

Monitorización digital de la limpieza de superficies

F. Vicente^{*1}, J.J. García-Jareño¹, J. Agrisuelas¹, F. Lorenzo², C. López²

¹Universidad de Valencia, Departamento de Química Física. C/ Vicente Andrés Estellés, 19, 46100-Burjassot, València. *francisco.vicente@uv.es

²Christeyns España, C. Científica Margarita Salas Falgueras, 2, Ador, 46729, Valencia, España.

Este trabajo presenta un procedimiento avanzado para el estudio y optimización de la limpieza de superficies metálicas mediante la monitorización con vídeo digital y el análisis de imágenes en tiempo real. El sistema experimental utiliza cupones de acero inoxidable recubiertas con capas residuales de alimentos sumergidas en soluciones de limpieza, capturando la evolución del proceso a través de una cámara de vídeo USB sincronizada. Como parámetro cinético fun-

damental, se define la duración de la limpieza a partir de la evolución temporal de las intensidades medias de color, canales RGB y su varianza. La intensidad media proporciona el nivel de recubrimiento de la superficie, mientras que la varianza actúa como indicador de la homogeneidad; un máximo en la varianza corresponde al punto en que aproximadamente la mitad de la superficie ha sido limpiada.

A partir de los resultados obtenidos bajo distintas condiciones térmicas, se proponen modelos teóricos que permiten estimar las energías de activación aparentes del proceso. Adicionalmente, esta metodología permite la creación de mapas 3D de velocidad de limpieza, facilitando una caracterización de los mecanismos fisicoquímicos implicados y para la optimización de procedimientos industriales.

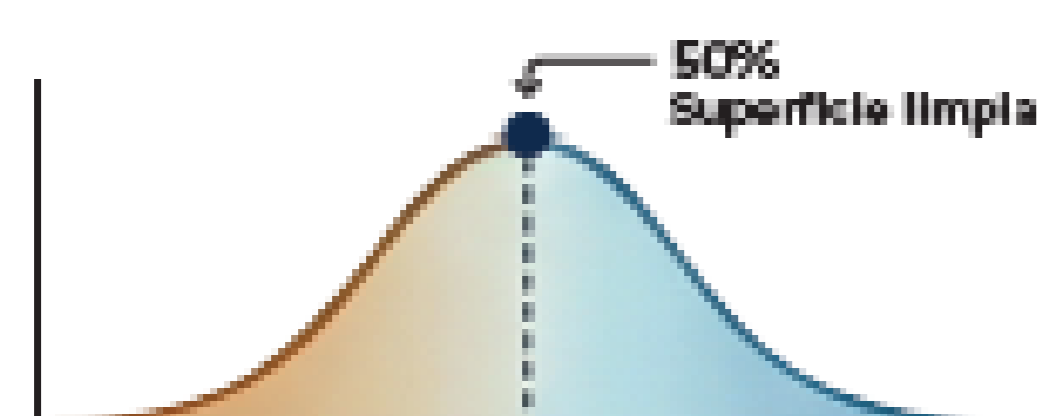


PARÁMETROS ESTADÍSTICOS DE CONTROL



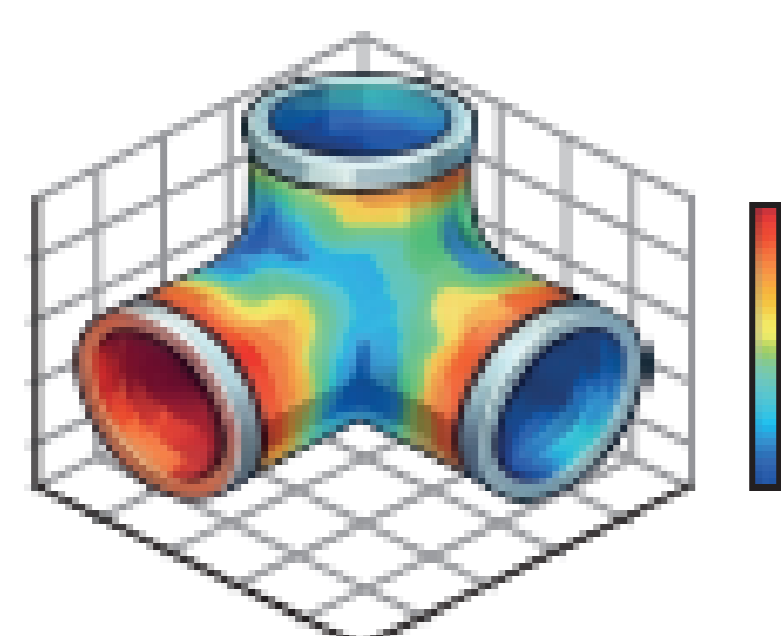
Intensidad Media del Color (I)

Cuantifica con precisión la cantidad de residuo que permanece sobre la superficie metálica.



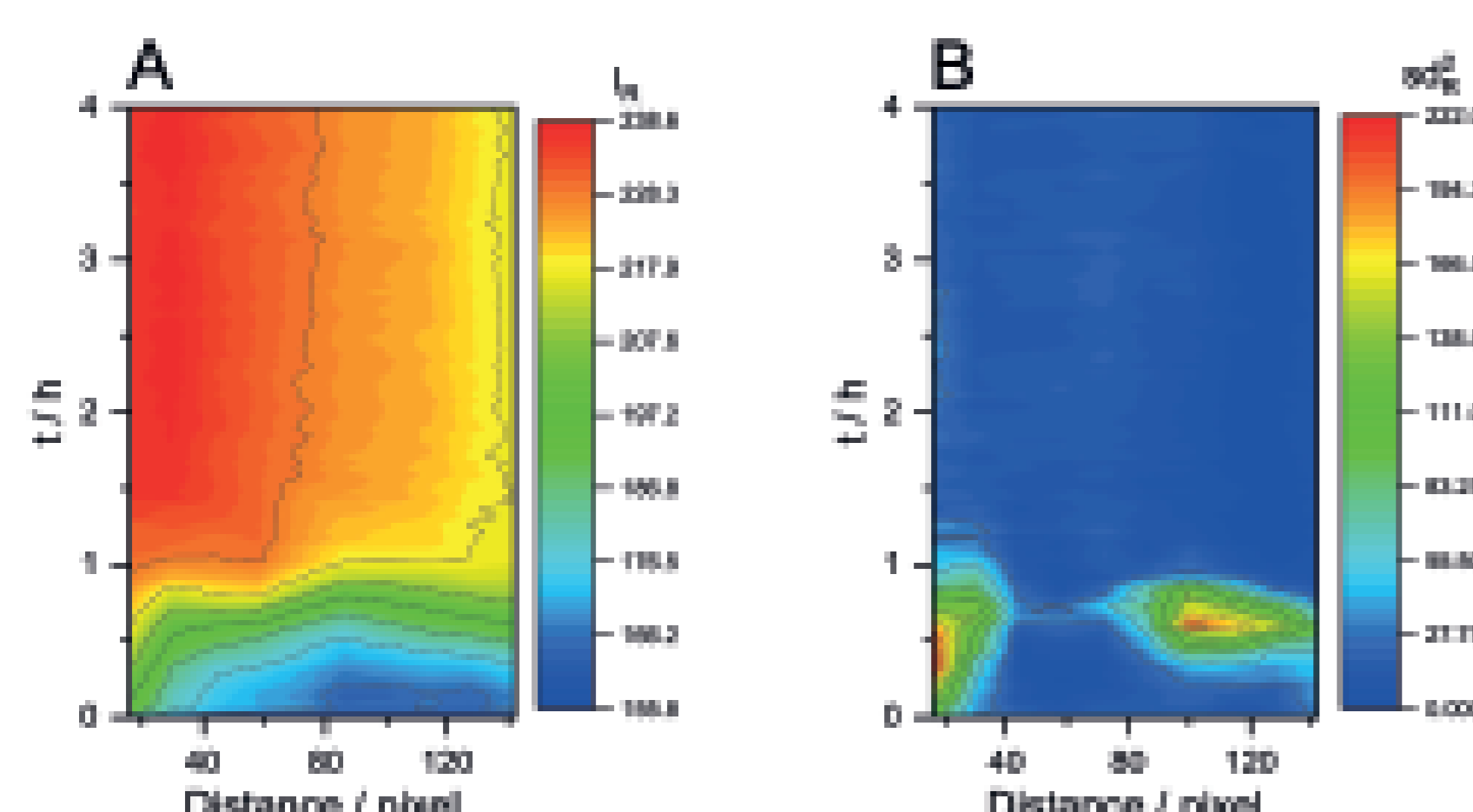
Varianza de la Intensidad (sd²)

Indica la homogeneidad; su punto máximo marca que el 50% de la superficie está limpia.



Análisis Espaciotemporal 3D

Permite identificar qué zonas de una pieza se limpian más rápido que otras.



Gráficos tridimensionales de la intensidad media del color y la varianza en función del tiempo y la distancia en píxeles desde la parte superior de la placa de acero con vibración mecánica (3 % p/p de Mida Foam 174 UW, 20 °C y vibración a 11 000 rpm).

EFFECTO DE VIBRACIÓN Y TEMPERATURA

(Residuos Orgánicos, Detergente 1% p/p)

Se analizan dos casos prácticos que demuestran la importancia de la acción mecánica en la limpieza:

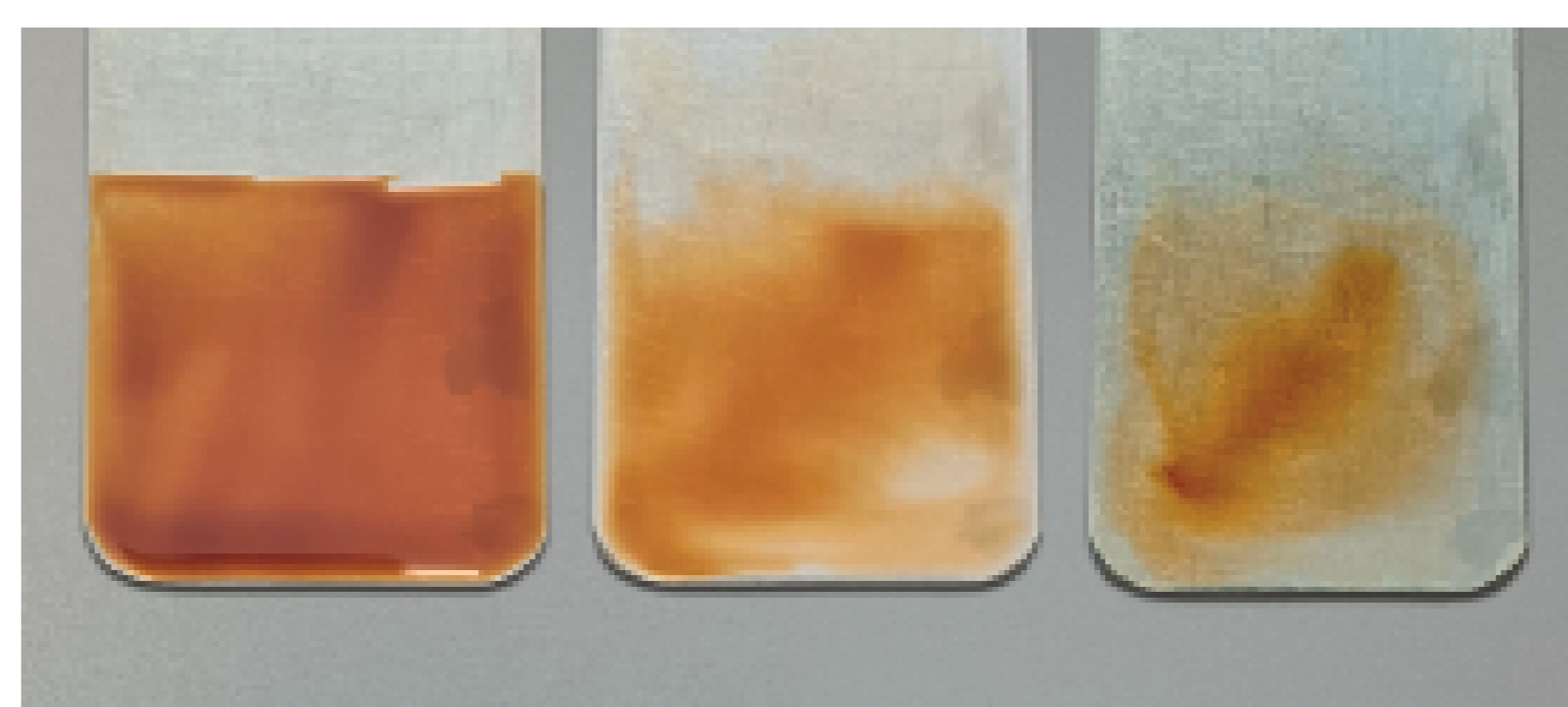
Condiciones	Tiempo Final (t _{end})
20°C (293 K) Sin vibración	> 24 horas
20°C (293 K) Con vibración	2030 segundos
40°C (313 K) Sin vibración	4000 segundos
40°C (313 K) Con vibración	1040 segundos

1. Limpieza sin vibración: Los resultados muestran que, tras 24 horas, solo se produce un ataque químico sin desprendimiento efectivo de la capa de suciedad.

2. Limpieza con vibración: La aplicación de acción mecánica reduce significativamente los tiempos de limpieza, logrando resultados óptimos en tan solo 0.3 horas en condiciones de concentración al 1% p/p.

En ambos casos, el efecto de la temperatura provoca un descenso en los tiempos de limpieza. El aumento de la concentración permite duplicar la velocidad de eliminación de residuos grasos.

DISOLUCIÓN VS. DESPRENDIMIENTO



Disolución

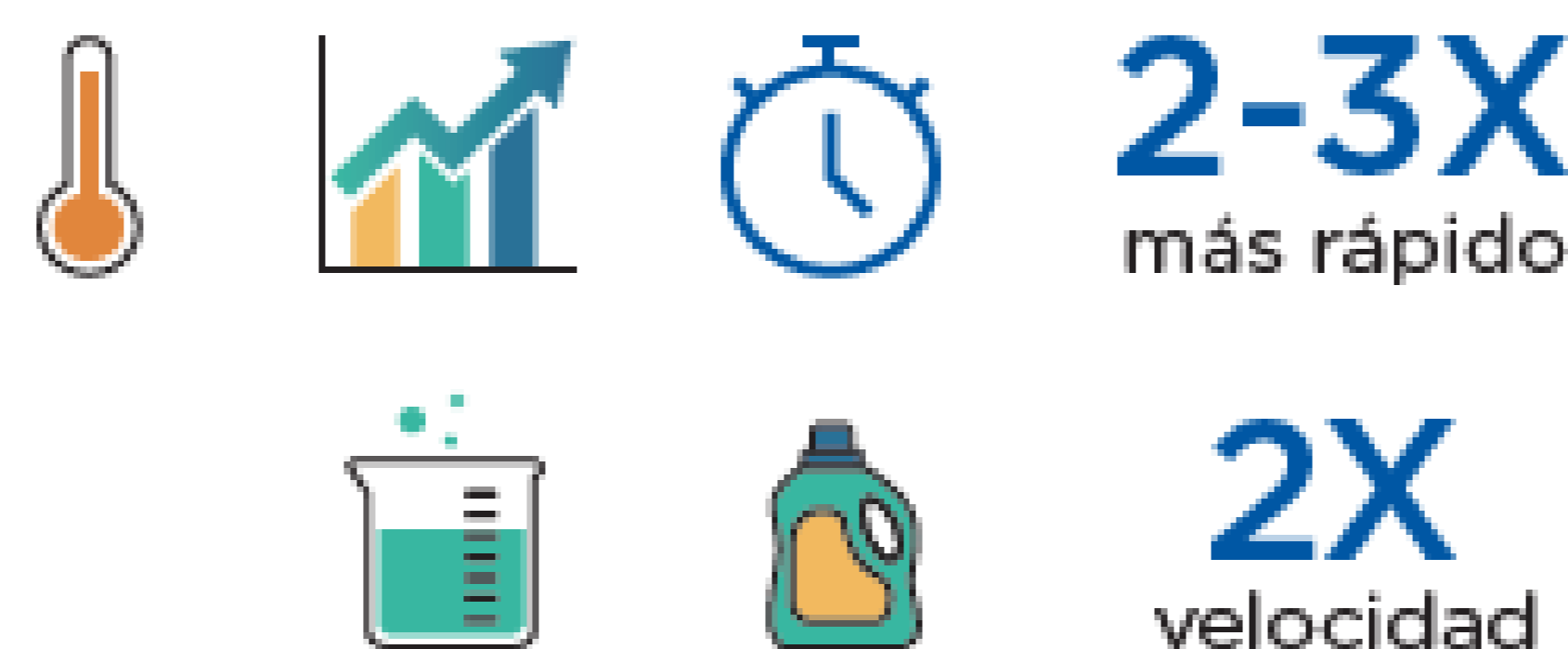
La disolución elimina capas progresivamente.



Desprendimiento ("peeling")

Elimina fragmentos mediante acción mecánica.

MODELOS DE LIMPIEZA Y OPTIMIZACIÓN



Impacto de la temperatura
Aumentar de 20°C a 40°C reduce el tiempo de limpieza entre 2 y 3 veces.

Efecto de la concentración
Triplicar la dosis del detergente puede duplicar la velocidad de eliminación de residuos grasos.

Referencias: J.J. Garcia-Jareno, J. Agrisuelas, C. Lopez, F. Lorenzo, F. Vicente, Monitorization of Cleaning Processes from Digital Video Spatiotemporal Analysis: Cleaning Kinetics from Characteristic Times, Appl. Sci.-Basel 15 (2025) 3745. <https://doi.org/10.3390/app15073745>.

Agradecimientos:

Proyecto Universitat de València UV-INV-AE-3674291. C. López agradece a la Agencia Valenciana de Innovación la ayuda para realizar la tesis doctoral en empresa Christeyns España