

# Sistema de Monitoreo y Control de Temperatura en una Cámara de Envejecimiento de Plásticos

Jose Luis Peña Mejia<sup>1</sup>, Dra. Irma Martínez Carrillo<sup>2</sup>,  
Dr. Carlos Juárez Toledo<sup>3</sup> y Dra. Ana Lilia Flores Vásquez<sup>4</sup>

**Resumen**—Ante los grandes cambios climáticos que ha generado la contaminación por el hombre y el consumismo de artículos u objetos desechables, diversas organizaciones a nivel mundial han buscado la participación en la sociedad para desarrollar un consumo responsable basado en reciclar, reutilizar y reducir. La gran importancia que representa el uso del plástico, su alto consumo y su poca reutilización conlleva a problemas drásticos ambientales, ya que solo una mínima parte de los productos fabricados tiene una segunda oportunidad de vida, por lo que la contaminación que genera permite buscar nuevas alternativas para disminuir su tiempo de vida y su pronta descomposición en el medio ambiente.

En este trabajo se desarrolla un procedimiento para el monitoreo y control de temperatura, el cual permite recrear la degradación del material en condiciones controladas que representan los factores climáticos naturales, dentro de una cámara de envejecimiento de plásticos, con la finalidad de recopilar datos de degradación de polímeros a partir de sus características moleculares.

**Palabras clave**— Sistema de monitoreo y control, Automatización, Practicidad, Medio ambiente

## Introducción

Los tiempos han cambiado. La manera en que hacemos las cosas hoy es diferente. El énfasis está en la automatización, la alta producción y la reducción de costos. Existe una creciente demanda de piezas de alta resolución con formas intrincadas. La conciencia del consumidor, un tema totalmente ignorado por los fabricantes una vez, ahora es un área importante de preocupación. Junto con estos requisitos, nuestras prioridades también han cambiado. Al diseñar una máquina o un producto, la primera prioridad en la mayoría de los casos es la seguridad y la salud. Ahora se requiere que los fabricantes y proveedores cumplan con una variedad de estándares y especificaciones. Obviamente, confiar simplemente en la experiencia pasada y en la calidad de la mano de obra simplemente no es suficiente [1].

La creciente automatización de los complejos sistemas de producción necesita la automatización de componentes que sean capaces de adquirir y transmitir información relacionada con el proceso de producción. Los sensores cumplen con estos requerimientos, y por ello se han convertido en los últimos años en componentes cada vez más importantes en la tecnología de medición y en control en bucle cerrado y abierto. Los sensores proporcionan la información al control en forma de variables individuales del proceso [2]. Las aplicaciones de la sensoria están presentes actualmente en innumerables aspectos de nuestra vida cotidiana, no serían posibles sin los sensores, sin la capacidad que estos ofrecen de medir las magnitudes físicas para su conocimiento o control, muchos de los dispositivos electrónicos no serían más que simples curiosidades de laboratorio [3].

Los instrumentos de control empleados en las industrias de procesos tales como química, petroquímica, alimentación, metalúrgica, energética, textil, papel, etc., tienen su propia terminología; los términos empleados definen las características propias de medida, de control, las estáticas y las dinámicas de los diversos instrumentos utilizados [4]. En este caso, para los equipos de envejecimiento acelerado empleados en dichas industrias se tiene como referencia algunas existentes en el mercado como se muestran en el cuadro 1.

---

<sup>1</sup> Jose Luis Peña Mejia es pasante de la carrera estudiante de Ingeniería en Producción Industrial en la Universidad Autónoma del Estado de México, México, [jpenam755@alumno.uaemex.mx](mailto:jpenam755@alumno.uaemex.mx) (autor correspondiente)

<sup>2</sup> Dr. Carlos Juárez Toledo es Profesor de Tiempo Completo de la licenciatura de Ingeniería en Producción Industrial en la Universidad Autónoma del Estado de México, [cjuarez@uaemex.mx](mailto:cjuarez@uaemex.mx)

<sup>3</sup> Dra. Irma Martínez Carrillo es Profesora de Tiempo Completo de Ingeniería en Producción Industrial en la Universidad Autónoma del Estado de México, [imartinezca@uaemex.mx](mailto:imartinezca@uaemex.mx)

<sup>4</sup> Dra. Ana Lilia Flores Vásquez es Profesora de Tiempo Completo de Ingeniería en Plásticos en la Universidad Autónoma del Estado de México, [alfloresv@uaemex.mx](mailto:alfloresv@uaemex.mx)

<sup>4</sup> Dra. Ana Lilia Flores Vásquez es Profesora de Tiempo Completo de Ingeniería en Plásticos en la Universidad Autónoma del Estado de México, [alfloresv@uaemex.mx](mailto:alfloresv@uaemex.mx)

Tipo de lámpara	Total, de muestras	Tiempo de vida	Ejemplar
<b>Espectro completo de 1800W arco xenón enfriada por aire</b>	17 muestras de 51 mm x 102 mm	Las lámparas duran 1500 horas	
<b>1800W máximo UVA-340</b>	48 muestras 75 mm x 150 mm	Las lámparas duran 8,000 horas	
<b>Cámara interna para ciclos de temperatura rápida</b>	160 paneles de ensayo de 75 mm x 150 mm	----	

Cuadro 1. Tipos de cámaras de envejecimiento [5]

El control del factor temperatura es de suma importancia pues tiene influencia en la velocidad con la que se degradarán los polímeros, por lo cual la determinación del rango de valores en el comportamiento del proceso de envejecimiento en los plásticos permitirán generar detalles de innovación, eficiencia y reducción de costos en su implementación practica así se minimizaran las limitaciones de acceso a este tipo de tecnología en las instituciones educativas , con lo que respecta de forma tradicional en el control existente se muestra de manera gráfica en las figuras 1 y 2.

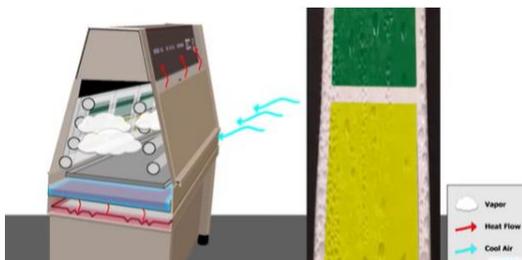


Figura 1. Proceso tradicional de condensación.



Figura 2. Posicionamiento interno de la cámara de envejecimiento.

Este trabajo surge de la necesidad de mantener un mayor control en el proceso de envejecimiento de los plásticos, teniendo como variable inicial el tiempo de exposición a la luz emitida por un foco de radiación infrarroja y de lámparas UV contemplando mayores detalles, los cuales permitan tener un decremento en las limitaciones de acceso para el análisis de los materiales ya que actualmente una gran cantidad de empresas dedicadas a la fabricación a base de polímeros tienen que recurrir a procesos externos altamente costosos. Dicho estudio convencionalmente se lleva a cabo a través de una cámara de envejecimiento acelerado, el cual es un dispositivo que reproduce el daño causado por la luz solar, la lluvia y el rocío ejercido sobre el plástico.

Uno de los elementos más importantes dentro de las cámaras de envejecimiento tradicionales es el control de temperatura dentro de una superficie cerrada la cual tiene que ser controlada por medio de sensores que mantengan, un rango específico sin afectar los demás componentes del sistema y así lograr un procedimiento seguro, el ambiente de la cámara tendrá que ser monitoreado para garantizar las condiciones óptimas que las probetas de plástico requieran y así puedan desarrollar características ideales para su posterior valoración. Lo anterior puede resolverse con la implementación de un sistema retroalimentado mediante la programación robusta de sensores con características metálicas y de bajo coste controladas mediante un microprocesador.

### Desarrollo

Una cámara de envejecimiento permite aproximar las condiciones ambientales que intervienen en un proceso degenerativo de los plásticos, como se muestra en la figura 3.

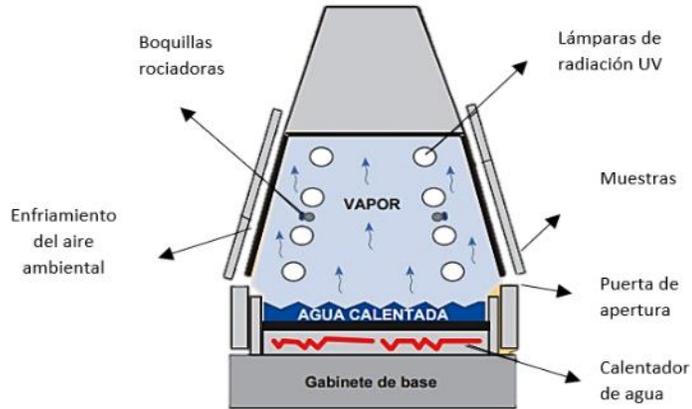


Figura 3. Sistemas de control de una cámara de envejecimiento [6].

Un sistema de monitoreo de temperatura consiste en la adquisición de la información realizada por un elemento (sensor), así también del procesamiento de la información recabada y de la presentación de los resultados, de forma que pueda ser perceptible por nuestros sentidos, este sistema se muestra en la figura 4.

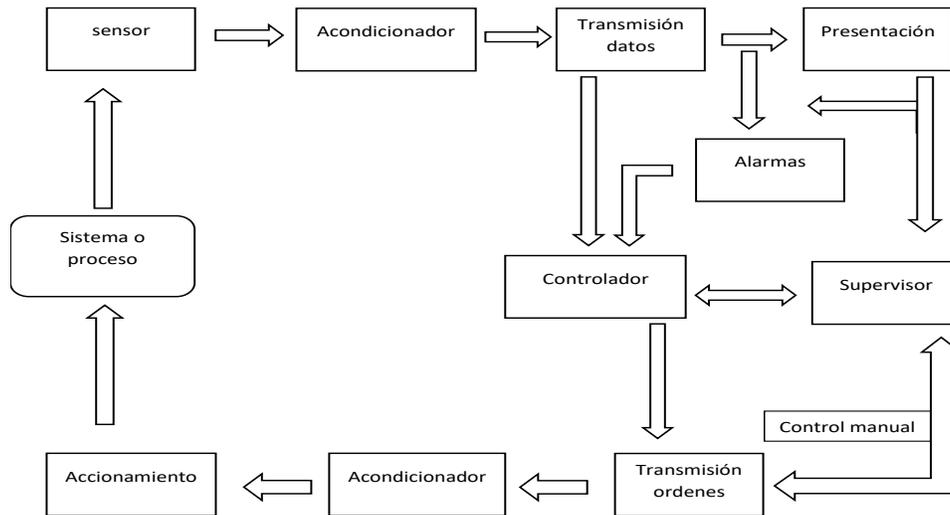


Figura 4. Estructura general de un sistema de control [7].

### Mediciones

Los instrumentos para sensar la temperatura suelen aprovechar distintos fenómenos característicos y propios de los materiales con los cuales se fabrican, fenómeno que se producen cuando son sometidos a la influencia de la energía térmica, entre los que destacan los siguientes:

- Radiación suministrada por el material.
- Fuerza electromotriz generada por la unión de dos metales de diferentes propiedades.
- Cambio en el valor de la resistividad de un material.
- Cambio en el estado del material, así como en el volumen mismo.

Se propone una medición de temperatura por medio de termopar o termocupla de tipo J la cual consiste básicamente en un par de conductores (etiquetados como A Y B), los cuales tienen diferentes propiedades; en general, estos conductores son metálicos y se encuentran unidos entre si formando un bucle o circuito, donde dichas uniones están sometidas a diferentes temperaturas. En estas circunstancias se genera una corriente eléctrica a través del circuito como se muestra en la figura 5. En este caso, para el conductor positivo se utiliza hierro y para la parte negativa constatan. En este termopar es posible medir temperaturas superiores a 350°C.

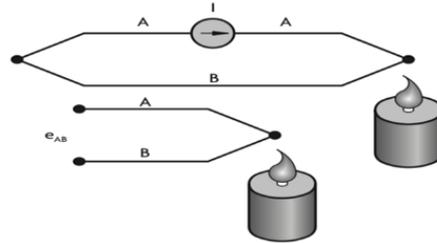


Figura 5. Sensores y Actuadores [8].

El diseño propone comparar el ambiente de los ensayos delimitados por la norma ASTM D-4329 para optimizar el trabajo experimental, proponiendo la ubicación de los transductores con una inclinación de 45°, permitiéndole obtener mayor fidelidad en la recolección de datos estando situados en la parte superior de la cámara de envejecimiento, la cual por su diseño permite que la radiación térmica emitida por un cuerpo por unidad de tiempo y unidad de superficie sean de mayor homogeneidad reduciendo el número de elementos de control de la temperatura, de igual manera intervienen los emisores de radiación UV e Infrarroja, para evaluar el efecto sobre las propiedades térmicas de los polímeros, por lo que la cámara de envejecimiento consta de las partes de la figura 6 y el cuadro 2.

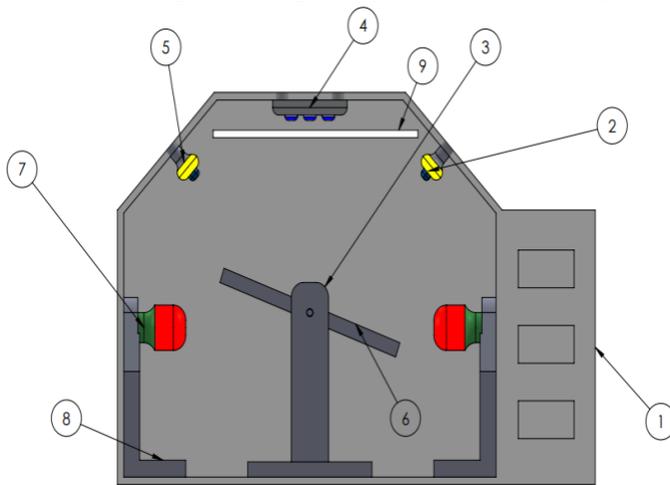


Figura 6. Propuesta de cámara de envejecimiento.

N.º De Elemento	N.º De Pieza	Cantidad
Controlador (Arduino)	1	1
Sensor Termopar J	2	2
Soporte de probeta	3	1
Módulo de luz UV	4	1
Rociador de agua	5	4
Sistema rotativo de probetas.	6	1
Focos IR	7	2
Soportes de focos IR	8	2
Ventila	9	2

Cuadro 2. Elementos de control de temperatura.

### Resultados

Las pruebas realizadas se llevaron a cabo en dos tipos de probetas las cuales proporcionar información acerca de la caracterización de sustancias y/o el material como se describen en las figuras 7, 8 y en el cuadro 3.

Probeta	Material	Usos
1	Polipropileno	Artículos textiles, envases, tuberías, dispositivos médicos y componentes automovilísticos.
2	Policloruro de vinilo	Revestimiento de cables, tubos de agua potable, ventanas, puertas, persianas, botellas, frascos, popotes, calzado y tapicería automotriz.

Cuadro 3. Uso cotidiano de los Polímeros.



Figura 7. Probeta 1 de Polipropileno.



Figura 8. Probeta 2 de Policloruro de Vinilo.

Para controlar la temperatura, se trabaja bajo la norma ASTM D-4329, que establece un ciclo de envejecimiento completo que consta de 12 horas, por otro lado, Bahena propone dividir un ciclo en microciclos que se divide en 4 secuencias con diferentes: ciclos de encendido de las lámparas, temperaturas y minutos de funcionamiento como se muestra en el cuadro 4.

Secuencia	Temperatura	Tiempo	P1	P2
Amanecer	60 ± 3°C	20 min	ON	OFF
Medio Dia	60 ± 3°C	20 min	ON	ON
Atardecer	60 ± 3°C	20 min	OFF	ON
Anochecer	50 ± 3°C	30 min	OFF	OFF

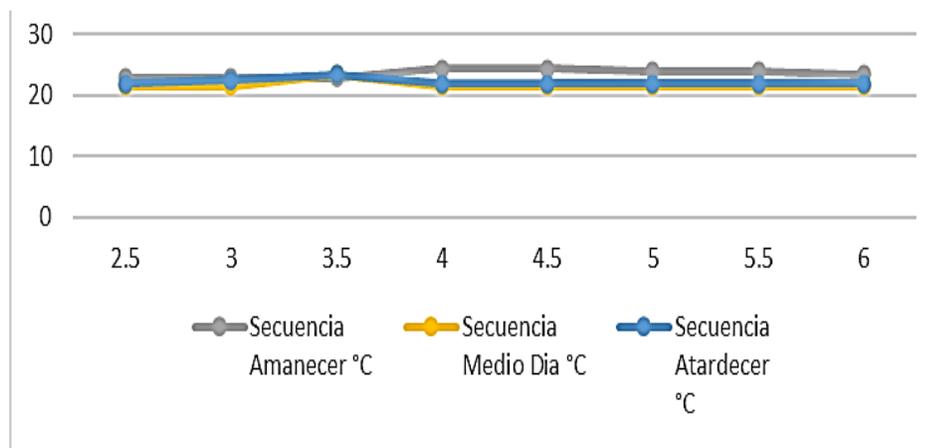
Cuadro 4. Características de un ciclo de la cámara de envejecimiento [9].

Con el desarrollo del sistema de monitoreo, se pudo observar que la temperatura dentro de la cámara varia de manera amortiguada con respecto a la exposición a la radiación dado a que las condiciones del ensayo están dadas para provocar la mayor fatiga posible en periodos más cortos, de esta manera los resultados obtenidos son los mostrados en el cuadro 5.

Tiempo	Amanecer (°C)	Medio Dia (°C)	Atardecer (°C)
2.5	22.97	21.51	21.99
3	22.97	21.51	22.48
3.5	22.97	23.46	23.46
4	24.44	21.51	21.99
4.5	24.44	21.51	21.99
5	23.95	21.51	21.99
5.5	23.95	21.51	21.99
6	23.46	21.51	21.99

Cuadro 5. Mediciones obtenidas por secciones de prueba.

En la Grafica 1, se muestra la evolución de la temperatura del cuadro 5.



Grafica 1. Evolución de la temperatura dentro de la cámara de envejecimiento.

## Comentarios Finales

El principal interés de este artículo ha sido el mostrar un panorama general de un modelo de utilidad para conocer sobre la posible degradación de un plástico ante condiciones ambientales propiciadas por una cámara de envejecimiento, considerando como principal elemento las condiciones de temperatura dando la oportunidad de desarrollo en la investigación de este y otros elementos que podrían interferir en la búsqueda de componentes que permitan la misma utilidad de los polímeros con un tiempo de vida más corto.

Con la finalidad de ampliar el área de aplicación del sistema se propone realizar trabajos futuros en base a las áreas de mejora encontradas en el sistema:

- Desarrollar dentro del programa y la aplicación, los ajustes necesarios para que el sistema sea capaz de ajustarse a diferentes tipos de materiales.
- Desarrollar la aplicación de forma industrial para permitir una mayor valoración de elementos.
- Implementar en el sistema la capacidad de recabar una base de datos la cual le permita ser autónomo en un futuro.

## Referencias

- [1]. Shash Vishu (2007). "Handbook of Plastics Testing and Failure Analysis", Wiley-Interscience, ISBN: 978-0471671893.
- [2]. F. Ebel, S. Nestel (1993). "Sensores para la técnica de procesos y manipulación", ISBN 3-8127-3047-2.
- [3]. Pallas Areny, Ramon (2007). "Sensores y acondicionadores de señal", Alfaomega Marcombo, ISBN: 9788426713445.
- [4]. Creus Sole, Antonio (2011). "Instrumentación Industrial", Alfaomega, ISBN: 978-607-707-042-9.
- [5]. Aztek - Cleveland, O. (2019). Cámara de envejecimiento acelerado QUV || Q-Lab || Q-Lab. (online: Q-lab.com Available at: <https://www.q-lab.com/es-es/products/quv-weathering-tester/quv> (Accessed 8 Jun. 2019).
- [6] Orozco Espinoza D., 2007, Diseño y construcción de una cámara de envejecimiento acelerado por temperatura para polímeros, Instituto Politécnico Nacional, <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/7338/OROZCO%20ESPINOSA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [7]. S. Nise. Norman (2004). "Sistemas de Control para Ingeniería", ISBN: 9789702402541.
- [8]. Ramírez Corona, German, Abarca Jiménez Stephany, Griselda, Carreño Mares, Jesús (2014). "Sensores y Actuadores. Aplicaciones con Arduino", Grupo Editorial Patria, ISBN: 978-607-438-936-4.
- [9]. Estandar ASTM D-4329 (99) International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

## Notas Biográficas

El **Pasante Jose Luis Peña Mejia** es egresado de la carrera en Ingeniería en Producción Industrial de la UAEMex.

El **Dr. Carlos Juárez Toledo** obtuvo su título de Maestría y Doctorado en Ciencias con especialidad en Ingeniería Eléctrica del CINVESTAV, Unidad Guadalajara, 2003 y 2008 respectivamente, desarrollo una estancia doctoral en el departamento de Eléctrica y Computación de NU, Boston, Massachusetts en 2005 y una estancia posdoctoral en la Facultad de Ingeniería Eléctrica en la UNAM en 2008-2009. Actualmente es profesor de tiempo completo en la UAEMex.

La **Dra. Irma Martínez Carrillo** obtuvo su título de Maestría y Doctorado en Ciencias con especialidad en Ingeniería Eléctrica del CINVESTAV, Unidad Guadalajara, 2003 y 2008 respectivamente, Ganadora de los certámenes nacionales de tesis en el área de Informática y Control a nivel Maestría y Doctorado en 2005 y 2009. Actualmente es profesora de tiempo completo en la UAEMex.

La **Dra. Ana Lilia Flores Vázquez** obtuvo su título de Maestría y Doctorado en Ciencias (Física) por el Instituto de Física, UNAM en el 2005 y 2007. Profesor de Asignatura, facultad de Ciencias UNAM, Profesor de Asignatura, Unidad Académica Profesional Tianguistenco, UAEMéx 2010- Actualmente es profesora de tiempo completo en la UAEMex.