

EL FENÓMENO DE CAVITACIÓN

Vincent POMERO, Dominique BONNEAU

Traducción: F. Colell (GBMOIM)

Definición

La cavitación es la formación de bolsas y burbujas de vapor en un medio líquido inicialmente homogéneo.

Se puede definir mecánicamente como la ruptura del medio de líquido contínuo bajo el efecto de tensiones excesivas. Con este último término se sobreentiende la noción de umbral a partir del cual no se puede asegurar la cohesión del líquido.

Veremos que este concepto de umbral está determinado por la presión que reina en el seno de este líquido.

La cavitación puede producirse en el caso de un líquido en reposo o en la circulación del líquido. Un ejemplo simple en el ámbito médico, que todos podemos observar, es el llenado de una jeringa por aspiración; si la aspiración es demasiado intensa, vemos aparecer una burbuja de gas en la jeringa.

Fenómenos físicos

Si tomamos el ejemplo del agua y observamos la evolución de su estado en función de la temperatura, se constatan los hechos siguientes.

A presión atmosférica, el agua en forma de hielo alcanza su punto de fusión a 0° C y se vuelve líquida. Si la seguimos calentando, siempre a presión atmosférica, a los 100° C pasa al estado gaseoso por ebullición.

La evolución de los diferentes estados se refleja en el diagrama siguiente (Fig. 1), que muestra que, en función de la temperatura y de la presión, un cuerpo puede encontrarse en forma sólida, líquida, o gaseosa.

Por ejemplo, el agua pasa del estado líquido al gaseoso a 100° C al nivel del mar. En altura se observa un umbral de ebullición mucho más bajo, debido a la menor presión atmosférica (proporcionalmente a la altura). Se establece que la presión ambiental influye en la temperatura de vaporización. Si se mantiene una temperatura (por ejemplo 37° C) a presión atmosférica, el agua está en estado líquido.

Según la figura 1, se observa que existe una manera de hacer pasar el agua del estado líquido al gaseoso cuando está a temperatura constante; es suficiente con hacer bajar convenientemente la presión (Fig. 2). Cuando esta depresión que lleva a la vaporización del líquido es local (discontinuidad en el medio líquido) lo llamamos fenómeno de cavitación, y se manifiesta por la aparición de bolsas de aire y burbujas. Cuando esta depresión está focalizada, tras la formación de o de las burbujas, se reequilibran muy rápidamente las presiones en el seno del fluido lo que implica una implosión. Esta brutal implosión es fuente de ruido. Este fenómeno violento puede afectar a las

superficies que han creado este fenómeno y que se encuentran próximas a la burbuja de cavitación.

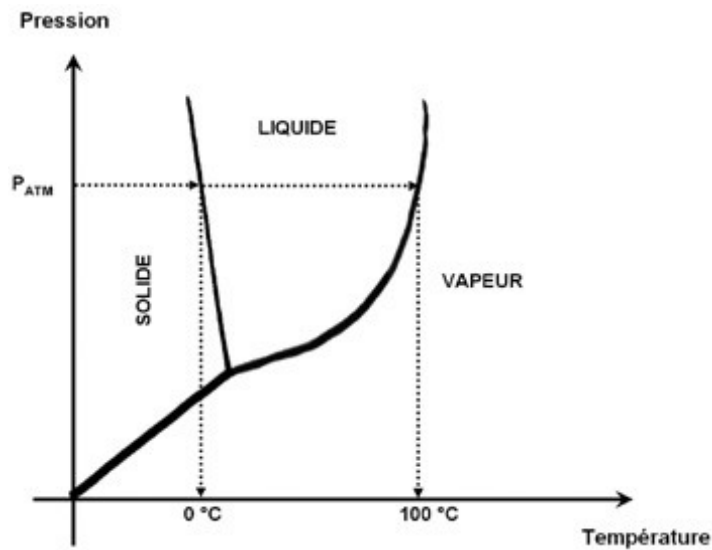


Figura 1: Evolución del estado de un cuerpo (aquí el agua) en función de la temperatura y la presión. En este ejemplo la presión es constante (atmosférica) y la temperatura variable.

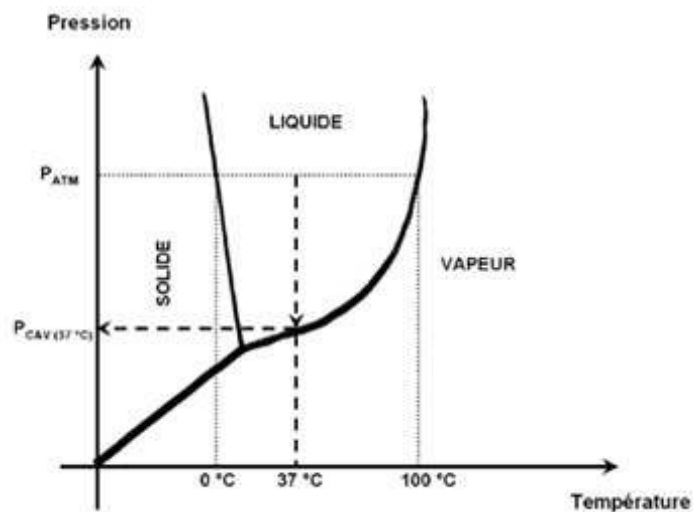


Figura 2: En este caso la temperatura es constante y la presión variable. A un determinado valor de presión ($P_{CAV(37\text{ }^{\circ}\text{C})}$), el agua pasa a fase gaseosa a $37\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Implicaciones en la industria

En las aplicaciones industriales se busca limitar la cavitación por varias razones.

Pérdida de rendimiento

En primer lugar, la cavitación merma el rendimiento mecánico de los sistemas. En una hélice de barco, por ejemplo, la aparición de estas burbujas

de aire «despegan» el contacto del agua alrededor de la hélice, disminuyendo considerablemente su eficacia (Fig. 3).



Figura 3: Aparición de burbujas de cavitación en las palas de una hélice.

Ruido

Hemos visto que la implosión de las burbujas de cavitación provoca ruido; ello puede ser una molestia en algunas aplicaciones en las que se busca una máxima discreción (submarinos).

Deterioro

Por fin, estas implosiones cercanas a los elementos metálicos provocan, con el tiempo, el deterioro de las superficies (Fig. 4).

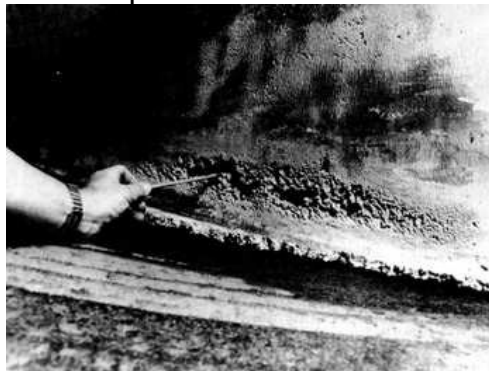


Figura 4: Deterioro de piezas mecánicas sometidas a la exposición prolongada de la cavitación.

En el humano

En el hombre se relaciona al fenómeno de cavitación la observación de una clarificación gaseosa entre dos articulaciones. Unsworth y cols. han realizado un exhaustivo estudio de este fenómeno que se observa en radiología.

El *primum movens* de esta reacción es la creación de una depresión por la decoaptación rápida de las superficies articulares.

La depresión generada de esta manera comporta el paso de la fase líquida a la gaseosa de los gases disueltos en el líquido sinovial (15% de gas disuelto del cual el 80% es dióxido de carbono).

La burbuja de gas que se forma es inestable, ya que asienta en una zona de presión inferior a la del medio líquido que la envuelve.

El crujido audible se debe al choque de las paredes líquidas de esta burbuja que percuten de forma brutal (equivalente al colapso de la burbuja) produciendo el ruido y una liberación de energía (que afectaría a la superficie cartilaginosa si este mecanismo se repitiera excesivamente).

Para observar este fenómeno hemos hecho radiografías centradas en las articulaciones metacarpofalángicas.

Primero la radiografía de las manos de un mismo sujeto antes y después de la manipulación. Esta manipulación se hizo en tracción axial manual súbita del dedo medio de la mano izquierda, provocando el crujido típico perfectamente audible (Fig. 5).

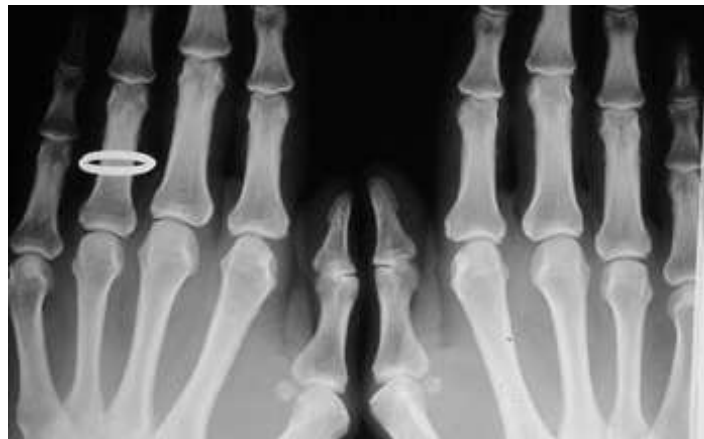


Figura 5: A la izquierda la mano izquierda manipulada, a la derecha la mano derecha testigo. Radiografía antes de la manipulación.

Tras la manipulación el espacio inter-óseo era idéntico en aspecto al de antes de la manipulación; no parecía ninguna clarificación aérea (Fig. 6).



Figura 6: Metacarpofalángica del tercer dedo izquierdo tras la manipulación; ausencia de separación visible.

Ello parece confirmar que la burbuja se forma durante la decoaptación y que esta etapa inestable se sigue de una inmediata y brutal atracción de las paredes de la burbuja, debida a su colapso. Las paredes de la burbuja colisionan y producen la desintegración de la cavidad (acompañada del crujido) y su desaparición.

En segundo lugar se efectuaron en el mismo sujeto unas radiografías con un protocolo distinto.

Se hizo una radiografía inmediatamente después de una primera manipulación.

Unas horas más tarde tras una nueva manipulación en tracción axial con audición del crujido, se mantuvo en tracción axial la decoaptación con un vendaje adhesivo.

Una segunda radiografía permitió observar una clarificación aérea compartimentada sugestiva de la presencia de dos burbujas, testimonio de la persistencia de una depresión en el seno del medio líquido inicialmente homogéneo.

La persistencia de esta depresión era debida a la tracción mantenida ^(Fig. 7), de ello la decoaptación de las superficies articulares.

La secuencia «manipulación en tracción axial manteniendo la decoaptación» era responsable de la fragmentación de la cavidad, secundaria a la percusión de las paredes de la burbuja formada inicialmente, que tomaba forma oval antes de que sus paredes se colapsaran brutalmente (este fenómeno es instantáneo y constituye una verdadera implosión).



Figura 7: Tercer dedo izquierdo manipulado y mantenido en decoaptación por un strapping. Separación de la metacarpofalángica.

Comentarios

Nuestra experiencia nos hace constatar los hechos siguientes:

1- La tracción realizada a baja velocidad comporta una decoaptación de las superficies articulares sin crujido audible y sin aparición de la clarificación aérea en la articulación.

2- La tracción de alta velocidad provoca un crujido, y si se mantiene la tracción se hace visible la clarificación gaseosa; mientras que su ausencia se debe a la supresión de la depresión en el seno del medio líquido cuando no se mantiene dicha tracción.

Unsworth y cols. habían expuesto las condiciones necesarias para que una articulación crujía (es decir aparezca el fenómeno de cavitación).

Son las siguientes:

- La cavidad articular debe ser de pequeñas dimensiones.
- La congruencia de las superficies debe ser máxima.
- El paciente debe tener su musculatura relajada (en caso contrario, se crea un enlentecimiento de la depresión).
- El líquido sinovial debe estar en mínima cantidad (el líquido sinovial excesivo es un obstáculo para la cavitación).
- No debe haber hiperlaxitud ligamentosa (la depresión disminuiría por la atracción y la deformación de las paredes).

Tras la obtención del crujido, manteniendo la tracción, el espacio articular aumenta de tamaño; se precisan de 15 a 30 minutos para que el líquido que se ha vuelto heterogéneo (presencia de una cavidad gaseosa) vuelva a su estado inicial homogéneo (gas disuelto).

Para obtener el crujido articular, la manipulación ha de realizarse a alta velocidad y débil amplitud, ello de forma rápida; y que con ello la bajada de presión en el seno del líquido será brutal.

Así pues, una puesta en tensión repetitiva, progresiva, seguida de una manipulación de velocidad lenta no provoca crujido articular.

Hipótesis sobre los efectos del crujido

El crujido es contemporáneo (testigo) de una puesta en tensión brutal de los elementos cápsulo-ligamentosos y téndino-musculares que decoapta instantáneamente las superficies articulares. La «brutalidad» de esta puesta en tensión esta unida al impulso de la manipulación de alta velocidad y corto recorrido.

Cierto que los receptores ligamentosos se consideran habitualmente como captos sensibles al estiramiento al final del recorrido; pero su papel no puede limitarse a esta única noción ya que los corpúsculos de Pacini son sensibles a la presión.

Se puede considerar, por el hecho del estiramiento muscular, la puesta en juego de los receptores musculares (órganos neuro-tendinosos de Golgi y husos neuro-musculares), cuya función reguladora del reflejo miotático es primordial.

Por otra parte, esta reacción química intraarticular produce calor, el papel terapéutico de este efecto permanece desconocido.

Conclusión

El crujido no es estrictamente contemporáneo de la formación de la burbuja sino del inicio de su desaparición.

La producción de energía en contacto con las paredes articulares puede ser la causa de la degradación cartilaginosa en casos de repetición excesiva del fenómeno.

Bibliografía

- 1- **Franc JP** et al. La cavitation. Mécanismes physiques et aspects industriels. Collection Grenoble Sciences. Presses Universitaires de Grenoble 1995.
- 2- **Unsworth A**, Dowson D, Wright V. Cracking joints, a bioengineering study of cavitation in the metacarpophalangeal joint. Ann Rheum Dis 1971; 30:348-58