



Fecha de presentación del Informe: Día Mes Año

Datos generales del Proyecto

Código del proyecto: CI 2743			
Título del proyecto: EVALUACIÓN DE UN HIDROGENERADOR DE VÓRTICE HORIZONTAL			
Facultad o Instituto Académico: INGENIERÍA			
Departamento o Escuela: EIDENAR			
Grupo (s) de investigación: DINÁMICA DE FLUIDOS			
Investigadores ¹	Nombre	Tiempo asignado	Tiempo dedicado
Investigador Principal	EFRAÍN DEL RISCO MORENO	220	220
Coinvestigadores	GERARDO TORRES CASIERRA		
Otros participantes	PABLO TRUJILLO IDROBO LUIS DÍAZ SERGIO ZÁRATE		

1. Resumen ejecutivo:

Se espera que describa el proyecto, planteamiento del problema, objetivos, metodología, principales resultados obtenidos y las conclusiones. La extensión debe ser de máximo de 500 palabras (en español y en inglés).

RESUMEN

La reducción de gases de efecto invernadero obliga a migrar de los dispositivos de generación de potencia con combustibles fósiles a alternativas con energías renovables limpias. Una de éstas es la energía hidráulica de las corrientes naturales que abundan

¹ Todas las personas relacionadas en el informe y que participen en el proyecto deben haber suscrito el acta de propiedad intelectual de acuerdo con los formatos establecidos.

en Colombia y no se aprovechan; ellas son de baja carga y no hay aparatos que usen óptimamente esa energía porque el interés se centró en los que operan con grandes alturas y caudales. Por eso se están optimizando los existentes o desarrollando nuevos sistemas de generación limitados por la falta de conocimiento para su dimensionamiento.

Por lo anterior, el Grupo de Investigación en Dinámica de Fluidos de la Universidad del Valle se propuso desarrollar y probar un hidrogenerador que forme un vórtice cuando se sumerge en un flujo de agua. Con ese vórtice se quiere impulsar un rodete acoplado a un generador eléctrico, para ver si es posible producir electricidad en las poblaciones con corrientes naturales de agua, no conectadas al Sistema Nacional de Interconexión Eléctrica.

El desarrollo del hidrogenerador intrusivo de vórtice horizontal demandó primero definir su geometría para que forme en su interior un flujo giratorio; esto se tradujo en una carcasa con tobera semiconvergente unida a una cámara de vórtice con orificio de descarga lateral. Considerando el ancho del canal de pruebas, después se definió su tamaño combinando dos alturas (e) de la sección menor de la tobera con dos anchos (A) del aparato y tres diámetros (d) del orificio de descarga, lo que condujo a la construcción y prueba de doce versiones del aparato para encontrar cuál captaba el mayor caudal y producía la mayor velocidad de giro del vórtice. La experiencia indicó que un aparato de $e = 0.01$ m, $A = 0.1$ m y $d = 0.0175$ m, hacía girar al vórtice hasta 500 RPM con un caudal de 0.73 L/s. Enseguida se escogieron los rodetes: uno tipo turbina Michell-Banki y dos con álabes helicoidales, uno con álabes exteriores y otro con álabes interiores y exteriores; el primero operaría por impulso y los últimos por arrastre, simulando la trayectoria helicoidal de las partículas en el vórtice. Construir los rodetes implicó obtener, de un dibujo en SolidWorks, una impresión de cada uno de ellos con una impresora 3D, con la cual se hizo un molde en colapiscis que por vaciado de una resina, produjo el rodete deseado. Con el rodete en la cámara de vórtice mediante un engrane en el extremo de su eje y una banda plana o tipo Oring, se transmitió la potencia mecánica a otro engrane superior, que accionó un microgenerador eléctrico.

Los resultados revelaron que, pese a su alta resistencia de forma, el hidrogenerador de vórtice concebido, desarrollado y probado en la UNIVALLE induce un vórtice con la potencia para mover un microgenerador eléctrico, por lo que esta investigación cumplió su cometido. Entonces vale seguir investigando para reducir la resistencia de formar e incrementar la energía que este aparato puede convertir en electricidad a partir de las corrientes naturales del país.

ABSTRACT

Greenhouse gases reduction requires replacing power-generating devices using fossil fuels, for alternatives using clean renewable energy. Hydraulic energy of natural flows is among this last group, and it is abundant in Colombia but it is not currently used; these

are of low charge and there is no device that optimally uses that power because the focus has been on those operating with high altitudes and flows. This is why the existing ones are being optimized and new generation systems are being developed constrained by the lack of knowledge for dimensioning.

Because of this situation Universidad del Valle's Dynamic Fluid Research Group decided to develop and test a hidrogenerator forming a vortex when immersed in a water flow. With this vortex we want to push an impeller coupled to an electrical generator to see whether it is possible to generate electricity in isolated populations with natural water flows, not connected to the National Electric Interconnection System.

The first version of the hidrogenerator intrusive of horizontal vortex required first to define its geometry to make it form within itself a rotary flow; this resulted in a shell with a semi-convergent nozzle attached to a vortex chamber with side discharge orifice. Considering the test channel's width, its size was chose combining two heights (e) of the lower nozzle section with two widths (A) of the device and three diameters (d) of the discharge orifice, which lead to build and test twelve versions of the device to find out which one captured the maximum discharge and produced the highest spin speed of the vortex. Experience showed that a device of $e = 0.01$ m, $A = 0.1$ m y $d = 0.0175$ m, made the vortex spin up to 500 RPM with a 0.73 L/s caudal. After that the runners were chosen: a Michell-Banki turbine, and tow with álabes helicoidales, one with exterior álabes, and another one with both interior and exterior álabes. The first one would work by impulse and the last two by drag simulating the helical trajectory of the particles in the vortex. The building of the runners involved previously obtaining out of a Solid Work drawing, a 3D printing of each one, using this a mold in Colapis was made which emptying resin produced the desired impeller. Putting together the impeller in the vortex chamber with a gear on the end of its axis using a flat or an Oring type band mechanical power was transmitted to a higher gear, which triggered an electric micro-generator.

The results revealed that despite its high form resistance the vortex hidrogenerator conceived, developed, and tested in UNIVALLE produces a vortex with the power to drive an electric micro-generator, so this research served its purpose. This requires further research to reduce resistance and increase the amount of energy that this unit can convert form the country's natural flows.

Síntesis del proyecto:

En una extensión máxima de 5 páginas, se debe mostrar el cumplimiento de los objetivos del proyecto y debe incluir:

Tema

EVALUACIÓN DE UN HIDROGENERADOR DE VÓRTICE HORIZONTAL

Objetivos

General: Desarrollar, probar y evaluar un hidrogenerador intrusivo de vórtice horizontal que convierta la energía de un flujo de agua en energía de rotación que accione un rodete acoplado a un generador eléctrico.

Específicos:

- Concebir el dispositivo
- Dimensionar sus partes tomando en cuenta el tamaño de la instalación experimental
- Estimar la velocidad angular del flujo del vórtice en diferentes radios y desplazamientos horizontales en el dispositivo
- Diseñar un rodete que transfiera potencia de accionamiento al eje del generador eléctrico
- Construir y montar las partes de aparato
- Medir el caudal captado por la máquina y la velocidad de giro del vórtice en si interior
- Medir la potencia eléctrica generada por el hidrogenerador de vórtice horizontal.

Metodología

5. METODOLOGÍA

5.1 Concepción Y Desarrollo del Dispositivo

Condujo a una carcasa con tobera semiconvergente unida a una cámara de vórtice cilíndrica. Como rodete se escogieron uno tipo turbina Michell-Banki y dos con álabes helicoidales.

5.2 ANÁLISIS APROXIMADO

Se hizo una evaluación cualitativa y estimaciones cuantitativas de algunos factores susceptibles de afectar el vórtice de interés, usando Mecánica de Fluidos.

5.2.1 Efecto de los Parámetros Geométricos en la Intensidad del Vórtice

La altura e de la sección menor de la tobera y el diámetro d del orificio de descarga, definen el caudal captado y el momentum angular inicial; ambas forman la razón de

aspecto e/d , que considera la resistencia de forma del dispositivo a la admisión de agua; D/d representa la resistencia del flujo giratorio dentro del cilindro.

5.2.2 Estimación del caudal captado

El caudal captado Q_2 se puede estimar con la ecuación

$$Q_2 = Q_1 \sqrt{1 - \frac{c_D}{2}}$$

donde: Q_1 caudal que entra en A_1 y q caudal que sale por las paredes laterales

$$q = Q_1 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{c_D}{2}} \right)$$

5.2.3 Potencia del flujo en la admisión del dispositivo

Es estimable con la relación

$$P_2 = \gamma Q_2 H \quad H = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2}{2}$$

donde: p_2 la presión hidrostática, z_2 la altura respecto al fondo del canal y V_2 la velocidad media del flujo, en el centroide de la admisión del dispositivo.

5.2.4 Aproximación a las pérdidas de energía en la tobera

Se puede aproximar con la expresión

$$\Delta E = \frac{1}{2} \rho \varepsilon V_2^2 \left(\frac{E}{e} - 1 \right)^2$$

donde ε coeficiente de pérdida de energía a determinar experimentalmente.

5.2.5 Potencia estimada que pierde el flujo principal por la presencia del dispositivo

Es factible aproximar con la relación

$$P = C_D \rho A \frac{V_1^3}{2}$$

5.2.6 Estimación de la energía disponible

$$P = \gamma V A_t \left(\frac{p}{\gamma} + z + \frac{v^2}{2g} \right)$$

5.2.7 Estimación de la energía aprovechable

$$P_{\text{vórtice}} = \frac{V_3}{r^2} \sqrt{\frac{4 e r_o}{\pi}} \rho V_3^2 e A r_o$$

donde: V_3 la velocidad en la entrada del a cámara de vórtice, A el ancho del modelo, r_o radio desde el orificio de alimentación al eje del cilindro, r radio del vórtice a determinar experimentalmente y e la altura en la entrada de la cámara del vórtice.

6. DETALLES DEL HIDROGENERADOR: consta de una carcasa y un rodete:

6.1 Carcasa: Formada por una tobera y un cilindro; capta y acelera el agua, y forma el vórtice en un cilindro con orificio de descarga lateral.

6.2 Rodete: Convierte la energía captada en energía de rotación; se probaron uno de impulso tipo turbina Michell-Banki y dos de álabes helicoidales para arrastre.

7. SIMULACIÓN NUMÉRICA

Produjo perfiles de velocidad axial y tangencial en diferentes secciones transversales normales al eje axial. Proporcionó perfiles de velocidad en tres secciones transversales de la tobera.

8. METODOLOGÍA

8.1 *INSTALACIÓN EXPERIMENTAL*

Los experimentos se realizaron en un canal del Laboratorio Mecánica de Fluidos e Hidráulica (LMF&H) de la Universidad del Valle.

8.2 *PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL*

Operativamente se dividió en: 1) Determinación de las dimensiones del dispositivo que captara el mayor caudal y permitiera la máxima velocidad de giro del vórtice y 2) Evaluación de la potencia eléctrica generado por un generador eléctrico acoplado a un rodete instalado en la cámara de vórtice.

8.2.1 *Dimensionamiento de la carcasa*

Fue posible ensayando doce versiones del aparato para determinar en cuál giraba más

el vórtice y se captaba el mayor caudal. Implicó medir el caudal captado por cada versión y medir la velocidad de giro del vórtice con un correntómetro de copas.

8.2.2 Diseño y construcción del rodete

Fueron seleccionados dos tipos de rodete: el de la turbina Michell-Banki a operar por impulso y dos a funcionar por arrastre mediante álabes helicoidales.

8.2.3 Selección y dimensionamiento del sistema de transmisión de potencia

Por simplicidad se escogió un sistema de engrane inferior y superior con banda plana y tipo Oring, con relación de transmisión de 1 a 1.8 y 1 a 3.

9 RESULTADOS

9.1 PERFILES DE VELOCIDAD DEL FLUJO SIN Y CON DISPOSITIVO

Se determinaron en tres secciones transversales medidas desde la entrada del canal, resultado diferentes, mostrando que el aparato afecta la distribución de la velocidad.

9.2 PERFILES DE VELOCIDAD A LA ENTRADA DEL DISPOSITIVO

Revelan que la velocidad del flujo incidente al dispositivo no es máxima con el caudal mayor, lo que podría indicar que a partir de cierto valor de esta variable aumenta la resistencia al flujo.

9.3 CAUDALES CAPTADOS POR LOS DOCE DISPOSITIVOS

Indicaron que los dispositivos con 0.10 m de ancho podían captar agua entre el 60 y el 80 % del caudal captado por los de 0.20 m de ancho. Esto puede obedecer a que a menor ancho del dispositivo hay menos resistencia al flujo en el canal, porque disminuye el efecto de las paredes del canal.

9.4 VELOCIDAD ANGULAR DEL VÓRTICE

La máxima velocidad se dio en las V8D y V9D; la primera presentó valores máximos de esa variable con los dos caudales mayores, por eso fue la de mejor rendimiento.

9.5 POTENCIA DEL VÓRTICE

Se estimó con una relación producto del análisis integral. Predice potencias en el orden de las potencias eléctricas medidas.

9.6 POTENCIA ELÉCTRICA PRODUCIDA

Depende de la relación de transmisión y de la carga aplicada. Fue pequeña por el reducido tamaño del aparato y porque no se alcanzó la velocidad de giro máxima del microgenerador.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se probó un dispositivo inmerso en un flujo para ver si era capaz de formar un vórtice horizontal que gire un rodete acoplado a un microgenerador eléctrico. Tiene una carcasa de tobera semiconvergente unida a una cámara de vórtice alimentada tangencialmente, que descarga agua por un orificio lateral. Su tamaño resultó ensayando doce versiones del mismo, para encontrar en cuál giraba más el vórtice y se captaba el mayor caudal, con diferentes caudales del flujo en un canal de laboratorio. En cada dispositivo se estudió experimentalmente la velocidad de giro del vórtice, variando la altura o el ancho del orificio de alimentación de agua a la cámara de vórtice, o el diámetro del orificio de descarga. Como ayuda en el dimensionamiento del aparato, también se efectuó una simulación numérica que brindó información sobre la hidrodinámica del vórtice. En la mejor versión del dispositivo se probaron tres rodetes: uno de impulso tipo turbina Michell-Banki y dos de arrastre con álabe helicoidal externo el primero y álabes helicoidales interno y externo el segundo. La evaluación del hidrogenerador se hizo midiendo la potencia producida por un microgenerador de 1 W, accionado por un sistema de transmisión de potencia de dos engranes con banda plana y tipo O ring. A partir de los resultados obtenidos se concluye:

- a) El aparato sí forma un vórtice con el flujo que capta del canal, por no producir estancamiento a pesar de ser intrusivo y con gran resistencia de forma.
- b) La velocidad de giro del vórtice depende del caudal captado, de las dimensiones del orificio de alimentación a la cámara de vórtice y del diámetro del orificio de desagüe.
- c) La velocidad de giro del vórtice varía con el radio y la distancia axial, siendo mayor cuando menor es el radio y más próximo al orificio de desagüe.
- d) El caudal captado depende del ancho y la altura del orificio de alimentación a la cámara de vórtice y del diámetro del orificio de descarga.
- e) El vórtice generado fue capaz de girar el rodete acoplado al generador cargado con un banco de resistencias.
- f) Los rodetes ensayados aprovecharon parcialmente la energía del vórtice, porque todavía no es claro cómo extraer más energía.
- f) La potencia eléctrica generada fue pequeña pero en concordancia con el tamaño del aparato, limitado por las dimensiones del canal experimental.
- g) El sistema de transmisión de potencia cumplió con su cometido en esta fase del

desarrollo, pero es susceptible de mejorar.

h) El proyecto cumplió su cometido por lo que se puede considerar un éxito

Este hidrogenerador de vórtice horizontal abre la posibilidad de aprovechar la energía de las corrientes naturales para generar potencia, siempre que se reduzca la resistencia de forma, mejore la conversión de energía en el rodete y se transmita la potencia de manera más eficiente. En ausencia de instrumentación apropiada, es importante el papel de la simulación numérica.

2. Productos:

Tabla No. 1. **Cantidad y tipo de productos pactados en el *Acta de Trabajo y Compromiso* y productos finalmente presentados**

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS	No. de PRODUCTOS PRESENTADOS
Productos de nuevos conocimientos		
Artículo completo publicado en revistas A1 o A2	2	2
Artículo completo publicados en revistas B		
Artículo completo publicados en revistas C		
Libros de autor que publiquen resultados de investigación		
Capítulos en libros que publican resultados de investigación		
Productos o procesos tecnológicos patentados o registrados		
• Prototipos y patentes		
• Software		

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS		No. de PRODUCTOS PRESENTADOS	
Productos o procesos tecnológicos usualmente no patentables o protegidos por secreto industrial				
Normas basadas en resultados de investigación				
Formación de recursos humanos	No. de estudiantes vinculados	No. de tesis	No. De estudiantes Vinculados	No. De tesis
Estudiantes de pregrado	2	1	2	1
Semillero de Investigación				
Estudiantes de maestría	1	1		
Estudiantes de doctorado				
Productos de divulgación				
Publicaciones en revistas no indexadas				
Ponencias presentadas en eventos (congresos, seminarios, coloquios, foros)	No. de ponencias nacionales	No. de ponencias internacionales	No. de ponencias nacionales	No. de ponencias internacionales
Propuesta de investigación				2
Propuestas presentadas en convocatorias externas para búsqueda de financiación.				

Tabla No. 2. Detalle de productos.

Para cada uno de los productos obtenidos y relacionados en la tabla anterior, indique la información solicitada para cada uno, anexando copia de las respectivas constancias. Como anexo a esta guía encontrará el instructivo para instructivo para la revisión de informes finales y productos



Tipo de producto:	Artículo
Nombre General:	Sometido a revisión en la Revista Facultad de Ingeniería-Universidad de Antioquia con fines de publicación.
Nombre Particular:	SINGLE HORIZONTAL VORTEX CHAMBER HYDROTURBINE
Ciudad y fechas:	Medellín-Mayo del 2015
Participantes:	Sergio Zárate, Gerardo Torres y Efraín del Risco
Sitio de información:	Centro de Documentación del Laboratorio de Mecánica de Fluidos e Hidráulica
Formas organizativas:	Grupo de Dinámica de Fluidos

Tipo de producto:	Artículo
Nombre General:	Sometido a revisión en la Revista Ingeniería y Desarrollo de la Universidad del Norte
Nombre Particular:	GENERADOR INTRUSIVO DE VÓRTICE HORIZONTAL
Ciudad y fechas:	Barranquilla- Mayo de 2015
Participantes:	Luis Díaz, Gerardo Torres y Efraín del Risco
Sitio de información:	Centro de Documentación del Laboratorio de Mecánica de Fluidos e Hidráulica
Formas organizativas:	Grupo de Dinámica de Fluidos

Tipo de producto:	Ponencia
Nombre General:	II Latin American Hydro Power and Systems Meeting
Nombre Particular:	EXPERIMENTAL EVALUATION AT LABORATORY SCALE OF A HORIZONTAL VORTEX HYDROGENERATOR

Ciudad y fechas:	Ciudad de La Plata-Buenos Aires-Argentina; 28 y 29 de abril de 2015
Participantes:	Autores: Luis Díaz, Sergio Zárate, Gerardo Torres, Efraín del Risco; Ponente: Pablo Trujillo
Sitio de información:	Centro de Documentación del Laboratorio de Mecánica de Fluidos e Hidráulica
Formas organizativas:	Grupo de Dinámica de Fluidos

Tipo de producto:	Ponencia
Nombre General:	SIMULACIÓN DE UN VÓRTICE HORIZONTAL
Nombre Particular:	XXVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica
Ciudad y fechas:	Santiago de Chile, 27 al 29 de agosto de 2014
Participantes:	Pablo Trujillo, Gerardo Torres, Efraín del Risco
Sitio de información:	Centro de Documentación del Laboratorio de Mecánica de Fluidos e Hidráulica
Formas organizativas:	Grupo de Dinámica de Fluidos

3. Impactos actual o potencial:

Este proyecto se hizo con la intención de proporcionar electricidad a los pobladores de zonas no conectadas al Sistema Nacional de Interconexión Eléctrica, que dispongan de corrientes naturales. Como es una nueva forma de producir electricidad, porque el aparato es intrusivo y se aspira a desarrollar un generador que funcione por arrastre siguiendo el patrón de flujo del vórtice, una vez verificado el conocimiento teórico producido con los resultados experimentales, se pueden tener elementos para establecer un criterio de dimensionamiento de este nuevo hidrogenerador.



La presente versión del informe contiene las observaciones de los evaluadores:

Firma del investigador principal

VoBo. Vicedecano de Investigaciones

Por favor presente su informe impreso y en formato digital en hoja tamaño carta, letra arial 11, con espacios de 1 1/2