

# ANÁLISIS NUMÉRICO PARA LA DETERMINACIÓN DE EFICIENCIAS HIDRÁULICAS EN TURBINAS DE FLUJO LIBRE.

Marturet Pérez, Gustavo José.

Cita:

Marturet Pérez, Gustavo José (2014). *ANÁLISIS NUMÉRICO PARA LA DETERMINACIÓN DE EFICIENCIAS HIDRÁULICAS EN TURBINAS DE FLUJO LIBRE. XII CONGRESO CIMENICS : INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS: MODELOS MATEMÁTICOS Y COMPUTACIONALES. SOCIEDAD VENEZOLANA DE METODOS NUMERICOS EN INGENIERIA, La Asunción, Nueva Esparta.*

Dirección estable: <https://www.aacademica.org/gustavo.j.marturet.p/3>

ARK: <https://n2t.net/ark:/13683/pq4R/pDX>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons.  
Para ver una copia de esta licencia, visite  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>.

*Acta Académica es un proyecto académico sin fines de lucro enmarcado en la iniciativa de acceso abierto. Acta Académica fue creado para facilitar a investigadores de todo el mundo el compartir su producción académica. Para crear un perfil gratuitamente o acceder a otros trabajos visite: <https://www.aacademica.org>.*

## ANÁLISIS NUMÉRICO PARA LA DETERMINACIÓN DE EFICIENCIAS HIDRÁULICAS EN TURBINAS DE FLUJO LIBRE

**Gustavo José Marturet Pérez**

e-mail: marturet@gmail.com

Instituto Universitario de Tecnología del Estado Bolívar, IUTEB.

Departamento de Mecánica.

Sector Fuente Luminosa. Bolívar - Venezuela

***Abstract.** Aplicaciones tecnológicas de energías limpias han permitido el desarrollo de turbinas de flujo libre o corriente libre y con ellas comunidades pueden disponer de energía eléctrica. Algunas investigaciones en el área de turbinas de flujo libre indican mejores desempeños en las de tipo Gorlov de tres álabes helicoidales. Esta investigación pretende modelar numéricamente un prototipo de turbina Gorlov a fin de determinar el campo de presión y de flujo con miras a obtener la eficiencia hidráulica según la velocidad de flujo y de giro de la turbina. La turbina posee una configuración de tres álabes helicoidales tipo NACA 0020 sobre los que se desarrollan fuerzas de arrastre y sustentación que inciden sobre la eficiencia hidráulica. El modelo matemático de flujo se plantea en un dominio 2D bajo la premisa de flujo estable y se pretende resolver con técnicas de análisis numérico mediante software de tipo comercial. En estas condiciones la cuantificación de la eficiencia hidráulica para un flujo de 5 m/s y 55 W de potencia de turbina indica valores de 99% de eficiencia.*

**Keywords:** Turbina Gorlov, eficiencia hidráulica, dinámica de fluidos computacional.

### 1. INTRODUCCIÓN

En lo particular nuestro país, referencia en el manejo y producción de energía hidroeléctrica, no ha logrado satisfacer en su totalidad territorial las necesidades de electrificación constituyéndose así una excelente oportunidad para aplicaciones del uso de energías alternativas. Sin embargo, algunas fuentes alternativas de energías, limpias y de bajo impacto ambiental, como lo son turbinas hidrocínicas no escapan a las dificultades por altos costes de materiales y de crear modelos susceptibles de investigación, medición, análisis y optimización. Como salida a tales inconveniencias el uso de técnicas de simulación y modelación apoyadas en herramientas CFD son opciones para su desarrollo.

Algunas investigaciones [1], [2] y [3] en el ámbito de CFD, como en este estudio, apuntan al desarrollo de turbinas para generación de energía fundamentadas en los potenciales hidroeléctricos de las corrientes marinas y de los ríos. La turbina hidrocínica, modelo Gorlov

(véase Figura 1), estaría sumergida en un río aprovechando su potencial hidráulico y con el accionar de un generador suministraría la energía eléctrica.

En ausencia de prototipos de turbinas hidrocinéticas construidas en país, se desconoce con fidelidad el comportamiento particular de éstas frente a las condiciones variables de servicio u operación que revelen sus actuaciones globales como función de los parámetros operativos: caudal de fluido, potencia generada y velocidad de giro entre otros.

Actualmente, tendencias en el análisis numérico y CFD de turbinas hidrocinéticas apuntan a simular bajo concepciones de dominios computacionales en mallados bidimensionales (2D) y tridimensionales (3D). Reservándose aquellas simulaciones 2D para las primeras etapas del diseño dado los menores costes en tiempo y recursos computacionales que requieren [1]. Por otra parte, modelizaciones 2D de turbinas Gorlov dejan abierta la posibilidad de un análisis más profundo con aplicaciones tridimensionales [3]. Investigaciones experimentales de turbinas Gorlov apuntan a la construcción de un prototipo para la medición de torque, RPM y velocidad del flujo a fines de construir sus curvas características.[4]



Figura 1. Modelo de Turbina Gorlov e instrumental de mediciones. Fuente: Marcano y otros. “Desarrollo de un Modelo Experimental de Turbina Hidrocinética Tipo Gorlov”. Tesis en elaboración. IUTEB.

Finalmente, se pretende modelar numéricamente un prototipo de turbina Gorlov a fin de determinar el campo de presión y de flujo con miras a obtener la eficiencia hidráulica según la velocidad de flujo y de giro de la turbina. Geométricamente el modelo experimental de turbina Gorlov a simular comprende unos 450 mm de diámetro y 600 mm de alto con perfil alar tipo NACA 0020 de tipo helicoidal.

## 2. MODELACIÓN NUMÉRICA

Una variable importante de cuantificar en las turbinas es su eficiencia global  $\eta_t$ . Algunos autores [5] y [6] la establecen en similares términos previo a definir: la eficiencia interna  $\eta_i$ , la eficiencia volumétrica  $\eta_v$ , la eficiencia hidráulica  $\eta_h$  y eficiencia mecánica  $\eta_m$ .

La eficiencia interna  $\eta_i$ , cuantifica los cambios de propiedades que sufre el fluido entre la entrada y la salida de la turbina como producto de todas las irreversibilidades que ocurren por efectos volumétricos y roce viscoso o hidráulico. Así pues:

$$\eta_i = \frac{\text{Potencia entregada al rotor de la turbina}}{\text{Potencia disponible en el fluido}} = \frac{\gamma Q_0 (H-h_f)}{\gamma Q H} \quad (1)$$

Donde

$Q_0$  = caudal útil, es decir solo el caudal que cede su energía al rotor

$Q$  = caudal suministrado a la turbina

$H$  = altura neta de la turbina que valora la altura energética absorbida por efectos de la presión y altura cinética en la ecuación de Bernoulli

$hf$  = altura energética perdida por efectos de fricción

$\gamma$  = peso específico del fluido.

La eficiencia volumétrica  $\eta_v$ , expresa las pérdidas del fluido que no tienen la oportunidad de transferir su energía al rotor de la turbina.

$$\eta_v = \frac{Q_0}{Q} \quad (2)$$

La eficiencia hidráulica  $\eta_h$ , cuantifica las irreversibilidades que ocurren en la turbina por efectos del roce viscoso o hidráulico y de superficie, de tal manera que sobre ella influyen las pérdidas por rozamiento de superficie y rozamiento por forma.

De tal manera que:

$$\eta_h = \frac{H-hf}{H} \quad (3)$$

Sustituyendo las ecuaciones 2) y (3) en la definición de  $\eta_i$ , se tiene:

$$\eta_i = \eta_v \eta_h \quad (4)$$

Obsérvese en las ecuaciones (2) y (3) que la eficiencia interna se hace igual a la eficiencia hidráulica si no existen pérdidas volumétricas. La eficiencia mecánica  $\eta_m$ , expresa las pérdidas ocasionadas por efectos de la fricción entre las partes mecánicas de la turbina. De manera que:

$$\eta_m = \frac{\text{Potencia que aparece en el eje}}{\text{Potencia entregada al rotor}} = \frac{T \omega}{\gamma Q_0 (H-hf)} \quad (5)$$

Para la cual  $T$ , es el torque en el eje de la turbina y  $\omega$  es su velocidad angular. Considerando todas las irreversibilidades involucradas, la eficiencia global de la turbina  $\eta_t$ , tiene por expresión:

$$\eta_t = \frac{\text{Potencia que aparece en el eje}}{\text{Potencia disponible en el fluido}} = \frac{T \omega}{\gamma Q H} \quad (6)$$

Sobre los álabes [7] sometidos a la acción de fluidos en movimiento se desarrollan presiones y fuerzas tangenciales a las superficies, éstas últimas a consecuencia de los efectos viscosos; de tal manera que ambas, la presión y los esfuerzos de corte, originan fuerzas de sustentación y arrastre sobre los álabes.

Con la aplicación de software de tipo comercial para CFD es posible determinar el torque producto de la presión  $T_{pres}$ . También el torque viscoso  $T_{visc}$ , producto de la fricción que actúa sobre la turbina Gorlov. De tal manera que con herramientas de simulación se pueden obtener datos para curvas características de turbinas.

Dado que la eficiencia hidráulica considera los efectos de fricción y de superficie, se tiene:

$$\eta_h = \frac{(T_{pres} - T_{visc})\omega}{T_p \omega} = \frac{(T_{pres} - T_{visc})}{T_{pres}} = \frac{T_n}{T_{pres}} \quad (7)$$

Donde

$T_n$  = torque neto.

En la necesidad de modelar la turbina Gorlov partimos de un dominio computacional discretizado con el empleo pre-procesadores para la elaboración de la malla, tal y como se muestra en la Figura 2.

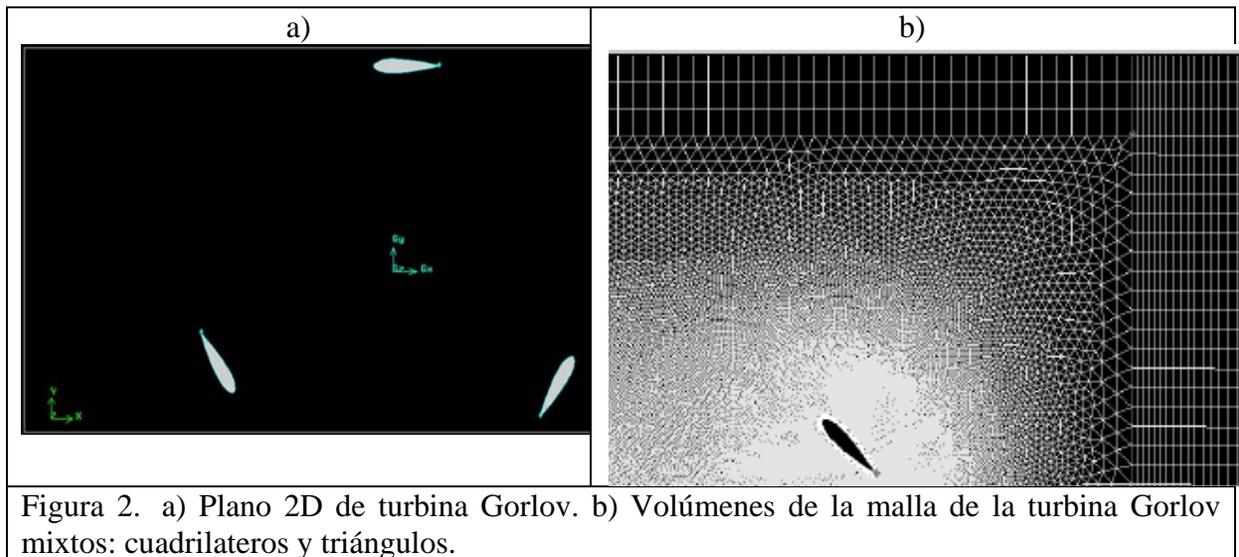


Figura 2. a) Plano 2D de turbina Gorlov. b) Volúmenes de la malla de la turbina Gorlov mixtos: cuadrilateros y triángulos.

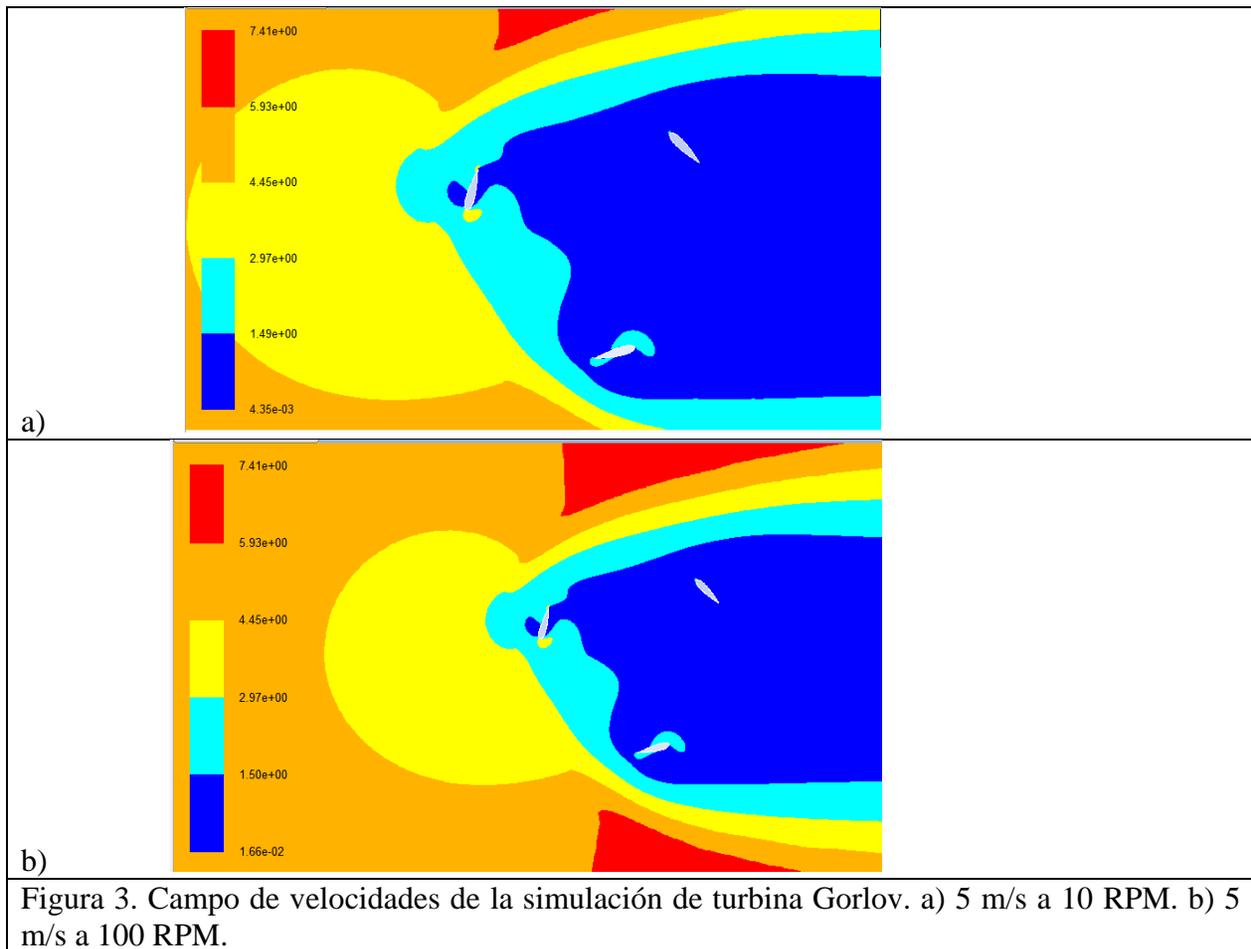
La turbina estará inscrita en una malla de volúmenes del tipo cuadriláteros para las zonas aguas arriba y aguas abajo del rotor y triangulares en la zona de la interacción turbina-flujo circundante a sus tres álabes. Los tres álabes separados a  $120^\circ$ , corresponden a un perfil simétrico de 75 mm de cuerda siguiendo las especificaciones prescritas para un modelo tipo NACA 0020.

En toda la simulación las ecuaciones de continuidad y momentum son resueltas usando el método SIMPLE. Los términos convectivos se discretizaron usando 2do orden aguas arriba. Para la zona de entrada de flujo al dominio se fijó la velocidad de entrada de manera uniforme, mientras que la salida se fijó la presión. Los álabes rotan sobre su eje central a las revoluciones del estudio. La modelación numérica se hizo suponiendo un régimen de trabajo estable en la turbina cuando el fluido se modela en 2D procurando soluciones computacionalmente económicas. El análisis de convergencia para el dominio computacional indicó que para con una malla de 166684 nodos un error de 0,5%, una calidad de malla que oscila entre 0,78 y 0,86 cuando se aplica el modelo de turbulencia  $k-\epsilon$  estándar ser la mejor opción de simulación de esta investigación.

### 3. RESULTADOS

Simulaciones sucesivas arrojaron como resultados mejores desempeños de la Gorlov en un rango de velocidades entre 3 y 5 m/s cuando las rpm del estudio oscilan entre 10 y 100RPM. La

Figura 3 muestra un campo de velocidades para el fluido a 5 m/s aguas arriba con velocidades de flujo de  $4,35e-03$  m/s en la zona aguas abajo cuando gira a 10 RPM.



Obtenidos los campos de flujo y de presión mediante software de tipo comercial se procedió con la valoración del torque producto de la presión  $T_{pres}$  y del torque viscoso  $T_{visc}$ , a fin de calcular las eficiencias hidráulicas. La Tabla 1 muestra sus resultados expresados en la condición de mejor desempeño alcanzado.

**Tabla 1. Valores de eficiencia para flujos de 5 m/s a diferentes RPM en la turbina Gorlov simulada**

V. flujo(m/s)	RPM	Torque neto (N-m)	T.pres (N-m)	Eficiencia(%)
5	10	39,68	39,94	99,35
5	50	37,20	39,05	95,27
5	100	34,09	37,92	89,89

Los datos de la Tabla 1 pudieron complementarse con simulaciones adicionales en rangos más amplios de operación. Las simulaciones se realizaron para velocidades de flujo entre 0,7 y 7m/s para velocidades de rotación entre 10 y 100 RPM. Con ellos se graficó la Figura 4 en la que se observa que mejores prestaciones de la turbina modelada ocurren bajas RPM. También para flujos de 2 m/s y a 10 RPM se logran potencias de 0,6 W con eficiencias de 63,1%.

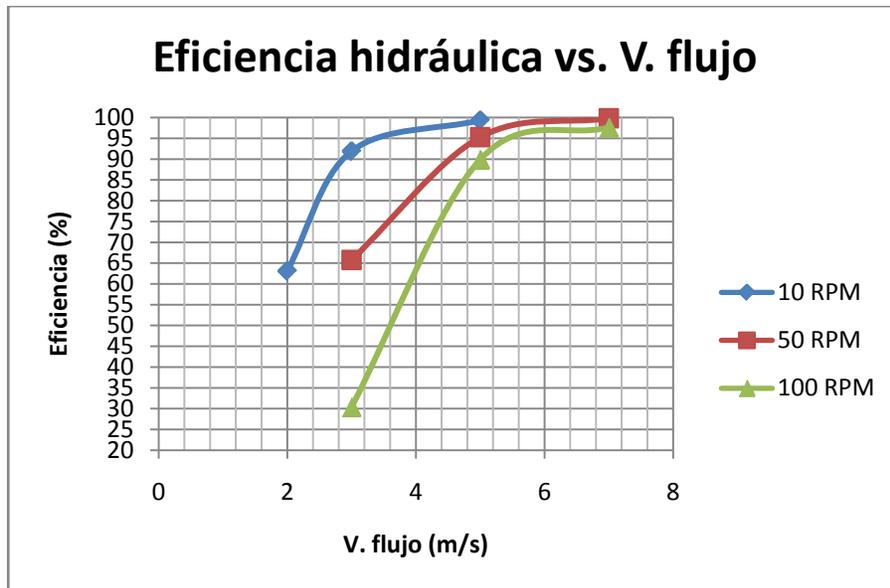


Figura 4. Eficiencia vs. V. flujo para la turbina Gorlov.

## CONCLUSIONES

Los resultados del análisis numérico indican que el punto de funcionamiento o de mejor eficiencia corresponde a una velocidad de flujo de 5 m/s para unas 10 RPM de velocidad de giro en la turbina, para el cual se puede obtener una potencia de 51,55 W con una eficiencia hidráulica de 99%.

## REFERENCIAS

- [1]. Calisal, S. y Li, Ye, Three-dimensional effects and arm effects on modeling a vertical axis tidal current turbine, *Renewable Energy*, Vol.55. 2010, pp. 2325-2334.
- [2]. Lawn, C. y Yang B, Three-dimensional effects on the performance of a vertical axis tidal turbine, *Ocean Engineering*, Vol 58. 2013, pp. 1-10.
- [3]. Marturet, Gustavo., *Simulación fluidodinámica de un modelo de turbina hidrocínética tipo Gorlov*, Trabajo de Maestría, UNEXPO, Puerto Ordáz, 2012.
- [4]. Marcano y otros, *Desarrollo de un Modelo Experimental de Turbina Hidrocínética Tipo Gorlov*, Tesis, IUTEB, 2013.
- [5]. Alarcón, Gabriel, *Turbomáquinas*. Mérida, Venezuela, Universidad de Los Andes, 1998
- [6]. Mataix, Claudio, *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*, 2da. ed. Madrid: Ediciones del Castillo, 1986.
- [7]. Cengel, Yunus A. y Cimbala, J. *Mecánica de fluidos. Fundamentos y aplicaciones*, 1era. ed. México: McGraw-Hill, p. 337, 2006.