



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE QUIMICA**

**ANÁLISIS DE CURVAS DE ENFRIAMIENTO  
DURANTE EL TEMPLE DE ACERO EN  
SOLUCIONES POLIMÉRICAS**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERA QUÍMICA METALÚRGICA**

**PRESENTA:**

**LILIANA KARLA CABRERA HERRERA**



**MEXICO, D.F.**

**2013**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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 esta 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.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta 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.

Jurado asignado:

Presidente: Prof. JOSÉ BERNARDO HERNÁNDEZ MORALES

Vocal: Prof. JOSÉ ANTONIO BARRERA GODÍNEZ

Secretario: Prof. SERGIO GARCÍA GALÁN

1er Suplente: Prof. ARTURO ALEJANDRO SÁNCHEZ SANTIAGO

2do Suplente: Profa. BALBINA OJEDA RAMÍREZ

Sitio donde se desarrolló el tema:

Departamento de Ingeniería Metalúrgica

Facultad de Química, U.N.A.M., Edificio D, Laboratorio 005.

Asesor del tema:

---

Dr. José Bernardo Hernández Morales.

Sustentante:

---

Liliana Karla Cabrera Herrera

## Contenido

|  |    |
|--|----|
| Resumen.....   | 1  |
| 1 Introducción .....   | 3  |
| 1.1 Marco conceptual.....  | 3  |
| 1.2 Justificación .....  | 4  |
| 1.3 Hipótesis .....  | 5  |
| 1.4 Objetivo.....  | 5  |
| 1.5 Metas .....  | 5  |
| 2 Antecedentes.....  | 6  |
| 2.1 Tratamientos térmicos.....   | 6  |
| 2.2 Temple .....   | 6  |
| 2.3 Medios de enfriamiento.....  | 7  |
| 2.4 Polímeros en solución acuosa como medio de enfriamiento .....        | 8  |
| 2.5 Etapas de enfriamiento .....   | 12 |
| 2.6 Análisis de curvas de enfriamiento .....                             | 14 |
| 2.7 Revisión de la literatura de temple con soluciones poliméricas ..... | 15 |
| 3 Procedimiento experimental .....                                       | 17 |
| 3.1 Dispositivo experimental .....                                       | 17 |
| 3.2 Variables de experimentación .....                                   | 19 |
| 3.3 Matriz experimental.....   | 20 |
| 3.4 Manejo de los datos experimentales.....                              | 20 |
| 4 Resultados.....  | 21 |
| 4.1 Reproducibilidad .....   | 21 |

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 4.2 | Enfriamiento con PAG.....                | 22 |
| 4.3 | Enfriamiento con PVP .....               | 28 |
| 5   | Análisis de Resultados .....             | 34 |
| 6   | Conclusiones .....                       | 57 |
| 7   | Recomendaciones y trabajo a futuro ..... | 58 |
| 8   | Referencias bibliográficas.....          | 59 |
|     | Apéndice A.....                          | 62 |
|     | Apéndice B.....                          | 75 |
|     | Apéndice C.....                          | 84 |

## Índice de figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.1 Curvas de enfriamiento obtenidas usando aceite mineral (Micro Temp 153B, Micro Temp 157) y aceite vegetal (soya y girasol) [8].....  | 8  |
| Figura 2.2 Molécula de Poli vinil alcohol (PVA) [10].....   | 9  |
| Figura 2.3 Molécula de Poli alquilen glicol (PAG) [9]. ....   | 10 |
| Figura 2.4 Molécula de Poli vinil pirrolidona (PVP) [9]. ....   | 11 |
| Figura 2.5 Molécula de Poli acrilato de sodio [10].....   | 11 |
| Figura 2.6 Representación esquemática de las curvas de enfriamiento obtenidas con soluciones acuosas de polímeros para: a) diferentes concentraciones de polímero, b) diferentes temperaturas y c) diferentes niveles de agitación [10].....                                | 12 |
| Figura 2.7 Etapas del enfriamiento durante un temple [9].....   | 13 |
| Figura 2.8 Ejemplo del avance de frente de mojado: a) respuesta térmica medida en T/C3 (42.67 mm de profundidad a partir de la base de la probeta) durante un experimento con agua a 60 °C; b) secuencia de imágenes tomadas de la videograbación del experimento [12]..... | 14 |
| Figura 3.1 Representación esquemática del dispositivo experimental: (a) depósito primario, (b) bomba, (c) rotámetro, (d) tanque de vidrio, (e) depósito secundario, (f) probeta, (g) soporte de la probeta y (h) tubo de acrílico [19].....                                 | 18 |
| Figura 3.2 Esquema de la probeta utilizada para realizar los experimentos [20].<br>.....  | 19 |
| Figura 4.1 Curva de enfriamiento para cuatro pruebas realizadas con 8 % PAG, T = 25 °C, V = 35 m/s.....   | 21 |
| Figura 4.2 Curvas de enfriamiento y secuencia de imágenes para una prueba realizada con 8 % PAG, T = 25 °C, V = 0.35 m/s (prueba 1 en la matriz experimental). ....   | 23 |
| Figura 4.3 Curvas de enfriamiento para una prueba realizada con 8 % PAG, T = 35 °C, V = 0.65 m/s (prueba 7 en la matriz experimental).....  | 24 |
| Figura 4.4 Curvas de enfriamiento para una prueba realizada con 14 % PAG, T = 25 °C, V = 0.35 m/s (prueba 4 en la matriz experimental).....   | 26 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 4.5 Curvas de enfriamiento para una prueba realizada con 14 % PAG, T = 35 °C, V = 0.65 m/s (prueba 8 en la matriz experimental).....   | 27 |
| Figura 4.6 Curvas de enfriamiento y secuencia de imágenes para una prueba realizada con 8 % PVP, T = 25 °C, V = 0.65 m/s (prueba 3 en la matriz experimental). .....  | 29 |
| Figura 4.7 Curvas de enfriamiento y secuencia de imágenes para una prueba realizada con 8 % PVP, T = 35 °C, V = 0.35 m/s (prueba 5 en la matriz experimental). .....  | 30 |
| Figura 4.8 Curvas de enfriamiento y secuencia de imágenes para una prueba realizada con 14 % PVP, T = 25 °C, V = 0.65 m/s (prueba 4 en la matriz experimental). .....   | 32 |
| Figura 4.9 Curvas de enfriamiento y secuencia de imágenes para una prueba realizada con 14 % PVP, T = 35 °C, V = 0.35 m/s (prueba 6 en la matriz experimental). .....   | 33 |
| Figura 5.1 Curvas de enfriamiento y secuencia de imágenes para una prueba realizada con agua a T = 30 °C y V = 0.40 m/s. Modificada de [23]. Los termopares se encuentran a 2.9 y 4.3 cm de profundidad, respectivamente. ....  | 35 |
| Figura 5.2 Formación reversible de a) película de PAG hidratado [24] y b) película de PVP alrededor de una superficie metálica caliente durante un temple [9]. .....  | 38 |
| Figura 5.3 Rapidez de enfriamiento como función de la temperatura, ambos locales, para diferentes pruebas realizadas a 35 °C. La curva para agua se generó a partir de datos reportados [23]. .....   | 40 |
| Figura 5.4 Historia de rapidez de enfriamiento para diferentes pruebas realizadas a 35 °C. Solo se muestran los primeros 10 segundos. La curva para agua se generó a partir de datos reportados [23]. .....   | 41 |
| Figura 5.5 <i>Flux</i> de calor de la superficie como función de la temperatura de superficie para diferentes pruebas realizadas a 35 °C. Los cálculos se llevaron a cabo con el programa <i>WinProbe</i> , usando 4 pasos futuros. La curva para agua se generó a partir de datos reportados [23]. ..... | 42 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 5.6 Historia de <i>flux</i> de calor de la superficie para diferentes pruebas realizadas a 35 °C. Los cálculos se llevaron a cabo con el programa <i>WinProbe</i> , usando 4 pasos futuros. La curva para agua se generó a partir de datos reportados [23]. | 43 |
| Figura 5.7 <i>Flux</i> de calor de la superficie como función de la temperatura de superficie estimada para las pruebas realizadas con PAG.  | 45 |
| Figura 5.8 <i>Flux</i> de calor de la superficie como función de la temperatura de superficie estimada para las pruebas realizadas con PVP.  | 45 |
| Figura 5.9 Rapidez de enfriamiento máxima para cada condición de estudio. Las barras representan a la desviación estándar.   | 47 |
| Figura 5.10 Temperatura a la cual ocurre la rapidez de enfriamiento máxima para cada condición de estudio. Las barras representan a la desviación estándar.  | 48 |
| Figura 5.11 Rapidez de enfriamiento a 300 °C para cada condición de estudio. Las barras representan a la desviación estándar.  | 49 |
| Figura 5.12 <i>Flux</i> de calor máximo para cada condición de estudio. Las barras representan a la desviación estándar.   | 50 |
| Figura 5.13 Tiempo promedio para alcanzar la temperatura de 600 °C para cada una de las condiciones de estudio. Las barras representan a la desviación estándar.   | 51 |
| Figura 5.14 Tiempo promedio para alcanzar la temperatura de 400 °C para cada una de las condiciones de estudio. Las barras representan a la desviación estándar.   | 52 |
| Figura 5.15 Tiempo promedio para alcanzar la temperatura de 200 °C para cada una de las condiciones de estudio. Las barras representan a la desviación estándar.   | 53 |
| Figura 5.16 Tiempo adimensional para alcanzar la temperatura de 600 °C. El tiempo característico fue el tiempo de cada prueba para alcanzar 100 °C. Las barras representan a la desviación estándar.   | 54 |

Figura 5.17 Tiempo adimensional para alcanzar la temperatura de 600 °C. El tiempo característico fue el tiempo de cada bloque para alcanzar 100 °C. Las barras representan a la desviación estándar. .... 55

Figura 5.18 Tiempo adimensional para alcanzar 600 °C para cada condición de estudio. El tiempo característico fue el tiempo más largo de entre todas las pruebas, necesario para llegar a 100 °C. Las barras representan a la desviación estándar. .... 56

## Índice de tablas

|  |    |
|--|----|
| Tabla 3.1 Variables de experimentación. ....   | 19 |
| Tabla 3.2 Matriz experimental .....  | 20 |
| Tabla 5.1 Puntos críticos para PAG al 8%, T= 25 °C, V= 0.35 m/s.....                         | 46 |
| Tabla D.1 Resultados de pruebas físico-químicas de viscosidad, pH y gravedad específica..... | 86 |
| Tabla D.2 Resultados de la cantidad de sólidos disueltos en cada muestra.....                | 86 |

## Resumen

Uno de los tratamientos térmicos más usados en la industria metalúrgica es el temple, cuyo principal objetivo es obtener una dureza final alta en componentes fabricados con acero.

En el diseño de un tratamiento de temple se tienen diferentes problemas a resolver, uno de los cuáles es que se requieren rapidezces de enfriamiento altas y que al usar medios de temple muy severos se produce distorsión de los componentes y, en algunas ocasiones, se puede llegar a presentar agrietamiento.

Para resolver este problema se hace uso de medios de enfriamiento alternativos. Uno de los medios de enfriamiento de más reciente aplicación son las soluciones acuosas de polímeros, las cuales permiten obtener un enfriamiento más severo que el que se obtiene con medios suaves como el aceite, pero sin llegar a ser tan agresivas como el agua. Este comportamiento resulta de los mecanismos por los que el medio extrae el calor. Durante el temple, cuando se usan medios de enfriamiento volátiles típicos (agua, aceite), se identifican tres etapas de enfriamiento: capa de vapor, nucleación de burbujas y convección pura. La duración de cada una de estas etapas y su ocurrencia en toda la superficie de la probeta o solo en alguna sección a un tiempo dado impacta directamente en la extracción de calor; por lo tanto, su descripción cuantitativa permite caracterizar el poder de enfriamiento de un medio de temple en particular.

En el presente trabajo se estudia el efecto de la concentración, la temperatura y la velocidad del medio de temple cuando se usan soluciones poliméricas. Cabe mencionar que las variables seleccionadas y sus valores se especificaron en función de las necesidades de la empresa FRISA (Santa Catarina, Nuevo León).

El estudio se basó en la medición de curvas de enfriamiento, a partir de las cuales se determinaron curvas de rapidez de enfriamiento local y de *flux* de calor en la

superficie. Como soporte, se videograbó la superficie de las probetas durante cada experimento.

Para las pruebas se utilizaron probetas cilíndricas con punta cónica de acero inoxidable AISI 304; como medio de temple se usaron soluciones poliméricas de PAG (poli alquilen glicol) y PVP (poli vinil pirrolidona). Los resultados se compararon con experimentos previamente realizados con agua pura.

Los resultados muestran que, en efecto, con el uso de soluciones poliméricas se tiene un enfriamiento más suave que el que se obtiene con agua, presentado, además, etapas de enfriamiento diferentes entre sí y con las que se obtienen usando agua, ya que no presentan, por ejemplo, un frente de mojado.

También se encontró que el enfriamiento con los PAG es más severo que con PVP, basados en que las rapidezces de enfriamiento máximas y los valores de *flux* de calor máximo son mayores cuando se usa PAG.

El tiempo para alcanzar 600 °C es más largo cuando se utiliza PAG que cuando se utiliza PVP (14 %), debido a que el PAG presenta una etapa inicial de baja extracción de calor.

## 1 Introducción

En esta sección se da una breve explicación de los conceptos básicos necesarios para comprender el presente trabajo. También se presentan la justificación, hipótesis, objetivo y metas del mismo.

### 1.1 Marco conceptual

Para cumplir su función durante su ciclo de vida, un componente debe tener características específicas. Para cumplir este requisito es necesario aprovechar la relación compleja que existe entre su microestructura, el procesamiento y las propiedades finales del material.

A los procesos basados en ciclos de calentamiento y enfriamiento aplicados para obtener la microestructura requerida se les denomina tratamientos térmicos [1]. Dependiendo de la historia térmica del acero y de su composición química, se pueden producir diferentes combinaciones de las fases, llamadas microconstituyentes; éstos a su vez conforman la microestructura. En el caso del hierro se pueden presentar tres fases: hierro alfa (ferrita), hierro gamma (austenita) y hierro delta (ferrita delta). Cuando se agrega carbono en cantidades menores a 2 %, la ferrita y la austenita son soluciones sólidas, con átomos de carbono localizados en sus intersticios; cuando el contenido de carbono excede la solubilidad de la austenita se forma otra fase llamada cementita ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) [2].

Los microconstituyentes más comunes en un acero tratado térmicamente son: perlita, bainita y martensita. Cada uno de éstos confiere al acero propiedades diferentes, siendo la dureza una de las propiedades más comúnmente medidas en una planta de tratamientos térmicos.

Para tener un control de cómo se presenta un enfriamiento se puede medir la evolución de la temperatura (en uno o varios puntos de la pieza) durante el mismo, generando curvas de enfriamiento ( $T$  vs.  $t$ ) que proporcionan información acerca de las etapas de enfriamiento, las cuales dependen de los mecanismos que

actúen en cada momento. Por lo general, en un enfriamiento con medios volátiles, se presentan tres etapas de enfriamiento, los mecanismos que actúan en cada una son: capa de vapor, nucleación de burbujas y convección pura; entre la capa de vapor y la nucleación de burbujas se presenta una frontera que se conoce como frente de mojado, el cual aparece cuando se restablece el contacto entre la superficie de la probeta y el medio de enfriamiento.

Para caracterizar un medio de temple, se extraen diferentes parámetros de las curvas de enfriamiento, tales como cuánto tiempo se tarda en llegar a las temperaturas a las cuales se puede llegar a alguna transformación de estructuras al equilibrio para de esta forma saber si el medio de enfriamiento extrae el calor lo suficientemente rápido como para obtener las propiedades deseadas. Las curvas de enfriamiento son también la base de cálculo de rapidez de enfriamiento y de las estimaciones de *flux* de calor en la superficie.

## **1.2 Justificación**

La compañía FRISA (Santa Catarina, Nuevo León; [www.frisa.com](http://www.frisa.com)) templea anillos de dimensiones grandes en tinas de temple con dos tipos de medio de enfriamiento: agua y soluciones acuosas de PAG (poli alquilen glicol) o de PVP (poli vinil pirrolidona); en todos los casos el medio de temple está agitado. La razón por la que se utilizan soluciones acuosas de polímeros en la industria de tratamientos térmicos es porque producen condiciones de extracción de calor intermedias entre las de los aceites para temple y las del agua, con lo cual se produce menor distorsión que con temple en agua pero mayor extracción de calor que con aceites de temple. Un primer paso para el control de la distorsión en piezas templadas es la caracterización de la extracción de calor del medio de temple, lo que se realiza mediante ensayos de laboratorio. Como todo medio de temple volátil, las soluciones acuosas de PAG pueden presentar las etapas de extracción de calor características (capa de vapor, nucleación y crecimiento de burbujas, y convección pura) por lo que es también importante estudiar la evolución del frente de mojado.

### 1.3 Hipótesis

La adición de polímero al agua modificará las etapas de enfriamiento y, por lo tanto, la capacidad de extracción de calor del medio de temple, así como el comportamiento del frente de mojado.

Se espera que al aumentar la concentración de polímero, el enfriamiento resulte más lento, al igual que cuando se aumenta la temperatura de la solución, mientras que se espera obtener el efecto inverso al aumentar la velocidad del medio de temple.

### 1.4 Objetivo

Caracterizar la interacción térmica probeta-medio de temple durante el temple por convección forzada en soluciones acuosas de *PAG* y de *PVP*.

Los parámetros de operación (concentración de polímero, temperatura y velocidad del medio de temple) se fijaron en acuerdo con la compañía FRISA (Santa Catarina, N.L.).

### 1.5 Metas

- Analizar las curvas de enfriamiento generadas en el laboratorio a partir del temple por convección forzada de probetas de acero inoxidable AISI 304.
- Medir curvas de enfriamiento utilizando termopares embebidos en la probeta.
- Cuantificar los parámetros de la curva de enfriamiento.
- Estimar la historia de *flux* de calor de la superficie mediante la solución del problema inverso de conducción de calor.
- Estimar la velocidad del frente de mojado a partir de videograbaciones.

## **2 Antecedentes**

A continuación se presentan los aspectos generales referentes al tratamiento térmico de temple, así como el uso de polímeros en este proceso.

### **2.1 Tratamientos térmicos**

La definición de tratamiento térmico que se menciona en *Metals Handbook* es: “Una combinación de operaciones controladas de calentamiento y enfriamiento que se aplican a un metal o aleación en estado sólido, de tal manera que se producen las propiedades deseadas” [3].

A su vez, las propiedades mecánicas son resultado de cambios microestructurales tales como [4]:

- Transformación alotrópica (base en la mayoría de los aceros).
- Descomposición, que comprende la transformación de ciertos constituyentes en otro u otros con propiedades más convenientes.
- Precipitación o envejecimiento, cuando la solubilidad de un constituyente dado en el material disolvente es mayor a una temperatura alta que a temperaturas menores.

Ejemplos de tratamientos térmicos son: temple, recocido, normalizado, etc. [4].

Dado que se alteran las propiedades mecánicas al aplicar un tratamiento térmico, estos procesos son de gran importancia, por lo que se aplican de forma muy frecuente en la industria para obtener características preestablecidas y aumentar el valor económico de un componente metálico. Sin embargo, si no se diseñan y controlan correctamente, el resultado puede ser perjudicial [5].

### **2.2 Temple**

La primera etapa en el temple del acero es la austenización, que se realiza calentando la pieza de manera uniforme hasta la temperatura de estabilidad de la austenita y manteniendo el acero a esta temperatura para lograr una

transformación completa y la homogenización del material; pero no se debe dejar demasiado tiempo ya que esto puede ocasionar estructuras de grano grande, agrietamiento, distorsión, oxidación y descarbonización. El acero atraviesa una zona crítica en la cual su volumen cambia aproximadamente un 1.20% [4]; a pesar de esto, el metal se puede mantener sin distorsión significativa si el calentamiento se hace con cuidado.

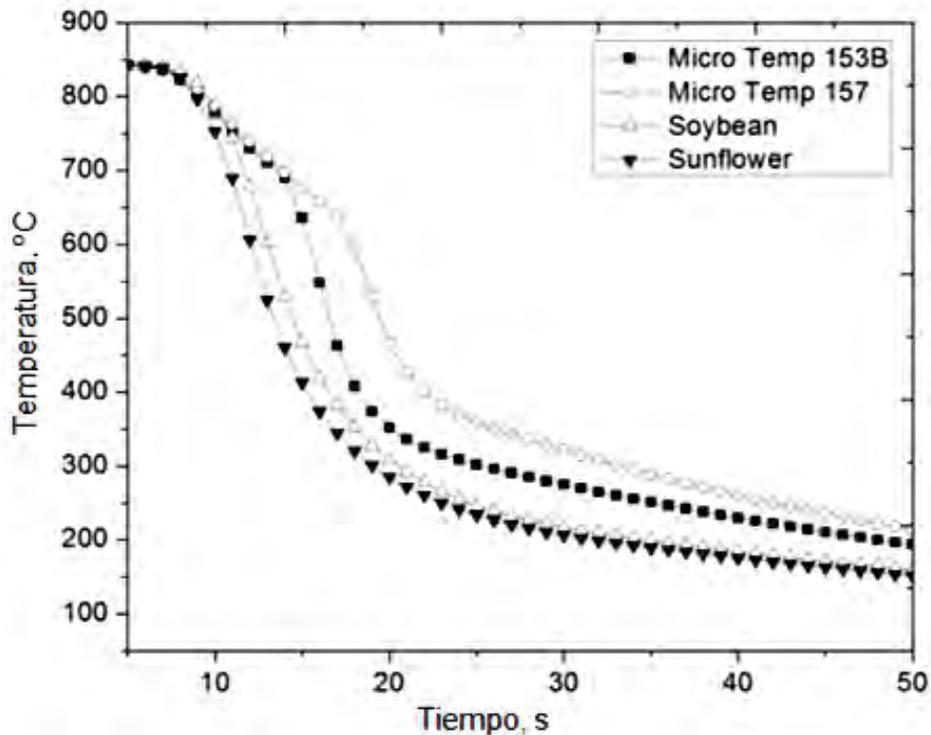
La segunda etapa del temple consiste en enfriar la pieza rápidamente, de tal manera que se impida la formación de microestructuras al equilibrio y se forme el microconstituyente martensita. La microestructura que se obtiene en un temple es análoga a un conjunto de agujas o de paja, la cual corresponde a la estructura más dura del acero.

### **2.3 Medios de enfriamiento**

Para el proceso de temple se usan diversos medios de enfriamiento. Los más comunes son: agua, aceites y soluciones acuosas de polímeros. Otros medios que se usan, de manera más limitada, son: soluciones de salmuera, soluciones causticas, baños de sales, baños metálicos y gases.

Estos medios pueden ser usados, además, estáticos o con agitación y a diversas temperaturas.

Como ejemplo del efecto del tipo de medio de enfriamiento, en la Figura 2.1 se muestran curvas de enfriamiento para temple con aceites vegetales y aceites derivados de petróleo [8]. Como puede observarse, el enfriamiento con aceites minerales presenta una capa de vapor muy estable, que resulta en la región recta en las curvas de enfriamiento, mientras que los aceites vegetales no presentan esta etapa de enfriamiento.



**Figura 2.1** Curvas de enfriamiento obtenidas usando aceite mineral (Micro Temp 153B, Micro Temp 157) y aceite vegetal (soya y girasol) [8].

Una manera de caracterizar a los medios de temple se basa en su potencia de enfriamiento [6]. Para calificar a la potencia de enfriamiento, se ha utilizado el factor de Grossmann ( $H$ ), para el cual se le asignó arbitrariamente el valor de 1.0 al agua sin agitación y, a partir de este valor, se comparan los otros medios de enfriamiento. Cabe mencionar que, para cualquier medio de enfriamiento, al agregar agitación, la potencia de enfriamiento aumenta significativamente [7]. El factor de Grossmann no es un buen indicador de la capacidad de extracción de calor de un medio de temple debido a que es un solo número, que no considera los diversos mecanismos de extracción de calor hacia el medio de temple.

#### 2.4 Polímeros en solución acuosa como medio de enfriamiento

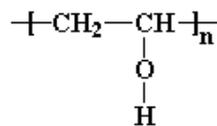
La industria de los tratamientos térmicos ha presentado un crecimiento dramático en el último siglo. En el pasado, el principal medio de enfriamiento era el agua, en ocasiones modificada con algún aditivo como sales inorgánicas y aceites

naturales. Con el descubrimiento de los aceites derivados del petróleo, los aceites minerales se convirtieron en el medio de enfriamiento más usado [9]. Las soluciones acuosas de polímero han sido usadas por más de 30 años como medio de enfriamiento en la industria en general; sin embargo, su uso en la industria de los tratamientos térmicos es relativamente reciente [10].

Muchas aplicaciones requieren que los materiales presenten propiedades intermedias entre las que se obtienen usando agua y las que se obtienen usando aceite; los polímeros en solución acuosa proveen rapidez de enfriamiento entre estos dos medios. Por lo tanto, son una buena alternativa, ya que el uso de este tipo de medio de enfriamiento reduce el riesgo de incendio asociado con el uso de aceites y, si bien el agua reduce este riesgo, es un medio mucho más severo que el aceite por lo que conlleva una mayor distorsión y puede causar la formación de fisuras. Si se aumenta la temperatura del agua para evitar estos efectos, se tiene la dificultad del control de la temperatura, pudiendo llegar a presentar condiciones de enfriamiento muy similares a las del aceite [9].

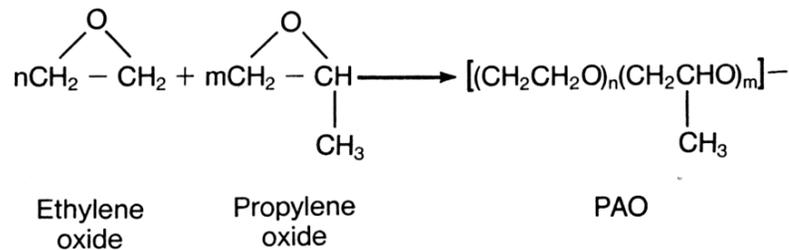
En la literatura existen muchas patentes de polímeros usados como medio de enfriamiento; sin embargo, en realidad sólo existen cuatro tipos de polímeros usados para este fin, los cuales se enlistan a continuación [10].

- Poli vinil alcohol (PVA). Este polímero se introdujo a mediados de los años 50's como un aditivo al agua para modificar la rapidez de enfriamiento. En la Figura 2.2 se muestra la molécula de Poli vinil alcohol. El PVA tiene la desventaja de que se degrada muy fácilmente cuando entra en contacto con las piezas a alta temperatura, modificando la concentración del baño, por lo que es necesario hacer mediciones continuas para tener un control estricto de la composición [10].



**Figura 2.2** Molécula de Poli vinil alcohol (PVA) [10].

- Poli alquilen glicol (PAG). En la Figura 2.3 se muestra la molécula del PAG; fue introducido a inicios de los años 40's y tiene la ventaja de ser completamente soluble en agua a temperatura ambiente, aunque a altas temperaturas (70 °C aproximadamente) la solubilidad comienza a decrecer. Uno de los inconvenientes de usar agua como medio de enfriamiento, es la formación de una capa de vapor, la cual, si se prolonga demasiado, puede ocasionar distorsión y agrietamiento. Bajo ciertas condiciones, se puede evitar este efecto usando PAG, ya que su uso propicia un mojado uniforme en toda la superficie del material [9].

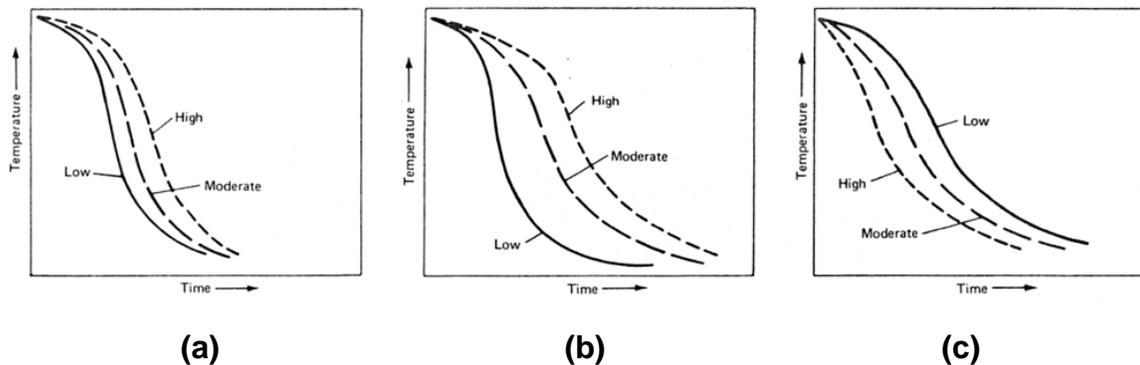


**Figura 2.3** Molécula de Poli alquilen glicol (PAG) [9].

- Poli vinil pirrolidona (PVP). Se caracteriza por sus propiedades complejas y coloidales, así como por ser un compuesto inerte. En la Figura 2.4 se muestra la molécula de PVP. Se introdujo como medio de enfriamiento a partir de 1975, con concentraciones por arriba de 10% de polímero sólido. Como en los otros polímeros usados como medio de enfriamiento, la rapidez de enfriamiento con PVP depende de la concentración, la temperatura y la agitación del baño. En el caso del PVP, se tienen capas de burbujas y vapor poco estables, por lo que el mecanismo que domina es el de convección. No se presenta el problema de la solubilidad inversa, sólo se tiene una muy pequeña retención de polímero en la superficie por encima de los 30 °C y hasta temperatura de ebullición. Esto propicia la posibilidad de trabajar a temperaturas más altas que con los otros polímeros [9].



En la Figura 2.6 se muestra, de manera cualitativa, el efecto para cada uno de los parámetros mencionados. Como se puede observar, un ligero cambio en la concentración resulta en un cambio significativo en la capacidad de enfriamiento de las soluciones acuosas de polímeros. A concentraciones menores a 0.01%, las características de enfriamiento son muy similares a las de agua pura.



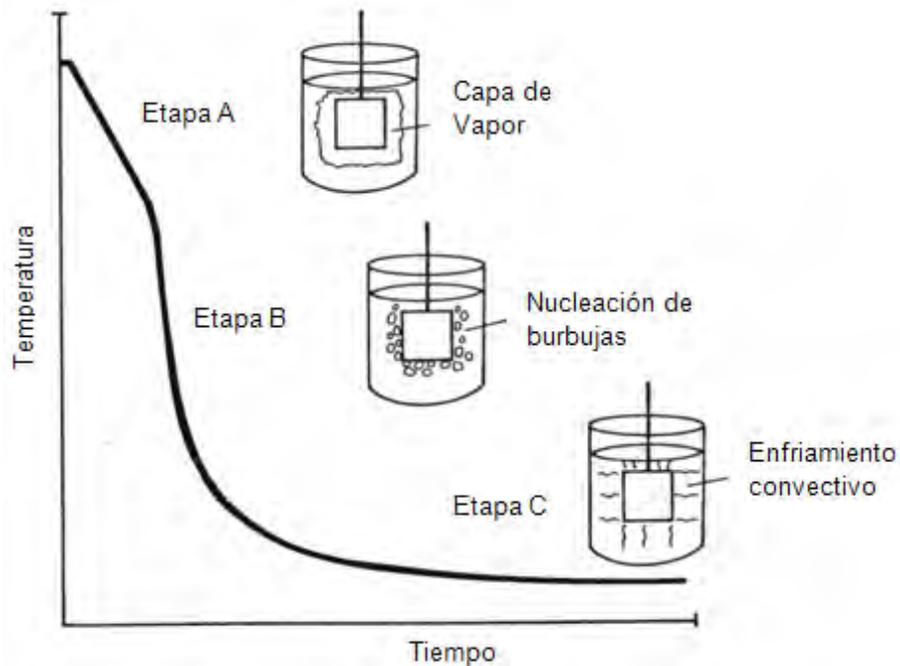
**Figura 2.6** Representación esquemática de las curvas de enfriamiento obtenidas con soluciones acuosas de polímeros para: a) diferentes concentraciones de polímero, b) diferentes temperaturas y c) diferentes niveles de agitación [10].

## 2.5 Etapas de enfriamiento

La forma en las curvas de enfriamiento es indicativa de los mecanismos que están actuando durante el enfriamiento en un temple. Por ejemplo, cuando se temple en un medio de enfriamiento volátil como agua o aceite, se pueden distinguir tres etapas (ver Figura 2.7):

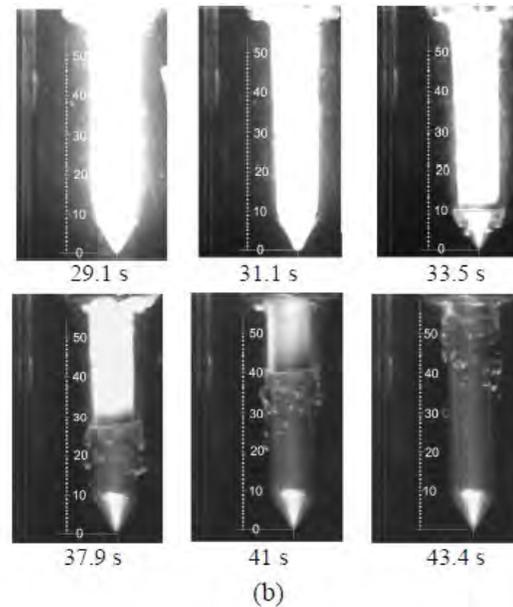
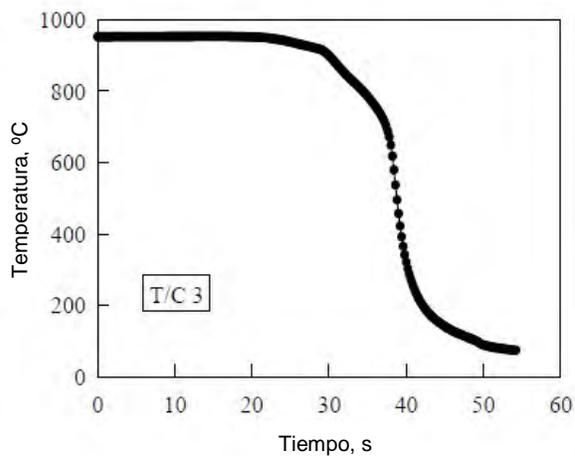
- Etapa A o etapa de capa de vapor: se caracteriza por la formación de una capa de vapor continua a lo largo de toda la superficie caliente del metal.
- Etapa B o etapa de nucleación de burbujas: este mecanismo está caracterizado por una ebullición violenta en la superficie del metal. La temperatura de transición entre las etapas A y B se conoce como temperatura de Leidenfrost.
- Etapa C o etapa de enfriamiento convectivo: sucede cuando la temperatura del metal está por debajo de la temperatura de ebullición del medio de

enfriamiento. La rapidez de enfriamiento en esta etapa es mucho menor que en la etapa B, y depende de la agitación, la viscosidad y la temperatura del baño.



**Figura 2.7** Etapas del enfriamiento durante un temple [9].

Cuando una pieza caliente entra en contacto con un baño líquido se forma una capa de vapor. El proceso de “remojado” o formación de un “frente de mojado”, es el restablecimiento del contacto de líquido con una superficie sobrecalentada. El frente de mojado avanza debido al enfriamiento paulatino de la superficie [11]. En la Figura 2.8 se muestra un ejemplo del aspecto que presenta el avance del frente de mojado en la superficie, así como la curva de enfriamiento local durante un proceso que presenta las tres etapas mencionadas.



**Figura 2.8** Ejemplo del avance de frente de mojado: a) respuesta térmica medida en T/C3 (42.67 mm de profundidad a partir de la base de la probeta) durante un experimento con agua a 60 °C; b) secuencia de imágenes tomadas de la videograbación del experimento [12].

## 2.6 Análisis de curvas de enfriamiento

De las curvas de enfriamiento se pueden obtener parámetros que son indicadores de la severidad del medio de temple. Estos parámetros incluyen: la rapidez de enfriamiento a 705 y 205 °C, la rapidez máxima de enfriamiento, y el tiempo de enfriamiento de 730 a 260 °C. Es mejor maximizar la rapidez de enfriamiento a 705 °C para evitar la transformación a perlita, y minimizar la rapidez a 205 °C para minimizar la tendencia al agrietamiento durante la transformación a martensita. También es deseable obtener tiempos cortos de enfriamiento entre 730 y 260 °C para potencializar el endurecimiento, evitando la formación de perlita.

Tensi y Steffen proponen un conjunto de parámetros críticos para la caracterización de las curvas de enfriamiento:

- Tiempo de transición entre las etapas A y B, así como la temperatura y la rapidez de enfriamiento ( $R_{DHmin}$ ) correspondientes. Estos parámetros caracterizan el enfriamiento entre las etapas A y B.
- Rapidez máxima de enfriamiento ( $R_{max}$ ), y la temperatura a la que esto ocurre ( $T_{Rmax}$ ). Por lo general es deseable maximizar  $R_{max}$  y minimizar  $T_{Rmax}$ .
- Rapidez de enfriamiento entre 200 y 300 °C, con el fin de minimizar la propensión a la aparición de grietas y distorsión. Es deseable minimizar la rapidez de enfriamiento en esta región.

Adicional a las curvas de enfriamiento, que contienen información de temperatura contra tiempo, es de mucha utilidad obtener datos de rapidez de enfriamiento y de *flux* de calor en la superficie de la probeta; con estos datos resulta más fácil notar los cambios que se producen en cada momento, aunque requieren de cálculos adicionales.

## 2.7 Revisión de la literatura de temple con soluciones poliméricas

Existen diversas publicaciones en las cuales se realiza un recuento de las técnicas usadas para realizar temples, en los cuales se describe el temple de aceros usando agua, aceites y disoluciones acuosas de polímero. MacKenzie [13] realiza una revisión de los tipos de fluidos que se han usado a lo largo de la historia como medio de temple, desde agua, diferentes tipos de aceite vegetal y mineral, y finalmente, soluciones poliméricas.

Aronov *et al.* [14] llevaron a cabo un estudio de la diferencia entre las propiedades finales que se obtienen al realizar tratamientos térmicos, utilizando agua, aceite y polímero (estos dos últimos en mezcla comercial) como medio de enfriamiento, encontrando que la dureza no se modifica mucho, pero la resistencia al torque si se ve afectada, ya que con agua es mayor, con polímero disminuye un poco y con aceite los valores decrecen significativamente.

Totten *et al.* [15] reportaron un estudio acerca de la degradación de los polímeros por el mecanismo de oxidación térmica. Ilustra cómo las cadenas de polímero se van rompiendo a causa de las altas temperaturas en las que son usadas y cómo afecta esto la extracción de calor. Menciona que con un polímero que ha sido usado durante un largo tiempo (11 años), la extracción de calor es muy parecida a la del agua.

Kobasko *et al.* [16] presentan una comparación de aceite, agua y soluciones poliméricas en cuanto a la rapidez de enfriamiento, y concluyen que el uso de polímeros en altas concentraciones (20- 30 %) y fuerte agitación, es una buena alternativa para realizar temple.

Padilla [17] hace una comparación entre la distorsión que se presenta en anillos de pistón usando baños de sales y soluciones poliméricas. Encontrando, nuevamente, que los polímeros son una mejor opción para realizar esos tratamientos térmicos.

Totten *et al.* [18] resaltan la importancia de realizar un estudio de las curvas de enfriamiento que se obtienen con soluciones poliméricas y su comportamiento con cada prueba antes de decidir remplazar otro medio de temple como el aceite.

Cabe mencionar que en la mayoría de los artículos se usa sólo PAG para realizar las pruebas, y en el resto de ellos no se menciona que tipo de polímero es el que se utiliza.

### **3 Procedimiento experimental**

Se midieron curvas de enfriamiento durante el temple de probetas (cilíndricas, con punta cónica) de acero inoxidable AISI 304 en un dispositivo que establece un flujo direccionado del medio de temple, a una velocidad media controlada. Las probetas se instrumentaron con dos termopares distribuidos a lo largo de la probeta y a una distancia de 1.778 mm de la superficie de la misma (4.572 mm del centro, ver Figura 3.2).

También se realizaron videograbaciones de los eventos en la superficie de la probeta, para caracterizar el avance del frente de mojado. Cada experimento se realizó por triplicado, para verificar la repetitividad de los resultados, así como para obtener valores promedio y desviación estándar.

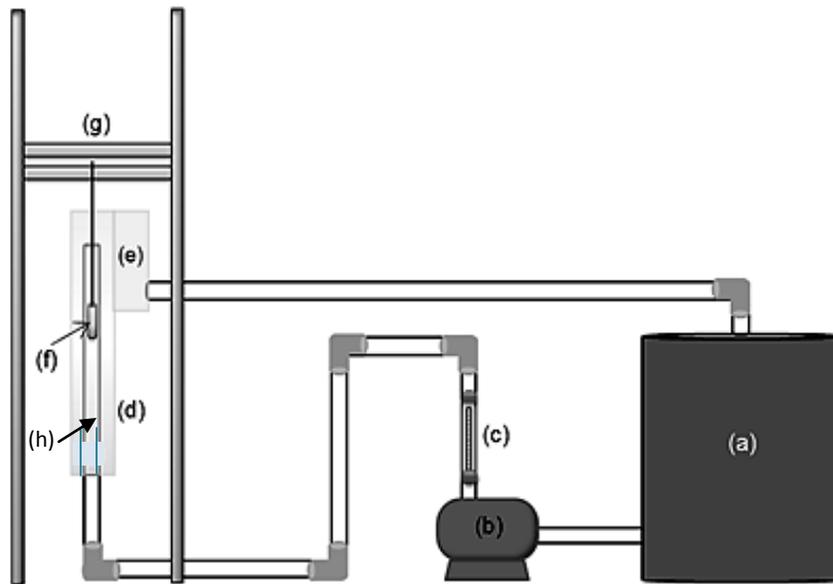
Las variables de proceso de interés son: el tipo de polímero y su concentración, y la velocidad y temperatura del medio de temple. Se estudiaron dos valores de concentración de cada polímero, dos valores de velocidad del medio de temple y dos temperaturas del medio de temple. La temperatura inicial de la probeta se mantuvo constante.

Con el fin de caracterizar el comportamiento de las soluciones al inicio y al final de los experimentos, se realizaron pruebas de densidad, viscosidad, pH y porcentaje de sólidos en disolución a soluciones frescas y a una de las soluciones ya usadas. Los resultados se muestran en el Apéndice C.

#### **3.1 Dispositivo experimental**

El dispositivo experimental se muestra, esquemáticamente, en la Figura 3.1. Consiste en un depósito con 100 L de solución polimérica, una bomba que impulsa la solución hacia un rotámetro que controla el flujo de la misma, un tanque de vidrio de forma rectangular, que a su vez contiene el ducto (tubo de acrílico) por el cual circula la solución polimérica direccionada verticalmente hacia arriba; la presencia y geometría del tanque exterior son para disminuir el efecto de la

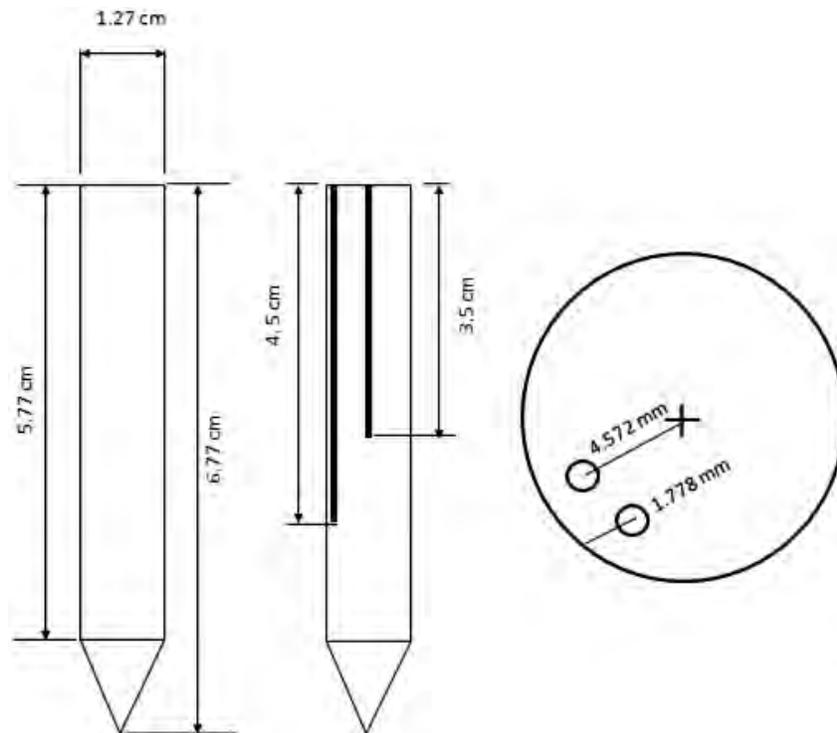
distorsión que causa el tubo interno, que es cilíndrico. También se tiene un depósito secundario que sirve para contener la solución que sale del tanque mientras ésta se recircula al depósito primario. En cuanto al diseño de soporte de la probeta, éste consiste de un soporte metálico con un sistema de rieles sobre el que se monta la probeta con ayuda de una lanza. Además, se cuenta con un horno cilíndrico con apertura tipo libro, un sistema de adquisición de datos (adquisidor, computadora y *software*) y una videocámara. El diseño del dispositivo obedece al requerimiento de tener un flujo del medio de temple unidireccional, bien desarrollado y conocido, al momento de impactar a la probeta. Además, se busca reducir el tiempo de traslado de la probeta desde el horno hasta el medio de temple.



**Figura 3.1** Representación esquemática del dispositivo experimental: (a) depósito primario, (b) bomba, (c) rotámetro, (d) tanque de vidrio, (e) depósito secundario, (f) probeta, (g) soporte de la probeta y (h) tubo de acrílico [19].

Basándose en trabajos previos [20], se maquinaron probetas en acero inoxidable AISI 304, con la geometría que se muestra en la Figura 3.2. Como puede apreciarse en la figura, se maquinaron dos barrenos (para contener a los

termopares) a 3.5 y 4.5 cm de profundidad medidos desde la base plana de la probeta.



**Figura 3.2** Esquema de la probeta utilizada para realizar los experimentos [20].

### 3.2 Variables de experimentación

Como se mencionó anteriormente, las variables de interés en este trabajo son la temperatura, la velocidad del medio de enfriamiento, el tipo de polímero y la concentración del mismo. Todas las variables se estudiaron en dos niveles diferentes, con valores definidos por la empresa FRISA (Tabla 3.1).

| Variable |                  | Nivel 1 | Nivel 2 |
|----------|------------------|---------|---------|
| a        | Temperatura, °C  | 25      | 35      |
| b        | Velocidad, m/s   | 0.35    | 0.65    |
| c        | Polímero         | PAG     | PVP     |
| d        | Concentración, % | 8       | 14      |

### 3.3 Matriz experimental

La matriz experimental se planteó de acuerdo al método de Taguchi [21], realizando las pruebas como se muestra en la Tabla 3.2.

| Tabla 3.2 Matriz experimental |   |   |   |   |                   |                  |          |                    |
|-------------------------------|---|---|---|---|-------------------|------------------|----------|--------------------|
| Prueba                        | a | b | c | d | Temperatura<br>°C | Velocidad<br>m/s | Polímero | Concentración<br>% |
| 1                             | 1 | 1 | 1 | 1 | 25                | 0.35             | PAG      | 8                  |
| 2                             | 1 | 1 | 1 | 2 | 25                | 0.35             | PAG      | 14                 |
| 3                             | 1 | 2 | 2 | 1 | 25                | 0.65             | PVP      | 8                  |
| 4                             | 1 | 2 | 2 | 2 | 25                | 0.65             | PVP      | 14                 |
| 5                             | 2 | 1 | 2 | 1 | 35                | 0.35             | PVP      | 8                  |
| 6                             | 2 | 1 | 2 | 2 | 35                | 0.35             | PVP      | 14                 |
| 7                             | 2 | 2 | 1 | 1 | 35                | 0.65             | PAG      | 8                  |
| 8                             | 2 | 2 | 1 | 2 | 35                | 0.65             | PAG      | 14                 |

**Nota:** Las variables “a”-“d” se indican en la Tabla 3.1 y los valores “1” y “2” corresponden a los niveles 1 y 2, respectivamente, de cada una de esas variables.

### 3.4 Manejo de los datos experimentales

A partir de la curva de enfriamiento se estimó la rapidez de enfriamiento local mediante diferencias finitas hacia delante. También se estimaron el *flux* de calor de la superficie y la temperatura superficial, con ayuda del *software WinProbe* [22]. Para estimar estas cantidades se supuso flujo de calor 1D, en la dirección radial de la probeta.

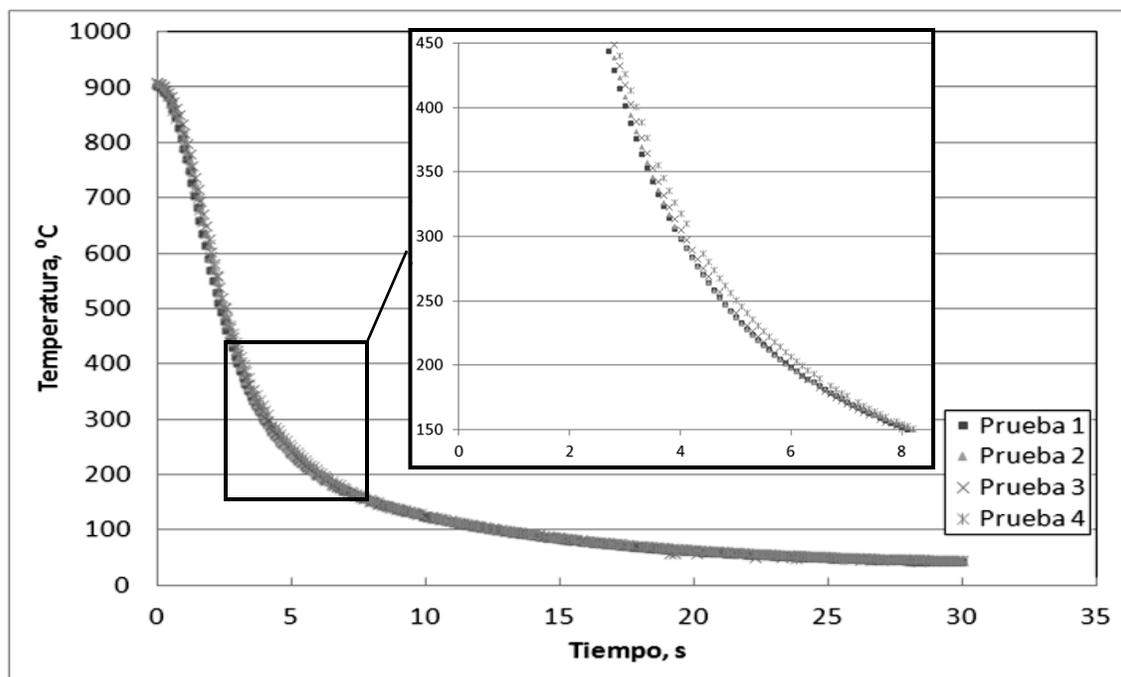
De las videograbaciones se determinó la secuencia de eventos en la superficie de la probeta.

## 4 Resultados

En este capítulo se muestran las curvas de enfriamiento obtenidas para cada condición experimental estudiada, junto con imágenes extraídas de los videos. Primero se muestra la reproducibilidad de los experimentos para las curvas obtenidas con el termopar que se encuentra a profundidad de 4.5 cm (Canal 2). Enseguida se presentan los resultados con la solución acuosa de PAG y, finalmente, aquellos obtenidos con la solución acuosa de PVP, para los termopares: Canal 1 (profundidad de 3.5 cm) y Canal 2 (profundidad de 4.5 cm).

### 4.1 Reproducibilidad

En la Figura 4.1 se muestran los resultados para 4 pruebas realizadas a las mismas condiciones (8 % PAG,  $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $V = 0.35\text{ m/s}$ ). Se puede observar que las curvas son prácticamente iguales, con lo que se muestra que existe reproducibilidad en las pruebas y que, por lo tanto, los resultados son confiables.



**Figura 4.1** Curva de enfriamiento para cuatro pruebas realizadas con 8 % PAG,  $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V = 35\text{ m/s}$ .

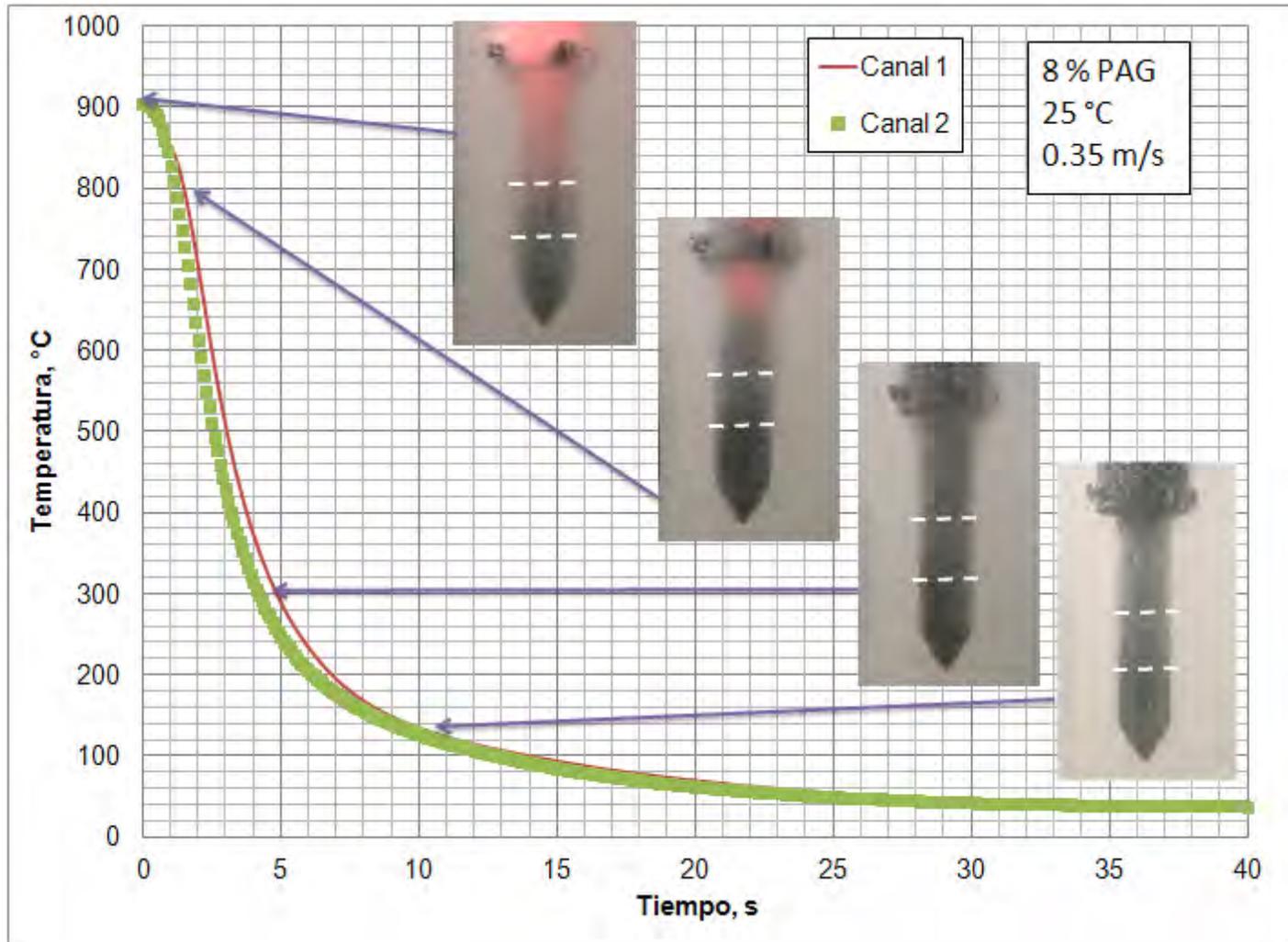
## 4.2 Enfriamiento con PAG

En las Figuras 4.2 y 4.3 se muestran las curvas de enfriamiento para la concentración de 8 % de PAG, medidas en las dos posiciones de los termopares. En la Figura 4.2 se grafica la respuesta para  $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $V = 0.35\text{ m/s}$ , mientras que en la figura 4.3 se muestran los resultados para  $T = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $V = 0.65\text{ m/s}$ .

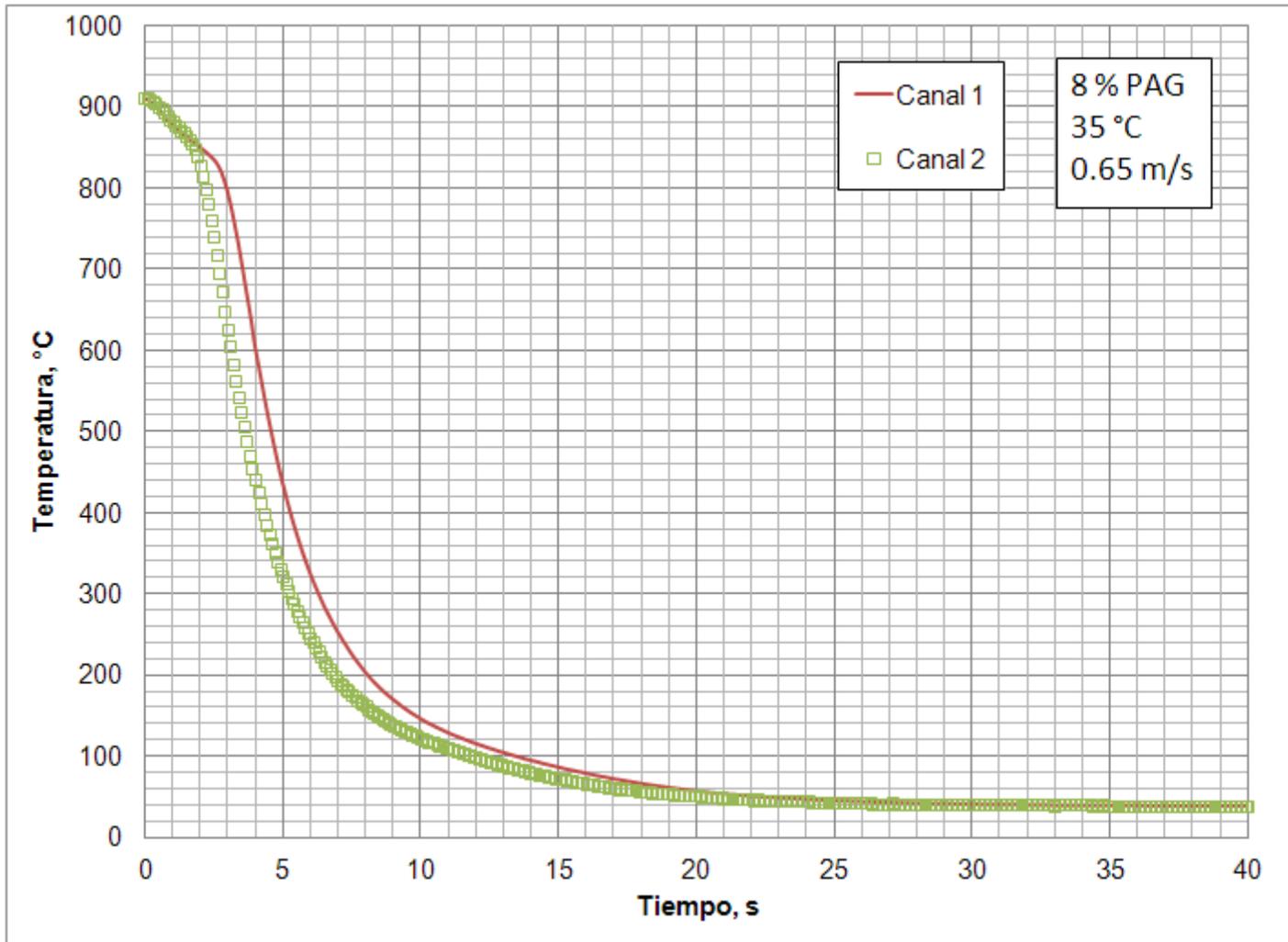
En la Figura 4.2 las curvas obtenidas con los dos termopares son muy parecidas, aunque la temperatura disminuye más lentamente en la curva del termopar del canal 2, que corresponde a la posición 3.5 cm de profundidad con respecto a la base de la probeta, es decir, más lejos de la punta. En la Figura 4.3 se presentan las curvas para la prueba de  $T = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $V = 0.65\text{ m/s}$ ; en este caso el enfriamiento entre un canal y otro presenta una diferencia mucho más marcada, mostrando además un comportamiento que hace pensar que existe un mecanismo equivalente a la capa de vapor que se presenta al templar en agua.

En la Figura 4.2 también se muestran las imágenes que se obtienen para esa condición de trabajo; las líneas punteadas indican la posición vertical de los termopares. Se puede observar que, al inicio de la prueba, la punta de la probeta está mucho más fría que la parte superior y el frente de enfriamiento avanza hacia arriba. También se observa que, conforme se enfría la probeta, se presenta un cambio en el mecanismo de enfriamiento, ya que inicialmente la superficie presenta una capa gruesa de solución polimérica, la cual desaparece en la misma dirección en la que avanza el enfriamiento, dando lugar a una capa delgada de burbujas de polímero adheridas a la superficie.

Debe mencionarse que en el caso de PAG sólo se cuenta con imágenes para la prueba que se obtiene con concentración de 8 %,  $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $V = 0.35\text{ m/s}$ , porque en el resto de las pruebas, debido posiblemente a la temperatura y agitación del medio, la solución toma un aspecto turbio que impide la visibilidad a través de la misma.



**Figura 4.2** Curvas de enfriamiento y secuencia de imágenes para una prueba realizada con 8 % PAG,  $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V = 0.35\text{ m/s}$  (prueba 1 en la matriz experimental).

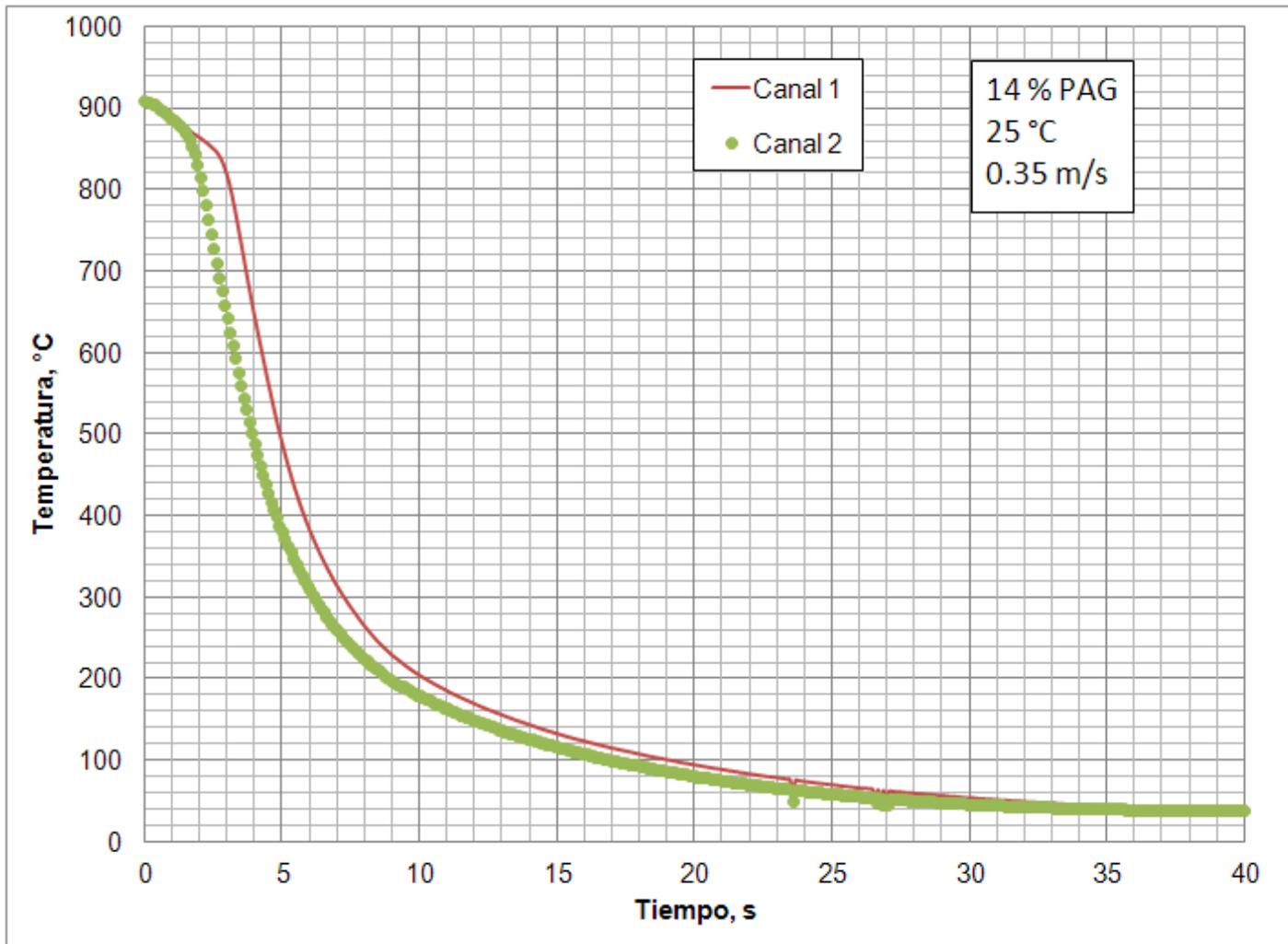


**Figura 4.3** Curvas de enfriamiento para una prueba realizada con 8 % PAG,  $T = 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V = 0.65 \text{ m/s}$  (prueba 7 en la matriz experimental).

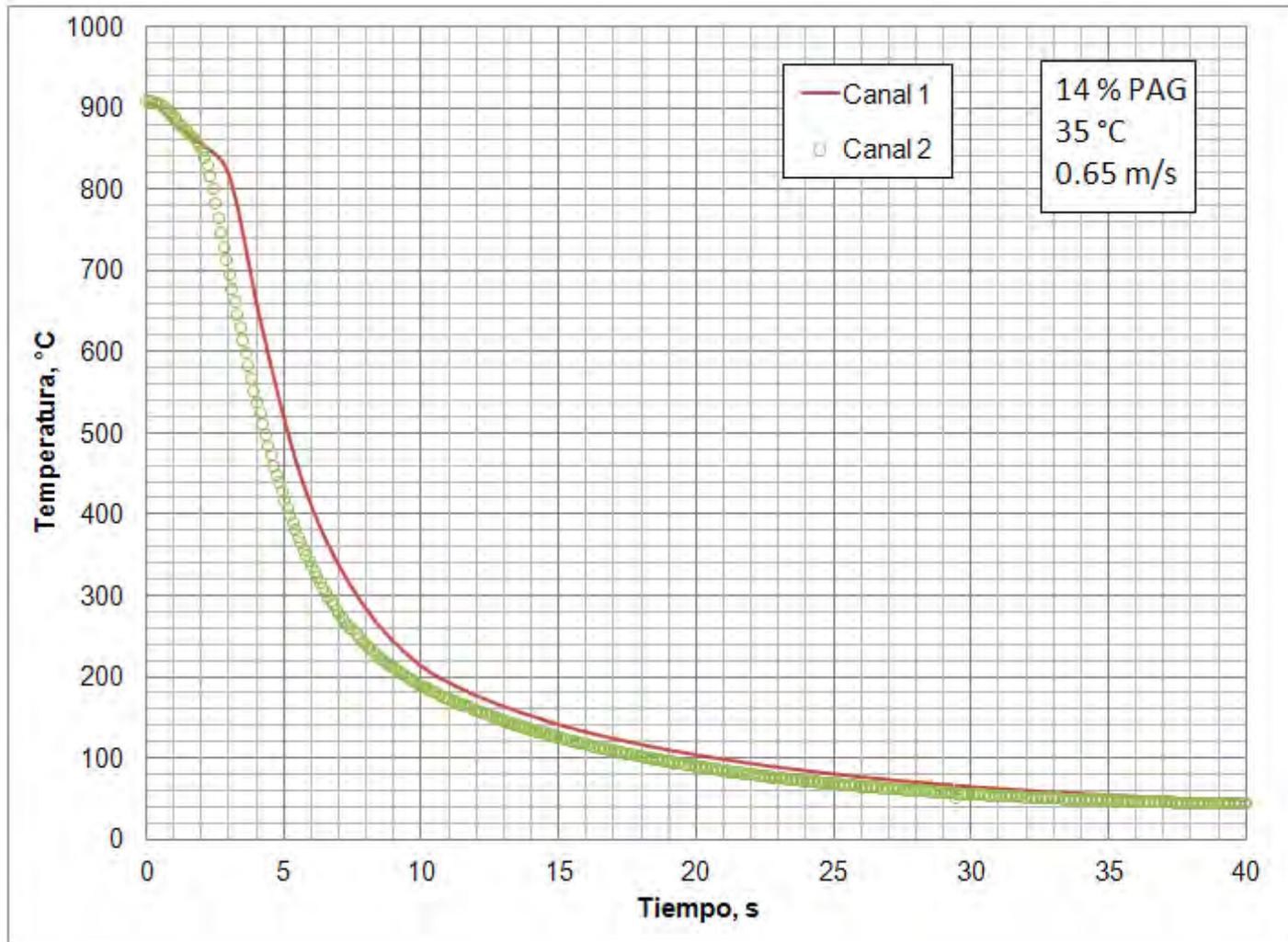
En las Figuras 4.4 y 4.5 se muestran las curvas de enfriamiento obtenidas con 14 % PAG,  $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V = 0.35\text{ m/s}$  y 14 % PAG,  $T = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V = 0.65\text{ m/s}$ , respectivamente.

En las Figuras 4.4 y 4.5 se observa, una vez más que las curvas de los termopares del canal 1 y del canal 2 se separan, lo que evidencia el avance de un frente de enfriamiento.

En el caso del enfriamiento con 14 % PAG,  $T = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V = 0.65\text{ m/s}$  (Figura 4.5) se puede observar que la duración del primer mecanismo de enfriamiento en la parte baja (canal 1) es mayor, es decir, esta etapa es más estable, mientras que la duración de esta etapa de enfriamiento en la posición del canal 2 es muy similar a la de la Figura 4.4.



**Figura 4.4** Curvas de enfriamiento para una prueba realizada con 14 % PAG,  $T = 25\text{ °C}$ ,  $V = 0.35\text{ m/s}$  (prueba 4 en la matriz experimental).



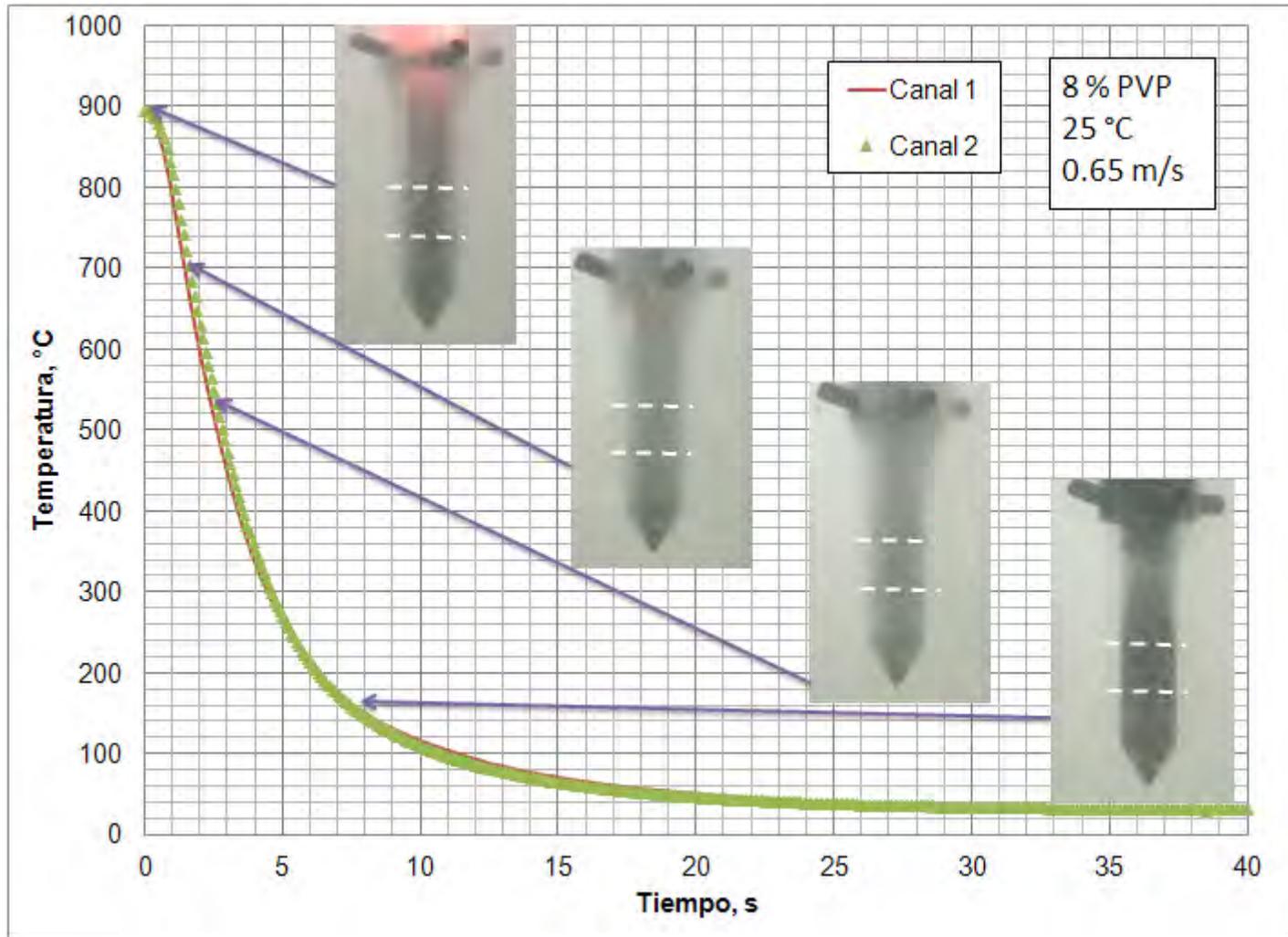
**Figura 4.5** Curvas de enfriamiento para una prueba realizada con 14 % PAG,  $T = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V = 0.65\text{ m/s}$  (prueba 8 en la matriz experimental)

### 4.3 Enfriamiento con PVP

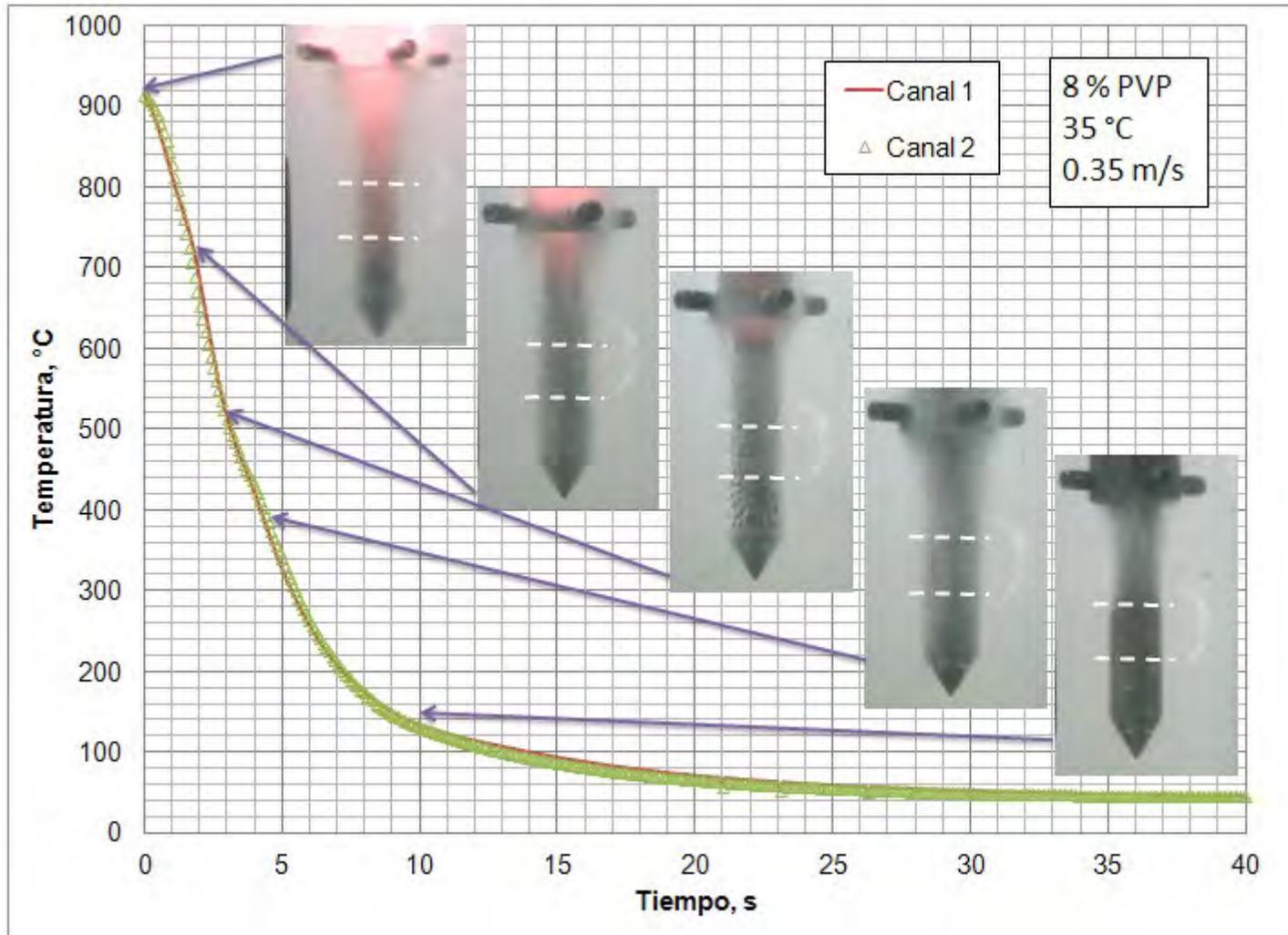
En la Figura 4.6 se grafican las curvas de enfriamiento y se presentan imágenes representativas que se obtienen con PVP a una concentración de 8 %,  $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $V = 0.65\text{ m/s}$ . En esta condición de enfriamiento, al igual que en todas las pruebas en las que se usan las condiciones más drásticas de enfriamiento, las curvas no muestran ningún cambio que indique la presencia de capa de vapor. Al observar los videos y las imágenes se aprecia que en este caso, igual que con el PAG, se forma una capa gruesa de solución alrededor de toda la superficie de la probeta, en forma de burbujas muy pequeñas parecidas a efervescencia pero, a diferencia del PAG, con el PVP esta capa colapsa de manera uniforme a lo largo de la probeta, dejando adheridas a la superficie burbujas de tamaño un poco mayor a las que se presentan al inicio.

En la Figura 4.7 se muestra el resultado para el enfriamiento con PVP concentración de 8 %,  $T = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $V = 0.35\text{ m/s}$ . En esta condición, a diferencia de la anterior, se presenta un cambio de pendiente en las curvas. Al observar las imágenes se explica este cambio debido a que existe un mecanismo de enfriamiento distinto, que pasa de presentar la ebullición tipo efervescencia a una capa estática de burbujas grandes, que asemejan escamas. Esto dura unos segundos, posteriormente se presentan otra vez las burbujas pequeñas, y por último estas burbujas desaparecen de la superficie dejando una capa de polímero adherida a la misma.

No se aprecia mucha diferencia entre la temperatura medida en las diferentes posiciones de los termopares para ambos casos.



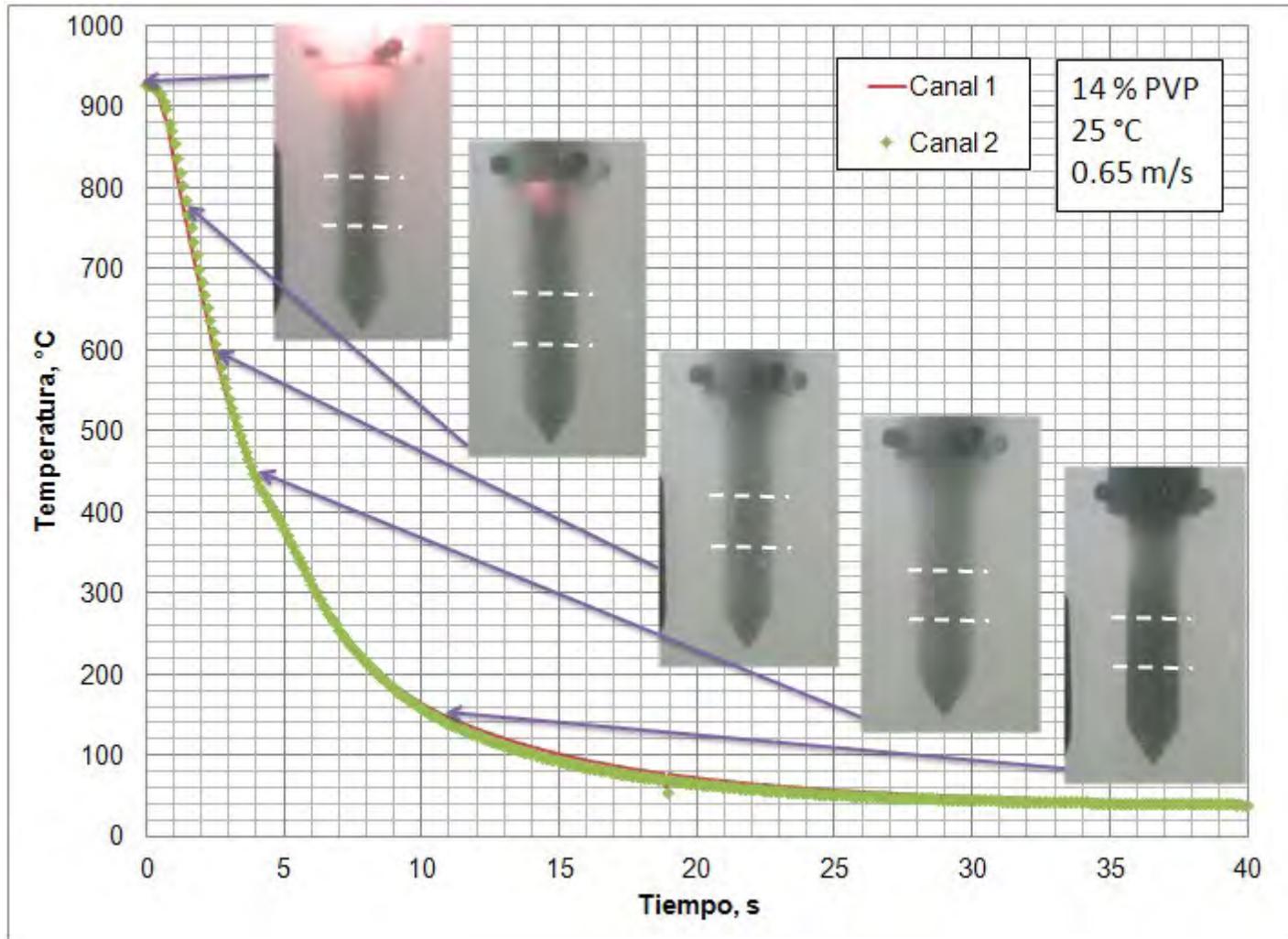
**Figura 4.6** Curvas de enfriamiento y secuencia de imágenes para una prueba realizada con 8 % PVP,  $T = 25\text{ °C}$ ,  $V = 0.65\text{ m/s}$  (prueba 3 en la matriz experimental).



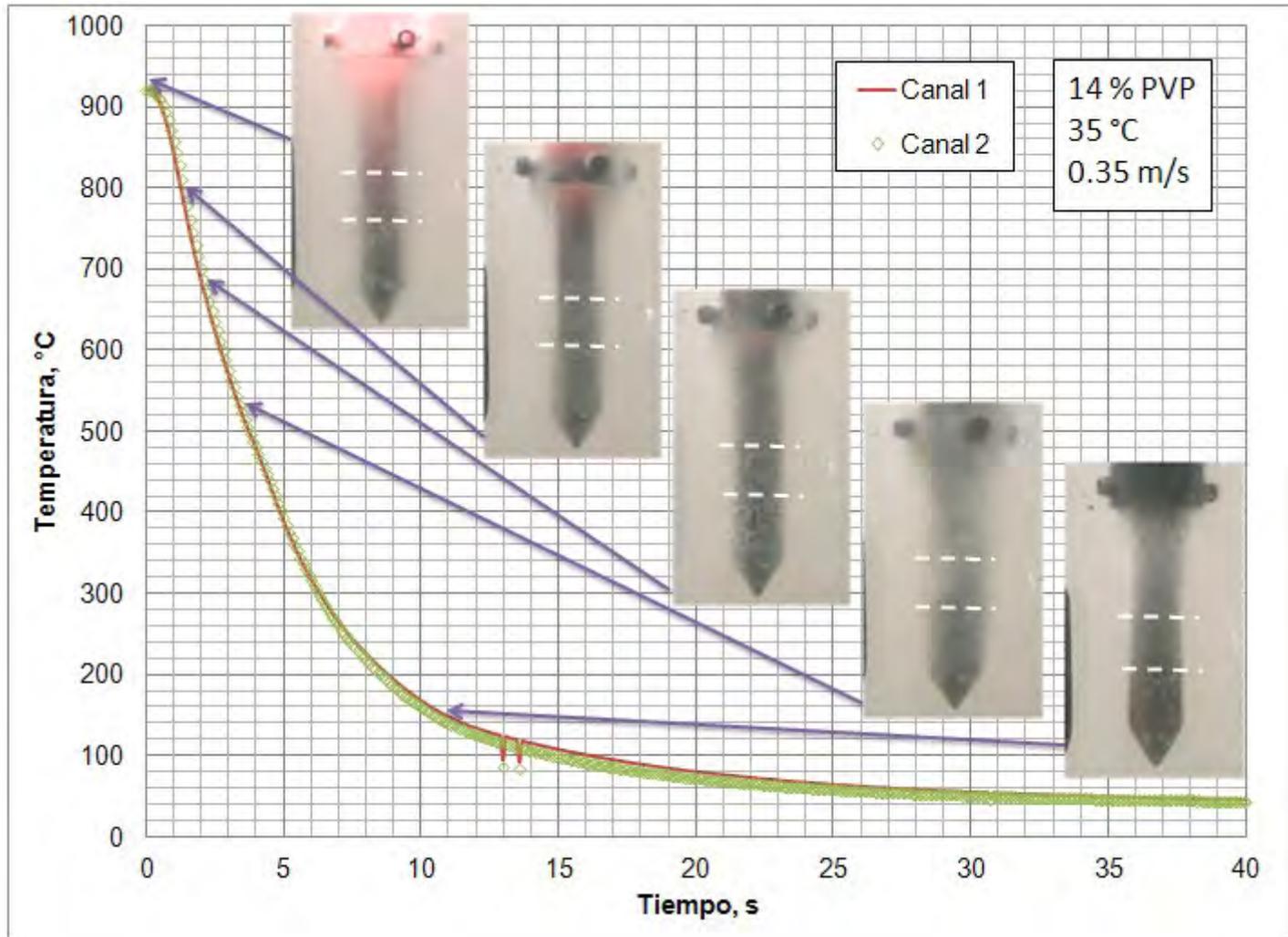
**Figura 4.7** Curvas de enfriamiento y secuencia de imágenes para una prueba realizada con 8 % PVP,  $T = 35\text{ °C}$ ,  $V = 0.35\text{ m/s}$  (prueba 5 en la matriz experimental).

En las Figuras 4.8 y 4.9 se presentan los resultados que se obtienen para PVP a una concentración de 14 % y ( $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V = 0.65\text{ m/s}$ ) y ( $T = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V = 0.35\text{ m/s}$ ), respectivamente. En ambos casos se presenta un comportamiento muy similar al que se observa con PVP concentración de 8 %,  $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $V = 0.65\text{ m/s}$ , lo que sugiere que los mecanismos que se presentan y el orden de su aparición son los mismos.

Lo que cambia para esta concentración de PVP es que la duración de las burbujas muy grandes (escamas) es distinta; mientras menos drásticas son las condiciones del enfriamiento ( $T = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V = 0.35\text{ m/s}$ ), la duración de estas escamas es mayor, de tal manera que en las pruebas realizadas con PVP 14 % con esta temperatura y velocidad, la duración de esta etapa es mayor que en las demás.



**Figura 4.8** Curvas de enfriamiento y secuencia de imágenes para una prueba realizada con 14 % PVP,  $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $V = 0.65 \text{ m/s}$  (prueba 4 en la matriz experimental).

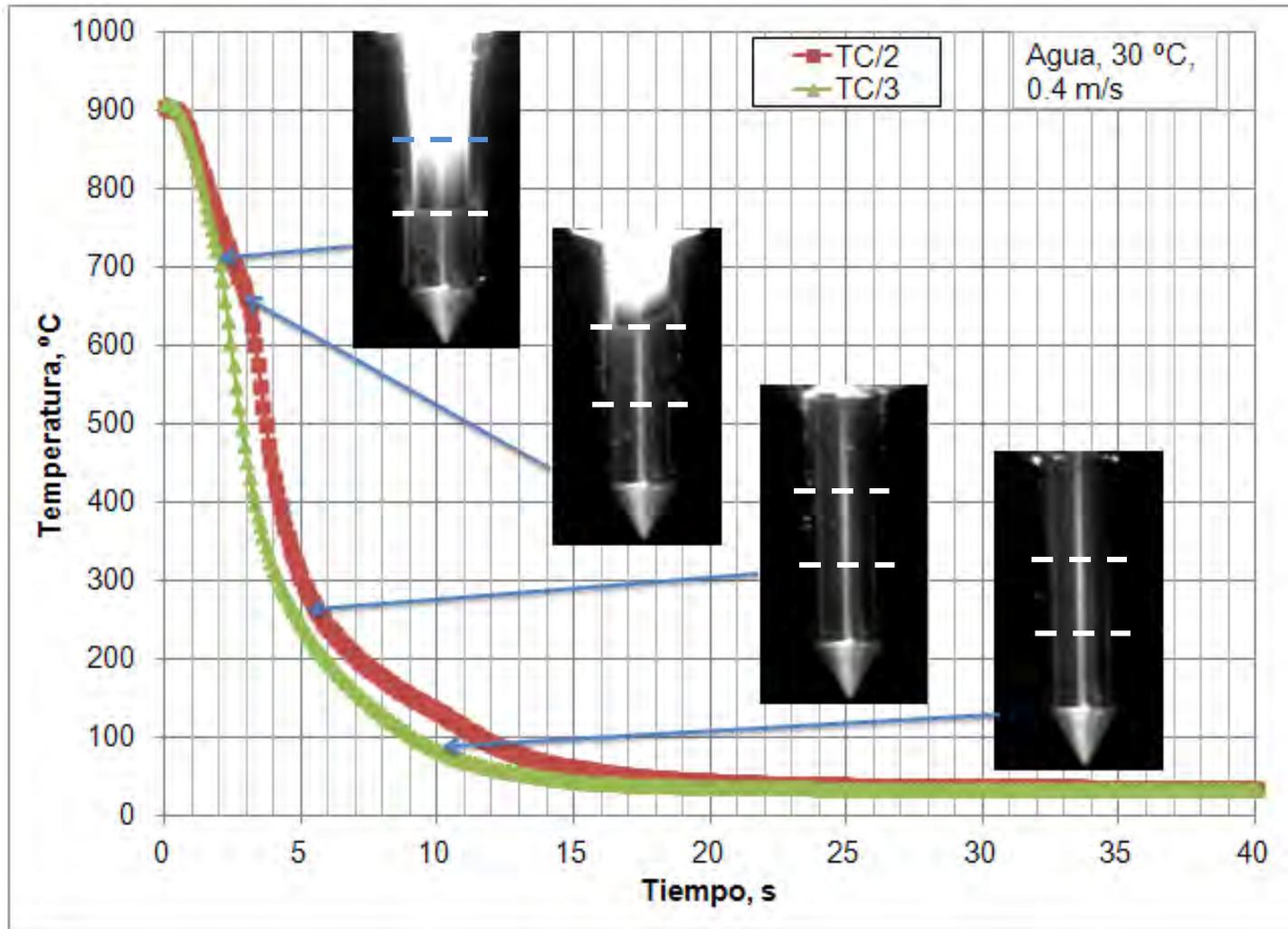


**Figura 4.9** Curvas de enfriamiento y secuencia de imágenes para una prueba realizada con 14 % PVP,  $T = 35\text{ °C}$ ,  $V = 0.35\text{ m/s}$  (prueba 6 en la matriz experimental).

## 5 Análisis de Resultados

Con el fin de contar con una referencia para comparar los resultados de este trabajo, en la Figura 5.1 se muestran las curvas de enfriamiento para una prueba realizada con agua a 30 °C y velocidad de 0.40 m/s, en dos posiciones de termopares, 4.3 cm (TC/3) y 2.9 cm (TC/2) de la base de la probeta colocados a 2.38 mm de la superficie. Los datos usados se obtuvieron de Gonzales López [23]. En las curvas se observa que existe una región a alta temperatura que sugiere la presencia de una capa de vapor muy estable, confirmándose ésta con las imágenes que se obtienen de las filmaciones de la prueba; también es evidente el avance del frente de mojado.

En comparación, las soluciones acuosas de polímero no muestran esta etapa de extracción de calor, aunque muestran otro tipo de mecanismos de enfriamiento.



**Figura 5.1** Curvas de enfriamiento y secuencia de imágenes para una prueba realizada con agua a  $T = 30\text{ °C}$  y  $V = 0.40\text{ m/s}$ . Modificada de [23]. Los termopares se encuentran a 2.9 y 4.3 cm de profundidad, respectivamente.

En el caso de los enfriamientos realizados con PAG, se puede observar en las curvas de enfriamiento que hay presencia de una etapa que podría ser una capa de vapor como la que se presenta con el agua; sin embargo, cuando se observan las imágenes, se aprecia que si bien existe un cambio de mecanismo de enfriamiento similar a un frente de mojado, no existe un restablecimiento de contacto entre la superficie y el fluido. En lugar de esto, se pasa de una formación de burbujas de gran tamaño, a una formación de burbujas muy pequeñas, como efervescencia; además, es un cambio casi imperceptible, si se observan sólo las imágenes, y de muy corta duración.

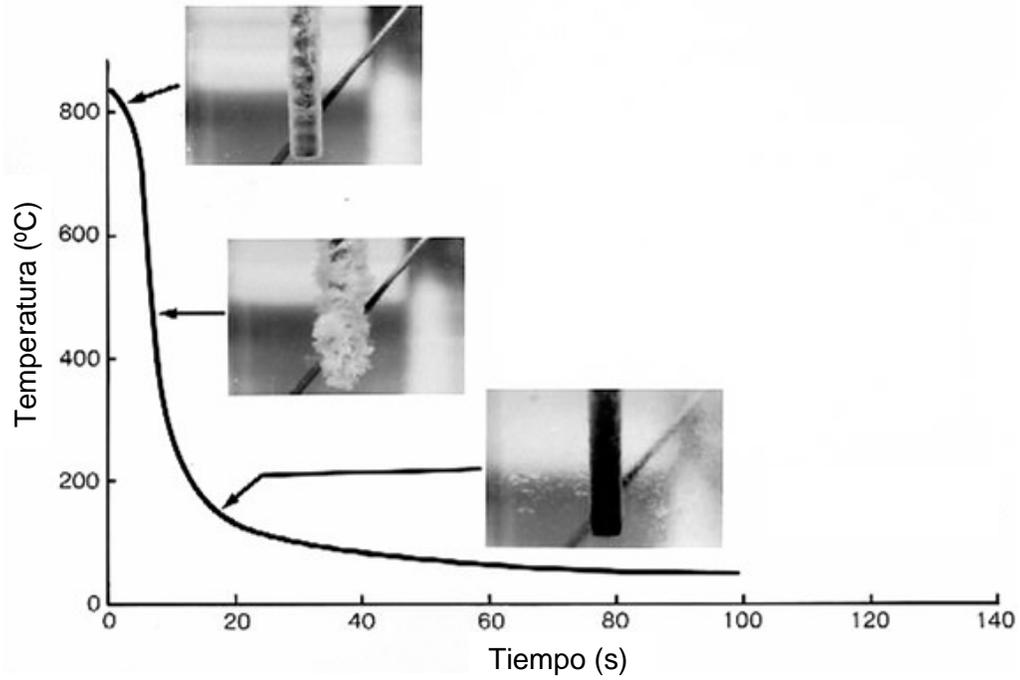
Este fenómeno puede ser debido a que a altas temperaturas el PAG se vuelve insoluble en agua [9]. Lo anterior ocasiona que cuando la solución entra en contacto con la superficie caliente de la probeta, se forme una capa de polímero sólido, seguida de una capa de fluido en ebullición. La capa de ebullición es la primera en desaparecer - cuando la temperatura disminuye un poco - y, posteriormente, la efervescencia se produce cuando el polímero vuelve a disolverse al regresar a bajas temperaturas. Cabe mencionar que aunque la aparición de burbujas se detiene, la superficie de la probeta no queda del todo libre de ellas, como se puede observar en la última imagen de la secuencia.

En el caso del PVP no hay presencia alguna ni de capa de vapor ni de frente de mojado. Se observa que en el caso de este polímero se tiene un cambio de mecanismo de enfriamiento alrededor de los 200 °C; en las curvas se presenta un ligero cambio de pendiente y, al observar las imágenes, primero se tiene la formación de una capa de burbujas grandes y con apariencia de escamas y, posteriormente, se forma una capa de burbujas finas, como efervescencia. Estos cambios de mecanismo de enfriamiento se hacen menos notorios conforme las condiciones de enfriamiento se hacen más drásticas, llegando a ser casi imperceptibles en el caso del enfriamiento con concentración 8 %, temperatura de 25 °C y velocidad del fluido de 0.65 m/s.

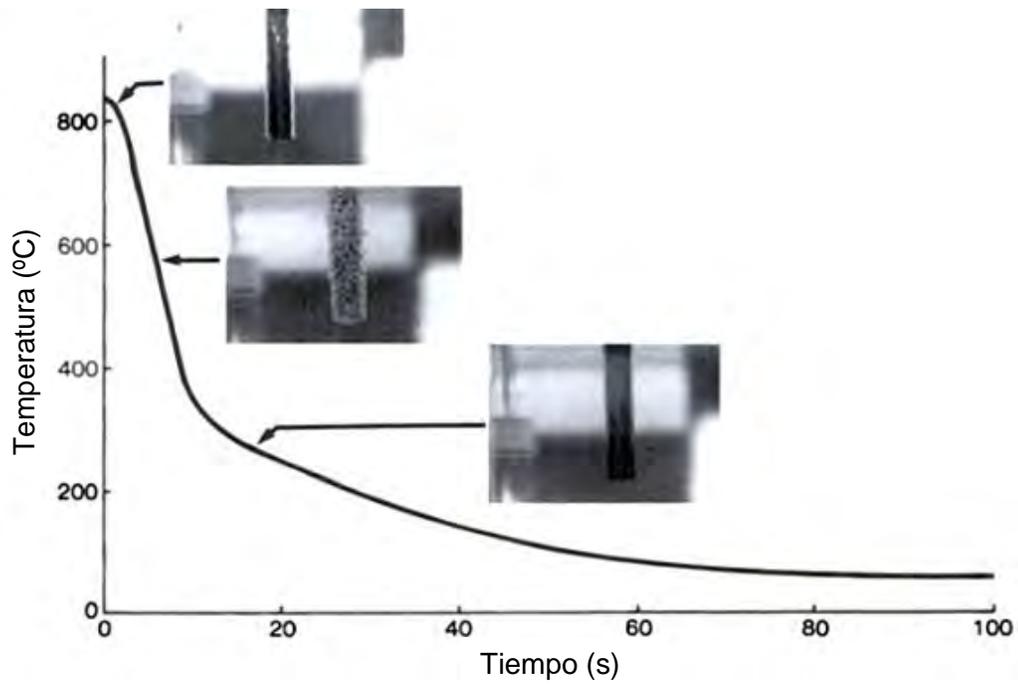
Totten *et al.* [9] y McLleod *et al.* [24] – ver Figura 5.2 - reportan comportamientos similares a la que se observaron en este trabajo para los enfriamientos con PAG y con PVP. En la figura se observa una curva de PAG similar a la que se obtiene con la condición de estudio más severa de este trabajo, mientras que la curva que reportan para PVP muestra un cambio brusco en la pendiente, más notorio que el de las curvas que se obtuvieron en esta investigación. Las diferencias cuantitativas que se presentan entre los resultados de la literatura y los que se obtienen en este trabajo puede deberse a que las soluciones comerciales de polímeros contienen diferentes mezclas de aditivos que modifican la interacción del polímero con el agua.

La extracción de calor hacia el medio de temple depende, entre otras cosas, de la viscosidad del fluido. Por esta razón, se realizaron pruebas de laboratorio para caracterizar a las soluciones poliméricas en términos de viscosidad, gravedad específica, pH y % de sólidos en solución. Los resultados se muestran en el Apéndice C.

En los resultados que se muestran en el apéndice, para la muestra de PAG 14 % usado, se realizó una solución al 80 % del polímero, debido a que en reportes previos se mencionaba un cambio en la concentración de las soluciones debido al uso, evaporación del fluido, degradación del polímero, etc., pero una vez realizados los análisis, se obtuvieron valores más bajos de sólidos en solución, pH y viscosidad, por lo que realizando los cálculos para regresar la solución al 100 %, se tiene, por ejemplo, una concentración de sólidos de 3.6 %, lo cual es prácticamente lo mismo que con la solución nueva.



a)

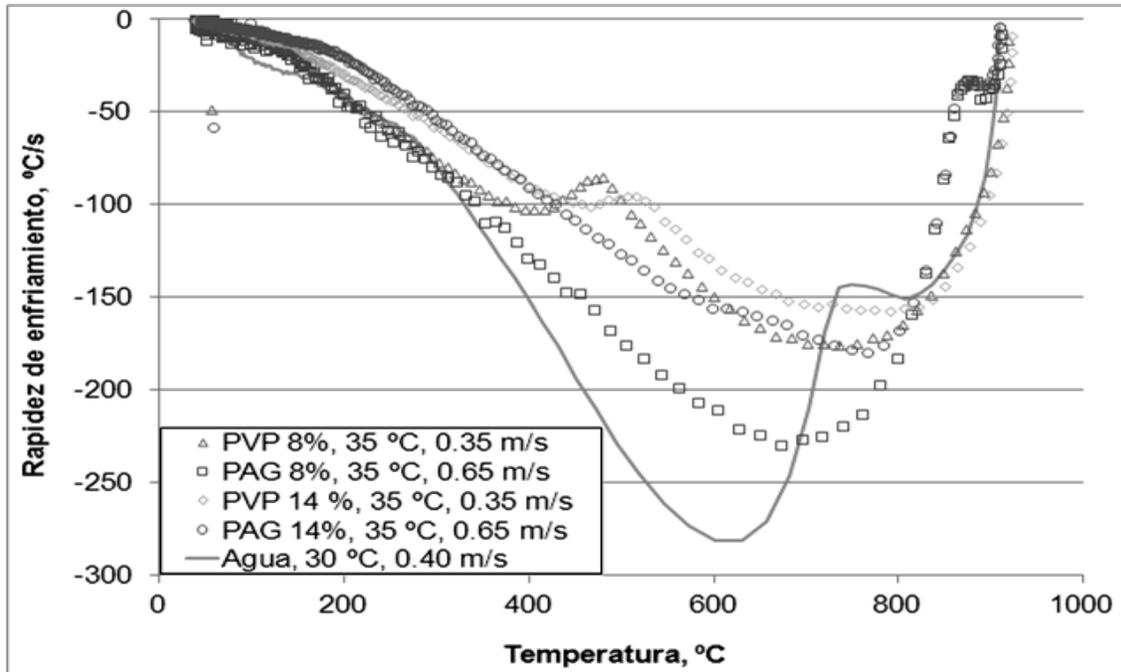


b)

**Figura 5.2** Formación reversible de a) película de PAG hidratado [24] y b) película de PVP alrededor de una superficie metálica caliente durante un temple [9].

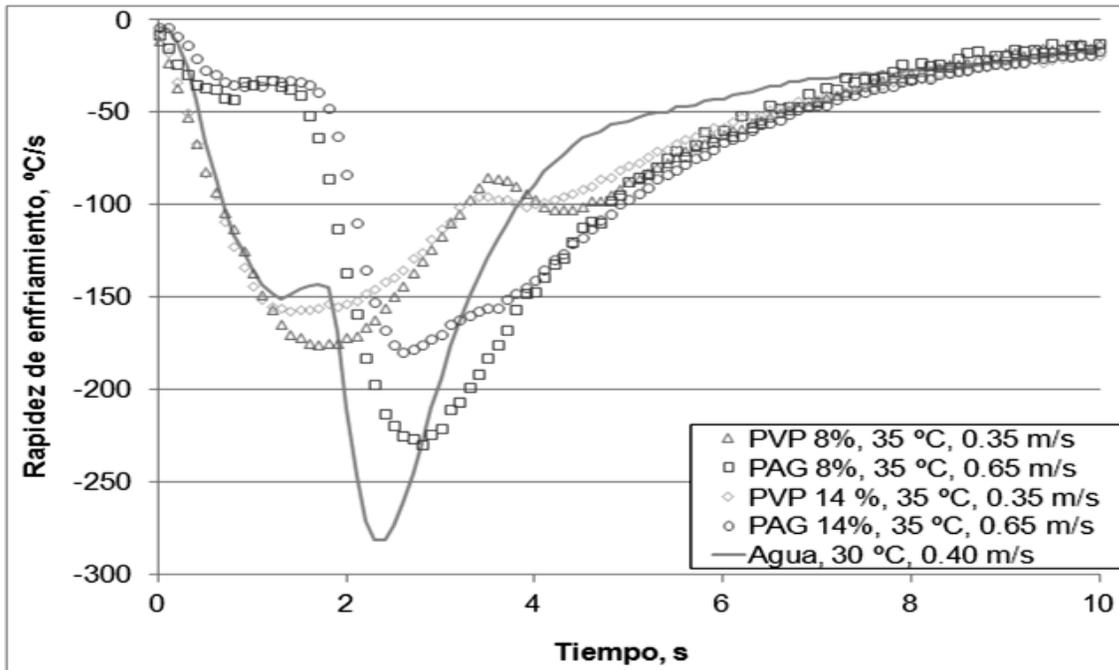
Para lograr visualizar mejor las diferencias entre un medio de enfriamiento y otro, se realizaron cálculos de rapidez de enfriamiento local y de *flux* de calor en la superficie.

En la Figura 5.3 se muestra la gráfica obtenida para la rapidez de enfriamiento local contra la temperatura local (en este caso se muestran sólo los resultados correspondientes a las pruebas realizadas a 35 °C, medidas con el termopar del canal 2). Adicionalmente se grafica la curva de rapidez reportada para agua a 30 °C y velocidad de 0.40 m/s [23]. Se observa que el PAG muestra un cambio de mecanismo a temperaturas muy altas, entre 800 °C y 900 °C, mientras que el PVP muestra un enfriamiento uniforme en esta zona. Por otra parte, el PVP muestra un cambio en el enfriamiento a temperaturas menores, alrededor de los 500 °C, mientras que el PAG presenta un enfriamiento uniforme en esta zona. En cuanto a las diferencias en los valores de las rapidezces máximas y las temperaturas a las cuales ocurre, es evidente que en el caso del PAG la diferencia entre los valores para concentración 8 % son menores para rapidez de enfriamiento y mayores para temperatura a la cual ocurre ésta, que los que se obtienen para 14 %, mientras que para PVP se tienen valores similares de estos parámetros con ambas concentraciones.



**Figura 5.3** Rapidez de enfriamiento como función de la temperatura, ambos locales, para diferentes pruebas realizadas a 35 °C. La curva para agua se generó a partir de datos reportados [23].

En la Figura 5.4 se muestran los resultados para las mismas pruebas, pero graficando la historia de rapidez de enfriamiento local (rapidez de enfriamiento contra el tiempo) para los primeros 10 segundos, ya que después de este tiempo no se tienen cambios de mucha importancia y además se ayuda a ampliar la escala de la zona en la cual ocurren los fenómenos de interés. Las curvas muestran que el PAG presenta la rapidez de enfriamiento máxima a tiempos mayores que el PVP; esto es debido a que el PAG tiene un cambio en el mecanismo de enfriamiento al inicio, lo cual hace que los valores se desplacen hacia la derecha, mientras que el PVP, al presentar el cambio de mecanismo después de la rapidez de enfriamiento máxima, no tiene este retraso en los tiempos de rapidez de enfriamiento máxima. En ambos casos es evidente que el enfriamiento con soluciones poliméricas produce rapidez de enfriamiento menores a un enfriamiento con agua a condiciones de temperatura y velocidad similares.



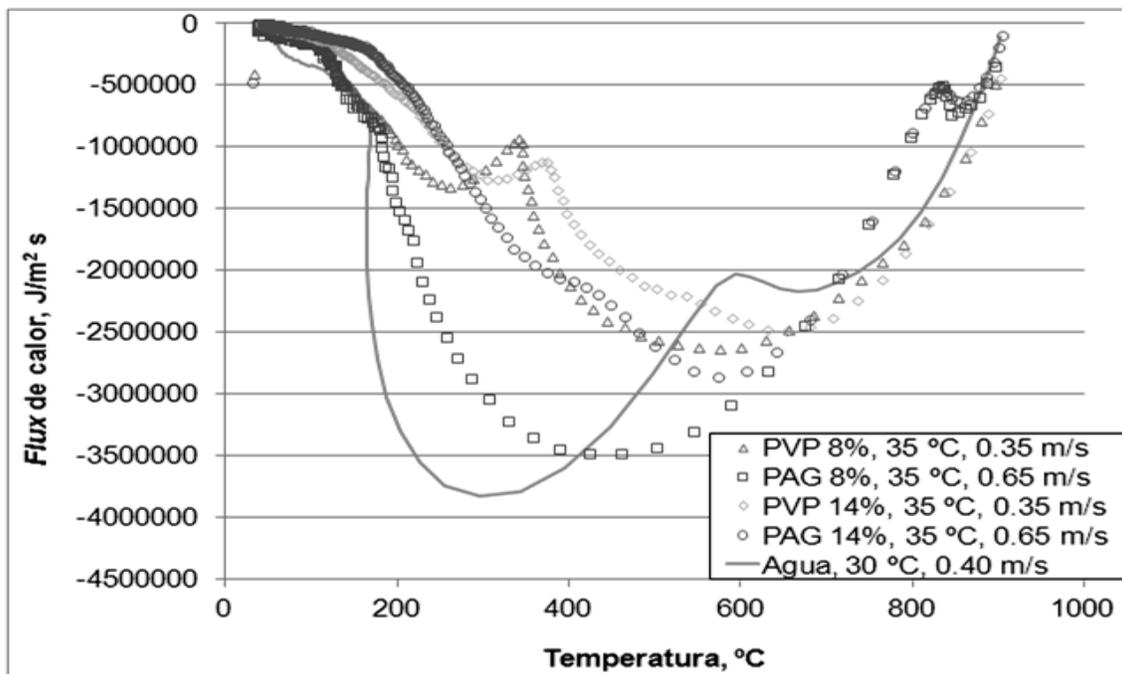
**Figura 5.4** Historia de rapidez de enfriamiento para diferentes pruebas realizadas a 35 °C. Solo se muestran los primeros 10 segundos. La curva para agua se generó a partir de datos reportados [23].

En la Figura 5.5 se muestran los resultados del *flux* de calor de la superficie como función de la temperatura de la superficie, ambos estimados, calculados con **WinProbe** [22]. Los cálculos (para este y todos los demás casos en esta sección) se realizaron para un número de tiempos futuros ( $r$ ) igual a 4. Los resultados indican que el enfriamiento con PAG de concentración al 8 % es el que presenta un *flux* de calor mayor entre los polímeros, al menos cuando la temperatura del medio es de 35 °C. Una vez más, los resultados entre las concentraciones de PVP no muestran diferencias significativas; el *flux* de calor máximo para el temple en agua es mayor que para las soluciones de polímero. Además, se hace más evidente el cambio de mecanismo para el caso de PAG.

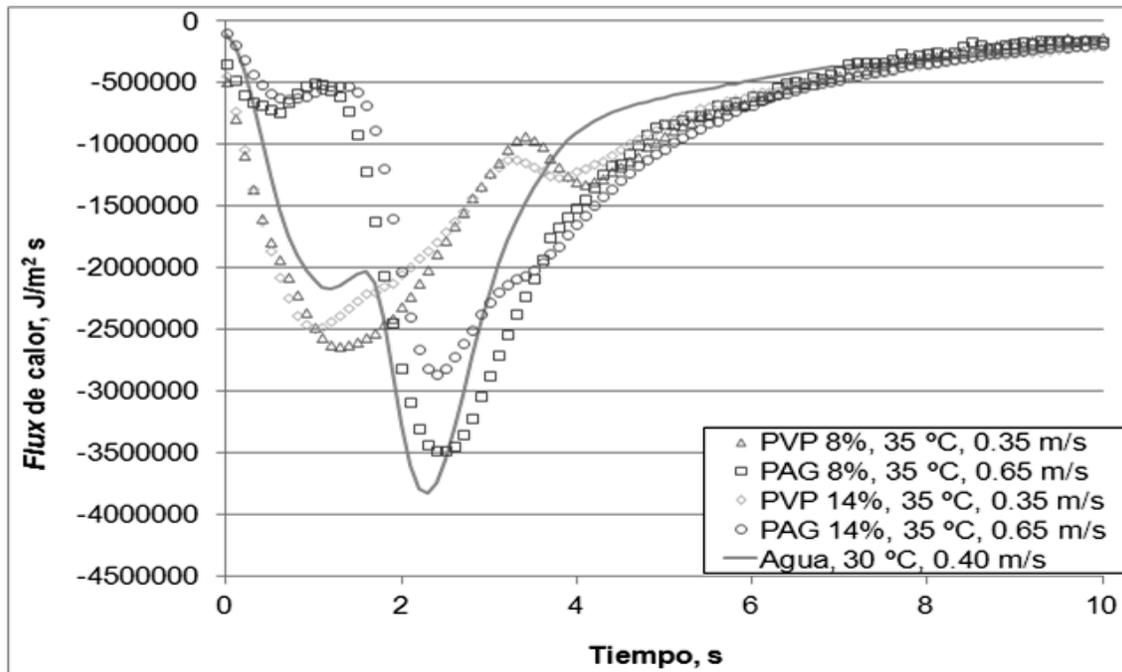
En la Figura 5.6 se muestra la gráfica de historia de *flux* de calor de la superficie (*flux* de calor contra tiempo), también para los primeros 10 segundos. Se observa que, al igual que con las rapidezces de enfriamiento, las curvas de *flux* de calor de PAG presentan los valores máximos a tiempos mayores que los de PVP. En el

caso del *flux* de calor, la diferencia entre el uso de PAG y PVP se hace más evidente, ya que las curvas aparecen casi en bloques, a diferencia de las que se muestran en las Figuras 5.3 a 5.5, en las que las curvas de PVP se juntan con la curva de PAG 8 %.

Una observación interesante es que, cualitativamente, los resultados son muy similares a los que se obtienen para la rapidez de enfriamiento, aunque, por supuesto, los resultados cuantitativos cambian.



**Figura 5.5** Flux de calor de la superficie como función de la temperatura de superficie para diferentes pruebas realizadas a 35  $^{\circ}\text{C}$ . Los cálculos se llevaron a cabo con el programa **WinProbe**, usando 4 pasos futuros. La curva para agua se generó a partir de datos reportados [23].



**Figura 5.6** Historia de *flux* de calor de la superficie para diferentes pruebas realizadas a 35 °C. Los cálculos se llevaron a cabo con el programa **WinProbe**, usando 4 pasos futuros. La curva para agua se generó a partir de datos reportados [23].

De estas gráficas se obtienen datos como el *flux* de calor máximo de la superficie, la temperatura a la que ocurre, la rapidez de enfriamiento máxima, etc., con lo que se puede caracterizar más completamente al medio de temple.

Las variaciones en la extracción de calor registradas en las curvas ayudan a conocer los tiempos a los cuales ocurren estos cambios e identificarlos con comportamientos observados en las imágenes de las videograbaciones.

En ambos casos (curvas de rapidez de enfriamiento local y curvas de *flux* de calor de la superficie) se pueden observar diferencias entre los medios de enfriamiento utilizados. Primero, es evidente que la extracción de calor que se tiene con cualquiera de los dos polímeros estudiados es menor que la que se logra usando agua. También se puede notar que el enfriamiento con PAG es más parecido al enfriamiento con agua, en el sentido de que en ambos casos se presenta un

cambio de mecanismo poco después del inicio del enfriamiento, antes de llegar a la rapidez de enfriamiento local máxima o al *flux* de calor de la superficie máximo, mientras que para el PVP el enfriamiento inicial presenta pocos cambios y, si bien presenta un cambio de mecanismo de enfriamiento, este aparece hasta después de alcanzar estos valores máximos.

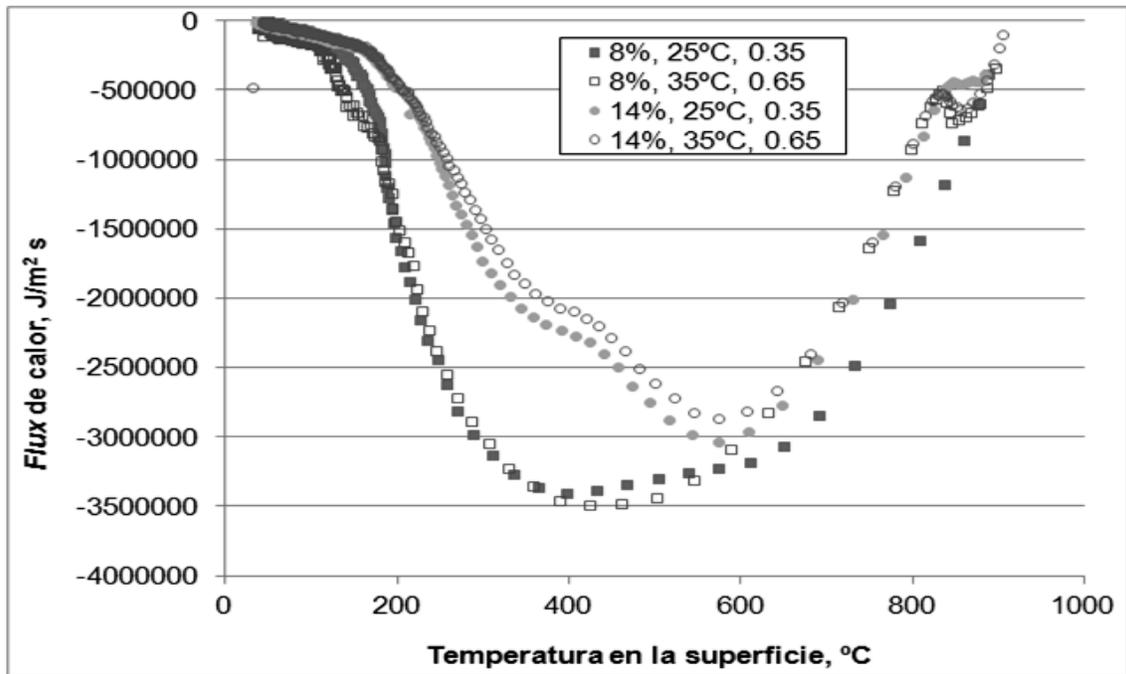
Por otra parte, se observa que para ambos polímeros se presenta una disminución en los valores de rapidez de enfriamiento cuando se aumenta la concentración, pero también es evidente que el PAG es mucho más susceptible a cambiar su comportamiento al cambiar la concentración de lo que es el PVP.

Otra observación es que las etapas de cambio de mecanismo en ambos casos (PVP y PAG) presentan una duración más larga (se “estabilizan”) cuando la concentración es mayor.

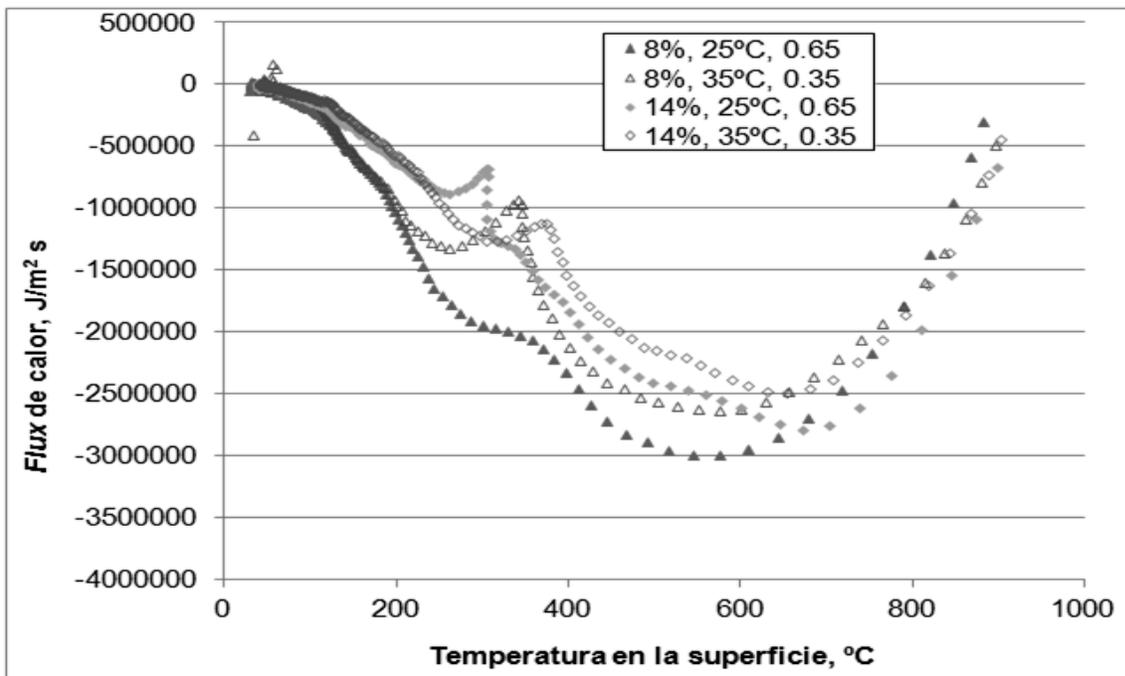
En las Figuras 5.7 y 5.8 se muestran los resultados de *flux* de calor de la superficie como función de la temperatura de superficie calculada para las diferentes pruebas realizadas con PAG y PVP, respectivamente. En las gráficas se aprecia que el *flux* de calor de la superficie es mayor cuando la concentración del polímero es menor, independientemente de las condiciones de temperatura y de velocidad.

En el caso de la Figura 5.7, se observa que los valores de *flux* de calor de la superficie cambian poco cuando se cambian la temperatura y la velocidad del medio, y que las curvas aparecen agrupadas en forma y valores de acuerdo a las concentraciones del PAG.

En cuanto a la Figura 5.8, en la que se muestran los resultados de *flux* de calor de la superficie para PVP, a pesar de que sí hay diferencias en la forma de las curvas para cada concentración, no se separan tanto los valores, de tal forma que no existe una agrupación como en el caso de las curvas de PAG.



**Figura 5.7** Flux de calor de la superficie como función de la temperatura de superficie estimada para las pruebas realizadas con PAG.



**Figura 5.8** Flux de calor de la superficie como función de la temperatura de superficie estimada para las pruebas realizadas con PVP.

Cuando se hace la comparación entre las diferentes concentraciones de polímero se observa – en ambos casos - que a mayores concentraciones, menor es la capacidad de extracción de calor. Además, cuando se tiene la misma concentración y se cambian la temperatura y la velocidad del medio, se aprecia que las curvas presentan un comportamiento similar; en otras palabras, el comportamiento cualitativo de los polímeros depende esencialmente de la concentración mientras que al cambiar la temperatura y la velocidad del baño, lo que cambia son los valores numéricos, pero no la forma.

Una diferencia notable entre los resultados para ambos polímeros, es que el PVP es mucho más susceptible a los cambios de temperatura y velocidad que el PAG, ya que los valores para las diferentes condiciones de estudio cambian más cuando se cambia alguna variable del PVP que cuando se cambia para el PAG, mientras que en el caso de la concentración, cambia más el comportamiento cuando se usa PAG que cuando se usa PVP.

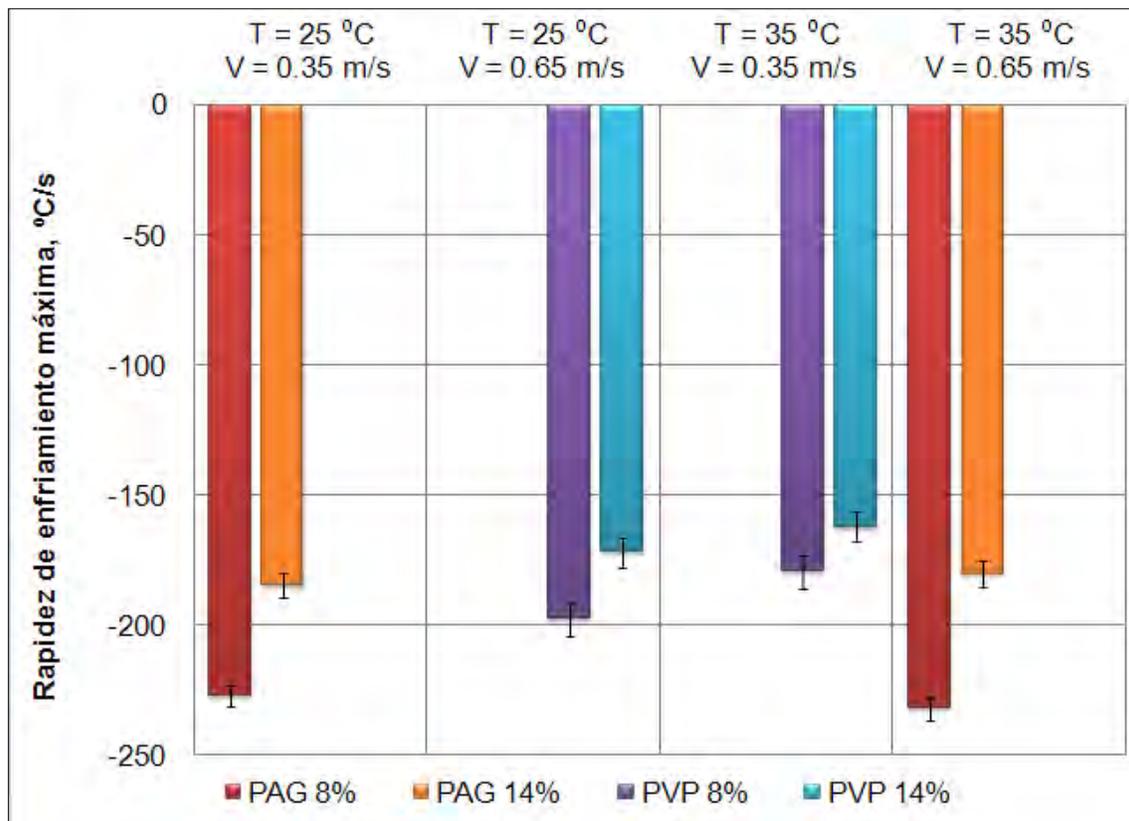
Además de la inspección visual, para el análisis de curvas de enfriamiento se obtienen valores de parámetros específicos tales como los que se muestran (PAG 8%, T= 25 °C, V= 0.65 m/s) en la Tabla 5.1. Como se mencionó anteriormente, estos parámetros son indicadores cualitativos de la eficiencia de extracción de calor del medio, tendencia del medio a facilitar grietas y distorsión en el material tratado y facilidad para formar fases blandas al equilibrio.

**Tabla 5.1** Puntos críticos para PAG al 8%, T= 25 °C, V= 0.35 m/s.

| Parámetro  | Valor    |
|--|----------|
| Rapidez de enfriamiento máxima, $V_{max}$ , °C/s                                       | -227     |
| Temperatura a la cual ocurre la máxima rapidez de enfriamiento máxima, $T_{Vmax}$ , °C | 681      |
| Rapidez de enfriamiento 300 °C, $V_{300}$ , °C/s                                       | -76.5    |
| Tiempo en alcanzar 600 °C, $t_{600}$ , s   | 2.05     |
| Tiempo en alcanzar 400 °C, $t_{400}$ , s   | 3.15     |
| Tiempo en alcanzar 200 °C, $t_{200}$ , s   | 6        |
| Flux de calor máximo, $q_{max}$ , W/m <sup>2</sup>                                     | -3.5E+06 |

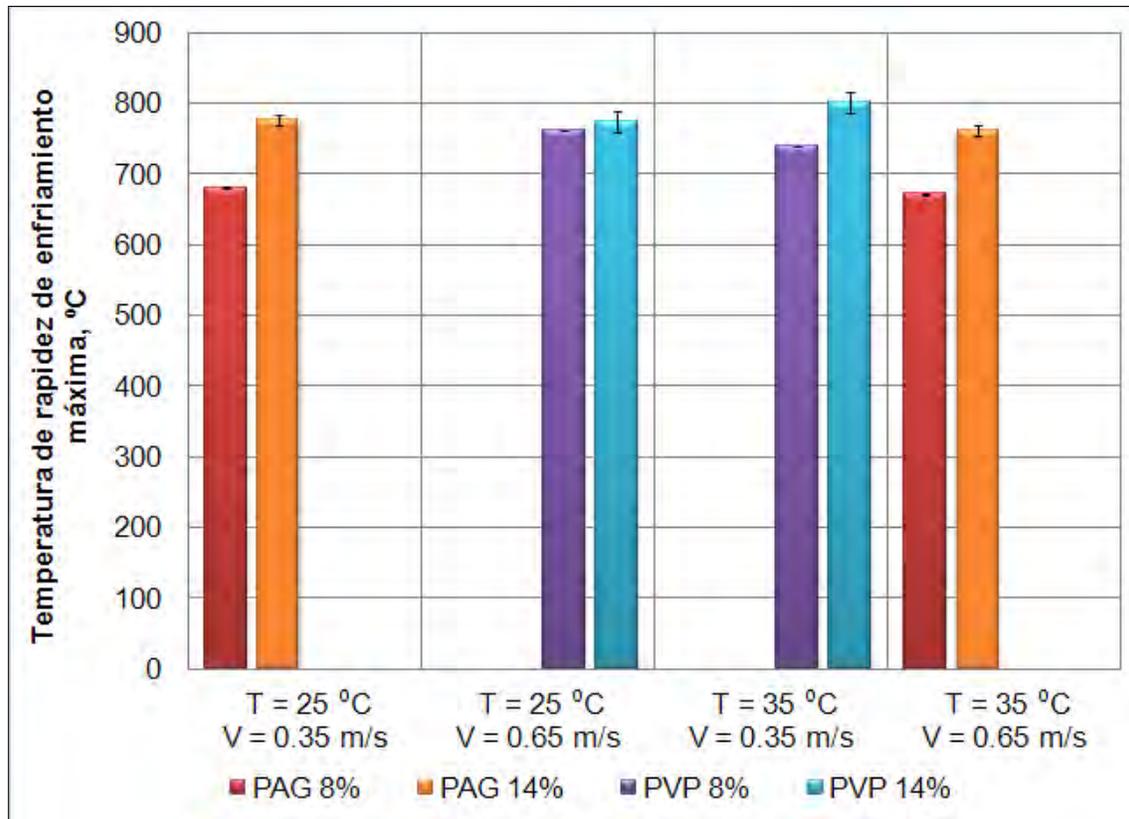
En las Figuras 5.9 a 5.15 se grafican los parámetros listados en la Tabla 5.1 para las diversas condiciones de operación estudiadas.

En la Figura 5.9 se muestran los resultados promedio de la rapidez de enfriamiento máxima para cada una de las condiciones de estudio, junto con la desviación estándar (mostrada como barra de error). Se puede notar que si bien se presentan diferencias al variar las condiciones para los diferentes medios de enfriamiento, la variable que más afecta el enfriamiento es la concentración del polímero: cuando se tiene una concentración de polímero menor, la rapidez de enfriamiento máxima (en valor absoluto) es mayor en todos los casos. También se observa que las rapidezces de enfriamiento que se obtienen con PAG son mayores que las que se obtienen con PVP.



**Figura 5.9** Rapidez de enfriamiento máxima para cada condición de estudio. Las barras representan a la desviación estándar.

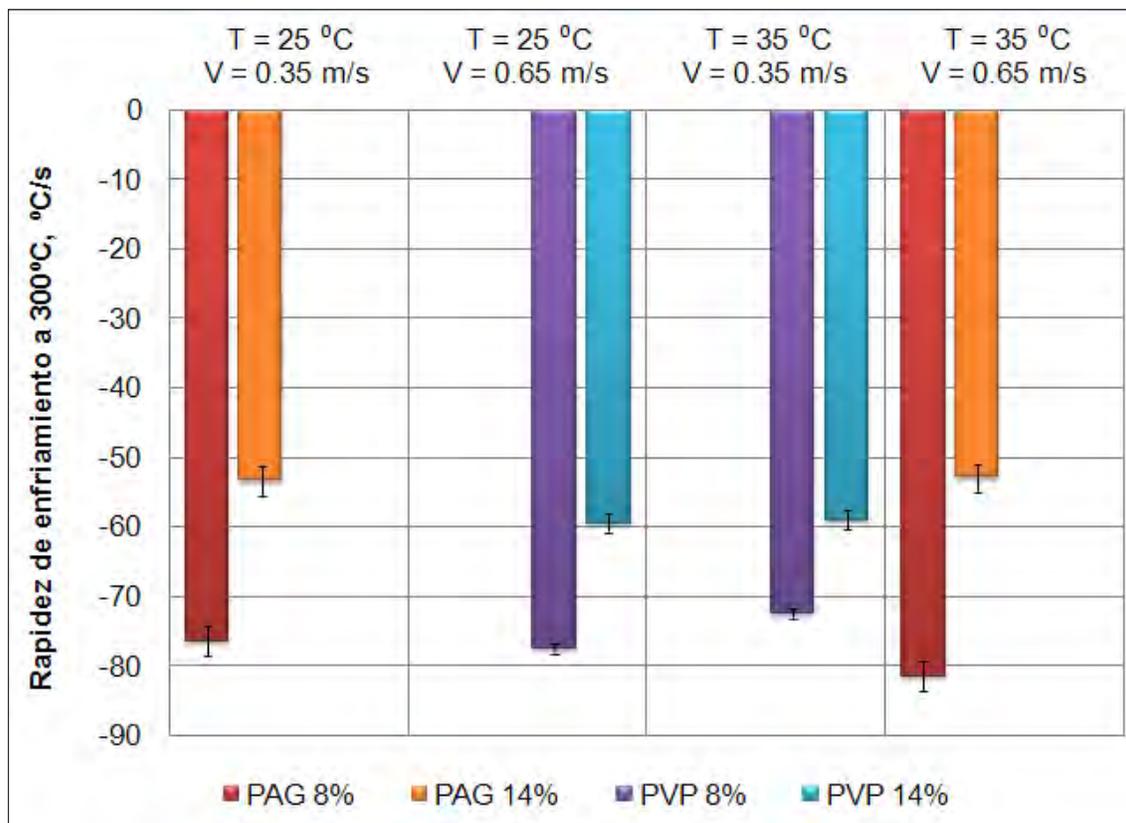
En la Figura 5.10 se muestran los valores promedio y las desviaciones estándar de la temperatura a la cual se alcanza la rapidez de enfriamiento máxima para cada condición de estudio. En casi todas las pruebas la rapidez máxima se presenta a más de 700 °C, excepto en las de PAG a 8 %. Cuando la concentración del polímero es menor, la temperatura a la cual ocurre la rapidez de enfriamiento máxima es menor.



**Figura 5.10** Temperatura a la cual ocurre la rapidez de enfriamiento máxima para cada condición de estudio. Las barras representan a la desviación estándar.

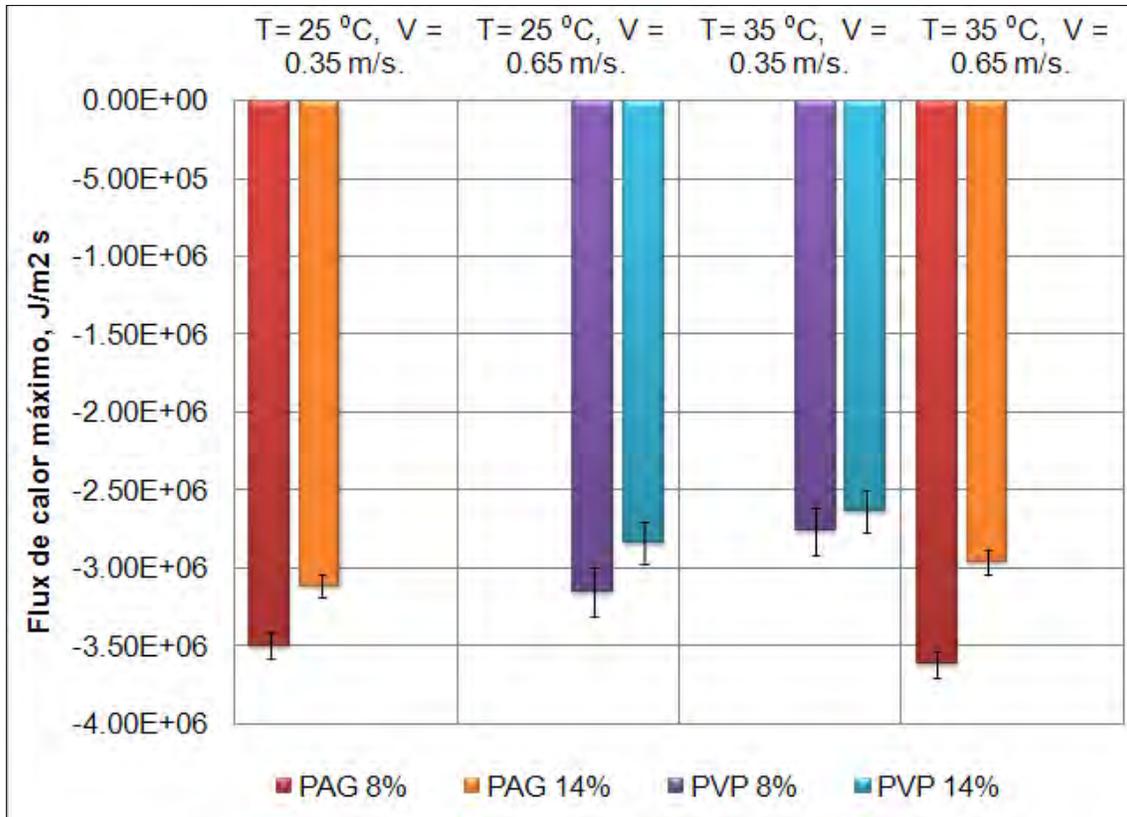
En la Figura 5.11 se presentan los resultados de rapidez de enfriamiento a la temperatura de 300 °C. Como ya se mencionó, alrededor de esta temperatura existe mayor riesgo de que se presente distorsión y agrietamiento, por lo que se busca tener rapidezces bajas. Se observa que, entre los polímeros, los que presentan valores menores son los que tienen concentraciones altas. También se observa que la diferencia de valores que se obtiene para los polímeros con la

misma concentración es muy poca, a pesar de que con PVP se tienen las condiciones extremas de temperatura y velocidad del medio. Esto hace evidente que el PVP provoca un enfriamiento más suave que el PAG. Los valores de rapidez de enfriamiento menores a esta temperatura se presentan para las pruebas de PAG con concentración de 14 %.



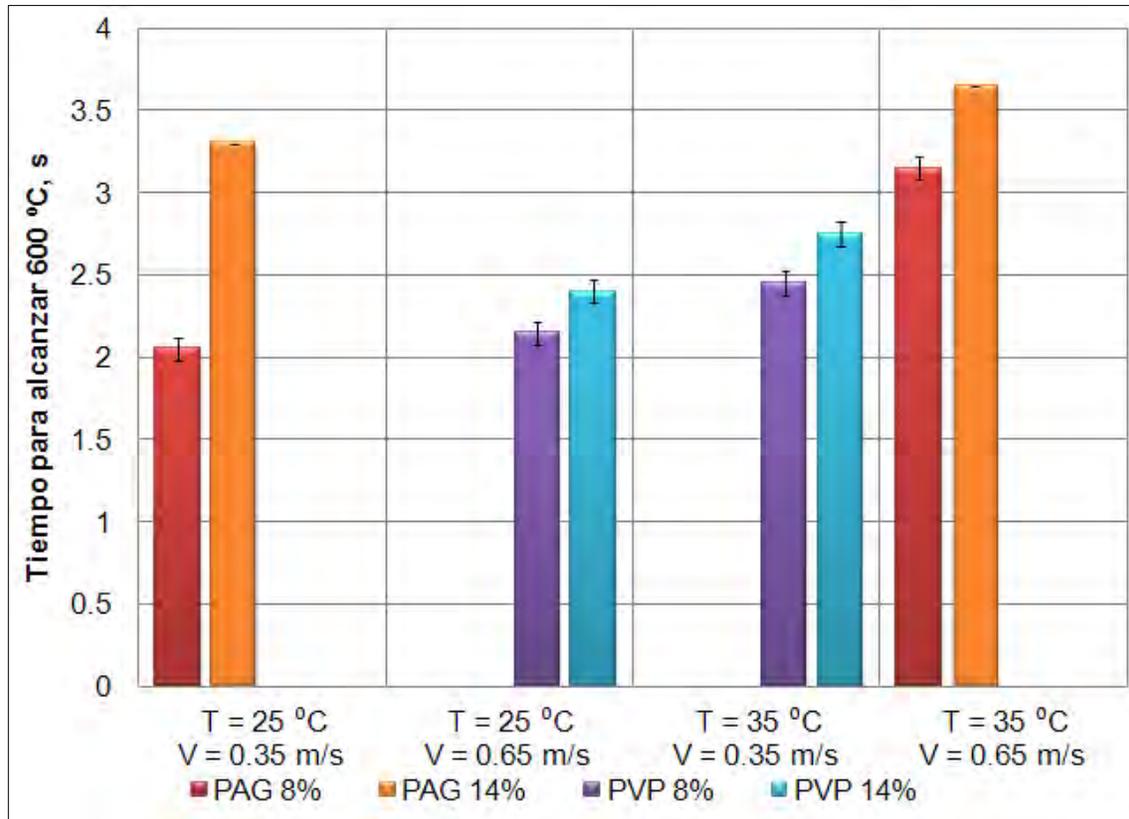
**Figura 5.11** Rapidez de enfriamiento a 300 °C para cada condición de estudio. Las barras representan a la desviación estándar.

En la Figura 5.12 se muestran los valores de *flux* de calor de la superficie máximo para cada condición de estudio. Al igual que en los resultados anteriores, el PAG presenta el *flux* de calor de la superficie más alto entre los polímeros a pesar de que la condición más drástica (menor temperatura y mayor velocidad) es la de PVP.



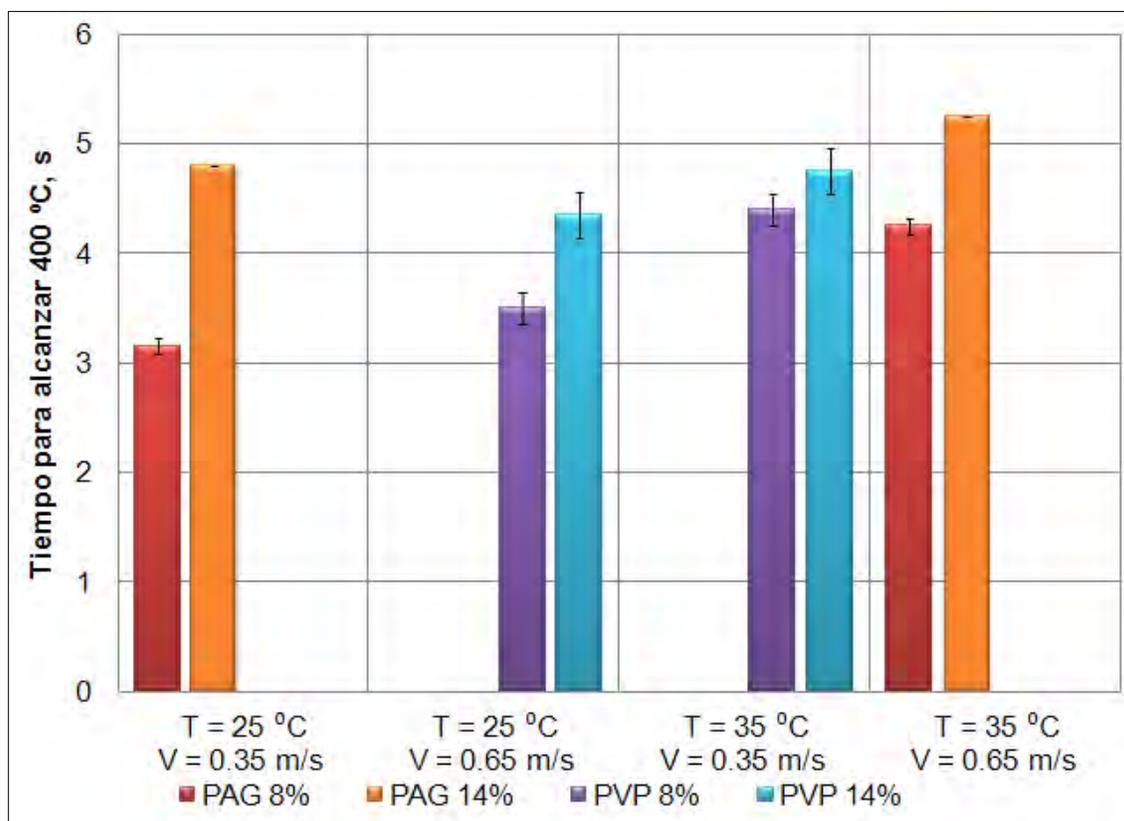
**Figura 5.12** Flux de calor máximo para cada condición de estudio. Las barras representan a la desviación estándar.

En las Figuras 5.13 a 5.15 se muestran los resultados que se obtienen para los tiempos locales a los que se alcanzan temperaturas de interés. En el caso de la Figura 5.13 los valores se refieren al tiempo para llegar a 600 °C. En concordancia con las observaciones previas, el tiempo aumenta (evidencia de un enfriamiento más suave) al aumentar la concentración de polímero.



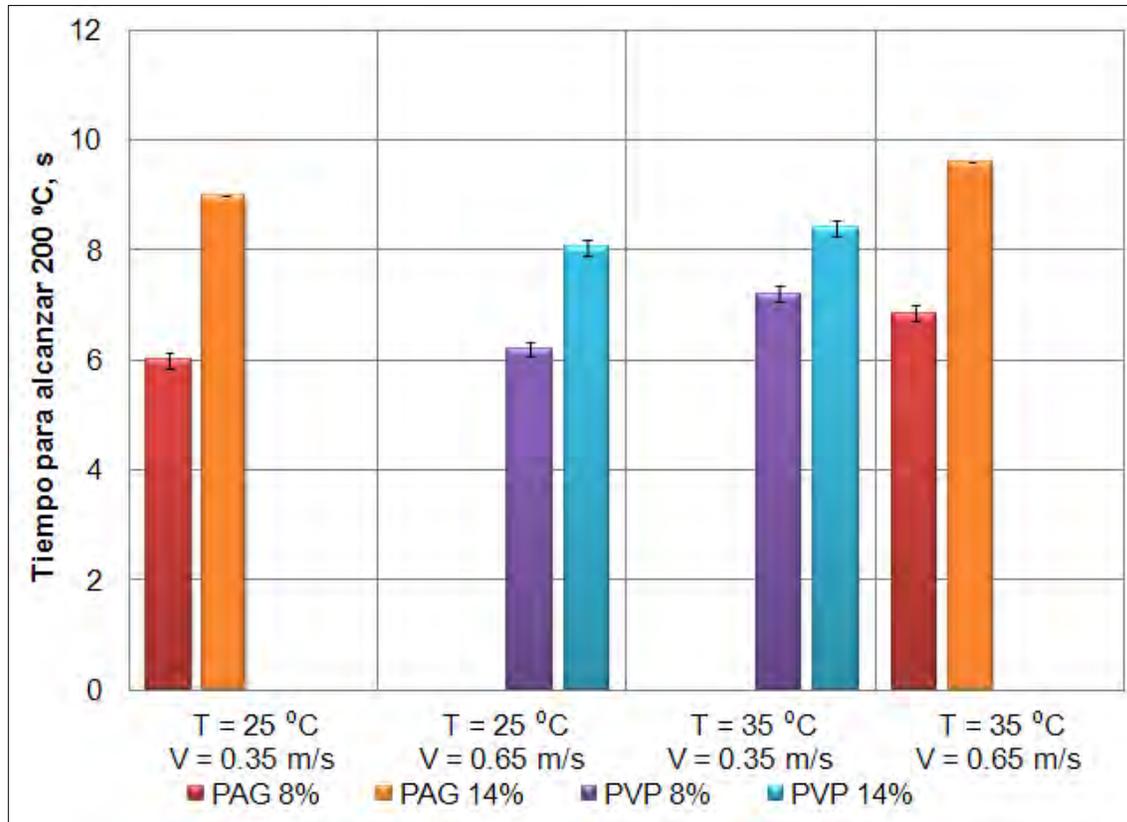
**Figura 5.13** Tiempo promedio para alcanzar la temperatura de 600 °C para cada una de las condiciones de estudio. Las barras representan a la desviación estándar.

En la Figura 5.14 se muestran los resultados de los valores promedio del tiempo necesario para alcanzar 400 °C. La tendencia que se observa es muy similar a la de los tiempos necesarios para llegar a 600 °C, con la diferencia de que los tiempos de PVP que eran claramente menores en el caso anterior, ahora presentan valores más cercanos a los que se obtienen con PAG.



**Figura 5.14** Tiempo promedio para alcanzar la temperatura de 400 °C para cada una de las condiciones de estudio. Las barras representan a la desviación estándar.

En la Figura 5.15 se presentan los resultados promedio del tiempo requerido para alcanzar la temperatura de 200 °C. En este caso, los valores para las pruebas con concentraciones iguales son similares. Esto es debido a que a esta temperatura ambos polímeros ya han presentado un mecanismo de enfriamiento lento, lo cual acerca los tiempos entre PAG y PVP.

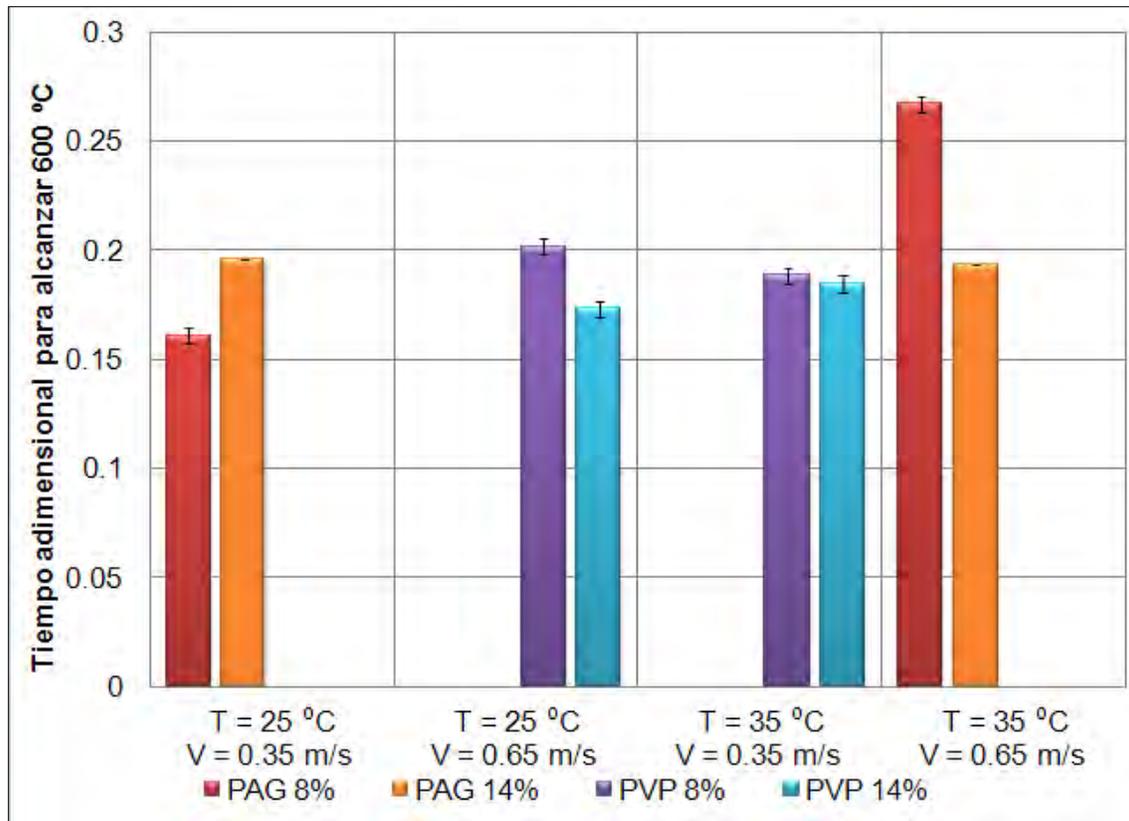


**Figura 5.15** Tiempo promedio para alcanzar la temperatura de 200 °C para cada una de las condiciones de estudio. Las barras representan a la desviación estándar.

Para generar una variable más útil, se seleccionaron tiempos característicos y se dividió el tiempo real entre el valor de un tiempo característico para poder adimensionalizar la variable tiempo, en este caso, para alcanzar 600 °C.

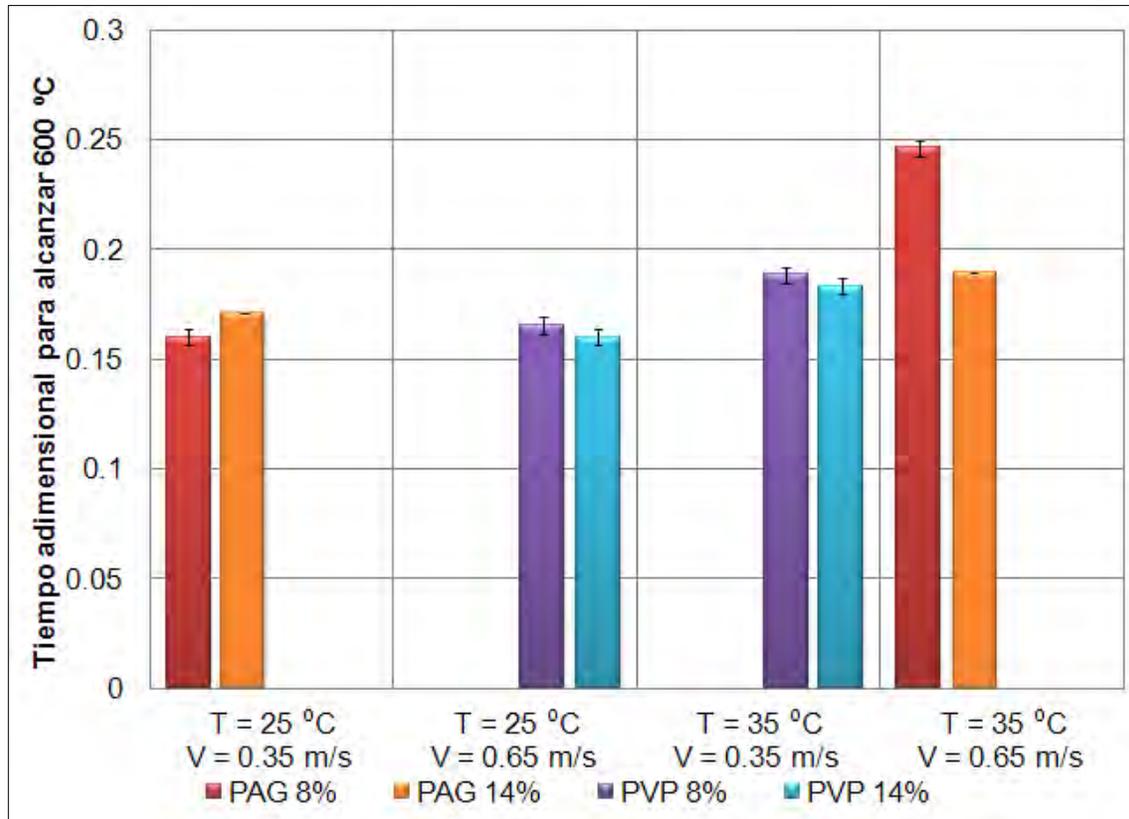
En la Figura 5.16 se muestran los resultados que se obtienen para el primer ejercicio de adimensionalización que se realizó, el cual consistió en dividir los tiempos medidos, en este caso para llegar a 600 °C, entre el tiempo (de la misma prueba) para llegar a 100 °C. En este caso, las pruebas muestran un comportamiento mucho menos ordenado; esto puede explicarse notando que al realizar la adimensionalización se refleja doblemente el efecto del retraso debido a los mecanismos de enfriamiento diferentes entre cada prueba, por lo que esta

propuesta no resulta de mucha utilidad para comprender el efecto del medio de enfriamiento.



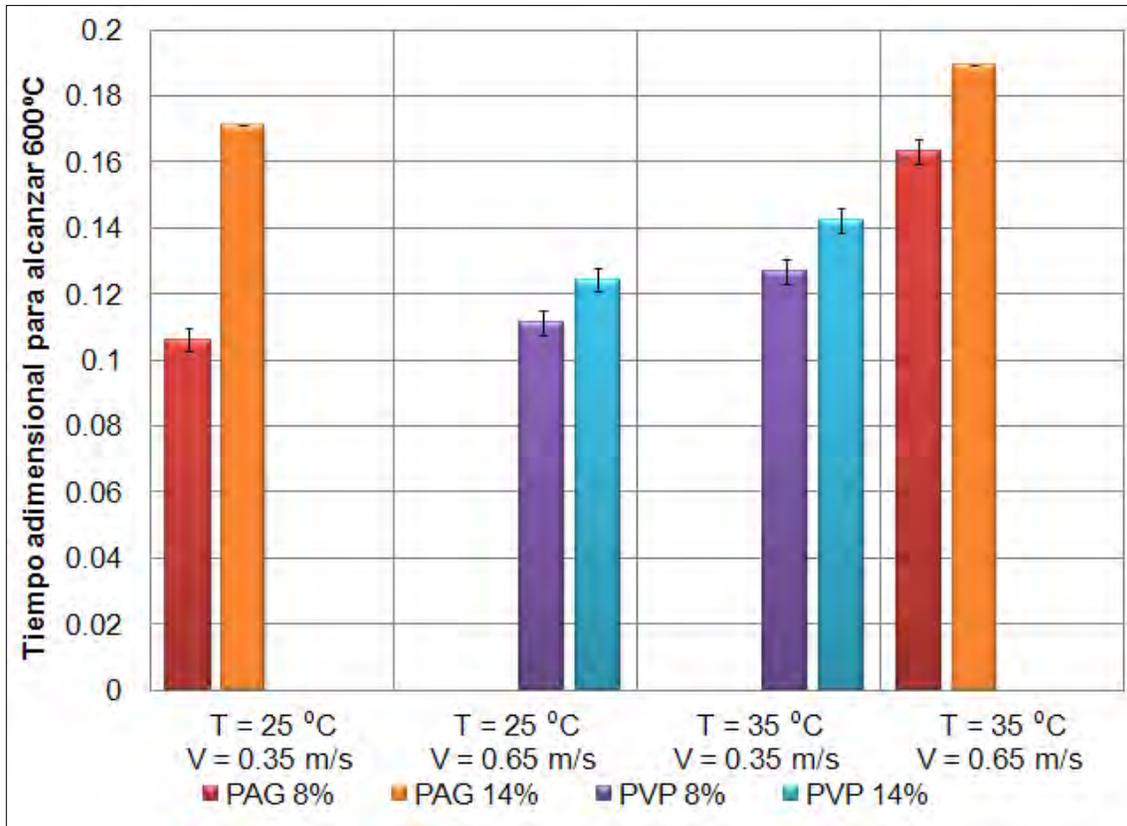
**Figura 5.16** Tiempo adimensional para alcanzar la temperatura de 600 °C. El tiempo característico fue el tiempo de cada prueba para alcanzar 100 °C. Las barras representan a la desviación estándar.

El segundo ejercicio de adimensionalización (Figura 5.17) se realizó dividiendo los tiempos medidos entre el tiempo más largo entre bloque de pruebas, es decir, el tiempo mayor de las dos concentraciones de PAG con la misma condición de temperatura y velocidad, lo mismo para PVP. En este caso se puede hacer una comparación entre bloques, ya que el efecto de los cambios de mecanismo se elimina entre las pruebas de cada uno, pero no en general, por lo que se realizó una tercer adimensionalización.



**Figura 5.17** Tiempo adimensional para alcanzar la temperatura de 600 °C. El tiempo característico fue el tiempo de cada bloque para alcanzar 100 °C. Las barras representan a la desviación estándar.

En el tercer ejercicio de adimensionalización se divide el tiempo obtenido de la curva de enfriamiento de una prueba dada, entre el tiempo más largo de entre todas las pruebas realizadas para llegar a 100 °C. Los resultados se muestran en la Figura 5.18. Las tendencias son las mismas de la gráfica de tiempo sin adimensionalizar (Figura 5.13), pero ahora están referidas a un valor común.



**Figura 5.18** Tiempo adimensional para alcanzar 600 °C para cada condición de estudio. El tiempo característico fue el tiempo más largo de entre todas las pruebas, necesario para llegar a 100 °C. Las barras representan a la desviación estándar.

Si bien este último ejercicio de adimensionalización no produjo resultados muy distintos a los originales, se piensa que sería útil para comparar medios de temple diversos.

## 6 Conclusiones

Se comprobó que el temple con polímero es menos severo que el uso de agua pura.

Se encontró que la capacidad de extracción de calor disminuye al aumentar la concentración del polímero en el medio de temple, así como al aumentar la temperatura del medio de temple. Por otra parte, se observó que a mayor velocidad del fluido, la extracción de calor es mayor.

El polímero PVP no presenta ningún mecanismo similar al avance de frente de mojado, a diferencia del PAG, cuya curva de enfriamiento presenta un comportamiento similar al del agua pura; sin embargo, las imágenes adquiridas evidencian que no existe la formación de una capa de vapor para el caso del PAG. Ambos polímeros presentan etapas de extracción de calor diferentes, entre sí y a las que se presentan con agua.

También se encontró que el polímero PVP genera valores de rapidez de enfriamiento máxima y de *flux* de calor máximo en la superficie más bajos que el PAG, a pesar de que con el PVP se usaron las condiciones más drásticas del medio de enfriamiento.

En cuanto al tiempo que tarda en llegar a las temperaturas de interés cada una de las soluciones, el polímero PAG con concentración 14 % es el que presenta los tiempos más largos en todos los casos, esto debido a la presencia de un enfriamiento lento en una etapa inicial.

Para comparar a los valores de tiempo reportados de una curva de enfriamiento se propuso adimensionalizar el valor medido, utilizando el máximo valor del tiempo para alcanzar 100 °C como tiempo característico.

## **7 Recomendaciones y trabajo a futuro**

En las imágenes que se obtienen de los videos se puede observar que la extracción de calor no se realizó de manera efectiva en la zona que se encuentra debajo del cople (parte superior de la probeta). Esto se debe a que cuando se agrega el polímero al agua, la viscosidad del medio aumenta de manera considerable, dificultando la libre circulación del líquido, el cual queda atrapado entre el cople y la probeta y, al estar caliente por la falta de renovación, se tiene una extracción de calor más lenta. Esta es una oportunidad de mejora del diseño del equipo.

## 8 Referencias bibliográficas

[1] Askeland, D., *“Ciencia e Ingeniería de los Materiales”*, 3º Ed., International Thomson Editores, Missouri, 1998, p.p. 225- 337.

[2] Abbaschian, R., Abbaschian, L., y Reed-Hill, R., *“Physical Metallurgy Principles”*, 4º Ed., Cengage Learning, U.S.A., 2009, p.p. 616- 620.

[3] Avner, S. H., *“Introduction to Physical Metallurgy”*, McGraw- Hill, 1964, Tokio, Japón, pp. 188.

[4] Jimeno, E. y Morral, F. R., *“Metalurgia General. Extractiva, Física, Mecánica y Química”*, Tomo II, Publicaciones de la Universidad de Madrid, Madrid, España, 1955, pp. 899, 904-921.

[5] De Garmo, E. P., Black J. T. y Kohser R. A., *“Materiales y Procesos de Fabricación”*, Vol. 1, 2ª Ed., Reverté, España, 1994, pp. 159.

[6] Totten, G. E., Dakins, M. E. y Heins, R. W., *“Cooling Curve Analysis of Synthetic Quenchants: A Historical Perspective”*, J. Heat Treating, Vol. 6, No. 2, New York, 1988, p.p. 87- 95.

[7] Boyer, H. E. *“Practical Heat Treating”*, American Society for Metals, p.p. 77- 90.

[8] De Souza, E.C., Bronzini, C.A., Gastón, A., Canale, L.C.F., Sánchez, S. G., y Totten, G.E., *“Temperature Dependence of the Quenching Properties of Vegetable Oils Compared to Petroleum Oil Quenchants”*, Proc. of IMMC'15 International Metallurgy & Materials Congress, C. Durucan, C.H. Gür, B. Özkal, H. Savaş and H.E. Ünalán (eds.), UCTEA Union of Chambers of Engineers and Architects of Turkey, Istanbul, Turkey, 2010, 11-13 novembre 20120, pp. 1694-1707.

[9] Totten, G.E., Bates, C.E., y Clinton, N.A., *“Handbook of Quenchants and Quenching Technology”*, ASM International, Ohio, 1993, p.p. 161- 188.

[10] Metals Handbook, 9ª Ed. Vol 4, *“Heat Treating”*, ASM International, Ohio, 1981, p.p. 39- 58.

- [11] Portillo, O. y Reyes R., "*Transferencia de Calor de una Superficie Sobrecalentada Mojada con agua*", Información Tecnológica, Vol. 10 No. 4, Madrid- España, 1999, p.p. 362-369.
- [12] Hernández-Morales B., González-López J. R., Solorio-Díaz G. y Vergara-Hernández H. J., "*Effect of water temperature on wetting front kinematics during forced convective quenching*", Materials Science Forum, Trans Tech Publications, Suiza, 2012, p.p. 1415-1420
- [13] MacKenzie, D. S., "*Advances in Quenching, a Discussion of Present and Future Technologies*", Proceedings of the 22nd Heat Treating Society Conference and the 2nd International Surface Engineering Congress, Indianapolis, Indiana, USA, September 2003, p.p. 228-239.
- [14] Aronov, M. A., Kobasco, N. I., Powell, J. A., Schwam, D. y Wallace, J. F., "*An Experimental Validation of the Intensive Quenching Technology for Steel Parts*", Heat Treating: Proceedings of the 18th Conference, ASM International, 1999, p.p. 622-625.
- [15] Totten, G. E., Webster, G. M., Jarvis, L. M., Kang, S. H. y Han, S. W., "*Thermal/Oxidative Stability and Polymer Dragout Behavior of Polymer Quenchants*", Heat Treating: Proceedings of the 17th Conference, ASM International, 1998, p.p. 443- 448.
- [16] Kobasko, N. I., Totten, G. E., Webster, G. M. y Bates, C. E., "*Comparison of Cooling Capacity of Aqueous Poly (Alkylene Glycol) Quenchants with Water and Oil*", Heat Treating: Proceedings of the 18th Conference, ASM International, 1999, p.p. 559- 567.
- [17] Padilla, M. H., "*Distortion of Piston Rings: Martempering in Salt versus Polymer Quenching*", Heat Treating: Proceedings of the 16th Conference, ASM International, 1996, p.p. 181- 186.

[18] Totten, G. E., Webster, G. M. y Jarvis, L. M., "*Cooling Curve Analysis of Polymer Quenchants*", Heat Treating: Proceedings of the 19th Conference, ASM International, 2000, p.p. 277- 283.

[19] Hernández-Morales B., Cruces-Reséndez R., Vergara-Hernández H. y Solorio-Díaz G., "*Hydrodynamic Behavior of Liquid Quenchants in the Vicinity of Quench Probes*", Quenching Control and Distortion, Proceedings from the 6th International Quenching and Control of Distortion Conference, ASM International, 2012, p.p. 361-372.

[20] Vergara-Hernández H.J. y Hernández-Morales B., "*A novel probe design to study wetting front kinematics during forced convective quenching*", Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 33, 2009, p.p. 797–807.

[21] ReliaSoft DOE++, <http://www.reliasoft.com/doe/index.htm>

[22] Meekisho, L., Hernández-Morales, B., Téllez-Martínez, J.S. y Chen, X. "*Computer-aided cooling curve analysis using WinProbe*", Int. J. Materials and Product Technology, Vol. 24, Nos. 1–4, 2006, pp.155–169.

[23] González, L. J. R., "*Influencia de la velocidad y de la temperatura del medio de enfriamiento en la extracción de calor durante ensayos de temple con probetas cilíndricas de punta cónica*", Trabajo de tesis para maestría, Programa Maestría en Ciencia e Ingeniería de Materiales, 29 de agosto de 2012.

[24] McLleod, D., Totten, G. E. y Webster, G. M., "*Investigation of the Mechanism of Polymer Quenchant Mediation of Heat Transfer During Quenching by ESR Spectroscopy*", Heat Treating: Proceedings of the 17th Conference, ASM International, 1998, p.p. 433- 441.

[25]

[http://www.ashland.com/Ashland/Static/Documents/Corp/globalone/PVP%20K90%20-%20SDSCLP\\_ES%20-%20ES.pdf](http://www.ashland.com/Ashland/Static/Documents/Corp/globalone/PVP%20K90%20-%20SDSCLP_ES%20-%20ES.pdf)

[26] <http://www.lubricacion.com/upload/productos/146TIVELA%20S%20150.pdf>

## **Apéndice A**

Ficha de datos de seguridad de PVP (PVP K-90 SOLUTION) obtenidos de la literatura (ASHLAND [25]).

|                                    |                                       |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>ASHLAND®</b>                    | Página: 1 of 12                       |
|                                    | Fecha de revisión: 03.05.2013         |
| <b>FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD</b> | Fecha de impresión: 03.05.2013        |
| PVP K-90 SOLUTION                  | Número MSDS: R0718453<br>Versión: 1.0 |
| 831253                             |                                       |

Conforme a la regulación (UE) N.º 1907/2006 según enmienda. - SDSCLP\_ES

## SECCIÓN 1: Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

### 1.1 Identificador del producto

Nombre comercial : PVP K-90 SOLUTION

### 1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Uso de la sustancia/mezcla : Cosméticos

|  |   |
|--|---|
| <p><b>1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad</b></p> <p>Ashland<br/>Apartado de correos 8619<br/>NL3009 AP, Rotterdam<br/>Países Bajos</p> <p>EUSMT@ashland.com</p> | <p><b>1.4 Teléfono de emergencia</b></p> <p>00-800-274-5263-3/001-606-329-5701 , o llame a su número de emergencia local al +34 91 562 04 20</p> <p><b>Información del Producto</b></p> <p>+31 10 497 5000 (en los Países Bajos), o comuníquese con la persona de contacto de su representante local de servicios al consumidor</p> |
|--|---|

---

## SECCIÓN 2: Identificación de los peligros

### 2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

#### Clasificación (REGLAMENTO (CE) No 1272/2008)

No es una sustancia o mezcla peligrosa de acuerdo con el Reglamento (CE) No. 1272/2008.

#### Clasificación (67/548/CEE, 1999/45/CE)

No es una sustancia o mezcla peligrosa según la Directiva de la CE 67/548/CEE ó 1999/45/CE.

### 2.2 Elementos de la etiqueta

#### Etiquetado (REGLAMENTO (CE) No 1272/2008)

No es una sustancia o mezcla peligrosa de acuerdo con el Reglamento (CE) No. 1272/2008.

|  |                                       |
|--|---------------------------------------|
| <b>ASHLAND</b><br><b>FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD</b> | Pagina: 2 of 12                       |
|  | Fecha de revisión: 03.05.2013         |
| PVP K-90 SOLUTION                                    | Fecha de impresión: 03.05.2013        |
| 831253   | Número MSDS: R0718453<br>Versión: 1.0 |

### 2.3 Otros peligros

Valoración : Sustancia PBT , Sustancia vPvB - (valor) no determinado

---

## SECCIÓN 3: Composición/información sobre los componentes

### 3.2 Mezclas

Observaciones : Ningún ingrediente peligroso según la Reglamento (CE) No. 1907/2006

---

## SECCIÓN 4: Primeros auxilios

### 4.1 Descripción de los primeros auxilios

- Recomendaciones generales : Normalmente no es necesario recurrir a primeros auxilios. Si los síntomas persisten, solicite atención médica.
- Si es inhalado : Sacar al aire libre.  
Si los síntomas persisten consultar a un médico.  
En caso de dificultad respiratoria, aplicar oxígeno.
- En caso de contacto con la piel : Quítese inmediatamente la ropa y zapatos contaminados.  
Lávese inmediatamente con agua abundante.
- En caso de contacto con los ojos : Enjuagar los ojos con agua durante 15 minutos por lo menos.  
Consultar un médico si aparece y persiste una irritación en los ojos.  
Retirar las lentillas.
- Si es tragado : No provocar vómitos sin consejo médico.  
Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente.  
Si es necesario consultar a un médico.

### 4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

- Síntomas : sin datos disponibles  
Riesgos : sin datos disponibles

### 4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

- Tratamiento : sin datos disponibles

|                                    |                                       |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>ASHLAND®</b>                    | Página: 3 of 12                       |
|                                    | Fecha de revisión: 03.05.2013         |
| <b>FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD</b> | Fecha de impresión: 03.05.2013        |
| PVP K-90 SOLUTION                  | Número MSDS: R0718453<br>Versión: 1.0 |
| 831253                             |                                       |

---

## SECCIÓN 5: Medidas de lucha contra incendios

### 5.1 Medios de extinción

Medios de extinción apropiados : Polvo ABC  
Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)  
Producto químico en polvo  
Niebla de agua

Medios de extinción no apropiados : Halones

### 5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

Peligros específicos en la lucha contra incendios : No permita que las aguas de extinción entren en el alcantarillado o en los cursos de agua.

Productos de combustión peligrosos : dióxido de carbono y monóxido de carbono  
óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)

### 5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

Equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios : En caso de fuego, protéjase con un equipo respiratorio autónomo.  
Utilícese equipo de protección individual.

Otros datos : Mantener los contenedores y los alrededores fríos con agua pulverizada.  
Impedir la contaminación de las aguas superficiales o subterráneas por el agua que ha servido a la extinción de incendios.  
Los restos del incendio así como el agua de extinción contaminada, deben eliminarse según las normas locales en vigor.

---

## SECCIÓN 6: Medidas en caso de vertido accidental

### 6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

Precauciones personales : Deben excluirse de la zona de vertido del producto a aquellas personas que no lleven un equipo protector hasta que se haya completado la limpieza.

### 6.2 Precauciones relativas al medio ambiente

Precauciones relativas al medio ambiente : Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos.

|                                    |                                       |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>ASHLAND®</b>                    | Página: 4 of 12                       |
|                                    | Fecha de revisión: 03.05.2013         |
| <b>FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD</b> | Fecha de impresión: 03.05.2013        |
| PVP K-90 SOLUTION                  | Número MSDS: R0718453<br>Versión: 1.0 |
| 831253                             |                                       |

### 6.3 Métodos y material de contención y de limpieza

Métodos de limpieza : Los derramamientos grandes se deben recoger mecánicamente (remoción por bombeo) para su disposición. Guardar en contenedores apropiados y cerrados para su eliminación.

### 6.4 Referencia a otras secciones

sin datos disponibles

## SECCIÓN 7: Manipulación y almacenamiento

### 7.1 Precauciones para una manipulación segura

Consejos para una manipulación segura : No respirar vapores o niebla de pulverización. Equipo de protección individual, ver sección 8. Evitar sobrepasar los límites dados de exposición profesional (ver sección 8). No fumar, no comer ni beber durante el trabajo.

Indicaciones para la protección contra incendio y explosión : Disposiciones normales de protección preventivas de incendio.

### 7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Exigencias técnicas para almacenes y recipientes : Almacenar en envase original. Cerrar los recipientes herméticamente y mantenerlos en lugar seco, fresco y bien ventilado.

Indicaciones para el almacenamiento conjunto : No cabe mencionar especialmente productos incompatibles.  
Otros datos : Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas. Proteger contra las heladas.

### 7.3 Usos específicos finales

sin datos disponibles

## SECCIÓN 8: Controles de exposición/protección individual

### 8.1 Parámetros de control

No contiene sustancias con valores límites de exposición profesional.

### 8.2 Controles de la exposición

|                                    |  |                                       |
|------------------------------------|--|---------------------------------------|
| <b>ASHLAND®</b>                    |  | Página: 5 of 12                       |
|                                    |  | Fecha de revisión: 03.05.2013         |
| <b>FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD</b> |  | Fecha de impresión: 03.05.2013        |
| PVP K-90 SOLUTION                  |  | Número MSDS: R0718453<br>Versión: 1.0 |
| 831253                             |  |                                       |

### Disposiciones de ingeniería

Proporcione la ventilación mecánica suficiente (ventilación general y/o local) para mantener la exposición por debajo del nivel de sobreexposición (desde efectos adversos conocidos, sospechosos o aparentes).

### Protección personal

- Protección respiratoria : Normalmente no requiere el uso de un equipo de protección individual respiratorio.
- Protección de las manos : Usar guantes de protección:  
: goma butílica
- Protección de los ojos : Gafas protectoras con cubiertas laterales
- Protección de la piel y del cuerpo : Llevar cuando sea apropiado:  
Zapatos de seguridad
- Medidas de higiene : Asegúrese de que las estaciones de lavado de ojos y las duchas de seguridad estén localizadas cerca del sitio de trabajo.

### Controles de exposición medioambiental

- Recomendaciones generales : Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos.

---

## SECCIÓN 9: Propiedades físicas y químicas

### 9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

- Aspecto : viscoso; líquido
- Color : amarillo
- Olor : sin datos disponibles
- Umbral olfativo : sin datos disponibles
- pH : 3,0 - 7,0
- Punto de congelación / Punto de fusión : 0,8 °C
- Punto de ebullición : > 100 °C
- Punto de inflamación : no aplicable

|  |                                       |
|--|---------------------------------------|
| <b>ASHLAND</b><br><b>FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD</b> | Pagina: 6 of 12                       |
|  | Fecha de revisión: 03.05.2013         |
| PVP K-90 SOLUTION                                    | Fecha de impresión: 03.05.2013        |
| 831253   | Número MSDS: R0718453<br>Versión: 1.0 |

|  |                                  |
|--|----------------------------------|
| Tasa de evaporación                    | : sin datos disponibles          |
| Inflamabilidad (sólido, gas)           | : sin datos disponibles          |
| Velocidad de combustión                | : sin datos disponibles          |
| Límites inferior de explosividad       | : sin datos disponibles          |
| Límites superior de explosividad       | : sin datos disponibles          |
| Presión de vapor                       | : sin datos disponibles          |
| Densidad relativa del vapor            | : sin datos disponibles          |
| Densidad relativa                      | : sin datos disponibles          |
| Densidad                               | : 1,051 gcm <sup>3</sup> ; 25 °C |
| Solubilidad en agua                    | : soluble                        |
| Solubilidad en otros disolventes       | : sin datos disponibles          |
| Coefficiente de reparto n-octanol/agua | : sin datos disponibles          |
| Temperatura de auto-inflamación        | : sin datos disponibles          |
| Temperatura de ignición                | : sin datos disponibles          |
| Descomposición térmica                 | : sin datos disponibles          |
| Viscosidad, dinámica                   | : sin datos disponibles          |
| Viscosidad, cinemática                 | : sin datos disponibles          |
| Propiedades explosivas                 | : sin datos disponibles          |
| Propiedades comburentes                | : sin datos disponibles          |

## 9.2 Otra información

|                   |                         |
|-------------------|-------------------------|
| Densidad aparente | : sin datos disponibles |
|-------------------|-------------------------|

---

## SECCIÓN 10: Estabilidad y reactividad

### 10.1 Reactividad

|                                    |                                       |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>ASHLAND®</b>                    | Página: 7 of 12                       |
|                                    | Fecha de revisión: 03.05.2013         |
| <b>FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD</b> | Fecha de impresión: 03.05.2013        |
| PVP K-90 SOLUCIÓN                  | Número MSDS: R0718453<br>Versión: 1.0 |
| 831253                             |                                       |

No se conocen polimerizaciones peligrosas.

### 10.2 Estabilidad química

Sin peligros a mencionar especialmente.

### 10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas

Reacciones peligrosas : Otros datos: Sin peligros a mencionar especialmente.

: No se conocen polimerizaciones peligrosas.

### 10.4 Condiciones que deben evitarse

### 10.5 Materiales incompatibles

Materias que deben evitarse : Agentes oxidantes fuertes  
agentes reductores fuertes

### 10.6 Productos de descomposición peligrosos

Productos de descomposición peligrosos : dióxido de carbono y monóxido de carbono  
óxidos de nitrógeno (NOx)

## SECCIÓN 11: Información toxicológica

### 11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

#### Producto

Toxicidad oral aguda : sin datos disponibles

Toxicidad aguda por inhalación : sin datos disponibles

Toxicidad cutánea aguda : sin datos disponibles

Corrosión o irritación cutáneas : sin datos disponibles

Lesiones o irritación ocular graves : sin datos disponibles

Sensibilización respiratoria o cutánea : sin datos disponibles

#### Componentes:

sin datos disponibles

|                                    |                                       |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>ASHLAND®</b>                    | Página: 8 of 12                       |
|                                    | Fecha de revisión: 03.05.2013         |
| <b>FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD</b> | Fecha de impresión: 03.05.2013        |
| PVP K-90 SOLUTION                  | Número MSDS: R0718453<br>Versión: 1.0 |
| 831253                             |                                       |

---

## SECCIÓN 12: Información ecológica

### 12.1 Toxicidad

**Producto:**

sin datos disponibles

**Componentes:**

sin datos disponibles

### 12.2 Persistencia y degradabilidad

**Producto:**

sin datos disponibles

**Componentes:**

sin datos disponibles

### 12.3 Potencial de bioacumulación

**Producto:**

Bioacumulación : No se puede determinar el potencial de bioacumulación.

**Componentes:**

sin datos disponibles

### 12.4 Movilidad en el suelo

**Producto:**

sin datos disponibles

**Componentes:**

sin datos disponibles

### 12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB

**Producto:**

sin datos disponibles

**Componentes:**

sin datos disponibles

### 12.6 Otros efectos adversos

**Producto:**

sin datos disponibles

**Componentes:**

sin datos disponibles

|                                    |  |                                |
|------------------------------------|--|--------------------------------|
| <b>ASHLAND®</b>                    |  | Página: 9 of 12                |
|                                    |  | Fecha de revisión: 03.05.2013  |
| <b>FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD</b> |  | Fecha de impresión: 03.05.2013 |
| PVP K-90 SOLUTION                  |  | Número MSDS: R0718453          |
| 831253                             |  | Versión: 1.0                   |

---

### SECCIÓN 13: Consideraciones relativas a la eliminación

#### 13.1 Métodos para el tratamiento de residuos

- Producto : Dispóngase de acuerdo a las Directivas Europeas sobre desechos y desechos peligrosos.
- : Eliminar, observando las normas locales en vigor.
- Envases contaminados : Vaciar el contenido restante.

---

### SECCIÓN 14: Información relativa al transporte

#### 14.1 Número ONU

:

#### 14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas

:

#### 14.3 Clase(s) de peligro para el transporte

:

#### 14.4 Grupo de embalaje

:

#### 14.5 Peligros para el medio ambiente

- : no aplicable

#### 14.6 Precauciones particulares para los usuarios

no aplicable

#### 14.7 Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio Marpol 73/78 y del Código IBC

Barco Tipo de barco: no aplicable

|                                    |                                       |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>ASHLAND®</b>                    | Página: 10 of 12                      |
|                                    | Fecha de revisión: 03.05.2013         |
| <b>FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD</b> | Fecha de impresión: 03.05.2013        |
| PVP K-90 SOLUTION                  | Número MSDS: R0718453<br>Versión: 1.0 |
| 831253                             |                                       |

Códigos de peligro: no aplicable  
Categoría Contaminante: no aplicable

Es posible que las descripciones de los productos peligrosos (si se indicaron anteriormente) no reflejen las excepciones que pueden aplicarse en la cantidad, la aplicación o aquellas que sean específicas a una región. Para consultar las descripciones específicas para el envío, remítase a los documentos de envío.

## SECCIÓN 15: Información reglamentaria

### 15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

Seveso II - Directiva 2003/105/CE por la que se modifica la Directiva 96/82/CE del Consejo relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas

La directiva 96/82/EC no se aplica

#### Estatuto de notificación

|  |                      |
|--|----------------------|
| EE.UU.. Ley de Control de Sustancias Tóxicas (TSCA)  | y (listado positivo) |
| Canadá. Ley Canadiense de Protección Ambiental (CEPA). Lista de Sustancias Domésticas (DSL). | y (listado positivo) |
| Australia. Notificación y evaluación de Química Industrial                                   | y (listado positivo) |
| New Zealand. Inventory of Chemicals (NZIoC), as published by ERMA New Zealand                | y (listado positivo) |
| Japan. Kashin-Hou Law List   | y (listado positivo) |
| Corea. Ley de lista de control de sustancias químicas tóxicas (TCCL)                         | y (listado positivo) |
| Filipinas. Las sustancias tóxicas y la Ley de Control de Residuos Peligrosos y Nucleares     | y (listado positivo) |
| China. Inventario de Sustancias Químicas Existentes (IECSC)                                  | y (listado positivo) |

### 15.2 Evaluación de la seguridad química

sin datos disponibles

|                                    |                                       |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>ASHLAND®</b>                    | Página: 11 of 12                      |
|                                    | Fecha de revisión: 03.05.2013         |
| <b>FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD</b> | Fecha de impresión: 03.05.2013        |
| PVP K-90 SOLUTION                  | Número MSDS: R0718453<br>Versión: 1.0 |
| 831253                             |                                       |

## SECCIÓN 16: Otra información

### Otros datos

Otra información : La información incluida en este documento se considera precisa, pero no se garantiza que se haya originado en la compañía. Se recomienda a los destinatarios confirmar de antemano que la información esté vigente, sea aplicable y corresponda a sus circunstancias. Esta Hoja de datos sobre seguridad (Safety Data Sheet, SDS) ha sido preparada por el Departamento de Medioambiente, Salud y Seguridad de Ashland (+31 10 497 5000).

Lista de abreviaturas y siglas que podría ser, pero no necesariamente son usados en esta ficha de datos de seguridad :

ACGIH: Conferencia Americana de Higienistas Industriales

BEI: índice de exposición biológica

CAS: Chemical Abstracts Service (división de la Sociedad Estadounidense de Química).

CMR: carcinógeno, mutágeno o tóxico para la reproducción

cExx: concentración efectiva de xx

FG: destinado al consumo humano

GHS: sistema mundialmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos.

Declaración H: indicación de peligro (H-statement)

IATA: Asociación de Transporte Aéreo Internacional.

IATA-DGR: Regulación de productos peligrosos de la "Asociación de Transporte Aéreo Internacional" (IATA).

OACI: Organización de Aviación Civil Internacional

OACI-TI (OACI): Instrucciones técnicas de la "Organización de Aviación Civil Internacional"

Clxx: concentración inhibitoria para xx de una sustancia

IMDG: Código Marítimo Internacional de Productos Peligrosos

ISO: Organización Internacional de Normalización

CLxx: concentración letal para el xx por ciento de la población de prueba

DLxx: dosis letal para el xx por ciento de la población de prueba.

logPow: coeficiente de partición octanol-agua

N.O.S.: no especificado de otro modo

OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD)

LEO: límite de exposición ocupacional (OEL)

PBT: persistente, bioacumulativo y tóxico

PEC: concentración ambiental prevista

PEL: límites permitidos de exposición

PNEC: concentración prevista sin efecto

EPP: equipo de protección personal (PPE)

Declaración P: consejo de prudencia (P-statement)

STEL: límite de exposición a corto plazo

STOT: toxicidad específica en determinados órganos

TLV: valor umbral de exposición

|                                    |  |                                       |
|------------------------------------|--|---------------------------------------|
| <b>ASHLAND®</b>                    |  | Página: 12 of 12                      |
| <b>FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD</b> |  | Fecha de revisión: 03.05.2013         |
| PVP K-90 SOLUTION                  |  | Fecha de impresión: 03.05.2013        |
| 831253                             |  | Número MSDS: R0718453<br>Versión: 1.0 |

TWA: promedio ponderado en el tiempo vPvB: muy persistente y muy bioacumulativo WEL: nivel de exposición en el lugar de trabajo  
 ABM: Clasificación de peligrosidad para el agua en los Países Bajos  
 ADN: Regulación para el transporte de sustancias peligrosas en el Rin  
 ADR: Acuerdo referente al transporte internacional de productos peligrosos por tierra. CLP: clasificación, etiquetado y envasado  
 CSA: evaluación de seguridad química CSR: informe de seguridad química DNEL: nivel sin efecto derivado.  
 EINECS: Catálogo Europeo de Sustancias Químicas Comerciales Existentes  
 ELINCS: Lista Europea de Sustancias Químicas Notificadas  
 REACH: Registro, evaluación, autorización y restricción de productos químicos  
 RID: Regulación con respecto al transporte internacional de productos peligrosos por ferrocarril  
 Frase R: mención de riesgo  
 FRase S: mención de seguridad  
 WGK: clasificación alemana de peligrosidad para el agua

## **Apéndice B**

Ficha de datos de seguridad de PAG (Lubricante para engranajes) obtenidos de la literatura (Shell [26]).

# Ficha de Datos de Seguridad



Shell Tivela

Oil S 150

|                      |                   |                          |     |                         |            |                         |         |
|----------------------|-------------------|--------------------------|-----|-------------------------|------------|-------------------------|---------|
| <b>Nro. InfoSafe</b> | ACH7T<br>ES/spa/C | <b>Número de versión</b> | 1.1 | <b>Fecha de emisión</b> | 28/08/2003 | <b>Rango de Control</b> | EMITIDO |
|----------------------|-------------------|--------------------------|-----|-------------------------|------------|-------------------------|---------|

## 1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O PREPARADO Y DE LA SOCIEDAD O EMPRESA

**Nombre del producto**

Shell Tivela Oil S 150

**Código del producto**

001A9646

**Tipo de producto/Uso**

Lubricante para engranajes.

**Nombre de la compañía**

SHELL ESPANA, S.A.

**Dirección**

C/ Río Bullaque, 2  
28034 Madrid

**Teléfono de emergencia**

91-537.01.33

**Número de teléfono/fax**

Tel: 91-537.01.00 Fax: 91-537.01.16

**Otros nombres**

**NOMBRE**

Shell Tivela Oil S 150

**CÓDIGO**

140000000975

## 2. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

**Descripción del preparado**

Mezcla de polialquilenglicol y aditivos.

---

### 3. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

---

**Clasificación CE**

No está clasificado como peligroso bajo el criterio de la CE.

**Peligros para la salud humana**

Sin riesgos específicos bajo condiciones de uso normales. En base a estudios con animales hay evidencias de que los aerosoles de algunos polialquilenglicoles pueden ser peligrosos por inhalación. La exposición prolongada o repetida puede causar dermatitis. El aceite usado puede contener impurezas nocivas.

**Peligros de seguridad**

No está clasificado como inflamable, pero puede arder.

**Peligros para el medio ambiente**

No está clasificado como peligroso para el medio ambiente.

---

### 4. PRIMEROS AUXILIOS

---

**Síntomas y efectos**

No se espera que aparezcan peligros graves en las condiciones normales de uso.

**Inhalación**

Trasladar al aire fresco. Si no hay una recuperación rápida, solicitar atención médica.

**Piel**

Quitar la ropa contaminada y lavar la piel afectada con agua y jabón. Si la irritación persiste, solicitar ayuda médica. Si se producen lesiones por inyección a alta presión, solicite atención médica inmediatamente.

**Ojos**

Lavar los ojos con abundante agua. Si la irritación persiste, solicitar atención médica.

**Ingestión**

No provocar vómito. Lavar bien la boca con agua y solicitar ayuda médica.

**Comunicar al médico**

Treat symptomatically. Aspiration into the lungs may result in chemical pneumonitis. Dermatitis may result from prolonged or repeated exposure.

---

### 5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

---

**Peligros específicos**

Su combustión puede producir una mezcla compleja de partículas aéreas sólidas y líquidas y gases, incluyendo monóxido de carbono, óxidos de azufre y compuestos orgánicos e inorgánicos no identificados.

**Medios de extinción**

Espuma y polvo químico seco. Dióxido de carbono, arena o tierra pueden usarse sólo en pequeños incendios.

### **Medios de extinción inapropiados**

Chorro de agua. Evitar la utilización de extintores de Halon, por razones ambientales.

### **Equipo de protección**

Debe utilizarse un equipo de protección adecuado que incluya un aparato de respiración al acercarse al fuego en lugares reducidos.

---

## 6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

---

### **Precauciones personales**

Evitar el contacto con la piel y los ojos. No respirar la neblina ni los aerosoles. Guantes de PVC, neopreno o goma de nitrilo. Botas de seguridad de goma hasta las rodillas y chaqueta y pantalones de PVC. Use gafas protectores o máscara facial completo si hay riesgo de salpicaduras.

### **Precauciones ambientales**

Evitar su expansión o entrada en los desagües, acequias o ríos, utilizando arena, tierra u otras barreras apropiadas. Informar a las autoridades locales si esto no se puede evitar.

### **Métodos de limpieza – Derrames pequeños**

Absorber el líquido con arena o tierra. Barrer y trasladar a un contenedor claramente marcado para su eliminación de acuerdo con la legislación local.

### **Métodos de limpieza – Derrames grandes**

Evitar que se expanda haciendo una barrera con arena, tierra u otro material de contención. Recuperar el líquido directamente o en un absorbente. Eliminar como en los derrames pequeños.

---

## 7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

---

### **Manipulación**

Utilizar sistemas locales de ventilación si existe riesgo de inhalación de vapores, nieblas o aerosoles. Evitar el contacto prolongado o repetido con la piel. Al manipular el producto en bidones, se debe utilizar calzado de seguridad y un equipo de manipulación adecuado. Evitar los derrames. Los trapos, el papel y otros materiales que se utilizan para absorber los derrames presentan riesgo de incendio. Evitar su acumulación desechándolos de forma inmediata y segura. Además de las recomendaciones específicas dadas para controlar los riesgos para la salud, la seguridad y el medioambiente, se debe realizar una valoración de los riesgos que ayude a determinar los controles más adecuados a las circunstancias.

### **Almacenamiento**

Consérvese en lugar fresco, seco y bien ventilado. Utilizar envases debidamente etiquetados y que tengan cierre. Evitar la luz solar directa, fuentes de calor y agentes oxidantes fuertes.

### **Temperatura de almacenamiento**

0°C Mínimo. 50°C Máximo.

### **Materiales recomendados**

Utilizar acero dulce, polietileno de alta densidad en los envases o su revestimiento.

### **Materiales inapropiados**

Evitar el PVC en los envases o en su revestimiento.

### **Otra información**

Los contenedores de polietileno no deben exponer a altas temperaturas debido al posible riesgo de deformación.

---

## 8. CONTROLES DE LA EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN PERSONAL

---

### **Límites de exposición**

No se ha establecido ninguna.

### **Controles de exposición, protección personal**

La elección del equipo de protección personal depende mucho de las condiciones locales, por ej. la exposición a otras sustancias químicas y microorganismos, riesgos térmicos (protección a las condiciones extremas de frío y calor), riesgos eléctricos, riesgos mecánicos y el adecuado grado de destreza manual requerido para el desarrollo de la actividad.

Mientras el contenido de esta sección puede informar sobre la elección del equipo de protección personal, se deben entender bien las limitaciones de la información que se puede facilitar, por ej. el equipo de protección personal elegido para proteger a los trabajadores de salpicaduras ocasionales puede ser inadecuado para actividades que requieran una inmersión total o parcial. Si los niveles de neblina de aceite o vapores en el aire es probable que excedan los límites de exposición laboral, se debe considerar el uso de ventilación local para reducir la exposición personal.

La elección del equipo de protección personal se debe hacer después de un estudio completo de los riesgos, efectuado por una persona competente y cualificada, es decir, un profesional cualificado como higienista ocupacional. La protección efectiva únicamente se consigue con el uso correcto del equipo en buen estado de mantenimiento por un personal dotado del adecuado entrenamiento. Todo el equipo de

protección personal debe ser inspeccionado regularmente y ser sustituido si está defectuoso.

### **Protección de las manos**

Los guantes con protección química están hechos de una variedad de materiales, pero no de un único material o combinación de materiales) los cuales producen una resistencia ilimitada a una sustancia o combinación de sustancias. La duración a la rotura puede verse afectada por una combinación de factores que incluyen la permeabilidad, la penetración, la degradación la forma de uso (inmersión completa, contactos ocasionales) y cómo se almacenan los guantes cuando no se usan.

Los niveles máximos de protección teórica se pueden conseguir con la práctica y el nivel real de protección es difícil de conseguir. Los guantes de nitrilo pueden ofrecer una relativa larga duración y bajos índices de permeabilidad. Los datos de ensayo, por ej. la rotura se pueden conseguir con el ensayo EN 374-3:1994 y están disponibles por los suministradores de equipos con reputación.

La higiene personal es un elemento clave para el cuidado efectivo de las manos. Después de usar los guantes se deben lavar las manos y secarlas concienzudamente. Se puede aplicar una crema sin aroma.

### **Protección de Ojos**

Si existe la posibilidad de contacto del producto con los ojos por salpicadura, se debe considerar el uso de gafas de seguridad como mínimo según la norma EN 166 345B. En áreas de trabajo u operaciones muy peligrosas se tiene que considerar una mayor protección ocular, como los trabajadores en operaciones de mecanizado de metales como torneado, rectificado o corte se puede necesitar protección adicional para evitar daños por las partículas muy rápidas o los trozos de la herramienta.

### **Protección del cuerpo**

Minimizar todo contacto con la piel. Se deben usar mandiles y zapatos con suela resistente al aceite. Lavar los monos de trabajo y la ropa interior con regularidad.

### **Controles de la exposición medioambiental**

Minimizar la emisión al medioambiente. Se debe realizar una evaluación medioambiental para asegurar el cumplimiento de la legislación medioambiental local.

---

## **9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS**

---

### **Color**

Claro, incoloro.

### **Estado físico**

Líquido a temperatura ambiente.

### **Olor**

Débil.

**Valor pH**

5 - 7.5 (10 solución acuosa).

**Presión de vapor**

< 0,075 Pa a 20°C.

**Punto de ebullición inicial**

> 300°C.

**Solubilidad en Agua**

Soluble.

**Densidad**

Aproximadamente 1070 kg/m<sup>3</sup> a 15°C.

**Punto de inflamación**

> 280°C (COC).

**Límite superior de explosión (LSE)**

Datos no disponibles.

**Límite inferior de explosión (LIE)**

Datos no disponibles.

**Temperatura de autoignición**

Se supone que sea > 320° C.

**Viscosidad cinemática**

Aproximadamente 150 mm<sup>2</sup>/s a 40°C.

**Relacion de Evaporacion**

Datos no disponibles.

**Densidad del vapor (Aire=1)**

Mayor que 1.

**Coefficiente de reparto: n-octanol/agua**

Datos no disponibles.

**Punto de congelación**

Aproximadamente -30°C.

---

## 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

---

**Estabilidad**

Estable.

**Condiciones que deben evitarse**

Temperaturas extremas y luz solar directa.

**Materiales que deben evitarse**

Agentes oxidantes fuertes.

**Productos de descomposición peligrosos**

Se supone que no se forman productos de descomposición peligrosos durante el almacenamiento normal.

---

---

## 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

### **Bases para la evaluación**

Los datos toxicológicos de este producto no han sido específicamente determinados. La información dada se basa en el conocimiento de los componentes y la toxicología de productos similares.

### **Toxicidad aguda - Ingestión**

Se supone que LD50 es > 2000 mg/kg.

### **Toxicidad aguda – Absorción cutánea**

Se supone que LD50 es > 2000 mg/kg.

### **Toxicidad Aguda - Inhalación**

Su inhalación no se considera peligrosa si se produce bajo condiciones normales de uso. Se han observado cambios pulmonares fibróticos y mortalidad en animales, después de la inhalación de aerosoles (pero no de vapores) de algunos productos con base de polialquilenglicol.

### **Irritación ocular**

Se supone que es ligeramente irritante.

### **Irritación de la piel**

Se supone que es ligeramente irritante.

### **Irritación respiratoria**

La inhalación de neblinas puede causar ligera irritación de las vías respiratorias.

### **Sensibilización de la piel.**

Se supone que no sensibiliza la piel. Contiene menos del 1% de fenotiacina. Los informes acerca de la fotosensibilización por fenotiacina son poco concluyentes.

### **Carcinogenicidad**

No se conoce que los componentes estén asociados a efectos carcinógenos.

### **Mutabilidad genética**

No se supone que sea mutagénicamente peligroso.

### **Toxicidad para la reproducción**

No se considera que sea tóxico para la reproducción.

### **Otra información**

El contacto prolongado y/o repetido con productos que contienen aceites minerales puede resultar en desgrase de la piel, sobretodo en temperaturas altas, lo que puede conducir a irritación y posiblemente dermatitis, especialmente en condiciones de mala higiene personal. Se debe minimizar el contacto con la piel. Los aceites usados pueden contener impurezas dañinas que se han acumulado durante el uso. La concentración de tales impurezas depende del uso y en la eliminación del producto pueden presentar riesgos para la salud y el medioambiente. Todo aceite usado debe manipularse con cuidado y en lo posible evitar el contacto con la piel.

---

## 12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

---

### **Bases para la evaluación**

Los datos ecotoxicológicos no han sido específicamente determinados para este producto. La información dada está basada en el conocimiento de los componentes y ecotoxicología de productos similares.

### **Movilidad**

Líquido en la mayoría de las condiciones ambientales. Se disuelve en agua. Si el producto penetra en el suelo, se desplaza y podría contaminar las aguas subterráneas.

**Persistencia / Degradabilidad**

Se supone que no es fácilmente biodegradable. Se supone que los componentes principales son inherentemente biodegradables, pero el producto tiene componentes que pueden persistir en el medioambiente.

**Bio-acumulación**

Se supone que no se bio-acumula significativamente.

**Eco-toxicidad**

Se supone que el producto es prácticamente no tóxico para los organismos acuáticos, LL/EL50 > 100 mg/l. (LL/EL50 expresado como la cantidad nominal de producto necesaria para preparar el extracto de ensayo acuoso).

**Otros efectos adversos**

No se espera que tenga capacidad para la reducción del ozono, para la generación fotoquímica de ozono, ni para el calentamiento global.

El producto es una mezcla de componentes no volátiles, que no se espera sean emitidos al aire en cantidades significativas.

---

## 13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

---

**Eliminación de los residuos**

Reciclar o desechar de acuerdo con la legislación vigente, por medio de un contratista o colector reconocido. Las competencias del contratista para manejar satisfactoriamente este tipo de productos debe establecerse de antemano. No contaminar el suelo, el agua o el medioambiente con el producto usado.

**Eliminación del producto**

Como se eliminan los desechos.

**Eliminación de los envases**

Reciclar o desechar de acuerdo con la legislación vigente, por medio de un contratista o recogedor autorizado.

**(CER) Código de eliminación de residuos de la UE**

13 02 06 Aceites sintéticos de motor, de transmisión mecánica y lubricantes.

El número asignado al desecho está asociado a una utilización apropiada. El usuario debe decidir si su utilización particular da como resultado la asignación de un código de desecho diferente.

---

## 14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

---

**Información para el transporte**

No peligroso para el transporte según los códigos UN, IMO e IATA/ICAO.

---

## 15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

---

**Simbolos CE**

Ninguno.

**Frase de riesgo EU**

No aplicable.

**Frase de seguridad EU**

No aplicable.

**Nro. EINECS**

Todos los componentes están listados o exentos de polímeros.

## **TSCA (EEUU)**

Todos los componentes están listados.

## **Etiquetado**

Ficha de Datos de Seguridad a la disposición del usuario profesional que la solicite.

---

## **16. OTRA INFORMACIÓN**

---

### **Revisiones destacadas**

No aplicable (primera emisión). Debido al nuevo sistema, se ha reiniciado el número de versión.

### **Referencias**

67/548/EEC - Directiva sobre Sustancias peligrosas.

1999/45/EC - Directiva sobre Preparados Peligrosos.

91/155/EEC - Directiva sobre Fichas de Datos de Seguridad.

98/24/EC - Protection of the Health and Safety of Workers from risks related to chemical agents at work.

86/686/EEC - Approximation of the laws of the member of states relating to personal protective equipment.

76/769/EEC - Restricciones a la comercialización y el uso.

Normas del Comité Europeo de Normalización (CEN) que dan los requerimientos específicos para los equipos de protección personal.

Código de buenas prácticas Europeo para el almacenamiento y manipulación de productos petrolíferos.

Concawe Report 01/53 - Classification and labelling of petroleum substances according to the EU dangerous substances directive.

Concawe Report 03/82 - Precautionary Advice on the Handling of Used Engine Oils

Concawe Report 01/97 - Petroleum Products - First Aid and Emergency Advice

Concawe Report 86/89 - Health Aspects of Workers Exposure to Oil Mists

Concawe Report 01/54 - Environmental Classification of Petroleum Substances - Summary Data and Rationale

EN 374-2: 1994 Guantes protectores de productos químicos y micro-organismos.

EN 149: 2001 Respiratory protective devices - filtering half masks to protect against particles - requirements, testing, marking

EN 405: 1992 Respiratory protective devices - valved filtering half masks to protect against gases or gases

and particles - requirements, testing, marking.

EN 141: 2000 Respiratory protective devices - gas filters and combined filters - requirements, testing, marking

EN 143: 2000 Respiratory protective devices - particle filters - requirements, testing, marking

EN 166: 1995 Personal eye-protection - specification.

### **Restricciones**

Este producto no se debe utilizar en otras aplicaciones que no sean las recomendadas, sin antes consultar al departamento técnico de SHELL.

### **Números de contacto técnico**

91-537.01.00.

### **Más información**

La información que contiene éste documento se basa en nuestros conocimientos actuales y su intención es

describir el producto sólo en relación con la salud, seguridad y medioambiente. Por lo tanto, no deberá interpretarse como una garantía de ninguna propiedad específica del producto.

---

**Fin de FDS**

---

## **Apéndice C**

Resultados de análisis realizados a algunas de las soluciones de polímero nuevas y usadas utilizadas en los experimentos. En el caso de las soluciones usadas se realizó una dilución adicional del 80 %.

## REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO REALIZADO A MUESTRAS DE POLÍMEROS PAG Y PVP

Los resultados presentados corresponden a pruebas realizadas en el Laboratorio de Control de Calidad de Petroderivados S.A. de C.V., de acuerdo a las normas, estándares, procedimientos y protocolos empleados en el mismo. Agradecemos el apoyo del IQM Francisco López Sosa para la realización de estos ensayos.

### METODOLOGÍA EMPLEADA PARA REALIZAR LAS PRUEBAS.

1. *Viscosidad.* Se emplea un viscosímetro de la marca Brookfield, modelo RVDVE. Se vierte una muestra de 600 mL en un recipiente metálico (usado para medir viscosidades) y con ayuda de un baño de agua con hielos se busca que la temperatura de la muestra sea de 20 °C. Una vez estabilizada la temperatura, se coloca la aguja que mide dentro del rango 0-500 cP<sup>1</sup> y ésta se introduce en la muestra. Girando a una velocidad angular de 20 rev/min, tarda 30 segundos en estabilizarse y emitir una lectura. Las pruebas se realizaron por duplicado obteniendo resultados idénticos.
2. *Gravedad específica.* Se toma una alícuota de 250 mL y se vierte en una probeta de dicha capacidad. Asegurándose de que la temperatura sea de 20 °C, se introduce lentamente un densímetro calibrado dentro del rango comprendido entre 1.000 y 1.100. Después de unos segundos que dura la estabilización del mismo, se procede a tomar la lectura.
3. *Porcentaje de sólidos disueltos.* Se pesa una muestra de entre 3 y 5 g (registrando las masas iniciales) en una charola de aluminio, y se introduce a la estufa durante 2 horas a una temperatura aproximada de 110 °C. Posterior a este tiempo, se procede a sacar las muestras y dejarlas enfriar dentro de un desecador para evitar que absorba humedad del ambiente. Se miden las masas finales y calculan los porcentajes.
4. *pH.* Se introduce tanto el electrodo como la sonda de temperatura en la muestra y se enciende el potenciómetro. Después de unos segundos de espera para que se estabilice, se registra la lectura.

<sup>1</sup> centiPoise:= 1cP=1 mPa\*s = 10 g/cm \*s

## RESULTADOS.

**Tabla D.1 Resultados de pruebas físico-químicas de viscosidad, pH y gravedad específica.**

| Muestra                | Viscosidad [cP] | pH   | Gravedad |
|------------------------|-----------------|------|----------|
| <b>PAG 14% (usado)</b> | 12.5            | 8.89 | 1.010    |
| <b>PAG 14%</b>         | 13.0            | 9.25 | 1.011    |
| <b>PVP 14%</b>         | 15.0            | 9.58 | 1.006    |
| <b>PAG 8%</b>          | 9.5             | 9.15 | 1.006    |
| <b>PVP 8%</b>          | 11.0            | 9.39 | 1.004    |

**Tabla D.2 Resultados de la cantidad de sólidos disueltos en cada muestra.**

| Muestra                | Masa inicial [g] | Masa Final [g] | % de |
|------------------------|------------------|----------------|------|
| <b>PAG 14% (usado)</b> | 3.47             | 0.1            | 2.88 |
| <b>PAG 14%</b>         | 3.58             | 0.13           | 3.63 |
| <b>PVP 14%</b>         | 4.63             | 0.1            | 2.16 |
| <b>PAG 8%</b>          | 3.73             | 0.03           | 0.8  |
| <b>PVP 8%</b>          | 2.96             | 0.04           | 1.35 |