp. 3275-3279

R. F. M. Lange, Y. Luo, R. Polo, and J. Zahnd, The lamination of (multi) crystalline and thin film based photovoltaic modules, Progress in Photovoltaics: Research and Applications, vol. 19, pp. 127-133, 2011.

R. Kahtri, S. Agarwal, I. Saha, S.K. Singh, B. Kumar, "Study on Long Term Reliability of Photovoltaic Modules and Analysis of Power Degradation Using Accelerated Aging Tests and Electroluminescence Technique," in: Proceedings of the 1st International Conference on Silicon Photovoltaics, Frei-burg, Energy Procedia 8, 2011, 396–401.

S. Kajari-Schroder, I. Kunze, U. Eitner, M. Kuntges, Spatial and orientational distribution of cracks in crystalline photovoltaic modules generated by mechanical load tests, Solar Energy Materials and Solar Cells 95 (2011) 3054–3059