

ESTUDIO NUMÉRICO DE LA GENERACIÓN DE CAVITACIÓN EN PINZAS DE CAMARÓN

MARTÍN SALINAS VÁZQUEZ
Y FRANCISCO GODÍNEZ ROJANO

El Dr. Francisco Godínez, investigador de Instituto de Ingeniería en la UNITA-UNAM Nuevo León (Unidad de Investigación y Tecnología Aplicadas), desarrolló un sistema experimental (Fig. 1) para estudiar el fenómeno de cavitación que sucede en las pinzas de los camarones y poder emplearlo en aplicaciones prácticas, como en la purificación de agua y añejamiento de bebidas espirituosas (*e. g.* tequila)."

El camarón pistola es un crustáceo que conforma la familia *Alpheidae* que se caracteriza por ser pequeño, alrededor de 5 cm, con una gran pinza frontal que puede medir más de la mitad de su tamaño total. A diferencia de otros crustáceos que utilizan sus pinzas para atrapar a su presa, esta familia de camarones la utiliza para generar burbujas de vapor de agua, las cuales, se originan gracias a la forma y al cierre de sus pinzas en milésimas de segundo.

Al cerrar tan rápido la pinza, crea una sobrepresión dentro de ella que genera un chorro de agua a gran velocidad, varias decenas de metros por segundo. Esta eyección de agua produce presiones por debajo de la presión de saturación a la temperatura del medio, lo que permite que parte de esta agua se vaporice por un instante. Estas burbujas de vapor de agua al llegar a zonas de mayor presión, se contraen, disminuyendo su volumen varias centenas o miles de veces en milésimas de segundo, implosión que va a generar una onda de choque, es decir, una zona de muy alta presión que viaja a la velocidad del sonido. Alrededor de esta onda de choque se genera ruido perceptible al oído humano que tal vez les sirva; por un lado, como medio de comunicación con sus congéneres, por el otro, para aturdir, incluso, matar a una presunta presa que se encuentre lo suficientemente cerca.

En este prototipo con una geometría diseñada por el Dr. Godínez, se pudo analizar experimentalmente su funcionamiento comparándolo con el observado en los camarones. Este estudio experimental se realizó a partir de la utilización de una cámara rápida que permite grabar miles de fotos por segundo y de la medición de la velocidad en el flujo por medio de la velocimetría láser (*Particle Image Velocimetry*, PIV).

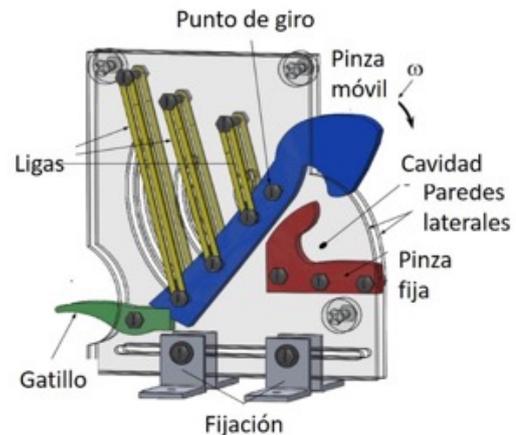


Figura 1. Boceto del modelo físico

En este estudio experimental colaboraron el Dr. Enrique Guzmán de la CIPIA y los doctores Rogelio Valdés y Carlos Palacios de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

En el Área de Dinámica de Fluidos Computacional de la CIPIA, se desarrolló un código propio para profundizar en este estudio, modelando cuerpos inmersos fijos y en movimiento, cavitación, flujos bifásicos (líquido-gas), entre otros. Los cálculos numéricos se realizaron en el servidor Tonatiuh del Instituto de Ingeniería, donde se pudo mejorar la eficiencia del cálculo a partir de la posibilidad de la paralelización del código con herramientas para computadoras multiprocesador con memoria compartida. Cabe mencionar que todo este proceso fue apoyado en gran medida por el Ing. Fernando Maldonado, encargado del servidor Tonatiuh,

El proceso de modelado numérico inició con la transferencia de la geometría de la pinza (Fig. 1) a la malla computacional. Esto se realizó al dibujarla a partir de polinomios de alto orden. Con la variable *level set* que frecuentemente se utiliza en el estudio de flujos multifásicos, es posible diferenciar la zona del sólido (valores negativos) de donde se encuentra el fluido (valores positivos), quedando la frontera del cuerpo donde la variable es nula. El movimiento de la pinza superior se realizó girando la malla computacional, en este caso en el eje de la z. Se dibuja la geometría y se regresa la malla a la posición original. Esto permite su movimiento con una sola geometría de la pinza creada con los polinomios. Con este método se agilizó de forma importante la obtención de resultados.

El movimiento total de la pinza dura 9 ms, el reto más importante de esta investigación fue que ambos trabajos, experimental y numérico, se sincronizaran. Para comprobar la sincronización y el correcto modelado del fenómeno se validó la parte

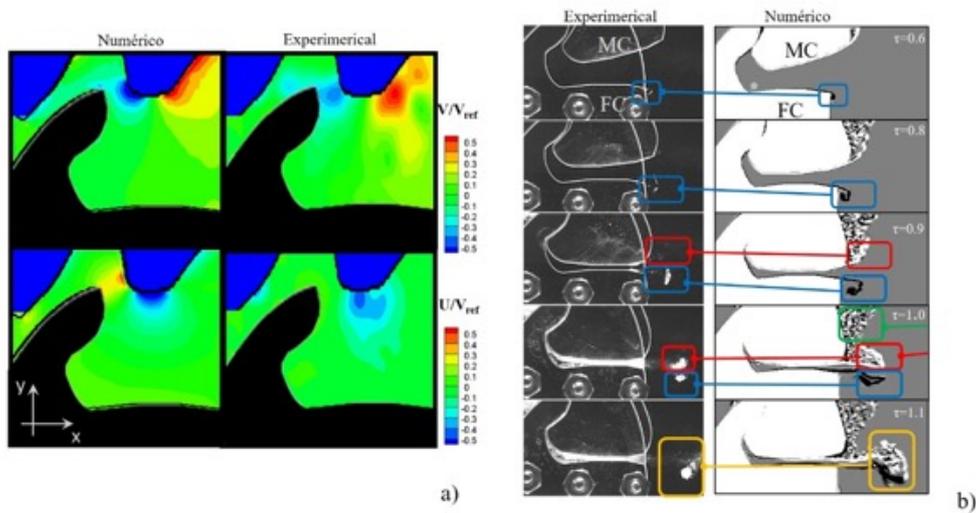


Figura 2. Validación del estudio numérico. a) Comparación de las velocidades de resultados numéricos con velocimetría laser. b) Comparación de estructuras turbulentas numéricas con figuras obtenidas con cámara Phantom

numérica con los datos experimentales. La Fig. 2 muestra esta validación donde se observa que ambos resultados son muy similares. Al ser el estudio numérico una aproximación de la realidad, jamás se tendrá algo totalmente igual.

Una vez validado el estudio numérico, se pudo profundizar en aspectos que resultan muy difíciles o imposibles de estudiar experimentalmente. En la figura 3, se muestran las zonas donde el fluido tiene un movimiento giratorio. Estas zonas coloreadas de azul se les llama estructuras turbulentas y se obtiene a partir del tensor gradiente de velocidad (segundo invariante del tensor). Dentro de estas estructuras el fluido guarda ciertas características cinemáticas y dinámicas (coherencia) en un tiempo dado. La importancia de identificar estas estructuras es que en su centro el fluido gira y la presión descende. Y es en estas zonas donde el vapor de agua se genera por esta disminución de presión.

En la Fig. 4 se observa un plano lateral en diferentes tiempos de cómo se va cerrando la pinza móvil. En esta figura se dibujan las líneas que traza el fluido en su movimiento-traectoria. Al inicio (Fig. 4a), la pinza empuja al fluido hacia el exterior. En la Fig. 4b, cuando la pinza se va cerrando se genera un vórtice de anillo, donde el fluido que sale produce un remolino con dicha forma y un chorro de fluido que sale del interior de las pinzas a muy alta velocidad. La disminución de presión en las zonas: centro y de alta velocidad son la causa de que se genere vapor de agua.

Una vez cerrada la pinza, el vórtice de anillo interactúa con el resto del flujo. Como lo muestran las figuras 4c y d. Esta zona de remolinos es donde el vapor de agua generado previamente se vuelve a transformar en agua líquida produciendo la implosión antes mencionada. Un cúmulo de implosiones se genera, produciendo ondas de choque en los alrededores.

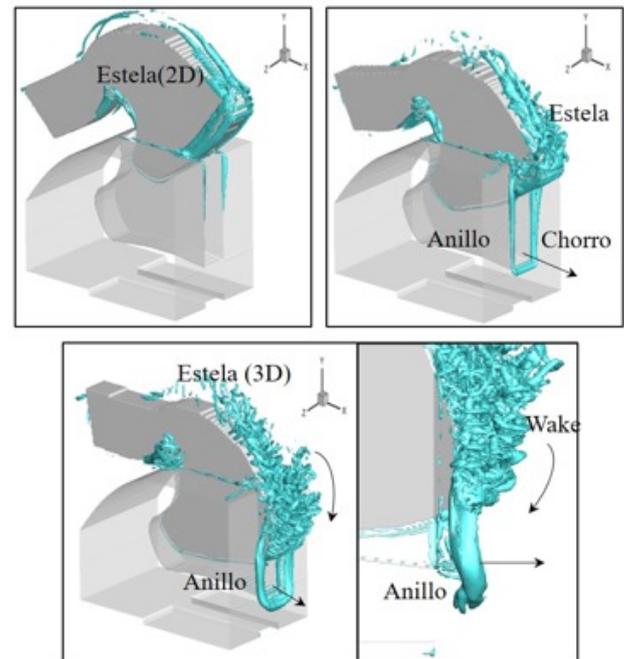


Figura 3. Estructuras turbulentas obtenidas numéricamente en tres diferentes tiempos

Finalmente, la Fig. 5, muestra las zonas donde se produce el vapor de agua (zonas rosas) en diferentes tiempos. El vapor se produce en el momento del cierre de la pinza. En el tiempo 1.2 de esta figura, se observa la formación en el fondo de la pinza. Ésta se debe a que el fluido sale con gran velocidad dejando un cuasi-vacío que genera vapor de agua en esta zona. La implosión de estas burbujas seguramente afectará la estructura de la pinza, algo que no se había observado en trabajos anteriores

y que puede abrir camino al estudio de bio-materiales de gran resistencia.

Este trabajo tiene importancia en varios aspectos, por una parte, nos permite conocer la interacción de la dinámica de un cuerpo sólido en un fluido multifásico turbulento, algo común por ejemplo en reactores químicos. La mecánica de bio-estructuras y un posible estudio del efecto de la cavitación en la pinza con el fin de crear materiales más resistentes. Finalmente, un estudio multidisciplinario (biología, ecología, mecánica de fluidos, acústica, mecánica de materiales) que permita dilucidar el comportamiento de los camarones en su habitat y el uso que hacen de las pinzas.

Los resultados de esta investigación se han publicado en revistas internacionales y presentado en congresos, se sigue desarrollando para conocer mejor el fenómeno y poder aplicarlo en problemas de ingeniería. Actualmente, se están explorando diferentes geometrías, tanto propuestas como

geometrías apegadas a la realidad con configuración totalmente tridimensional. Igualmente, se está modelando la generación del fenómeno de la implosión. Junto con investigadores de la Facultad de Ciencias en Sisal, se quiere abrir el camino de la posibilidad de estudiar la acústica de estos chasquidos y su importancia para estos animales. |

Trabajos publicados

M. Salinas-Vázquez, F. A. Godínez, W. Vicente, J. E. V. Guzmán, R. Valdés, C. A. Palacios Morales (2022), Numerical simulation of a flow induced by the high-speed closure of a bioinspired claw, JOURNAL OF FLUIDS AND STRUCTURES, 113.
 F. A. Godínez, J. E. V. Guzmán, M. Salinas-Vázquez, R. Valdés, C. Palacios y O. Chávez (2022), Hydrodynamic cavitation through a bio-inspired fast-closing plunger mechanism: experiments and simulations, BIOINSPIRATION & BIOMIMETICS, 17 (4).

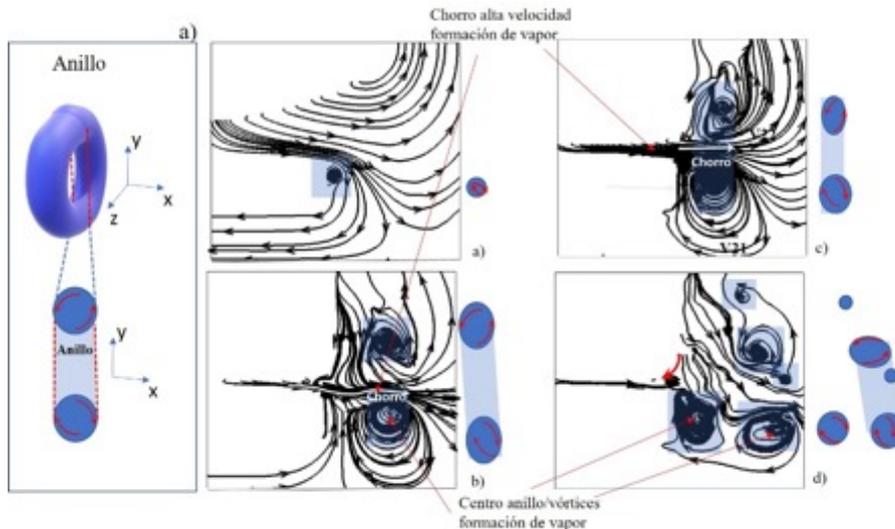


Figura 4. Líneas de trayectoria del fluido y vórtices (zonas de giro) que se forman para cuatro diferentes tiempos

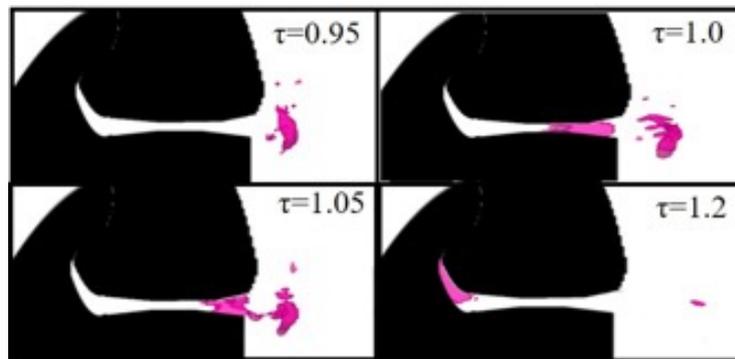


Figura 6. Zonas de formación de vapor de agua (zonas rosas) para cuatro tiempos diferentes