

Diseño de un sistema de supervisión para proceso químico con líquidos inmiscibles y tratamiento de imágenes para detección de estados.

Sergio Real Zaragoza

Trabajo de Fin de Grado – Ingeniería Electrónica Industrial y Automática – ULPGC

Tutores: José María Cabrera Peña, Juan Ortega Saavedra



La solubilidad entre líquidos es fundamental en sectores como la industria química, farmacéutica, cosmética o medioambiental.

El método tradicional para detectar el punto de solubilidad se basa en la observación visual, lo que introduce errores, variabilidad entre operadores y falta de reproducibilidad.

Este proyecto propone un **sistema automático de supervisión mediante visión artificial**, desarrollado íntegramente en MATLAB, que permite **identificar los cambios de fase** de forma precisa, objetiva y sin intervención humana directa, combinando técnicas de análisis de imagen con aprendizaje profundo.

RESULTADOS

Se ha validado el sistema con la mezcla **metanol-ciclohexano**, ampliamente utilizada en la literatura. Los resultados muestran una alta concordancia con valores experimentales publicados.

- **Error medio absoluto (MAE):** 1,61 K
 - **Error cuadrático medio (RMSE):** 1,75 K
 - **Error porcentual medio (MAPE):** 0,53 %
 - **Precisión de clasificación de la red neuronal (ResNet-50):** 96,7 %
- Se confirma así la capacidad del sistema para detectar el punto de miscibilidad con precisión y consistencia.

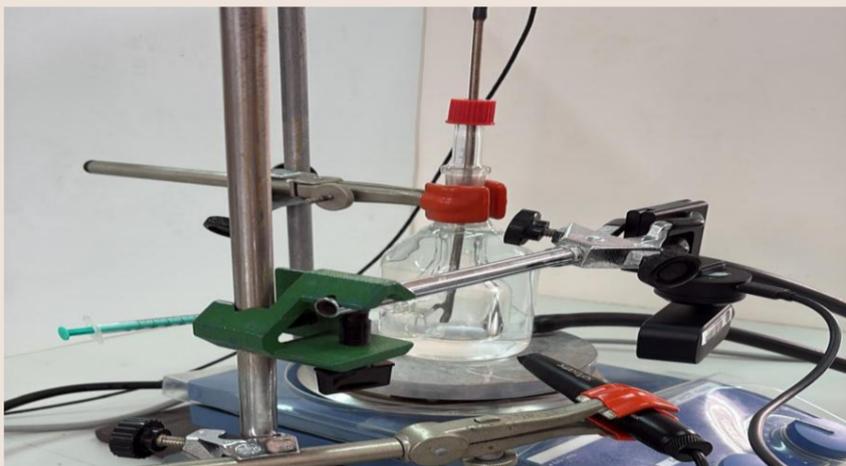


Figura 1. Montaje del sistema.

METODOLOGÍA

El sistema desarrollado integra hardware de laboratorio y análisis computacional:

- **Celda de equilibrio líquido-líquido** con camisa térmica para mantener condiciones controladas.
- **Baño termostático PolyScience**, regulado desde **MATLAB**, que ajusta con precisión la temperatura.
- **Sensor de temperatura YOCTOPUCE**, encargado de tomar la temperatura en el interior de la celda.
- **Cámara 4K USB (Insta360 Link 2)**, con iluminación LED y fondo opaco, optimizada para garantizar imágenes uniformes y libres de reflejos.
- **Agitador magnético con control digital vía Arduino.**

MATLAB gestiona todo el proceso de adquisición y análisis. Se aplica un modelo sigmoideal sobre la intensidad de píxel para detectar la transición de fases.

Además, se entrena una red neuronal convolucional ResNet-50, que clasifica el estado de solubilidad a partir de imágenes, mejorando la robustez frente a ruido e iluminación variable.

El sistema inicia con el control automatizado de la temperatura a través del baño termostático PolyScience, el cual calienta o enfría el agua que circula por la camisa térmica de la celda de equilibrio. La temperatura interna se mide en tiempo real mediante un sensor YOCTOPUCE, conectado a MATLAB para registrar los datos térmicos.

A lo largo del proceso, una cámara 4K (Insta360 Link 2), correctamente posicionada y calibrada, captura imágenes de la celda en intervalos definidos. Estas imágenes se almacenan para su análisis posterior.

El análisis se realiza en MATLAB mediante dos enfoques:

Un **método clásico**, que aplica un ajuste sigmoideal sobre la intensidad del canal azul de la imagen para identificar cambios ópticos asociados a la transición de miscibilidad.

Un **modelo de red neuronal convolucional (ResNet-50)**, previamente entrenado con imágenes etiquetadas, que clasifica cada captura como una fase o dos fases.

A través de cada punto obtenido (figura 2) a determinada concentración de líquidos, se obtiene la curva de solubilidad de dicha mezcla (figura 3).

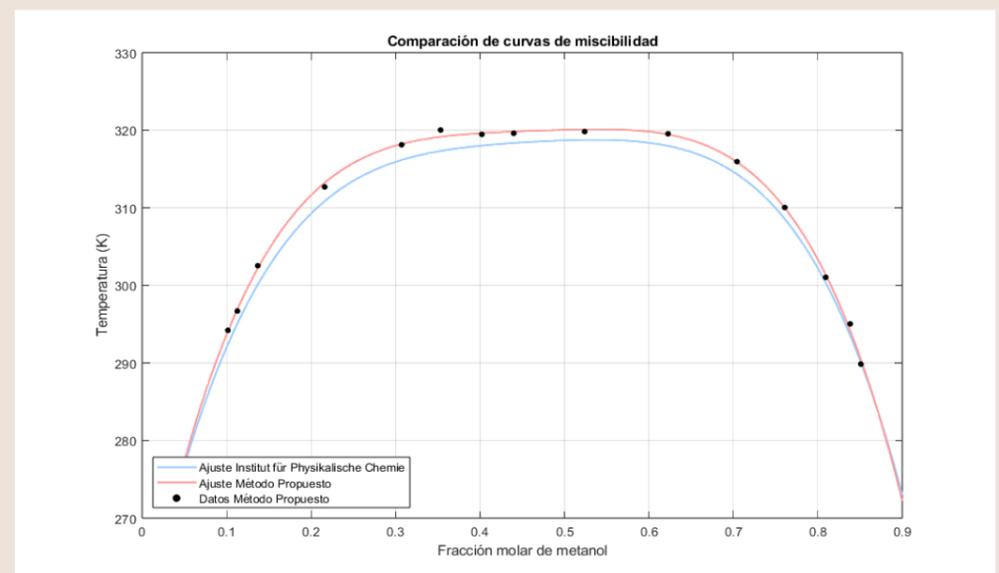


Figura 3. Curva modelada obtenida (rojo), frente a literatura (azul). Se observa la gran concordancia de los valores obtenidos con los valores de referencia.

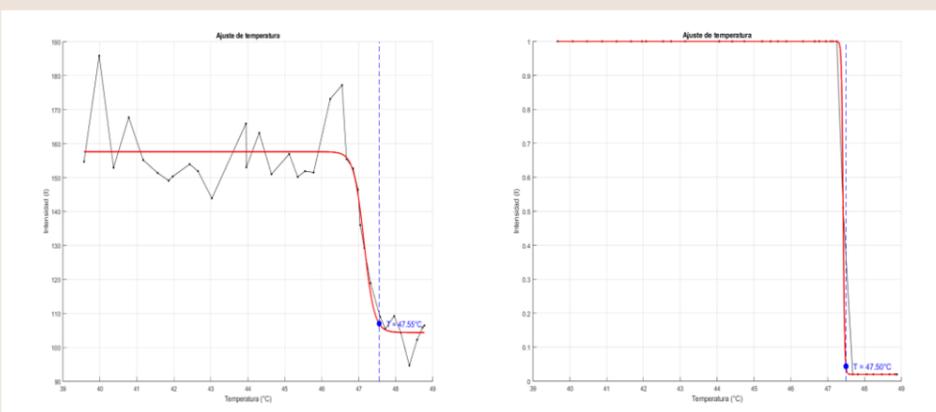


Figura 2. Gráfica de obtención de punto de miscibilidad. Mediante análisis de intensidad y mediante red neuronal.

CONCLUSIONES

- **Sistema automático y operativo**, con alta fiabilidad.
- Sustituye la observación subjetiva por una **herramienta objetiva y reproducible**.
- La **interfaz gráfica desarrollada en MATLAB** permite su uso en entornos docentes o experimentales sin necesidad de conocimientos avanzados.
- El uso de redes neuronales amplía la capacidad de análisis y abre la puerta a clasificaciones más complejas.
- **Validación con datos reales** muestra una **excelente precisión y baja desviación** respecto a la literatura.