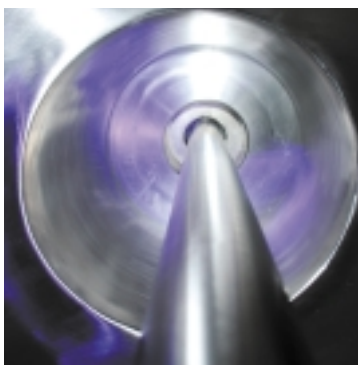


DE

DISEÑO DE EQUIPOS

Mejora de reactores gas-líquido usando nuevas tecnologías de agitación

Se exponen tres ejemplos (biorreactor, planta de hidrogenación, reactor de gran tamaño) donde la mejora de un reactor gas-líquido en una planta existente se podría llevar a cabo con una simple sustitución del agitador, por uno nuevo basado en las nuevas tecnologías



D. Houlton
Dr. T. Grebe
Dpto. I+D
B. Kastner
Dpto. Ingeniería
EKATO Ruehr- und
Mischtechnik GmbH.

ESTOS ÚLTIMOS AÑOS, el funcionamiento de los reactores gas-líquido ha sido significativamente mejorado debido a los avances en la tecnología de agitación. Muchas veces, simplemente con sustituir un mezclador existente, con una inversión modesta, se puede tener un gran impacto en la productividad de una planta. Los proyectos de nuevas plantas deberían incluir siempre un estudio en la tecnología de agitación óptima disponible en cada momento.

En este artículo exponemos tres ejemplos donde la mejora de un reactor y la confianza en su diseño podría ser llevado a cabo usando las últimas tecnologías en agitación y técnicas de diseño.

1. Biorreactores

Los líquidos más viscosos sufren una transferencia de masa más pobre debido a la dificultad de difusión del oxígeno del aire a través de la película líquida alrededor de las burbujas de aire. Sin embargo, en muchos biorreactores esto es debido a antiguos diseños de las palas, que generan turbulencias y modelos de flujo no uniformes en el biorreactor (Fig. 1). El fluido cercano a las paredes del recipiente apenas puede moverse. Además, el flujo de mezcla radial generado por muchas palas, como las turbinas Rushton, pueden producir serias heterogeneidades entre la parte superior e inferior a escala industrial, lo que puede no ocurrir a escala laboratorio o piloto. El efecto de este problema puede ser que los agentes biológicos experimenten condiciones perceptiblemente diversas (temperatura, oxígeno, pH y concentraciones del sustrato) en diversas regiones del biorreactor, afectando a la calidad del producto e incluso a pérdidas de hornadas.

La Figura 2 es un CFD que ilustra el gran movimiento radial y axial que se produce combinando palas de nuevo diseño. La Figura 3 es una fotografía de un agitador industrial utilizado en biorreactores.

Las nuevas palas tienen características de funcionamiento muy estables comparadas a las palas tradicionales, como se puede ver en la Figura 4. Hay que destacar, por ejemplo, que a igual potencia introducida, las palas de nuevo diseño generan fundamentalmente una turbulencia más alta (número de Reynolds). Este efecto puede ser un au-

mento en transferencia de masa total y en la productividad de hasta cerca del 20%, así como un producto de una mejor calidad.

2. Mejora de una planta de hidrogenación

La hidrogenación de compuestos orgánicos implica a menudo una reacción trifásica en la cual el hidrógeno gas debe ser absorbido en un líquido orgánico, a la vez que un catalizador en fase sólida debe mantenerse en suspensión. El reactivo orgánico y el hidrógeno reaccionan cuando se encuentran en un sitio activo en el catalizador. La Figura 5 muestra este proceso esquemáticamente, e ilustra el paso limitador, el cual, debido al relativo gran tamaño de las burbujas de hidrógeno, es usualmente la transferencia de masa del hidrógeno en el líquido (así, incrementando la transferencia de masa del hidrógeno en la fase líquida, se incrementa normalmente la velocidad de la reacción).

Los reactores tradicionales de hidrogenación (Fig. 6, izquierda) se instalan con un anillo de dispersión de gas cerca de la base y con una pala inmediatamente por encima de él para dispersar el gas. El caudal de

Figura 3
Diseño avanzado de un agitador industrial para biorreactores



entrada de hidrógeno al reactor está esencialmente gobernado por la velocidad de transferencia de masa y de la reacción. El gas que no reacciona alcanza la superficie líquida y se desplaza al espacio superior del reactor. Cuando la presión de este espacio superior es igual que la presión de entrada, la alimentación se para hasta que el hidrógeno del espacio superior se ha reabsorbido en el líquido y ha reaccionado. Normalmente se coloca una pala cerca de la superficie líquida para generar turbulencia y realzar esta reabsorción. Sin embargo, este “salpicado superficial” que se produce es inefi-

caz y puede limitar seriamente la velocidad de reacción.

Para mejorar la reabsorción, algunas plantas utilizan un compresor de hidrógeno para recircular el hidrógeno del espacio superior de nuevo al fondo del reactor (Fig. 6, tercer ejemplo por la izquierda). Sin embargo, los compresores son costosos y requirieren normalmente unos cuidados en la limpieza de la fase gas para evitar daños en el mismo. Otra alternativa es bombear el líquido del fondo del recipiente y utilizar un eductor para arrastrar el hidrógeno del espacio superior (Fig. 6, segundo ejemplo por la izquierda). Esta solución requiere varios equipos adicionales para mejorar el funcionamiento del reactor. La solución que propone Ekato consiste simplemente en reemplazar el agitador existente (Fig. 6, derecha); esta solución puede ser adaptada fácilmente a muchos reactores.

El sistema propuesto utiliza una pala de nuevo diseño, que reintroduce ella misma el gas del espacio superior, ya que actúa como una turbina interna, recirculando el gas en el líquido mediante un eje hueco. Como el gas entra en el líquido en

Figura 1
Potenciales problemas de un inadecuado diseño en una pala tradicional

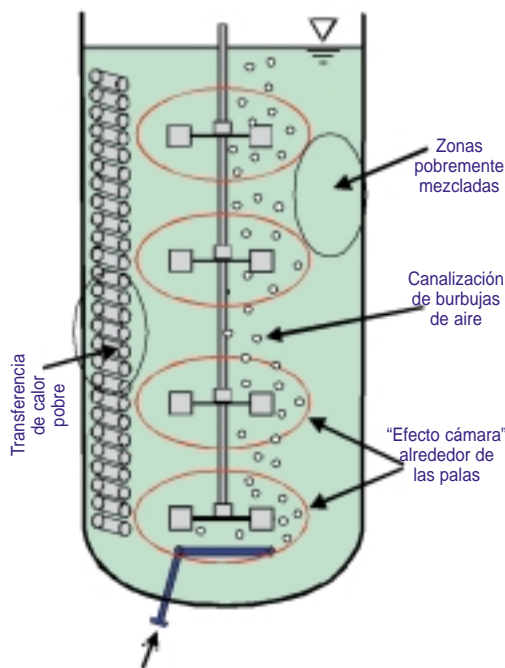
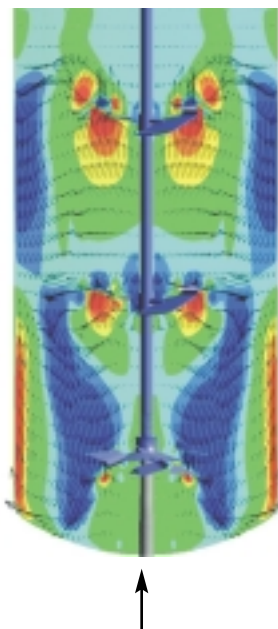


Figura 2
CFD de una mezcla intensiva axil y radial combinando palas PhaseJets y CombiJets



**SIMPLEMENTE
CON SUSTITUIR
UN MEZCLADOR
EXISTENTE SE PUEDE
TENER UN GRAN
IMPACTO EN
LA PRODUCTIVIDAD
DE UNA PLANTA**

Figura 4
Efecto de flujo de aireación con palas PJ y CJ comparado con las turbinas Rushton

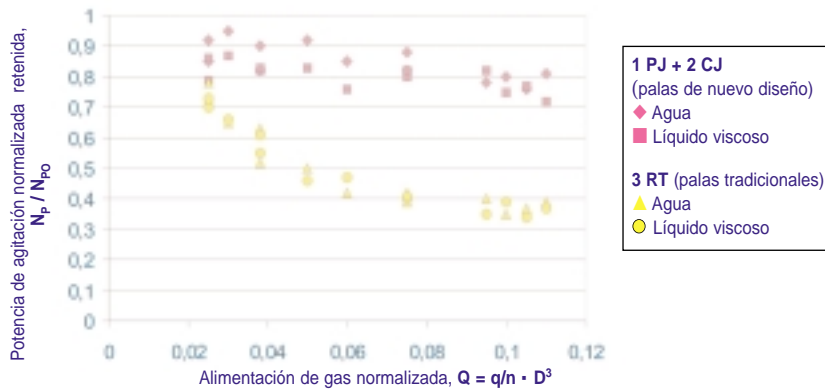


Figura 5
Mecanismos de transporte en una hidrogenación

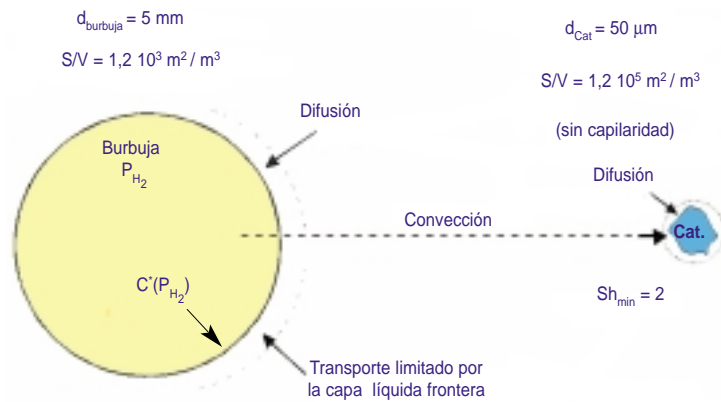
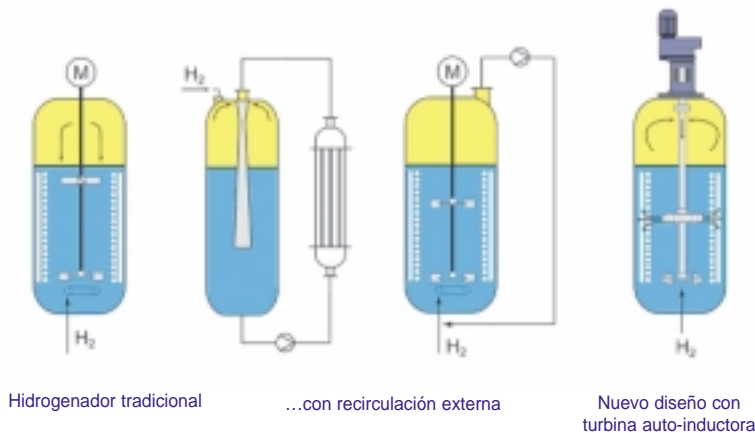


Figura 6
Alternativas para mejorar la reabsorción en los reactores de hidrogenación



la pala principal, éste experimenta una agitación muy intensa, que realiza la transferencia de masa local. Como se puede ver en la Figura 7, el funcionamiento total de la transferencia de masa mediante el sistema está en el nivel más alto de funcionamiento alcanzado, incluso más que otros sistemas externos mucho más complejos de recirculación.

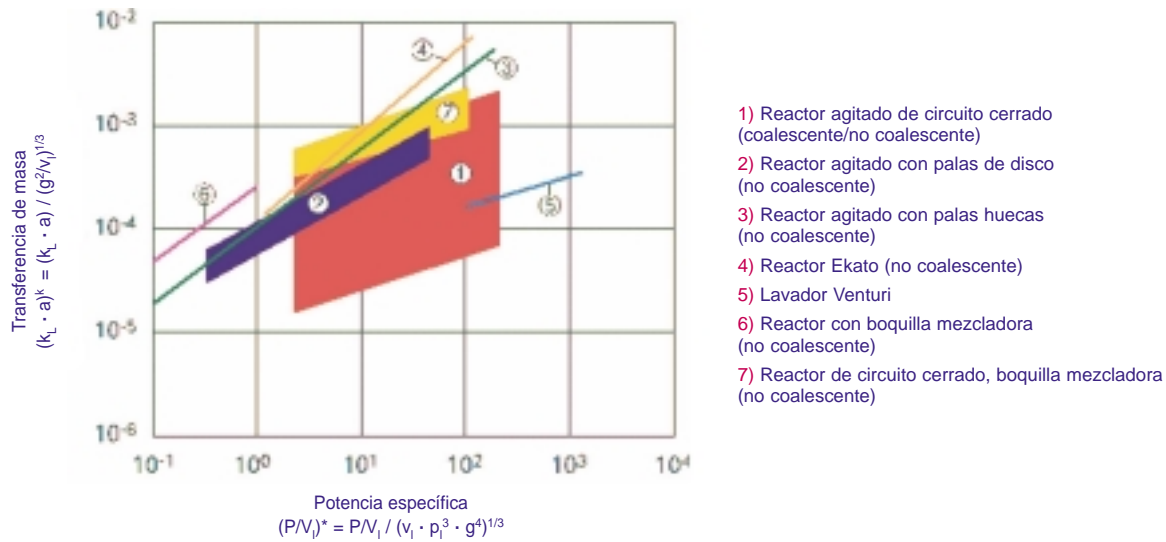
3. Reactores gas-líquido de gran tamaño

Durante los últimos 50 años, y debido a los grandes movimientos económicos, los tamaños de los reactores de producción a escala mundial se han incrementado de unas cuantas decenas de metros cúbicos a cientos de metros cúbicos. Desde un punto de vista tecnológico de la agitación, esto puede dar lugar a ciertos riesgos mecánicos, debido principalmente al enorme incremento en las potencias y en los esfuerzos en el depósito, y en las fuerzas estáticas y dinámicas, así como la resonancia, puesto que las frecuencias naturales del depósito y de los elementos internos pueden estar cerca de la de velocidad del agitador o de la frecuencia de paso de la pala.

Al mismo tiempo, los costes principales de los equipos de planta se han elevado; ambos debido al material adicional requerido para depósitos más grandes, y debido al coste de metales "más nobles". Por lo tanto, el diseño mecánico del reactor y de los elementos internos del depósito ha llegado a ser económicamente significativo. Los depósitos a presión se diseñan tradicionalmente en base a la presión y de la temperatura de diseño requeridas. Ekato utiliza cada vez más técnicas sofisticadas, tales como el análisis finito del elemento (FEA) para determinar y optimizar los diseños del equipo. FEA puede ayudar a reducir al mínimo el sobredimensionamiento innecesario (y, por lo tanto, costes) y a identificar las áreas que podrían dar lugar a problemas, así como a ayudar en las mejoras de diseño que aseguran operaciones con total seguridad y reducen al mínimo el riesgo de problemas de operación o reducen la vida de servicio.

La evaluación detallada del diseño que hace posible FEA se ilustra en la Figura 8 con el ejemplo de un reactor gas-líquido de gran tamaño, con todas las partes en contacto con

Figura 7
Comparativa de transferencia de masa de varios sistemas (normalizado)



el producto fabricadas en material de gran valor, y en el cual se instaló un agitador con una potencia de más de 1 MW. El eje era muy largo, con una hélice muy pesada de cuatro palas en su extremo inferior. Se creó un modelo FEA del recipiente

y del mezclador para permitir la optimización del diseño. El modelo usa cerca de 12.000 elementos y 13.000 nodos.

Se realizó un cálculo de tensión/flexión y un análisis modal para calcular el impacto de las grandes

fuerzas hidráulicas (y de la considerable masa del propio mezclador) en la estructura del recipiente y localizar cualquier problema potencial de vibración. El análisis modal reveló una frecuencia natural del recipiente de 4,9 Hz perpendicular a

Advanced Process Solutions

LEADING WORLDWIDE IN MIXING TECHNOLOGIES

EKATO GROUP ofrece la más avanzada y experimentada Tecnología de Mezcla de un líder a nivel Mundial, en un rango muy amplio de aplicaciones y tamaños.



EKATO FLUID, Agitadores para aplicaciones industriales en Química, Petroquímica, Bio-combustibles, Cosmética, Farmacéutica, etc...



EKATO RMT, Agitadores y Reactores de gran tamaño para los procesos más exigentes, como Polimerización, Cristalización, Fermentación, FGD, etc...



EKATO SOLIDMIX, Unidades completas para el procesado de Sólidos (mezcla, secado, granulación).



EKATO UNIMIX, Mezcla y Homogeneización de Semisólidos (geles, cremas, pasta dientes, etc...).



EKATO ESD, Sellos mecánicos y componentes auxiliares.

Figura 8
Modelos de elementos finitos de un reactor gas-líquido

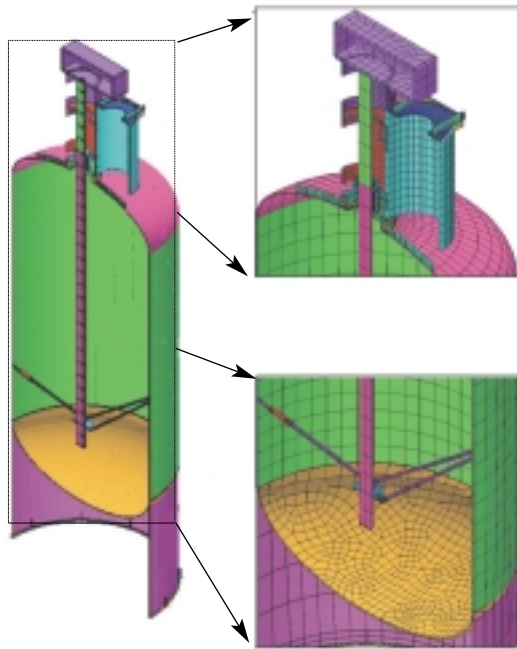
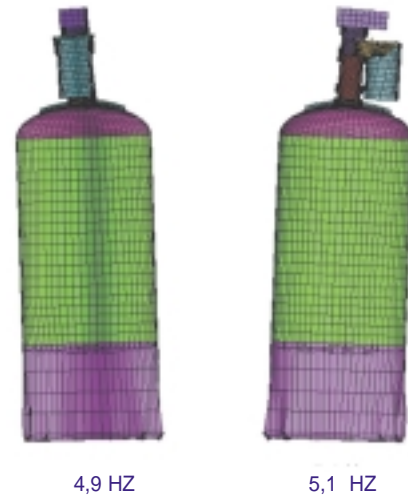


Figura 9
Frecuencia natural calculada de un depósito-reactor



la línea central del mezclador y una frecuencia de 5,1 Hz en la dirección de impulsión del mezclador (Fig. 9). No había, por lo tanto, peligro de resonancia con la velocidad mucho más baja del eje o con la de la frecuencia de paso de la pala.

Después de que el reactor hubiera sido puesto en servicio, se realizaron medidas de vibración para validar los cálculos realizados mediante FEA. Los sensores de la aceleración montados en la linterna del mezclador fueron utilizados para trazar un diagrama de aceleración-tiempo (el diagrama superior de la Fig. 10).

De las medidas de aceleración-tiempo, las vibraciones “normales”, con lecturas de $\pm 0,05 \cdot g$ (g = aceleración de la gravedad), y fuentes “raras” de baja frecuencia, con aceleraciones hasta $0,15 \cdot g$, fueron observadas. Usando análisis de frecuencia, más dos integraciones sucesivas, las señales de aceleración fueron convertidas a un espectro de desviación-frecuencia (diagrama de la Fig. 10). En este diagrama, se observa un pico en la frecuencia rotatoria del eje y otra aproximadamente 4 veces la velocidad de rotación (la frecuencia de paso de la pala); esta frecuencia es, sin embargo, claramente menos do-

Figura 10
Medida de vibraciones en depósito-reactor, después de la puesta en marcha

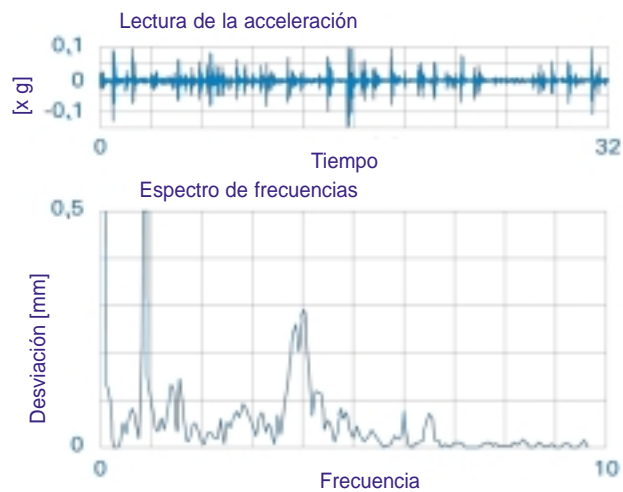


TABLA 1

COMPARACIÓN DE MEDICIONES CON MODELO FEA

Punto de medida	Dirección w.r.t. conducción	Frecuencias naturales [Hz]	
		Medido	Modelo FEA
Depósito	Transversal	5,1	4,9
	Longitudinal	5,3	5,1
Eje	Transversal	6,2	6,2
	Longitudinal	6,4	6,4

minante. Había también algunos picos debidos a las excitaciones “raras” en $<0,1$ Hz y también algunos picos debidos “al condensado instantáneo” (problemas cuando el vapor entra en una tubería fría, y parte de éste se condensa instantáneamente, lo que puede producir un vacío repentino).

Después, el eje del agitador y el reactor fueron excitados por medio de choques pulsantes para medir otras frecuencias naturales. Los resultados para el recipiente eran casi idénticos a los predichos por el cálculo mediante FEA, y en el eje eran idénticos al cálculo FEA (Tabla 1).

Se demostró que FEA proporcionaba resultados fiables para el análisis del estrés y la optimización del diseño, así como para análisis modal. Esto puede ayudar a reducir costes en equipos importantes y caros,

así como a asegurar que los efectos dinámicos y vibratorios no conducirán a la fatiga excesiva o al daño catastrófico. Sin embargo, FEA requiere experiencia significativa de parte del ingeniero que crea el modelo, tanto a la hora de realizar los cálculos, como a la hora de interpretar los datos obtenidos. Los resultados se deben validar siempre con medidas experimentales.

4. Conclusiones

Las mejoras de funcionamiento y diseño tecnológico en agitadores implican que la mejora de procesos en plantas existentes puede lograrse con una simple sustitución del agitador por uno nuevo basado en la última tecnología. Concretamente, el funcionamiento de los reactores gas-

líquido puede ser mejorado significativamente. Usando datos de ensayos experimentales y de la extensa base de datos disponible, los programas de diseño y las capacidades de FEA, es posible diseñar la planta económicamente optimizada, mejorando la vida operacional de la misma. Esto puede tener un gran impacto en la productividad de la planta, para una inversión relativamente modesta.

Estas técnicas también aseguran un alto rendimiento y diseños rentables para los nuevos reactores de “escala mundial”. Otros desarrollos no comentados en este artículo, como mejoras en la “tecnología de sellado” y en mantenimiento, pueden aumentar los beneficios obtenidos de la renovación de los reactores existentes.



No importa cuánto se escondan

En HotFrog podrá encontrar los mejores profesionales y empresas.

Búsquelos en el directorio online de empresas con mayor potencial.

www.hotfrog.es