



Artículos de investigación



# Medición experimental de la densidad de la nube de cavitación en un Slit Venturi

## *Experimental measurement of cavitation cloud density in a Slit Venturi*

Alejandro Díaz Martínez<sup>1</sup> , Jesús Eduardo Rivera López<sup>1</sup> , José Luis Arciniega Martínez<sup>1</sup> ,  
Carlos Alfonso Juárez Navarro<sup>1</sup> , Guadalupe Juliana Gutiérrez Paredes<sup>1</sup> , Gabriela Esmeralda  
Orozco Durán<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Instituto Politécnico Nacional SEPI – ESIME. UP Azcapotzalco, Av. de las Granjas 682, Santa Catarina, Azcapotzalco, 02550 Ciudad de México, México.

<sup>2</sup>Instituto Politécnico Nacional, ESIA Zacatenco, Av. Juan de Dios Bátiz s/n, Adolfo López Mateos, Gustavo A. Madero, 07738 Ciudad de México, México.

**Autor de correspondencia:** Alejandro Díaz Martínez, Instituto Politécnico Nacional SEPI – ESIME. UP Azcapotzalco, Av. de las Granjas 682, Santa Catarina, Azcapotzalco, 02550 Ciudad de México, México, [adiam1804@alumno.ipn.mx](mailto:adiam1804@alumno.ipn.mx), ORCID: 0000-0002-3783-8056.

Recibido: 15 de Agosto del 2022

Aceptado: 05 de Octubre del 2022

Publicado: 14 de Octubre del 2022

**Resumen.** - En el presente trabajo, se reporta la caracterización experimental de la formación y desarrollo de la nube de cavitación en diferentes temperaturas de líquido 20, 30, 40 y 50 °C. Para ello, se construyó una instalación hidráulica que tiene como elemento principal un tubo Venturi de sección rectangular, con ella, se generaron las condiciones de flujo necesarias para formar la cavitación y medir las propiedades termodinámicas para el cálculo de los números adimensionales de Thoma y Reynolds. El error promedio de sesgo de las mediciones no superó el 1%, por tal razón, se aseguró la buena calidad del cálculo en los números adimensionales de Thoma y Reynolds. Con los números de Thoma " $\sigma$ " y  $Re$  se caracterizaron las diferentes fases de la nube de cavitación, desde incipiente, cuasi, desarrollada y super cavitación en el rango de temperaturas del experimento, encontrando que el tránsito de la cavitación incipiente a desarrollada es más fácil a temperatura ambiente, ya que, el régimen de flujo aumentará solo 15.82% en comparación con las otras temperaturas. El inicio de la nube de cavitación depende de la viscosidad del fluido, en el intervalo de prueba la variación de la viscosidad fue de 55% por lo que el régimen de flujo será afectado por la viscosidad y por consiguiente en el inicio de la nube de gas. Finalmente, la densidad del fluido en el rango de temperatura de la prueba permaneció constante, ya que no varío más de 1%, por lo que no afectó al régimen de flujo.

**Palabras Clave:** Venturi; Cavitación; Número de Thoma; Coeficiente de cavitación; Número de Reynolds.

**Abstract.** - In the present work, the experimental characterization of the formation and development of the cavitation cloud in different liquid temperatures 20, 30, 40, and 50 °C is reported. For this, a hydraulic installation was built whose main element is a Venturi tube with a rectangular section, with it, the necessary flow conditions were generated to form cavitation and measure the thermodynamic properties for the calculation of the Thoma and Reynolds adimensional numbers. The average bias error of the measurements did not exceed 1%, for this reason, the good quality of the calculation in the Thoma and Reynolds numbers was ensured. With the numbers of Thoma " $\sigma$ " and  $Re$ , the different phases of the cavitation cloud were characterized, from incipient, quasi, developed, and supercavitation in the temperature range of the experiment, finding that the transition from incipient to developed cavitation is easier at room temperature since the flow rate will increase only 15.82% compared to the other temperatures. Finally, the density of the fluid in the temperature range of the test remained constant, since it did not vary more than 1%, so it did not affect the flow regime.

**Keywords:** Venturi; Cavitation; Thoma Number; Cavitation coefficient; Reynolds number.

## 1. Introducción

En fluidos que se someten a incrementos de temperatura o reducción de la presión dará como resultado un cambio de fase de líquido a vapor. Convencionalmente en fluidos en reposo, la ebullición es el resultado de incrementar la temperatura a presión ambiente, mientras que, en el flujo de fluidos, la cavitación es el efecto del cambio de fase a temperatura ambiente a través de la caída de presión por debajo de la presión de vapor [1]. La formación de burbujas de vapor en el seno de un líquido se conoce con el nombre de cavitación, este fenómeno ocurre, cuando el flujo es acelerado debido a cambios abruptos en la geometría del sistema. Esta aceleración en el flujo ocasiona que la presión local en el líquido “ $P$ ” disminuya por debajo de la presión de vapor “ $P_v$ ” ( $P < P_v$ ) y, por lo tanto, el fluido cambie de fase a una temperatura constante  $T = cte$  [1-3], esta anomalía en el seno del fluido, está definida por el diagrama de fase sólido, líquido y vapor de una sustancia a diferentes temperaturas. La cavitación se presenta en múltiples sistemas ingenieriles tales como son, sistemas hidráulicos de potencia, transportes marítimos, sistemas defensa, turbinas hidráulicas, bombas centrífugas, válvulas, sistemas de inyección de combustible, sistemas aeronáuticos y aeroespaciales, etc., de tal manera que, si en el flujo se genera la cavitación desarrollada, esta tendrá efectos negativos, tales como son ruido, vibraciones, alteración del patrón de flujo, erosión y daño estructural [1-5]. Sin embargo, en algunos casos particulares, este fenómeno físico puede tener un efecto extremadamente positivo en la reducción del arrastre, como es en el caso de la súper cavitación,  $\sigma_c < 1$ , en cuerpos que se mueven naturalmente en condiciones de súper cavitación, Martin [6], en este caso, la creación de una súper cavitación ventilada alrededor de un submarino ofrece la oportunidad para incrementar la velocidad del vehículo, así como la reducción del arrastre de aproximadamente 90 % [7]. Esto hace que la cavitación sea un problema sumamente importante y complejo en

el diseño y la operación de los diversos sistemas en donde debe ser controlada y estudiada, un ejemplo de ello, se tiene con Boris [8], en donde realiza un estudio numérico de la periodicidad de la cavitación en un tubo Venturi en 2-D, y debido a la complejidad del fenómeno, acopla diversos modelos de turbulencia para poder caracterizar el comportamiento de la velocidad del flujo, la variación de la presión en la pared del tubo y las fluctuaciones de la presión.

Otros trabajos como el de Jean-Pierre [9], han demostrado que la caída de presión en el líquido está relacionada con factores de la hidrodinámica del flujo y las propiedades físicas del fluido, siendo las más importantes, geometría, esfuerzos de cortante, golpe de ariete, rugosidad de las paredes y cuerpos sólidos inmersos. La cavitación está caracterizada por el Número de Cavitación o de Thoma “ $\sigma$ ” [1, 2, 3, 10, 11], este número adimensional es utilizado para determinar el tamaño de la cavitación, ver ecuación 1.

$$\sigma = \frac{P_1 - P_v}{\frac{1}{2}\rho U^2} \quad (1)$$

Donde “ $P_1$ ” es la presión absoluta de referencia en Pascales, “ $P_v$ ” es la presión absoluta de vapor del líquido en Pascales, “ $\rho$ ” es la densidad del fluido en  $\text{kg/m}^3$  y “ $U$ ” es la energía cinética del flujo en m/s. De acuerdo con la magnitud de  $\sigma$  Jean-Pierre [9] clasificaron a la cavitación en incipiente y desarrollada. La cavitación incipiente es el límite entre el flujo con cavitación y sin cavitación, mientras que la cavitación desarrollada implica la permanencia y extensión de la nube de cavitación en conjunto a una caída de presión significativa. Así también, establecieron las condiciones de “no cavitación” dadas por la relación  $\sigma V > \sigma VI$ , donde “ $\sigma V$ ” es el coeficiente de cavitación a cualquier Reynolds “ $Re$ ”, y “ $\sigma VI$ ” es el coeficiente de cavitación incipiente.

Del estudio de visualización de la cavitación en un Venturi realizado por P. Tomov [10], sabemos que este trabajo experimental se realizó en tres

fases de cavitación; cavitación pura ( $\sigma = 1.71$ ), cuasi-cavitación ( $\sigma = 1.46$ ) y super-cavitación ( $\sigma = 1.26$ ), encontrando para las dos primeras fases de cavitación patrones de flujo simétricos con longitudes y frecuencias características, también encontró, que con la inyección de burbujas en la cuasi-cavitación la simetría se rompe y la estructura de las longitudes y frecuencias características son rápidamente modificadas, hasta una completa desaparición cuando la súper cavitación es alcanzada. También, Hojat [12] caracterizó el comportamiento de la cavitación, para ello, diseñó y construyó Venturis con diferentes diámetros de garganta los cuales fueron probados en condiciones de presión constante corriente arriba y presión variable corriente abajo del tubo Venturi, encontrando principalmente que el diámetro de garganta del Venturi no tiene efecto sobre el desarrollo de la cavitación, en este mismo sentido Tuasif [13] realizó un estudio numérico teniendo como base los parámetros geométricos más importantes en un Venturi relacionados con la formación, crecimiento y colapso adiabático de la cavitación, encontrando que las mejores relaciones geométricas para la generación óptima de la cavitación son  $\alpha = 2.7$  (relación perímetro-área de la garganta), relación largo ancho 1:1 y ángulo del difusor de  $5.5^\circ$  para un slit Venturi. Por otra parte, Xinping [14], realizó un estudio experimental del comportamiento dinámico global de la cavitación en un slit Venturi, en el cual pudo determinar que la cavitación ocurre a la misma relación de presiones,  $Pr = 0.89$ , y con un número de cavitación de  $\sigma = 0.99$ .

Finalmente, y por lo antes expuesto, el tubo Venturi ofrece una plataforma ideal para el estudio y el desarrollo de la cavitación y los efectos hidrodinámicos que produce, es por ello, que el objetivo de este trabajo es la caracterización experimental del patrón de flujo en diferentes regímenes de cavitación y temperatura de líquido, en un tubo Venturi de Sección Rectangular, y con ello, aportar

información relevante a este campo del conocimiento.

## 2. Marco Teórico

En el cálculo del número de cavitación, ecuación 1, se utilizó como presión de referencia la medida en la entrada del Venturi y como velocidad de referencia la medida en la garganta del Venturi, para calcular la velocidad se desarrolló la ecuación de continuidad sobre la línea de corriente central del flujo para un flujo estacionario e incompresible.

De esta manera, el número de Reynolds  $Re$ , queda:

$$Re = \frac{U(4R_h)\rho}{\mu} \quad (2)$$

Donde  $U$  es la velocidad del fluido en (m/s) en la garganta del Venturi,  $\mu$  es la viscosidad absoluta en (Pa-s),  $\rho$  es la densidad ( $\text{kg/m}^3$ ), y  $R_h$  es el radio hidráulico para una sección rectangular en (m):

$$R_h = \frac{A}{PM} = \frac{LH}{2L+2H} \quad (3)$$

Donde  $PM$  es el perímetro mojado, siendo la garganta del Venturi igual a la base del rectángulo,  $L = 0.0635$  m y la altura  $H = 0.06$  m, ver figura 1.

## 3. Metodología

Para visualizar este fenómeno se empleará un diseño experimental conformado principalmente por el dispositivo presentado en la Figura 1, que consiste en un tubo Venturi fabricado por Armfield© de sección rectangular 25.00 x 6.35 cm en la entrada y 6.00 x 6.35 cm en la garganta, fabricado de perspex transparente para permitir la visualización del fenómeno de cavitación. El Venturi tiene conectado un manómetro en la entrada, el cual tiene un rango de presiones 0 a 3 bar con una resolución de 0.1 bar. También en la garganta se tiene un vacuómetro cuyo rango es de -1.0 a 0 bar con una resolución es de 0.05 bar.

Tanto el manómetro como el vacuómetro son de la marca ACTU Bideford ©.

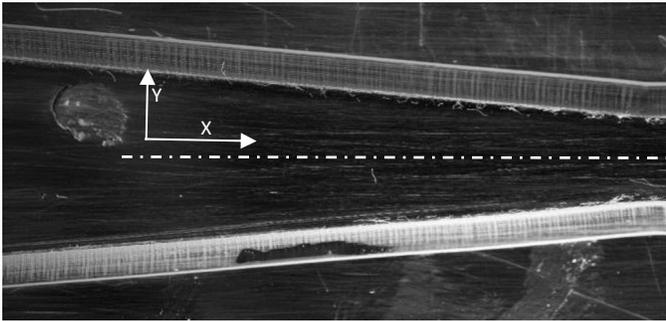


Figura 1. Slit Venturi.

En cuanto al resto de la instalación experimental se tiene una bomba centrífuga de 2 HP capaz de

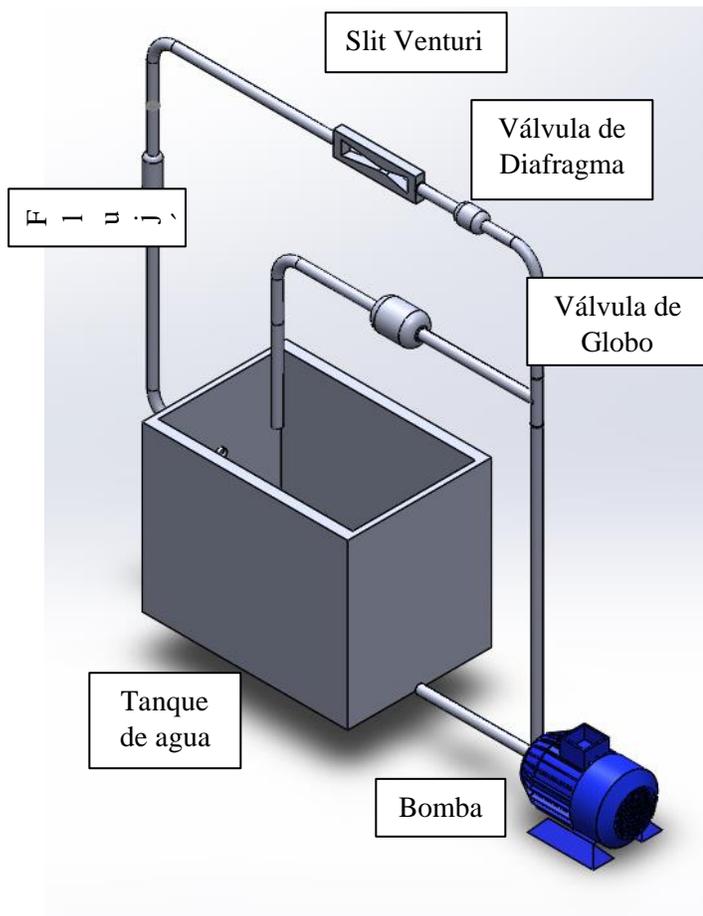


Figura 2. Esquema instalación experimental.

En la medición de flujo, se utilizó un sensor de flujo localizado a 25 diámetros nominales del Venturi para evitar la perturbación de la

manejar un flujo de 5 a 60 l/min con una carga de 5 a 60 m columna de líquido. El tanque de líquido es de 62 L en el cual se sumerge un termómetro de mercurio con un rango de -20 a 50 °C de una resolución de 1°C. Para el control de flujo se utilizó una válvula de diafragma en la descarga de la bomba, también entre la válvula de diafragma y la bomba se instaló una bifurcación al tanque controlada por una válvula de globo esto con el propósito de liberar la presión de la bomba y evitar que la válvula de diafragma cavite cuando esta se encuentre casi cerrada, ver Figura 2.

cavitación en las mediciones. El sensor de flujo es de efecto hall modelo YF-DN50 con un rango de medición de flujo 10-200 l/min. El sensor, se calibro previamente por el método de volumen, teniendo un coeficiente de  $4.2394 \frac{l}{(min \cdot pulso)}$ . La presión atmosférica se midió por medio del sensor de presión BMP180. La adquisición de datos y programación de ambos sensores se hizo por medio de una tarjeta Arduino Uno Rev. 3 y un CPU, Intel Xeon @ 2.66 GHz con 32.0 GB en RAM.

### 3.1 Desarrollo Experimental

Las corridas experimentales se realizaron fijando la temperatura de prueba en 20, 30, 40 y 50 °C y variando el régimen de flujo por medio de la válvula de diafragma hasta alcanzar el flujo en cavitación. El fluido de trabajo fue calentado a la temperatura deseada por medio de una resistencia eléctrica, esta resistencia eléctrica es controlada por un microcontrolador Arduino y un sensor de temperatura DS18B20. El control del flujo se realizó por medio de la válvula de diafragma, esta se cierra hasta que disminuye la presión de entrada a 0.1 bar y se abre paulatinamente hasta llegar a la presión de 1.1 bar en el manómetro de entrada. Después para disminuir la presión se abre la válvula de globo, esto se hace con la

finalidad de que no cavite la válvula de diafragma y no afecte las lecturas en el Venturi.

En la figura 3 se muestra la variación de las mediciones de  $P_I$  y de la presión en la garganta ( $P_{th}$ ) durante las corridas experimentales. Es

importante destacar que las temperaturas mostradas son los valores promedio y la presión atmosférica durante el experimento fue de  $P_{atm} = 587 \text{ mmHg}$ ,  $0.78 \text{ bar}$ .

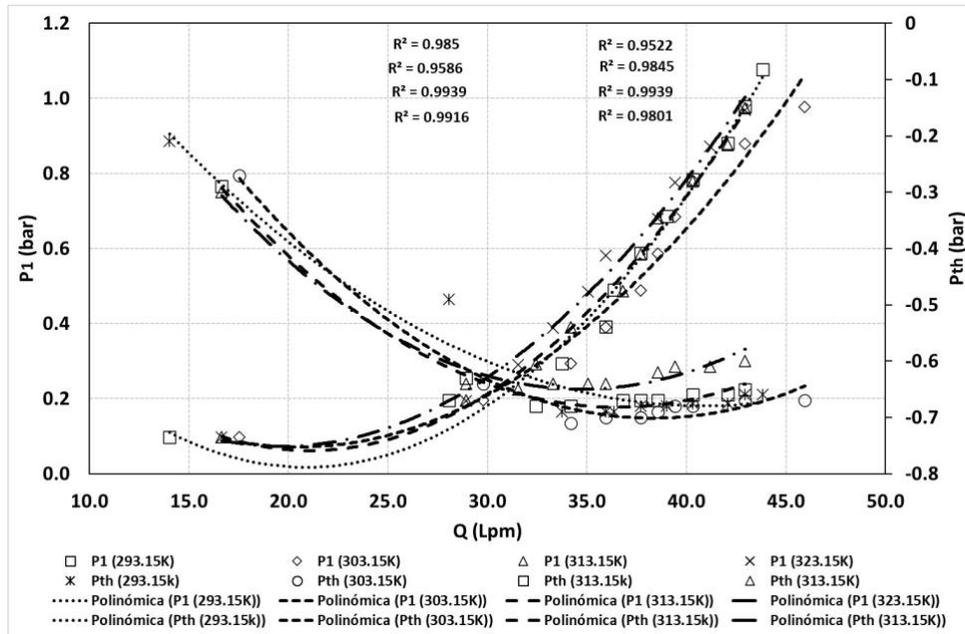


Figura 3. Mediciones experimentales,  $P_I$  y  $P_{th}$  vs  $Q$ .

De la dispersión mostrada en la figura 3 se efectuó el ajuste de los datos, teniendo una buena calidad del método de ajuste ya que  $R^2 \approx 1$ . El objetivo de realizar el ajuste de los datos experimentales es el de estimar el error promedio del sesgo experimental “ $e_p$ ” en cada medición efectuada, y de esta manera asegurar la buena calidad de los cálculos del coeficiente de Thoma y de la presión reducida. El error de sesgo promedio “ $e_p$ ” para la presión de entrada es igual a 0.036 bar, 0.044 bar, 0.089 bar y 0.021 bar, en la medición de  $P_{th}$  se estimó un error de sesgo promedio “ $e_p$ ” igual a 0.038 bar, 0.023 bar, 0.014 bar y 0.058 bar. Del cual, el error calculado en base a la campana de Gauss con un nivel de confianza de  $2\sigma$ , tenemos que “ $e_p$ ” es sumamente

bajo, ya que no supera 0.1 bar, por lo cual se puede concluir en esta primera etapa del trabajo, que las mediciones realizadas tienen la calidad suficiente para ser utilizadas para el cálculo del coeficiente de Thoma y presión reducida.

#### 4. Resultados y Discusiones

Con las mediciones experimentales se evaluará el comportamiento hidrodinámico del flujo en cavitación en la garganta del tubo Venturi. Para ello, los datos de la figura 3 son introducidos en las ecuaciones 1 y 2, para el cálculo del coeficiente de Thoma “ $\sigma_c$ ” y el Número de Reynolds “ $Re$ ”, las propiedades termodinámicas utilizadas en el cálculo se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Propiedades termodinámicas  $P_v$ ,  $\rho$  y  $\mu_d$ , para el cálculo de  $\sigma_c$  y  $Re$ .

$T$ (°C)	$P_v^*$ (kPa)	$\rho^*$ (kg/ $m^3$ )	$\mu_d^*$ (kg/m·s) $10^{-3}$	$\sigma_{VI}$ <i>Cavitación Incipiente</i>	$Re$	$\sigma_V$ <i>Cavitación Desarrollada</i>	$Re$	$\Delta Re$	% $\Delta Re$
20	2.339	998.0	1.002	1.3	18001	0.98	21386	3385	15.82
30	4.246	996.0	0.798	2.9	14176	1.12	24100	9924	65.89
40	9.593	992.1	0.653	3.1	16392	1.16	28471	12079	71.97
50	12.349	988.1	0.547	2.9	19492	1.09	33855	19492	76.43

\* Datos Yunus A. Cengel Termodinámica.

En la tabla también se muestra la magnitud del número de Thoma y del régimen de flujo en el cual se presenta la cavitación incipiente y

desarrollada, así como el incremento y porcentaje del flujo para transitar de la cavitación incipiente a desarrollada.

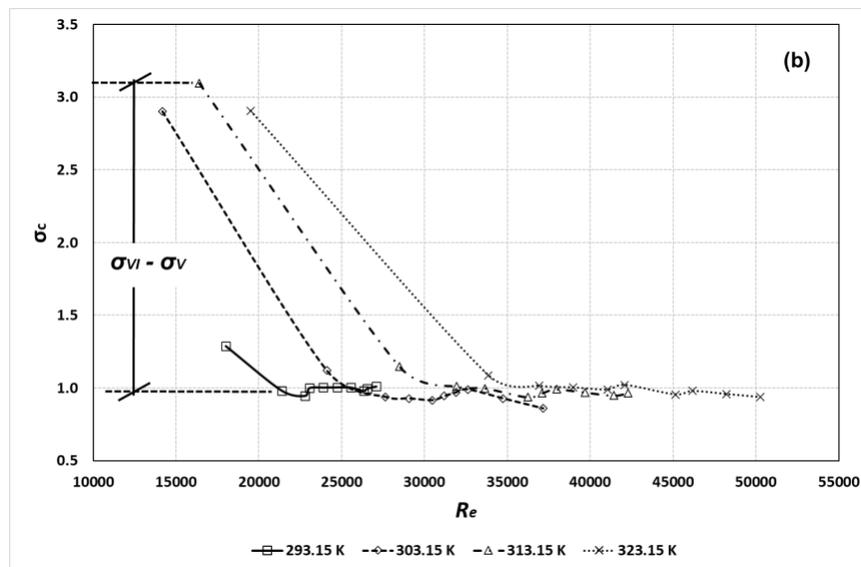


Figura 4. Desarrollo de la cavitación,  $\sigma_c$  vs  $Re$ .

La figura 4, muestra el desarrollo de la cavitación en la garganta del tubo Venturi como una función del régimen de flujo, de las temperaturas de prueba y del número de Thoma para cualquier valor de cavitación. En general, en las cuatro temperaturas se observa una región lineal en donde se desarrollan las fases de cavitación incipiente, desarrollada y súper cavitación  $\sigma_{VI} - \sigma_V$ . En las temperaturas de 30, 40 y 50 °C la cavitación inicia en incipiente y evoluciona hasta la cavitación desarrollada y llega a la súper cavitación en flujo totalmente turbulento. En la temperatura de 20 °C se tiene un régimen totalmente turbulento con un inicio de la nube de cavitación en fase de cuasi-cavitación [10]. De lo

anterior, se puede asumir que a temperatura ambiente será más fácil aumentar la densidad gde la nube de cavitación de cuasi a super-cavitación si el régimen de flujo se incrementa un 15.82%, ya que, si se compara con las otras temperaturas, el incremento en el régimen de flujo para lograr la misma densidad de la nube sería de 65.89, 71.97 y 76.43%, ver tabla 1.

Otro aspecto importante de mencionar es el inicio y por consiguiente la rapidez que tiene la nube de gas para llegar a la super-cavitación, tiene que ver con el número de Reynolds, ya que  $Re = f(\rho, \mu)$  y la densidad y viscosidad dependen de la temperatura. De los datos de la tabla se observa que la densidad no aumentará más de 1% en el

intervalo de la temperatura por lo que se considera constante, sin embargo, en el caso de la viscosidad dinámica para el mismo rango de temperatura la variación es del 55%, por lo que, si se incrementa el régimen de flujo este será más sensible a los cambios de la viscosidad dinámica. Y, por consiguiente, el desplazamiento de las curvas es debido a la viscosidad del fluido.

## 5. Conclusiones

Del estudio experimental realizado se concluye lo siguiente:

1. Con una instalación hidráulica sencilla que tiene como elemento principal un tubo Venturi de sección rectangular es posible generar condiciones de flujo para producir y medir el fenómeno de la cavitación en diferentes densidades de la nube de gas, temperatura y régimen de flujo.
2. Las mediciones realizadas durante el experimento tuvieron una buena calidad, ya que el error de sesgo promedio no fue mayor al 1%.
3. El tránsito de la cavitación incipiente a desarrollada es más fácil a temperatura ambiente, ya que, el régimen de flujo aumentará solo 15.82% en comparación con las otras temperaturas.
4. El inicio de la nube de cavitación depende de la viscosidad del fluido, en el intervalo de prueba, la variación de la viscosidad fue de 55% por lo que el régimen de flujo será afectado por la viscosidad y por consiguiente en el inicio de la nube de gas.
5. Finalmente, la densidad del fluido en el rango de temperatura de la prueba permaneció constante, ya que no vario más de 1%, por lo que, no afectó al régimen de flujo.

## 6. Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional por el financiamiento otorgado a los proyectos de investigación SIP 20220072 Y SIP 20221461 y en especial al Laboratorio de

Ingeniería Hidráulica aplicada de la ESIME Azcapotzalco.

## 7. Reconocimiento de autoría

*Jesús Eduardo Rivera López:* Análisis de datos experimentales y redacción. *Alejandro Diaz Martínez:* Búsqueda bibliográfica y apoyo experimental. *José Luis Arciniega Martínez Corridas:* experimentales. *Carlos Alfonso Juárez Navarro:* Diseño de la instalación experimental. *Guadalupe Juliana Gutiérrez Paredes:* Calibración de los instrumentos de medición. *Gabriela E. Orozco Durán:* Puesta a punto de la instalación.

## Referencias

- [1] Ki-Han Kim et Al., "Advanced Experimental and Numerical Techniques for Cavitation Erosion Prediction", Fluid Mechanics and Its Applications, Volume 106, Springer, 2014. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-8539-6>
- [2] R.W., Fox, A.T., McDonald "Introduction to Fluid Mechanics", 9th. Edition, Wiley and Sons, USA. 2015 [Fox and McDonald's Introduction to Fluid Mechanics, 10th Edition | Wiley](https://www.wiley.com/foreignKey/9780470717800)
- [3] F. M., White, "Fluid Mechanics" 7th. Edition, McGraw-Hill, USA. 2009. [Fluid Mechanics \(mheducation.com\)](https://www.mheducation.com)
- [4] S., Hattori, B.H., Sun and F.G., Hammitt, "An application of bubble collapse pulse height spectra to venturi cavitation erosion of 1100-o aluminum", Wear, vol. 103, pp. 119 - 131, 1985. [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(85\)90128-0](https://doi.org/10.1016/0043-1648(85)90128-0)
- [5] F. Payri, R. Payri, F.J. Salvador, J. Martínez-López, "A contribution to the understanding of cavitation effects in Diesel injector nozzles through a combined experimental and computational investigation", Computers & Fluids vol. 58, pp. 88-101, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2012.01.005>
- [6] B., Charrière, J., Decaix, E., Goncalvès., "A comparative study of cavitation models in a Venturi

flow", European Journal of Mechanics B/Fluids, vol 49, pp. 287 - 297, 2012.  
<https://doi.org/10.1016/j.euromechflu.2014.10.003>

[7] M. Wosnik, R.E.A. Arndt, "Measurements in high void-fraction bubbly wakes created by ventilated supercavitation", J. Fluids Eng., vol 135, 2013.  
<https://doi.org/10.1115/1.4023193>

[8] S.L. Ceccio, "Friction drag reduction of external flows with bubble and gas injection", Ann. Rev. Fluid Mech. vol 42, pp. 183 - 203, 2010.  
<https://doi.org/10.1146/annurev-fluid-121108-145504>

[9] J.P. Franc, J.M., Michel, "Fundamentals of Cavitation", Kluwer Academic Publishers, 2004.  
<https://doi.org/10.1007/1-4020-2233-6>

[10] P. Tomov, S. Khelladi, F. Ravelet, C. Sarraf, F. Bakir, P. Vertenoeuil, "Experimental study of aerated cavitation in a horizontal venturi nozzle", Experimental Thermal and Fluid Science. Vol, 70, pp. 85 - 95, 2016.  
<https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2015.08.018>

[11] K., Sato, K., Hachino and Y., Saito, "Inception and Dynamics of Traveling- Bubble-Type Cavitation in a Venturi", Proceedings of Asme FEDSM2003-45322, 2003.  
<https://doi.org/10.1115/FEDSM2003-45322>

[12] H. Ghassemi, H. Farshi Fasih, "Application of small size cavitating venturi as flow controller and flow meter", Flow Measurement and Instrumentation, vol. 22, no. 5, pp. 406 - 412, 2011.  
<https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2011.05.001>

[13] T. A. Bashir, A. G. Soni, A. V. Mahulkar, A. B. Pandit, "The CFD Driven Optimisation of a Modified Venturi for Cavitation Activity", The Canadian Journal of Chemical Engineering, vol. 89, pp 1366 - 1375, 2011.  
<https://doi.org/10.1002/cjce.20500>

[14] X. Long, J. Zhang, J. Wang, M. Xu, Q. Lyu, B. Ji, "Experimental investigation of the global cavitation dynamic behaviour in a venturi tube with special emphasis on the cavity length variation", International Journal of Multiphase Flow, vol. 89, pp. 290 - 298, 2017.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2016.11.004>

Derechos de Autor (c) 2022 Alejandro Díaz Martínez, Jesús Eduardo Rivera López, José Luis Arciniega Martínez, Carlos Alfonso Juárez Navarro, Guadalupe Juliana Gutiérrez Paredes, Gabriela Esmeralda Orozco Durán



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)