



# Diseño de un banco de impacto a chorro para el estudio del salto hidráulico circular en los laboratorios de la AUNAR

Jaime Alberto Escobar López  
Iván Darío Mayag Rosero

Corporación Universitaria Autónoma de Nariño  
Pasto Nariño

[escobarjaimel1@gmail.com](mailto:escobarjaimel1@gmail.com)-[ivandario.16@hotmail.com](mailto:ivandario.16@hotmail.com),

**Resumen** - El presente estudio se plantea diseñar un banco de impacto a chorro para el estudio del salto hidráulico circular en los laboratorios de ingeniería mecánica de la Corporación Universitaria Autónoma de Nariño.

Considerando que en el programa de Ingeniería Mecánica de la Corporación Universitaria Autónoma de Nariño no se realizan pruebas experimentales para el análisis de los fenómenos físicos asociados al impacto de chorros de líquido, con el fin de profundizar el conocimiento en estudios del comportamiento de energía u otro tipo de variables como pH, viscosidad y Temperatura, propias de este fenómeno. El diseño de un banco hidráulico de impacto a chorro permite comprender mediante simulaciones el comportamiento del fluido sometido al cambio de diferentes variables como lo son la presión y la distancia, y cuál es el papel que juega la gravedad en la formación del fenómeno. Por consiguiente, cuando se realice la construcción del banco de pruebas se podrá generar un proceso de aprendizaje que le permitirá al estudiante de la AUNAR comparar los resultados experimentales con los datos adquiridos en las diferentes simulaciones llevadas a cabo en la presente investigación y que servirán de punto de partida para comprender la simulación de este fenómeno y la generación de conocimiento. Estos procesos le permitirán a la Universidad Autónoma de Nariño aumentar la competitividad del programa frente a otras universidades e incentivando la investigación al desarrollo de aplicaciones ingenieriles de este fenómeno para el desarrollo de conocimientos en ciencia, tecnología e innovación.

**Abstract** - *The present study aims to design a jet impact bench for the study of circular hydraulic jump in the mechanical engineering laboratories of the Autonomous University Corporation of Nariño.*

*Considering that in the Mechanical Engineering program of the Autonomous University Corporation of Nariño no experimental tests are carried out for the analysis of the*

*physical phenomena associated with the impact of liquid jets, in order to deepen the knowledge in studies of the behavior of energy or other type of variables such as pH, viscosity and temperature, typical of this phenomenon. The design of a hydraulic impact jet bench allows us to understand through simulations the behavior of the fluid subjected to the change of different variables such as pressure and distance, and what is the role that gravity plays in the formation of the phenomenon. Consequently, when the test bench is built, a learning process can be generated that will allow the AUNAR student to compare the experimental results with the data acquired in the different simulations carried out in the present investigation and that will serve as starting point to understand the simulation of this phenomenon and the generation of knowledge. These processes will allow the Autonomous University of Nariño to increase the competitiveness of the program vis-à-vis other universities and encourage research to develop engineering applications of this phenomenon for the development of knowledge in science, technology and innovation.*

**Índice de Términos:** Banco de impacto a chorro, salto hidráulico circular.

## I. INTRODUCCIÓN

El salto hidráulico circular es un fenómeno físico muy intrigante y su estudio es de alta importancia en mecánica de fluidos. Este tipo de salto se presenta al final de la capa laminar que inicialmente se establece cuando un líquido colisiona con una superficie plana horizontal y no rugosa; Se puede observar que a determinada distancia del punto de impacto se genera un área radial y al final de esta se puede observar un resalto volumétrico en donde el líquido cambia de un flujo de capa laminar a un flujo de capa turbulenta la cual se eleva unos centímetros, como el caso del impacto de agua del lavaplatos. La capa que presenta forma laminar sufre un salto a una determinada distancia desde su punto central donde sucede el impacto.



El salto hidráulico circular formado en el impacto de un chorro de agua vertical contra una superficie horizontal metálica no rugosa se ha analizado sin encontrar resultados teóricos o prácticos suficientemente aceptados, siendo este un fenómeno del cual no se encuentra mucha información por lo cual genera interés no solo desde el punto de vista investigativo sino desde un ámbito técnico científico aplicado, toda vez que se cree que la turbulencia que se ocasiona en el salto hidráulico puede tener aplicaciones básicas como técnica de oxigenación del agua o de mezcla de líquidos. Es importante investigar sobre el salto hidráulico para determinar los diferentes aspectos que influyen sobre este fenómeno, A pesar que este fenómeno puede ser fácilmente observado su descripción teórica y consigo las potenciales aplicaciones ingenieriles aún no han sido exploradas.

La Corporación Universitaria Autónoma de Nariño para el programa de ingeniería mecánica específicamente las asignaturas de Mecánica de fluidos, Física, Dinámica requiere de herramientas para realizar aplicaciones técnicas sobre diversas teorías que se pueden investigar para desarrollo de UPC (Unidad de producción de conocimiento) correspondiente a cada materia de cada uno espacios académicos. Se plantea el diseño de un banco de impacto a chorro para el estudio del salto hidráulico circular el cual pueda ser utilizado por la universidad para la instrumentación del laboratorio de ingeniería mecánica.

El diseño del banco de impacto a chorro aquí presentado cuenta con la programación necesaria que permita un manejo a precisión en cuanto a la distancia entre la boquilla de salida y la superficie de impacto esta programación se realizara teniendo en cuenta la relación de giro de los motores y el avance que ofrezcan los tornillos sin fin de cada eje, el caudal del fluido y los instrumentos de medida que permitan conseguir datos de forma confiable y rápida como la presión del sistema, la distancia y dirección, de manera que pueda controlar la modificación de las diferentes variables que influyen sobre este fenómeno, a saber, la distancia, presión del fluido, posiciones de impacto. Considerando que actualmente, a nivel regional, no se evidencia que se cuente con equipos para este tipo de estudio por esta razón se ve la necesidad de un banco de impacto a chorro con el objetivo de entender diferentes aseveraciones realizadas en el artículo denominado “*On the origin of the circular hydraulic jump in a thin liquid film*” (Rajesh K. Bhagat, 2018) sobre la independencia gravitacional, En particular la relacionada al fenómeno del salto hidráulico circular.

## II. OBJETIVOS

Recopilar información de requerimientos funcionales para el diseño de un banco de impacto a chorro que permita el estudio del salto hidráulico circular.

Identificar los mecanismos de diseño que permitan integrar el banco hidráulico y la funcionalidad del estudio y análisis del comportamiento del fluido.

Analizar los resultados obtenidos a partir de la modificación de variables y simulaciones con respecto al fenómeno de estudio.

## III. METODOLOGIA

Grupo de investigación institucional: INMECNAR línea de desarrollo tecnológico e innovación

El mundo está en continuo cambio, la tecnología se actualiza por ende el conocimiento y los contextos donde se plantean relaciones; por lo tanto, para adaptarse a estos cambios igualmente hay que aprender a asimilarlos y a producirlos en pro de la sociedad, la formación de profesionales capaces de enfrentarse a estas situaciones donde la tecnología presenta, a través de la, adecuación y desarrollo, base de la competitividad y productividad; por ello la Corporación Universitaria Autónoma de Nariño ha implementado este programa cuyo objetivo primordial es fortalecer y promover desde la investigación en sentido rigurosa consecuente, todas aquellas propuestas y trabajos que se encaminen a generar un desarrollo social desde lo tecnológico y que se conviertan en soporte para la realización de nuevos procesos que enriquezcan el aprendizaje, el desempeño personal, profesional y el entorno regional; aportando desde su naturaleza a las competencias del saber, el saber hacer y el ser, del estudiante, del egresado y del docente; dentro de este programa se encuentran las siguientes líneas.

### Enfoque

El enfoque de la investigación es cualitativo puesto que se estudia la realidad, características y el cómo se desarrolla cada componente, a través de la recolección de datos con medición numérica, para descubrir en un proceso de interpretación la tendencia de comportamiento de las pruebas realizadas en el banco de pruebas.

### Tipo de investigación

El tipo de investigación a aplicar es analítica descriptiva, describe características específicas de las pruebas realizadas en relación a las acciones, el análisis realizado permite el estudio de forma exhaustiva, dando mayor profundidad, conociendo el objeto de estudio para comprender y tener claridad a la hora de validar la información, además se establecen comparaciones de las diferentes variables.

### Método

El tipo de método a emplear es el inductivo - deductivo, puesto que se utiliza de un principio general a casos particulares, permitiendo revisar y corroborar en cada prueba y organización de la información suministrada para la elaboración de una segunda prueba para la comprobación de la teoría.



#### IV. REFERENTES TEORICOS

El salto hidráulico circular es un fenómeno físico que se presenta cuando un fluido con una influencia de fuerzas inerciales mayores a la fuerza gravitacional, con alta velocidad y a una diferencia de altura donde la profundidad laminar es relativamente baja, cambia a un régimen de flujo donde las fuerzas gravitacionales sobrepasan las fuerzas inerciales en el cual la velocidad y la altura disminuyen pero su profundidad en flujo laminar aumenta, ocasionando en el sistema cambios y pérdida de energía, movimientos turbulentos y aglomeración de aire.

Debido al cambio abrupto en la superficie por la alteración de las curvaturas de la trayectoria del flujo que convierte la energía cinética inicial en energía potencial, lo que produce el movimiento aleatorio de las partículas y la derivación de velocidades opuestas al flujo laminar que propician choques de partículas generando disipación de energía.

##### **Aproximación en aguas poco profundas al salto hidráulico circular**

“Muestran que el salto hidráulico circular puede entenderse cualitativamente utilizando ecuaciones simplificadas del tipo de aguas poco profundas que incluyen viscosidad. Definen que las soluciones externas se vuelven singulares en un radio finito y que esta falta de estados asintóticos es un fenómeno general asociado con el flujo radial con una superficie libre. Al conectar las soluciones internas y externas a través de un choque, obtenemos una relación de escala para el radio  $R_j$  del salto, donde  $Q$  es el flujo de volumen,  $\nu$  es la viscosidad cinemática y  $g$  es la aceleración gravitacional. Esta relación de escala es válida asintóticamente para  $Q$ . Se discute que las correcciones que aparecen en  $Q$  más pequeñas y las comparan con los experimentos.” (Bohr, 1993)

##### **La influencia de la tensión superficial en el salto hidráulico circular**

“Presentan los resultados de una investigación teórica y experimental combinada de la influencia de la tensión superficial.  $\sigma$  en el salto hidráulico circular laminar. Se deduce una expresión para la magnitud de la fuerza de curvatura radial por unidad de longitud a lo largo de un salto circular donde:  $R_j$  es el radio de salto, y  $S$  y  $U\Delta R$  son, respectivamente, la longitud del arco a lo largo de la superficie del salto y la distancia radial entre los puntos más cercanos en la nariz y la cola del salto en el que la superficie es horizontal.

Esta fuerza de curvatura es dinámicamente significativa cuando se vuelve apreciable, donde:  $U\Delta H$  es la altura del salto,  $\rho$  la densidad del fluido y  $g$  la aceleración debida a la gravedad.

La teoría de los saltos hidráulicos viscosos (Aristof, 2003) se extiende mediante la inclusión de la fuerza de curvatura, y produce una nueva predicción para el radio de los saltos hidráulicos circulares. La investigación experimental

demuestra que la corrección de la tensión superficial es generalmente pequeña en entornos de laboratorio, pero apreciable para saltos de radio y altura pequeños.”

##### **Campanas de agua formadas en la parte inferior de una placa horizontal.**

En un artículo complementario (BUTTON, 2010), se informó el descubrimiento de un nuevo tipo de campana de agua. Cuando un chorro de líquido vertical impacta en la parte inferior de una placa horizontal grande, la película delgada resultante se extiende radialmente a lo largo de la placa hasta un punto de partida abrupto no especificado, de donde se desprende de la placa por sí solo. Se ve que el radio de salida del fluido de la placa depende en gran medida del caudal volumétrico. El líquido que cae puede unirse para formar una campana de agua. Se presenta un análisis teórico y una explicación de este fenómeno. Un equilibrio de fuerza que determina la extensión radial máxima del flujo de película delgada a lo largo de la placa se considera como un mecanismo para la salida del fluido de la placa, para lo cual se desarrolla un modelo analítico. Este modelo ofrece buenas predicciones del radio de salida medido. Cuando se ha formado una campana de agua y se altera el caudal, se producen muchas formas interesantes que dependen de las formas de los caudales anteriores. Discutimos el origen de esta histéresis, y también presentamos una teoría de orden líder para la forma de la campana bajo un régimen de flujo cambiante. Los modelos se comparan con resultados experimentales que abarcan dos órdenes de magnitud en viscosidad. (BUTTON, 2010) **El salto hidráulico (“choques” y flujo viscoso en el fregadero de la cocina)**

Se discute la ubicación radial y la discontinuidad del flujo del salto hidráulico en un sumidero. Se enfatiza la importancia de la viscosidad para determinar la ubicación del salto. Un modelo, que destaca la importancia del flujo viscoso cerca de la superficie del sumidero, nos permite predecir el radio de salto y la profundidad de flujo en los lados aguas arriba y aguas abajo del salto como funciones de viscosidad, gravedad y velocidad de flujo. En nuestro tratamiento aproximado, la ubicación del salto es independiente de la gravedad e inversamente proporcional a la raíz cúbica de la viscosidad. (Godwin, 1993)

#### V. RESULTADOS

De acuerdo al diseño sustentado anteriormente podemos deducir qué el salto hidráulico: Tenía teniendo en cuenta el diseño realizado encontramos que este diseño tiene como base fundamental el estudio del salto hidráulico generado al impacto de un chorro de agua sobre una superficie plana.

El diseño podemos deducir que sería una máquina eficiente para detallar y visualizar los componentes que se puede experimentar diferentes métodos los cuales nos permitirán comprender de una manera más profunda por qué y cómo se genera este fenómeno a su vez evaluar los cambios que pueda provocar la gravedad en la generación del salto hidráulico circular.



La máquina propuesta para el estudio del impacto hidráulico es fundamental para el estudio del fenómeno del impacto hidráulico puesto que con ellas se pueden modificar múltiples variables como lo son la presión, la altura también, podemos modificar lo que es densidad y otros factores del agua que pueden influir sobre la generación de este fenómeno.

Es fundamental para estudiar la injerencia de la gravedad en cada uno de los ejes de un plano cartesiano para un estudio preliminar muestra que Aparentemente la gravedad no tiene injerencia en este Salto hidráulica.

Asimismo es importante resaltar que por medio de elementos tecnológicos podemos detallar concretamente Cómo se generan ciertas analogías con el fin de darles una explicación más lógica o de entenderlos de una mejor manera.

Esta es una máquina didáctica que permite a los estudiantes de la corporación Universitaria Autónoma de Nariño en un futuro ampliar sus conocimientos en cuanto a la mecánica de fluidos.

## VI. CONCLUSIONES

El diseño de un banco de impacto a chorro es esencial para satisfacer la necesidad del investigador frente a un mecanismo que le permita realizar repeticiones exactas del fenómeno.

Al analizar los elementos funcionales se determina la importancia de interacción hombre – máquina para el control y visualización de las variables que influyen en el fenómeno por medio de una interfaz gráfica de fácil comprensión.

El mecanismo más adecuado para la transmisión de potencia es un tornillo sinfín porque brinda movimiento lineal, precisión y disminuye aspectos causados por la fricción como sonidos, pérdida de potencia y vibración.

Para la comparación de resultados se diseñó un mecanismo que permite la rotación de la boquilla de salida del fluido de forma horizontal y vertical, con el fin de analizar el diámetro del salto hidráulico en tres direcciones, de manera que se pueda observar la influencia que presenta la gravedad, distancia y presión sobre este.

Después de revisar diferentes métodos para el estudio del salto hidráulico se concluye que una máquina automatizada es la más adecuada para efectuar este proceso debido a que brinda mecanismos de fiabilidad y repetición de pruebas de una manera exacta.

Mediante el análisis estático de cada componente fue posible determinar la resistencia de los materiales a utilizar.

La simulación estática por componente permite disminuir costos de producción al conocer la resistencia de cada uno de los materiales.

El diseño de un banco de impacto a chorro permite visualizar

el fenómeno en diferentes direcciones las cuales facilitan su estudio y comprensión.

El diseño permite la estructuración de una máquina compacta y fácil de transportar debido a sus componentes modulares que permiten su fácil desarme.

## VII. RECOMENDACIONES

Para la adecuada investigación del fenómeno se recomienda utilizar cámara de alta velocidad con capacidad mínima de 1000 fps (fotogramas por segundo) toda vez que estas pueden reproducen la imagen en cámara lenta y facilitan el análisis del fluido.

Para la investigación se debe propiciar en el área de impacto un mínimo de 750 Lux a un máximo de 1500 Lux, con el fin de una adecuada toma de imagen en la cámara de alta velocidad.

Para la programación se recomienda utilizar Arduino Mega 2560 debido a sus 54 entradas y salidas digitales de las cuales podemos utilizar 15 como PWM, esta placa nos permite manejar mayor cantidad de sensores los cuales se pueden implementar en futuras etapas de mejora del proyecto.

## VIII. REFERENCIAS

Avedisian, C.T. (2000). *The circular hydraulic jump in low gravity*. The Royal Society. ISSN en línea: 14712946  
Disponible en:  
<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspa.2000.0606>

Bhagat, R., Jha N., Linden P., y Wilson I. (2018). *On the origin of the circular hydraulic jump in a thin liquid film*. *J. Fluid*. Published online by Cambridge University Press.  
DOI: <https://doi.org/10.1017/jfm.2018.558>

Bhagat, R. J. (2018). *On the origin of the circular hydraulic jump in a thin liquid film*. *Journal Mechanics* 851.  
DOI:10.1017/jfm.2018.558. Disponible en:  
[https://www.researchgate.net/publication/326720630\\_On\\_the\\_origin\\_of\\_the\\_circular\\_hydraulic\\_jump\\_in\\_a\\_thin\\_liquid\\_film](https://www.researchgate.net/publication/326720630_On_the_origin_of_the_circular_hydraulic_jump_in_a_thin_liquid_film)

Bhagat, RK y Wilson I. (2016). *Flow in the thin film created by a coherent turbulent water jet impinging on a vertical wall*. *Chemical Engineering Science*.  
DOI: 10.1016/j.ces.2016.06.011. Disponible en:  
[https://www.researchgate.net/publication/304537147\\_Flow\\_in\\_the\\_thin\\_film\\_created\\_by\\_a\\_coherent\\_turbulent\\_water\\_jet\\_impinging\\_on\\_a\\_vertical\\_wall](https://www.researchgate.net/publication/304537147_Flow_in_the_thin_film_created_by_a_coherent_turbulent_water_jet_impinging_on_a_vertical_wall)

Busj, J. Y. (2003). *La influencia de la tensión superficial en el salto hidráulico circular*.



Button, E.D., Davidson J., Jamensen G., Sader J. (2010). Water Bells Formed on the underside of a horizontal plate Part 2. Published online by Cambridge University Press.

DOI: <https://doi.org/10.1017/S0022112009993363>

Consejo Profesional Nacional de Ingenierías Eléctrica, Mecánica y profesiones afines (2008). Resolución No. 50 del 2 de septiembre de 2008. Disponible en: [https://www.consejoprofesional.org.co/resources/uploaded/files/data/resolucion\\_50\\_de\\_2008.pdf](https://www.consejoprofesional.org.co/resources/uploaded/files/data/resolucion_50_de_2008.pdf)

Coral, J. B. (2019). *Propuesta diseño y construcción de un banco de impacto a chorro para el estudio*.

Godwin, R. P. (1993). *The hydraulic jump (shocks and viscous flow in the in the kitchen sink)* American Journal of physics. DOI: <https://doi.org/10.1119/1.17413>

R Bohr, P.D. y [Putkaradze V.](#) (1993). *Journal of Fluid Mechanics*,

PROHIBIDA SU COPIA