



INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA
PASCUAL BRAVO



TECNOLOGÍA, INNOVACIÓN
CULTURA Y VIDA.

EXPOTECNOLÓGICA 2015

3 ENCUENTRO INTERNACIONAL DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA
& SIMPOSIO INTERNACIONAL EN ENERGÍAS
• OCTUBRE 15, 16 Y 17 •



EN LA RUTA DE LA ACREDITACIÓN
INSTITUCIONAL



Alcaldía de Medellín
Cuenta con vos

EXPOTECNOLÓGICA
15, 16 y 17 de octubre de 2015
Institución Universitaria Pascual Bravo
LIBRO DE RESÚMENES DE LOS TRABAJOS ACEPTADOS EN
EL III ENCUENTRO DE TECNOLOGÍA E INGENIERIA &
XI SIMPOSIO INTERNACIONAL EN ENERGÍAS
EVALUADORES

Carlos Alberto Valencia Hernandez
Jose Alejandro Posada Montoya
Juan Sebastian Rudas Florez
Luis Carlos Olmos Villalba
Rosalba Rios Galvis

Institución Universitaria Pascual Bravo

Compilador: Rosalba Rios Galvis.

Edita: Institución Universitaria Pascual Bravo

PBX (+57 4) 448 0520 Fax: (+57 4) 493 6363

Dirección: Calle 73 No. 73A - 226,
Medellín, Colombia.

Apartado Aéreo: 6564

Web: <http://www.pascualbravo.edu.co>

ISSN: 2422-3891

NOTA EDITORIAL: Las opiniones y contenidos de los artículos publicados en el libro son de responsabilidad exclusiva de los autores; así mismo, éstos se responsabilizarán de obtener el permiso correspondiente para incluir material publicado en otro lugar.



METODOLOGÍA DE DISEÑO DE CÁMARAS EN ESPIRAL A TRAVÉS DE UN CÓDIGO COMPUTACIONAL, BASADO EN LAS CONDICIONES DE FRONTERA

Vélez. S¹, Villa. S¹, Sierra. J¹, Hincapié. D¹, ¹ ITM, Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín, Colombia www.itm.edu.co e-mail: sebastianvelez@itm.edu.co

Resumen. Las hidroeléctricas, son una de las fuentes de energía eléctrica con mayor acogida actualmente, ya que no poseen las desventajas de las plantas generadoras de energía partir de combustibles fósiles o nucleares, por tal razón, es necesario mejorar los procesos de diseño que las involucran. Las cámaras en espiral son elementos constitutivos de las turbinas tipo Francis, las cuales se encargan de distribuir el agua de forma uniforme en la periferia del rodete de la misma, de su diseño depende una mejor distribución del fluido; llevando a que sea necesario generar metodologías que permitan diseñarles de forma más eficiente, reduciendo el tiempo requerido para su diseño y evitando errores geométricos; por lo anterior, el presente estudio compara la metodología clásica de diseño de las cámaras en espiral, en la cual son generados los planos y los bosquejos de cada una de las secciones transversales de la cámara; con un nuevo método el cual a través de un código computacional compatible con programas CAD comerciales, genera automáticamente las curvas respectivas de cada sección transversal, reduciendo el tiempo requerido para su diseño; las curvas obtenidas, poseen dimensiones acordes a las condiciones de frontera y basado en la fundamentación matemática que rige las espirales, para evitar que se presenten errores geométricos en el diseño y obtener así un óptimo funcionamiento de las mismas.

Palabras clave: Cámara en Espiral, Código Computacional, CAD, Turbina Francis, Turbomáquina.

1. Introducción

Las hidroeléctricas se perfilan a futuro como una de las principales fuentes de suministro de energía eléctrica debido a que no presentan las desventajas de las plantas generadoras de energía a partir de combustibles fósiles o nucleares [1], habiendo aun en el mundo un gran potencial de generación hidroeléctrica que está siendo desaprovechado, Oceanía y Asia solo tiene instalado un 20% de su potencial hidroeléctrico, África un 8%, Europa un 53%, Norte América un 39% y Sur América un 26% [2]. La Figura 1 expone dicho potencial hidroeléctrico. Uno de los tipos de turbinas más ampliamente usados, es la turbina tipo Francis [3]–[9], lo anterior es debido a su amplio rango de operación en lo referido a caudal y cabeza, la Figura 2 muestra el rango de operación característico de la misma.[10]

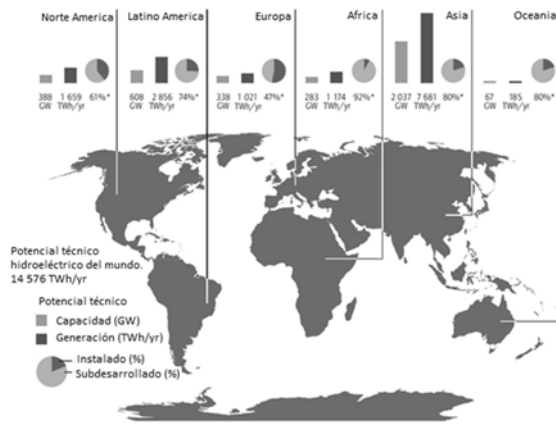


Figura 1. Potencial hidroeléctrico del mundo. Adaptado de [2]

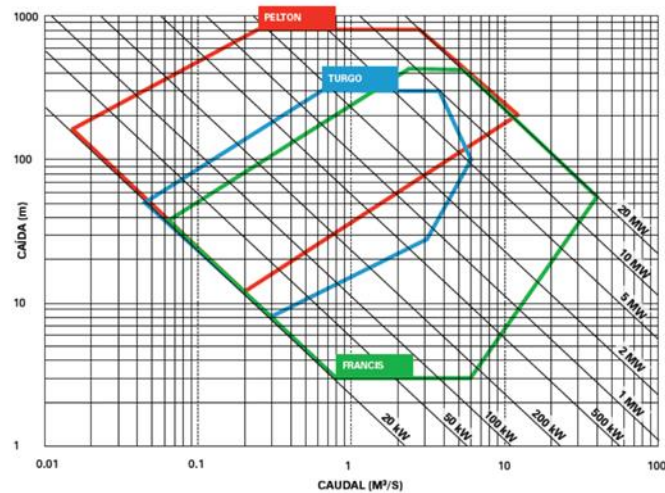


Figura 2. Grafica de selección de turbinas Tomado de [10]

Los elementos constitutivos de las turbinas tipo Francis son el runner o rodete, el draft tube o tubo de aspiración, los stay vanes o alabes fijos, los wicket gate o alabes móviles y el casing o cámara en espiral [4]; este último es el encargado de distribuir uniformemente el flujo que ingresa al sistema en la periferia del rodete para que así, se genere trabajo en un eje gracias a la interacción del fluido con los alabes del runner acorde a la ecuación fundamental de las turbomáquinas propuesta por Euler, en la cual se iguala la variación del flujo que pasa por la máquina, con el par rotacional producido. La Figura 3 expone la distribución espacial de cada uno de los componentes de la turbina tipo Francis.

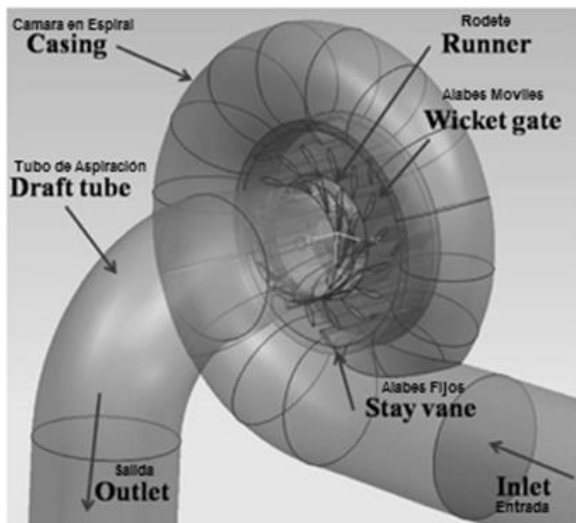


Figura 3. Partes de una turbina Francis. Adaptado de [4]

1.1 Modelos matemáticos de las espirales

Los primeros estudios realizados que pueden relacionar sistemas espirales provienen de otras ramas del conocimiento, acerca de las espirales, decía Galileo "El Universo es un libro escrito en el lenguaje de las matemáticas, siendo sus caracteres triángulos, círculos y otras figuras geométricas, sin las cuales es humanamente imposible comprender una sola palabra; sin ellos sólo se conseguirá vagar por un oscuro laberinto" matemáticamente es posible encontrar diferentes tipos, y estos son diferenciados por el ángulo de rotación y la tasa de expansión. Una definición matemática ampliamente difundida es "son curvas planas que comienzan en un punto y cuya curvatura va disminuyendo progresivamente a medida que aumenta su radio de curvatura." Para su graficado matemático, es recomendado trabajar en coordenadas polares, generalmente las curvas espirales planas son de la forma expuesta en la ecuación (1).

$$r = f(\theta) \quad (1)$$

1.2 Modelos matemáticos de las cámaras en espiral de turbinas Francis

Una de las mayores recopilaciones de las características de estas cámaras en espiral es la expuesta en el trabajo Diseño de Cajas Espirales de Sección Circular para Turbinas Hidráulicas Normalizadas.[11]. En las cuales plantea los tipos de cámaras en espiral habitualmente usadas,

con sus ecuaciones matemáticas representativas, allí adicional a las espirales previamente descritas son adicionadas las espirales polinómicas, de Fermat y de Galileo, las dos últimas son casos específicos de la espiral de Arquímedes. La Tabla 1 muestra el compilado de las cajas espirales empleadas habitualmente con sus respectivas ecuaciones representativas.

Tabla 1. Ecuaciones Representativas Cámaras en Espiral.[11]

Espiral	Ecuación	
Logarítmica	$Rc_{\theta} = K \cdot e^{-c\theta}$	(2)
Arquímedes	$Rc_{\theta} = K + C \cdot \theta$	(3)
Hiperbólica	$Rc_{\theta} = \frac{C}{\theta \cdot K}$	(4)
Galileo	$Rc_{\theta} = K + C \cdot \theta^2$	(5)
Fermat	$Rc_{\theta} = K + C \cdot \sqrt{\theta}$	(6)
Polinómica	$Rc_{\theta} = C_n \cdot \theta^n + C_{n-1} \cdot \theta^{n-1} + \dots + C_1 \cdot \theta + K$	(7)

Donde:

Rc_{θ} = Radiode la espiral en el centro
de la sección θ .

C_n, C_{n-1}, C_1, K = constantes

θ = Angulo de la caja en espiral expresado
en radianes.

Adaptada de. [11]

- Las secciones de la caja en espiral son circulares.
- Los centros de las secciones de la caja en espiral están ubicados sobre la espiral.
- La caja espiral recorre un Angulo de 360° a partir de la sección de entrada.
- La distribución de caudal a la entrada del rodete se supone uniforme.

En dicho trabajo también se expone la relación de caudal para cada uno de los ángulos, de acuerdo a la ecuación (11).

$$\dot{V}_{\theta} = \dot{V}_T \left(1 - \frac{\theta}{360} \right) \quad (11)$$

Donde:

\dot{V}_{θ} = Caudal en la sección θ .

\dot{V}_T = Caudal en la sección de entrada a la caja en espiral.

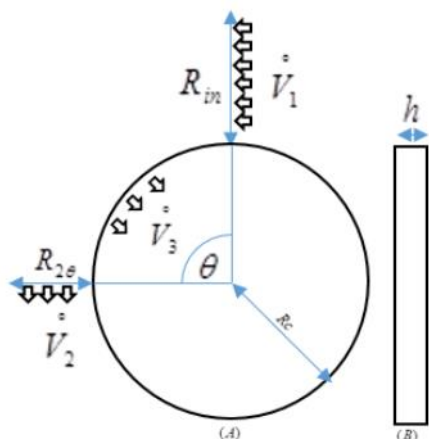
θ = Angulo de posición de cada sección medido a partir de la sección de entrada expresado en grados.

2. Metodología

2.1 Planteamiento matemático

La razón de cambio de la sección transversal de las cámaras en espiral de las turbinas tipo Francis, al ser un sistema de volumen de control, puede ser evaluado a través de balances de caudal, en el cual se cumple la relación expuesta en la ecuación (12). La Figura 4 expone el diagrama de balance empleado.

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_2 + \dot{V}_3 \quad (12)$$



Donde:

\dot{V}_1 = Caudal que entra en la cámara espiral.

\dot{V}_2 = Caudal que sigue a través de la cámara luego de avanzar θ .

\dot{V}_3 = Caudal que sale de la cámara luego de avanzar θ .

θ = Angulo de posición de cada sección medido a partir de la sección de entrada expresado en grados.

Acorde, a esta representación del problema, es posible determinar las fracciones de caudal presentes en las zonas 2 y 3 de la caja espiral, y las mismas son expuestas en las ecuaciones (13) y (14) donde la ecuación (13) es otra notación de la ecuación (11) acorde al sistema planteado.

Figura 4. Diagrama de balance de caudal con respecto al avance radial en la cámara.

$$\dot{V}_{2\theta} = \dot{V}_1 \frac{(360-\theta)}{360} \quad (13)$$

$$\dot{V}_{3\theta} = \dot{V}_1 \frac{\theta}{360} \quad (14)$$

2.2 Generación del código computacional

Basado en el planteamiento matemático es realizado el código computacional en el cual se realiza una sucesión de puntos posicionados en X Y Z, los cuales son los encargados de generar las curvas que definen las secciones transversales para los distintos ángulos θ evaluados, dichas curvas son trabajadas en coordenadas polares, y están definidas por la ecuación de la circunferencia, las ecuaciones de la (15) a la (17) exponen el posicionamiento de los puntos en las tres coordenadas rectangulares.

$$X = (R.E. + R.S.T. + (R.S.T. * \cos(\frac{\phi}{180 * \pi})) * \cos(\frac{\theta}{180 * \pi})) \quad (15)$$

Dónde:

$$Y = (R.S.T. * \sin d(\phi)) \quad (16)$$

$$Z = (R.E. + R.S.T. + (R.S.T. * \cos(\frac{\phi}{180 * \pi})) * \sin(\frac{\theta}{180 * \pi})) \quad (17)$$

R. E. = Radio de la Espiral para el ángulo θ .

R. S. T. = Radio de la Sección Transversal para el ángulo θ .

ϕ = Ángulo del arco de la Sección Transversal.

θ = Ángulo de posicionamiento de la Sección Transversal.

2.4 Generación de la geometría de la forma tradicional

En el software PTC Creo 3.0 ®, Inicialmente son generados 35 planos con un desfaz angular de 5°, más dos de los tres planos por defecto, luego son generados los bosquejos de cada una de las secciones transversales, en los respectivos planos (2 por plano), cada una de estas secciones está compuesta por una circunferencia, la distancia del centro de la misma al origen del plano es calculada con la suma del radio de la zona central y el radio del círculo de la sección; el radio de cada sección se calcula de la forma expuesta previamente en el planteamiento matemático. La Figura 5 expone las características de la primera sección, generada y la Figura 6 distribución de los planos y bosquejos en el espacio.

3 Resultados

Por ambos métodos, es posible generar las geometrías de las cámaras en espiral, inicialmente están definidos los resultados usando el código computacional, y posteriormente los obtenidos por el método tradicional.

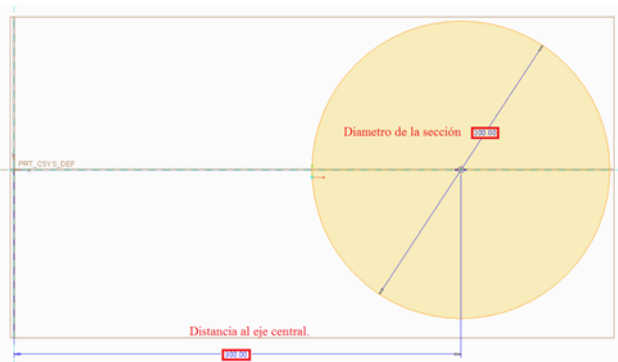


Figura 5. Diseño de la primer sección transversal.

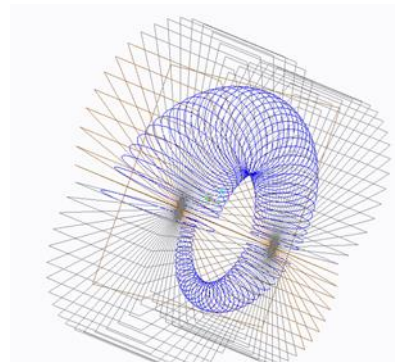


Figura 6. Distribución de planos y bosquejos en el espacio.

3.1 Generación de la geometría a través del código computacional

Es generada la interfaz gráfica que permite al usuario generar las curvas que definen la geometría de la cámara en espiral de sección transversal circular en la cual se deben definir, el radio de entrada de la cámara en espiral, el radio de la turbina, y cada cuantos grados desea que sean generadas las secciones, acordes a la técnica de construcción que se pretenda usar. El archivo en formato .IBL (IBasic Component Language File), define cual es el número de la sección, y el comienzo de la curva, luego están definidos todos los puntos que componen la sección con sus respectivas coordenadas rectangulares en XYZ, es la interpolación de dichos puntos la que permite la generación de las curvas. Una vez importadas las curvas, están actúan como bosquejos para la generación del volumen de fluido de la cámara en espiral, usando la herramientas de mezcla de límites, rellenar, combinar y solidificación respectivamente, la Figura 8 expone como partiendo de las curvas importadas se realiza la generación de la geometría.

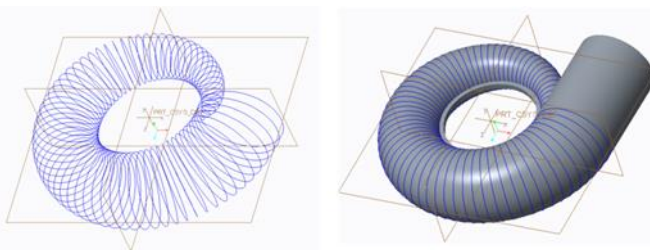


Figura 8. a) Curvas importadas. b) Volumen de fluido cámara en espiral.

El tiempo requerido para la generación de los bosquejos usando las curvas obtenidas mediante el código computacional, es de alrededor de cuatro minutos, pues solo hace falta ingresar 3 datos, y el archivo tan solo pesa 232kB, razón por la cual es rápidamente procesable por cualquier computador actual.

3.2 Generación de la geometría de la forma tradicional

Esta forma de generar la geometría, depende en gran medida de la pericia del dibujante, en el caso analizado, toma alrededor de 70 minutos, sin tener que hacer correcciones, cerca de diez minutos generando todos los planos requeridos, un promedio de 50 segundos en la generación de cada bosquejo con sus respectivas dimensiones y posicionamiento, además es factible incurrir en errores, y la localización de los mismos puede ser tediosa.

4 Conclusiones

El planteamiento matemático realizado, e implementado a través del código computacional, permite generar los bosquejos que definen la geometría de la cámara en espiral, los cuales habitualmente deben de ser calculados en cuanto a tamaño, posicionamiento y condiciones de frontera; logrando así, que la persona encargada de hacer el diseño, pueda saltarse los pasos

de generación de planos y bosquejos, reduciendo el tiempo requerido para generar el modelo CAD, y evitando la generación de errores geométricos por intervención humana, ya que los datos obtenidos por medio del código son compatibles con software de diseño digital comerciales, como lo es el PTC Creo 3.0 ®. Lo anterior se resume en mayor calidad del modelo digital y mayor eficiencia en la generación del mismo.

5 Referencias

- [1] C. P. Ion and C. Marinescu, "Autonomous micro hydro power plant with induction generator," *Renew. Energy*, vol. 36, no. 8, pp. 2259–2267, 2011.
- [2] G. Ardizzon, G. Cavazzini, and G. Pavesi, "A new generation of small hydro and pumped-hydro power plants: Advances and future challenges," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 31, pp. 746–761, Mar. 2014.
- [3] I. Göde, E., & Ryhming, "3D-Computation of the flow in a Francis runner.," *Sulzer Tech. Rev. No. 4.*, no. 4, 1987.
- [4] H.-J. Choi, M. A. Zullah, H.-W. Roh, P.-S. Ha, S.-Y. Oh, and Y.-H. Lee, "CFD validation of performance improvement of a 500 kW Francis turbine," *Renew. Energy*, vol. 54, pp. 111–123, Jun. 2013.
- [5] E. Flores, L. Bornard, L. Tomas, J. Liu, and M. Couston, "Design of large Francis turbine using optimal methods," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 15, no. 2, p. 022023, Nov. 2012.
- [6] R. A. Saeed, A. N. Galybin, and V. Popov, "3D fluid–structure modelling and vibration analysis for fault diagnosis of Francis turbine using multiple ANN and multiple ANFIS," *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 34, no. 1–2, pp. 259–276, Jan. 2013.
- [7] P. Guangjie, W. Zhengwei, X. Yexiang, and L. Yongyao, "Abrasion predictions for Francis turbines based on liquid–solid two-phase fluid simulations," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 33, pp. 327–335, Oct. 2013.
- [8] C. G. Rodriguez, E. Egusquiza, X. Escaler, Q. W. Liang, and F. Avellan, "Experimental investigation of added mass effects on a Francis turbine runner in still water," *J. Fluids Struct.*, vol. 22, no. 5, pp. 699–712, Jul. 2006.
- [9] S. Tridon, S. Barre, G. D. Ciocan, and L. Tomas, "Experimental analysis of the swirling flow in a Francis turbine draft tube: Focus on radial velocity component determination," *Eur. J. Mech. - B/Fluids*, vol. 29, no. 4, pp. 321–335, Jul. 2010.
- [10] J. D. Canales Rivas, Antonio José; Mariona Gómez, "Métodos de diseño hidráulico de turbinas francis para pequeñas centrales hidroeléctricas," UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA JOSÉ SIMEON CAÑAS, 2014.
- [11] R. López, "TRABAJO ESPECIAL DE GRADO DISEÑO DE CAJAS ESPIRALES DE SECCIÓN CIRCULAR PARA," Universidad Central de Venezuela UCV, 2003.

EXPOTECNOLÓGICA
15, 16 y 17 de octubre de 2015
Institución Universitaria Pascual Bravo
LIBRO DE RESÚMENES DE LOS TRABAJOS ACEPTADOS EN
EL III ENCUENTRO DE TECNOLOGÍA E INGENIERIA &
XI SIMPOSIO INTERNACIONAL EN ENERGÍAS
EVALUADORES

Carlos Alberto Valencia Hernandez
Jose Alejandro Posada Montoya
Juan Sebastian Rudas Florez
Luis Carlos Olmos Villalba
Rosalba Rios Galvis

Institución Universitaria Pascual Bravo

Compilador: Rosalba Rios Galvis.

Edita: Institución Universitaria Pascual Bravo

PBX (+57 4) 448 0520 Fax: (+57 4) 493 6363

Dirección: Calle 73 No. 73A - 226,
Medellín, Colombia.

Apartado Aéreo: 6564

Web: <http://www.pascualbravo.edu.co>

ISSN: 2422-3891

NOTA EDITORIAL: Las opiniones y contenidos de los artículos publicados en el libro son de responsabilidad exclusiva de los autores; así mismo, éstos se responsabilizarán de obtener el permiso correspondiente para incluir material publicado en otro lugar.





INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA
PASCUAL BRAVO



TECNOLOGÍA, INNOVACIÓN
CULTURA Y VIDA.

EXPOTECNOLÓGICA 2015

3 ENCUENTRO INTERNACIONAL DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA
& SIMPOSIO INTERNACIONAL EN ENERGÍAS
•OCTUBRE 15, 16 Y 17•



EN LA RUTA DE LA ACREDITACIÓN
INSTITUCIONAL



Alcaldía de Medellín
Cuenta con vos