CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR DE OLAS ARTIFICIALES ESTATICAS

CONSTRUCTION OF AN ARTIFICIAL STATIC WAVE GENERATOR

Emanuel Guzmán, Eder Salcedo, Dennis Casas, Jimmy Mendoza, Héctor Alcalde

RESUMEN

El planteamiento central del presente proyecto consiste en el diseño y construcción de un modelo a menor escala de un generador de olas artificiales estáticas. Actualmente existen grandes centros turísticos de recreación ubicadas en diversas partes del mundo como Norteamérica, Asia y Europa, que contienen atracciones como las piscinas de olas artificiales. Un ejemplo de ello es un modelo generador de olas artificiales llamado "Bruticus Maximus", ubicado en San Francisco – Estados Unidos, este modelo genera una ola estática de hasta 2.5 metros a una velocidad de 50 kilómetros por hora y con un caudal de casi medio millón de litros por minuto. Esta atracción genera ganancias millonarias anuales y además ha revitalizado turísticamente el otrora decaído Parque Belmont, lugar donde queda ubicada la atracción. En este proyecto consiste en el diseño y construcción de un generador de olas artificiales a menor escala a través de diversas herramientas como: creación de maquetas y manejo de canales de pendiente variable. Los datos obtenidos luego son procesados para simular el funcionamiento de una ola estática a través de un modelamiento numérico y finalmente construirlo en tamaño real.

ABSTRACT

The main idea of this project is model's construction and design of static artificial wave generator. Currently there are big tourist attractions located in different parts of the world such as North America, Asia, and Europe, which have got attractions as artificial wave pools. An example of that could be an artificial wave generator called: "Bruticus Maximums", located in Saint Francisco-USA, this kind of pool generates artificial waves of 2.5 meters, 50 kilometres per hour and a half million litres per minute. This attraction produces millions in profits per year and it has revitalized the old Belmont's Park. The present project shows the construction of a scale model with different tools such as: variable decline canal and different scale models. Then, some data are processed to simulate the waves using numerical modelling software to finally construct the generator in real size.

INTRODUCCIÓN

Actualmente existen grandes centros turísticos de recreación ubicadas en diversas partes del mundo como Norteamérica, Asia y Europa, que presentan como sus principales atracciones: las piscinas de olas artificiales. Precisamente se espera, al finalizar el proyecto, conocer los parámetros de funcionamiento de un generador de olas artificiales estáticas para fundamentar el diseño un módulo experimental funcional a escala.

PLANTEAMIENTO DE ESTUDIO

Para poder realizar con éxito nuestro estudio es necesario responder estas preguntas, de esta manera, se plantean posibles soluciones a nuestras interrogantes, primero responderemos la pregunta ¿Qué velocidad debe tener el agua para sostener al surfista? Y para ello necesitamos saber ¿Qué hace que el agua sostenga al sufista en la superficie inclinada.

FORMULACIÓN DE OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Generar un modelo a escala de un generador de olas artificiales.

OBJETIVO ESPECÍFICO

Calcular los parámetros de diseño para este modelo a escala, tales como: Radio de curvatura, caudal mínimo para que se pueda sostener un surfista, entre otros.

FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

Hipótesis

1. El movimiento del surfista en la delgada capa de agua se debe a la gran velocidad

del agua y la fuerza de arrastre que esta produce.

- 2. Se realizará un módulo experimental del cual se obtendrá un modelo en computadora.
- 3. Se construirá un canal de pendiente para analizar factores como rozamiento y fuerza de arrastre.
- 4. Se analizará el modelo en computadora y junto con los datos del canal se obtendrá las velocidades con la cual se debe lanzar el agua.

FUNDAMENTO TEÓRICO

Fuerza de arrastre

La fuerza de arrastre se define como la <u>fricción</u> entre un objeto <u>sólido</u> y el <u>fluido</u> (un <u>líquido</u> o <u>gas</u>) por el que se mueve. Para un sólido que se mueve por un <u>fluido</u> o <u>gas</u>, el arrastre es la suma de todas las <u>fuerzas</u> <u>aerodinámicas</u> o <u>hidrodinámicas</u> en la dirección del flujo del fluido externo. Por tanto, actúa opuestamente al movimiento del objeto, y en un vehículo motorizado esto se resuelve con el <u>empuje</u>.

Pérdida de carga

La perdida de carga en una <u>tubería</u> o <u>canal</u>, es la pérdida de energía dinámica del fluido debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las contiene.

Pueden ser continuas, a lo largo de conductos regulares, o accidental o localizada, debido a circunstancias particulares, como un estrechamiento, un cambio de dirección, la presencia de una <u>válvula</u>, etc.

Pérdida de carga en conducto rectilíneo

Si el flujo es uniforme, es decir que la sección es constante, y por lo tanto la velocidad también es constante, el <u>Principio de Bernoulli</u>, entre dos puntos puede escribirse de la siguiente forma:

$$y_1 + \frac{P_1}{\rho g} = y_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \sum \lambda$$
...(1)

Donde:

 $g_{=}$ constante gravitatoria $y_{i=}$ altura geométrica en la dirección de la gravedad en la sección $i = 1 \circ 2$ $P_{=}$ presión a lo largo de la línea de

 Γ = presión a lo largo de la línea de corriente

 $\rho_{=}$ densidad del fluido

 $\sum \lambda = J.L$: pérdida de carga; siendo L, la distancia entre las secciones 1 y 2; y, Jel gradiente o pendiente piezométrica, valor que se determina empíricamente para los diversos tipos de material, y es función del radio hidráulico y de la rugosidad de las paredes y de la velocidad media del agua.

Expresiones prácticas para el cálculo

Para tubos llenos, donde $R = \frac{D}{4}$, la <u>fórmula de Bazin</u> se transforma en:

$$J = 0.000857. \left(1 + \frac{2\gamma}{\sqrt{D}}\right)^2 \cdot \frac{q^2}{D^5} \dots \dots (2)$$

Los valores de $\gamma_{son:}$

- 0.16 para tubos de <u>acero</u> sin soldadura
- 0.20 para tubos de <u>cemento</u>
- 0.23 para tubos de <u>hierro fundido</u>

Simplificando la expresión anterior para tubos de hierro fundido:

$$J = 0.0019.q^2.D^{-5.32}....(2)$$

La <u>fórmula de Kutter</u>, de la misma forma se puede simplificar:

Con m = 0.175;
$$J = 0.0012.q^2 . D^{-5.26}$$

Con m = 0.275; $J = 0.0016.q^2 . D^{-5.26}$
Con m = 0.375; $J = 0.0020.q^2 . D^{-5.26}$

Pérdidas de carga localizadas

Las pérdidas de carga localizada o accidental se expresan como una fracción o un múltiplo de la llamada "altura de velocidad" de la forma:

$$h_v = K(\frac{V^2}{2g}) \dots (3)$$

Donde:

 $h_v = pérdida de carga localizada;$

V = velocidad media del agua, antes o después del punto singular, conforme el vaso;

K = Coeficiente determinado en forma empírica para cada tipo de punto singular

Tipo de singularidad	к
Válvula de compuerta totalmente abierta	0,2
Válvula de compuerta mitad abierta	5,6
Curva de 90°	1,0
Curva de 45°	0,4
Válvula de pie	2,5
Emboque (entrada en una tubería)	0,5
Salida de una tubería	1,0
Ensanchamiento brusco	$(1-(D_1/D_2)^2)^2$
Reducción brusca de sección (Contracción)	$0,5(1-(D_1/D_2)^2)^2$

Cuadro 01. Constantes de singularidades.

FORMULACIÓN DE ÍTEMS

¿Qué velocidad debe tener el agua para sostener al surfista?

-Esta velocidad depende de factores como la rugosidad de la superficie, la velocidad final en el recorrido del fluido y la forma geométrica de la superficie.

¿Qué hace que el agua sostenga al sufista en la superficie inclinada?

-La gran fuerza de arrastre existente en el fluido que se mueve a gran velocidad permite que el surfista con su tabla se puedan mover sobre un espesor de agua de aproximadamente 15cm.

¿Qué forma debe tener la superficie para que se forme la ola?

-Básicamente se necesita que sea curva para que se forme la ola, ya que el agua seguirá la forma de la superficie si tiene la velocidad necesaria y la rugosidad es mínima.

¿Qué forma debe tener el "cigarro" para que suministre las velocidades necesarias?

-La forma del cigarro depende de la cantidad y velocidad del agua al momento de ser lanzada contra la superficie.

¿Qué escalas utilizar para que el modelo represente a un prototipo real?

-Para realizar un prototipo que represente al real se debe cumplir que el número de Reynolds en el modelo y en el real sea el mismo, para ello se hace variar factores como la densidad del fluido, pero para el caso de nuestro módulo experimental no llegaremos a tanto por ser un proyecto aún en desarrollo.

PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

Consideraremos que el surfista queda sostenido por una fuerza de empuje y una fuerza de levante propias de el flujo de agua, detallando mejor se tendria:



Fig. 01. Diagrama de fuerzas sobre el surfista. Donde:

E: El empuje D: La fuerza de arrastre W: El peso E: El levante

Consideraremos el sistema de fuerzas en la Fig. 01, de este D.C.L consideraremos las siguientes ecuaciones:

$$D = (w - E) \sin \theta \dots (4)$$

$$L = (W - E) \cos \theta \dots (5)$$

Si la hipótesis es correcta se plantea como solución al problema la construcción de una tabla a escala de la maqueta y un canal de pendiente variable donde se pueda medir el C_d de aquella tabla, pues se tiene que:

$$D = \frac{Cd}{2} * \rho * v^2 * A \dots (6)$$

Donde:

D: Arrastre

• : Densidad del agua

v: Velocidad del agua

A: Área de la tabla perpendicular a la corriente

Despejando C $_{d}$ de (1) y (2) se tiene:

$$Cd = \frac{2(W - E)\sin\theta}{\rho v^2 A} \dots (7)$$

Donde:

W, C_d , ρ , θ son conocidos y A podría mantenerse constante para el experimento en el canal.

Cuadro 02.Para hallar v:



Fig. 02. Esquema de prueba en el canal para hallar la velocidad.

De la ecuación de la energía:

$$\frac{P_1}{\rho^*g} + \frac{v_1^2}{2^*g} + Z1 = \frac{P_2}{\rho^*g} + \frac{v_2^2}{2^*g} + Z2 + H_f$$
...(8)

Como:

 $P_1 = P_2 = Presión atmosférica$

Además:

$$H_f = \frac{f \times (X_2 - X_1) \times v_{media}^2}{Dh} \dots (9)$$

Donde:

$$Dh = \frac{4Area}{Perimetro}$$
...(10)

	Caudal (l/m)	Caudal	tirante (cm)	tirante (m)	Fricción
ángulo de pendiente = 0	120	0.02	1.08	0.0108	0.057
	60	0.01	0.96	0.0096	0.058
	30	0.005	2.018	0.0201	0.052
ángulo de pendiente =0.006	120	0.02	1.23	0.0123	0.0556
	60	0.01	1.26	0.0125	0.0557
	30	0.005	1.15	0.0115	0.0564
ángulo de pendiente = 0.012	120	0.02	1.266	0.0126	0.0556
	60	0.01	1.106	0.0110	0.0568
	30	0.005	1.167	0.0117	0.0563
ángulo de pendiente = 0.018	120	0.02	1.205	0.0120	0.0560
	60	0.01	1.326	0.0132	0.0552
	30	0.005	1.2	0.012	0.0561

En el Cuadro 02 se aprecian los valores de fricciones en función del caudal y la pendiente para el canal de vidrio de ancho 15 cm.

Para hallar V_{media} :

Donde:

C: Coeficiente de Chezy Rh: Radio Hidráulico S_0 : Pendiente del canal

Según Bazin:

$$C = \frac{87\sqrt{Rh}}{\sqrt{Rh+\gamma}}\dots(12)$$

Donde γ es el Coeficiente de Bazin (para el vidrio $\gamma = 0.006$).

Entonces la velocidad media queda en función de la pendiente.

$$V_{media} = KS_0^{1/2}$$
$$= K(Tan\theta)^{1/2}$$

Para hallar f, según Manning:

$$C = \frac{Rh^{1/6}}{n} \dots (13)$$

Donde:

n: Coficiente de Manning (para el vidrio

n = 0.01) C: Coeficiente de Chezy

Por otro lado, sea la sección del Canal:

Fig. 03. Sección del Canal.

Donde:

Entonces:
$$C = \frac{\left[\frac{2(a+b)}{ab}\right]^{1/6}}{n} \dots (15)$$

Pero:
$$C = \left(\frac{8g}{f}\right)^{1/2} \dots \dots (16)$$

Igualando y despejando la fricción:

$$f = \frac{8gn^2}{\left(\frac{ab}{2(a+b)}\right)^{1/3}} \dots (17)$$

Utilizando esta fórmula, realizamos pruebas en el canal de pendiente variable para caudales de 120 l/m, 60 l/m, 30 l/m haciendo variar las pendientes.

Para calcular *Hf*:

De (9):
$$H_f = \frac{f(X_2 - X_1)V_{media}^2}{Dh}$$

Donde:

$$f$$
: fricción
 $(X_2 - X_1) = 2\cos\theta$
 $Dh = 4Rh$

Entonces la velocidad en un punto será:

$$V_2 = \sqrt{2gv_1^2 + 2gHSen\theta - H_f} \dots (18)$$

 $V_1 = \frac{Q}{A_1}$

Reemplazando en (18):

$$V_2 = \sqrt{2gv_1^2 + 2gLsen\theta - \frac{f(\theta)H\cos V_{media}^2(\theta)}{Dh}} \dots (19)$$

Además:

$$W_{tabla} = 3.9953$$
$$E_{tabla} = \rho g V_{tabla}$$

Entonces:

$$Cd = \frac{2(W-E)sen\theta}{\rho V_{media}^2 A_{ataque}} \dots \dots (20)$$

Y del gráfico:

Fig. 03. Grafico del área de ataque.

$$A_{ataque} = A_{tabla} \times \cos \alpha \dots \dots (21)$$

Donde:

E: empuje θ : Ángulo de la pendiente α : Ángulo de inclinación de la tabla. ρ : Densidad V: velocidad

Por otro lado:

$$X_2 - X_1 = H\cos(\theta) \dots (22)$$

De (9):

$$H_f = \frac{f \times (X_2 - X_1) \times v_{media}^2}{Dh}$$

Donde:

f : Fricción del canal de vidrio

ángulo de pendiente	Caudal	Perdida de carga	COEFICIENTE DE ARRASTRE
0	0,002		
0	0,001		
0	0,0005		
0,006	0,002		
0,006	0,001		
0,006	0,0005		
0,012	0,002	0,08716413	0,0836952
0,012	0,001	0,10008732	0,06454446
0,012	0,0005		
0,018	0,002	0,18794147	0,0493547
0,018	0,001	0,12950277	0,00699859
0,018	0,0005		

Despejando v de la ecuación de la energía:

$$v = \sqrt{v_1^2 + 2gH\sin(\theta) - H_f}$$
(23)

Una vez conocido el C_d de nuestra pequeña tabla, se puede hallar la velocidad del agua necesaria para que sostenga al surfista más su tabla en la pendiente inclinada:

$$v = \sqrt{\frac{2D}{Cd\rho A}} = \sqrt{\frac{2(W-E)\sin\theta}{Cd\rho A}} \dots \dots (24)$$

Considerando un peso de 150 gramos, un angulo de pendiente de 30 grados y un area de 0.00175 m^2 se tiene que la velocidad final es: 1.000896947 m/s

Diseño del canal para el experimento

El canal constará de las siguientes partes:

- El difusor
- Canales de vidrio (3)
- Sistema para la pendiente y para sostener al la pequeña tabla.
- La tabla a escala





Fig. 04. Diseño de canal de pendiente variable.

El Difusor

Un difusor es un ensanchamiento de área u aumento de área cuya finalidad es reducir la velocidad y recuperar la presión.



Fig. 05. Diseño de difusor.



Fig.06. Difusor Construido

El parámetro de un difusor es el *coeficiente de recuperación* (C $_{p}$), definido por:

$$Cp = \frac{P_S - P_g}{P_0 g - P_g} \dots \dots (25)$$

Donde:

Ps : Presión en la salida Pg : Presión en la garganta o entrada.

Pero de la ecuación de Bernoulli (sin considerar fricción):

$$P0 = P1 + \frac{1}{2}\rho v 1^2 = P2 + \frac{1}{2}\rho v 2^2 \dots (26)$$

Despejando se tiene que un Cp sin fricción seria:

Cp = 1 -
$$\left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2 \dots (27)$$

De la ecuación de continuidad se tiene que: $Q = v_1 A_1 = v_2 A_2$

Reemplazando en (5) se tiene que:

Cp =
$$1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^{-2} \dots (28)$$

Altos Cp significan una buena recuperación de la presión y una reducción de la velocidad, además de una mejor distribución de velocidades en la salida.

Para obtener la mejor aproximación de los valores de Cp se utiliza el *diagrama completo de estabilidad para difusores de paredes planas* de Fox y Kline, donde los parámetros que se utilizan son:

> v^9 : Angulo del difusor L: Longitud del difusor W₁: Ancho en la entrada W₂: Ancho en la salida

Para nuestro difusor tenemos que: $A_1 = 6.4516 \times 10^{-4} \text{ m}^2$; $A_2 = 7.5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ $W_1 = 0.0254 \text{ m}$; $W_2 = 0.15 \text{ m}$

De (17) se tiene:

$$Cp=1 - \left(\frac{A^2}{A1}\right)^{-2} = \left(\frac{v^2}{v_1}\right)^2 = 0.26$$

 $L = 0.0623 \cot \theta \dots (29)$ Además: $\frac{L}{W1} - \frac{0.0523 \cot \theta}{0.0254}$

Despejando ⁹ de (16) se tiene que:

Se tiene que para que el difusor tenga la mejor distribución de velocidad en la salida, el Cp debe acercarse a donde esta la recta en la gráfica de Fox y Kline, para ello tabulamos los valores de "26" versus "L/W1" y ubicamos los puntos en la mencionada grafica:



Fig. 07. Diagrama de Cp de Fox y Kline.

L/W	Θ (grados)	20
40	3.5	7
10	13.777	27.54
4	31.44	62.98
2	50.77	101.04
1	27.8	135.6

Cuadro 02. Longitud de difusor versus Angulo.

De la grafica se observa que el punto que más se acerca a la recta donde está el mejor Cp es:

- Θ = 3.5
- L/W=40

Reemplazando en (7), se tiene que para un

L=1.016m, se va a tener en teoría el valor de Cp mas cercano a 0.26 y por lo tanto una mejo distribución de velocidades en la salida.

Canales de vidrio

Se han construido tres canales de vidrio de sección 15cmx8cm y con unas longitudes de 40cm, 60cm y 100cm, para poder probar el canal con diversos caudales sin correr el riesgo de que el agua se acumule.



Fig. 08. Diseño de canal.



Fig. 09. Canales construidos.

Sistema de tabla en miniatura-área de ataque

Se ah mandado a tornear dos piezas que consisten en una tabla en miniatura unida a una varilla que puede modificar su pendiente. Una de estas piezas servirá para el análisis en el canal y la otra para la el modelo en maqueta de la ola.



Fig. 10. Diseño de tabla en miniatura

Sistema de carril para tabla en miniatura

Pieza también torneada en aluminio que sirve para que la tabla en miniatura pueda deslizarse a lo largo del canal por causa de la fuerza de arrastre del agua.



Fig. 11. Diseño de sistema corredizo.

¿Qué forma debe tener la superficie para que se forme la ola?

Para responder ah esta pregunta se creo un modulo experimental el cual se puede modificar en el estudio:



Fig. 12. Modulo experimental.

Después a esta superficie se le tomo coordenadas utilizando un aparato creado por nosotros bautizado 'coordinometro', el cual consiste en un carril con una placa móvil que tiene varios agujeros, en los cuales se introduce una varilla en la cual se mide la altura Z de la coordenada dada. Con el cual se tomaron 2450 puntos con coordenadas x, y z y utilizando el comando 3dmesh del Autocad se genero el siguiente modelo:



Fig. 13. Primera maya obtenida en Autocad.



Fig. 14. Otra vista de la maya obtenida en Autocad.

También en Matlab por medio de interpolación se obtuvo un modelo de nuestra superficie:



Fig. 15. Superficie obtenida por interpolación en Mathlab.

Sin embargo para poder analizar mejor el movimiento del agua en la superficie era necesario obtener la intersección de la superficie con planos cortantes, pero en Autocad no se podía obtener de manera directa, pues no es posible intersecar una maya con un plano. Así que se utilizó la rutina de Autocad M2s, el cual permite transformar mayas en sólidos.



Una vez que la superficie ya era sólida, separamos las secciones y la intersecamos con planos:



Fig. 17. Superficie separada en secciones.

Luego se obtuvieron 59 secciones correspondientes a todos los cortes que realizamos a la superficie sólida:



Fig. 18. Algunos perfiles simplificados

Ahora se nota dos tipos de secciones predominantes, como la sección 1 y la sección 11:



Fig. 19. Primer tipo de perfil predominante.



Fig. 20. Segundo tipo de perfil predominante.

Después cada perfil se simplificó utilizando arcos y rectas de tal manera que tomen la forma de la figura anterior:



Fig. 21. Sección sin simplificar.



Fig. 22. Sección que esta siendo simplificada

La primera sección se puede aproximar a la siguiente forma:



Fig. 21. Primer perfil reducido a una recta y dos arcos de circunferencia.

Cada sección simplificada se convirtió en sólido al extruirlo (realizarle una elevación de tal manera que se convierta en un sólido) 1cm, luego se unió todas las partes para generar nuestra superficie simplificada:



Fig. 23. Nueva superficie formada por las secciones simplificadas.



Fig. 24. Otra vista de la nueva superficie sólida.

De estas nuevas secciones obtuvimos los siguientes datos geométricos, que se muestran en los cuadros 03 y 04:

Secciones	Х	Y	X	Y final	m	b
	inicial	inicial	final			-
1.	0.000	0.173	0.260	0.173	0.000	0.173
2.	0.000	0.167	0.196	0.163	0.008	0.167
3.	0.000	0.162	0 _r 2247	0.165	0.021	0.162
4.	0.000	0.156	0.181	0.156	0.000	0.156
5.	0.000	0.151	0.213	0.155	0.002	0.151
6.	0.000	0.147	0.201	0.150	0.019	0.147
7.	0.000	0.144	0.190	0.146	0.013	0.144
8.	0.000	0.142	0.130	0.144	0.008	0.142
9.	0.000	0.140	0.195	0.142	0.010	0.140
10.	0.000	0.137	0.197	0.140	0.020	0.137
11.	0.000	0.135	0.174	0.139	0.020	0.135
12.	0.000	0.134	0.217	0.141	0.030	0.134
13.	0.000	0.133	0.210	0.139	0.033	0.133
14.	0.000	0.131	0.136	0.133	0.010	0.131
15.	0.000	0.131	0.150	0.132	0.004	0.130
17	0.000	0.130	0.205	0.133	0.053	0.127
18	0.000	0.125	0.249	0.132	0.027	0.127
19.	0.000	0.125	0.241	0.132	0.027	0.125
20.	0.000	0.125	0.29.0	0.143	0.090	0.125
21.	0.000	0.125	0.244	0.133	0.031	0.125
22.	0.000	0.125	0r257	0.134	0.035	0.125
23.	0.000	0.125	0.262	0.133	0.029	0.125
24.	0.000	0.125	0.269	0.131	0.022	0.125
25.	0.000	0.125	0.279	0.134	0.032	0.125
26.	0.000	0.125	0.237	0.131	0.021	0.125
27.	0.000	0.125	0.292	0.130	0.017	0.125
28.	0.000	0.125	0.306	0.130	0.017	0.125
29.	0.000	0.125	0.330	0.134	0.027	0.125
30.	0.000	0.125	0.329	0.133	0.023	0.125
31.	0.000	0.125	0.336	0 _r 132	0.021	0.125
32.	0.000	0.125	0.343	0.129	0.012	0.125
33.	0.000	0.125	0.343	0.128	0.008	0.125
34.	0.000	0.126	0.353	0.130	0.015	0.126
35.	0.000	0.127	0.354	0.130	0.009	0.127
36.	0.000	0.123	0.356	0.129	0.004	0.128
37.	0.000	0.131	0.355	0.132	0.004	0.131
38.	0.000	0.131	0.360	0.133	0.004	0.131
39.	0.000	0.133	0.354	0.133	0.001	0.133
40.	0.000	0.133	0.222	0.150	0.076	0.133
41.	0.000	0.135	0.227	0.164	0.124	0.135
42.	0.000	0.140	0.224	0.162	0.110	0.140
45.	0.000	0.140	0.201	0.159	0.094	0.140
44.	0.000	0.139	0.197	0.155	0.000	0.139
46	0.000	0.135	0.173	0.153	0.057	0.135
40.	0.000	0.135	0.173	0.104	0.045	0.135
48	0.000	0.110	0.270	0.104	0.043	0.110
40.	0.000	0.107	0.270	0.100	0.022	0.107
50.	0.000	0.102	0.232	0.110	0.031	0.102
51.	0.000	0.102	0.267	0.106	0.014	0.102
52.	0.000	0.101	0.235	0.104	0.029	0.101
53.	0.000	0.101	0.266	0.106	0.023	0.101
54.	0.000	0.101	0.220	0.103	0.029	0.101
55.	0.000	0.101	0.245	0.112	0.053	0.101
56.	0.000	0.102	0.215	0.104	0.012	0.102
57.	0.000	0.104	0.171	0.108	0.020	0.104
58.	0.000	0.106	0.220	0.116	0.069	0.106
Cuadro 03	3. Propi	edades	geome	tricas d	e las re	ectas en

los perfiles.

Secciones	h	k	r	Longitud de arco
1	0.205	0.501	0.324	0.169
2	0.192	0.561	39.194	19.323
3	0.220	0.442	0.277	0.160
4	0.181	0.539	0.333	0.222
5	0.208	0.423	0.268	0.175
6	0.196	0.469	0.318	0.197
7	0.134	0.518	0.371	0.212
8	0.174	0.527	38.360	0.217
9	0.192	0.454	0.312	0.204
10	0.191	0.445	0,00415	0.196
11	0.164	0.539	0.399	0.236
12	0.306	0.433 3	0.292	0.201
13	0.207	0.423	0.233	0.177
14	0.182	0.494	0.351	0.219
15	0.133	0.496	0.364	0.241
16	0.198	0.438	0.354	0.268
17	0.234	0.289	0.234	0.192
18	0.191	0.500	0.570	0.270
19	0.234	0.391	0.259	0.209
20	0.279	0.327	0.134	0.1/6
21	0.230	0.333	0.239	0.220
22	0.480	0.307	0.249	0.202
23	0.255	0.333	0.234	0.195
24	0.204	0.341	0.222	0.138
25	0.273	0.315	0.134	0.137
20	0.233	0.313	0.134	0.194
28	0.207	0.303	0.154	0.175
20	0.305	0.269	0.139	0.1661
30	0.326	0.257	0.135	0.165
31	0.333	0.244	0.125	0.162
32	0.341	0.241	0.115	0.150
33	0.342	0.234	0.113	0.156
34	0.351	0.238	0.104	0.161
35	0.358	0.241	0.108	0.206
36	0.356	0.234	0.111	0.215
37	0.355	0.231	0.112	0.213
38	0.354	0.242	0.106	0.211
39	0.359	0.956	0.109	0.214
40	0.229	0.116	0.049	0.060
41	0.234	0.094	0.049	0.040
42	0.235	0.033	0.111	0.063
43	0.211	0.029	0.111	0.093
44	0.210	0.090	0.124	0.100
45	0.210	0.091	0.065	0.055
46	0.180	0.236	0.062	0.065
47	0.233	0.232	0.132	0.251
48	0.273	0.222	0.132	0.245
49	0.280	0.227	0.227	0.222
50	0.279	0.234	0.137	0.317
51	0.265	0.215	0.128	0.230
52	0.282	0.217	0.106	0.118
53	0.264	0.258	0.111	0.227
54	0.215	0.234	0.150	0.221
33 54	0.238	0.230	0.121	0.19/
57	0.214	0.317	0.141	0.217
59	0.100	0.230	0.209	0.200
50	0.213	0.334	0.133	0.130

Cuadro 04. Propiedades geométricas de los arcos en las secciones.

Analizando el grafico 1, perfil 1:

Se tiene que la velocidad media de acuerdo a Darcy vale:

$$U = C\sqrt{R_h m}.....(24)$$

Donde:

U: velocidad media C: Coeficiente de Chezy R_h : Radio hidráulico m: Pendiente de recta $R_h = 4*(\text{área/perímetro})$

Según Bazing:

$$C = 87 * \frac{\sqrt{R_h}}{\sqrt{R_h + \gamma}}.....(25)$$

 γ : Coeficiente de Bazing

Despejando la velocidad inicial de la ecuación de la energía:

$$V_1 = \sqrt{\frac{2(P2-P1)}{\rho} + 2 * g * H_f + 2 * g * (Z2 - Z1)}...$$
(26)

Donde:

$$H_{f} = \frac{f * (X_{2} - X_{1}) * v_{media}^{2}}{Dh}$$

Y a su vez:

$$Dh = \frac{4*Area}{Perimetro}$$

Altura del perfil=h
Espesura del perfil=b
P2=P1=P atmosférica
X2-X1= Lcos(θ) + r * α
Z2-Z1=K + r * seno ($\frac{\alpha}{r} + \theta - \frac{\pi}{2}$)
K: Abscisa de el centro de la circunferencia
H: Ordenada de el centro de la
circunferencia
 α : Longitud del arco de circunferencia
r: Radio del arco de circunferencia
 θ : Angulo de la pendiente de la recta

L: Longitud de la recta

Despejando v1:

$$V_{1} = \sqrt{V_{2} + 2 * g * f * (L * \cos \theta + \alpha) * \frac{7569 * R_{h}^{2} * m}{(\sqrt{R_{h}} + \gamma)^{2}} + 2 * g * (K + r * \sin\left(\frac{\alpha}{r} + \theta - \frac{\pi}{2}\right))} ...(27)$$

Cuadros de resultados:

Realizando una aproximación para ambos perfiles, considerándolos como pequeños canales:

Área=
$$0.5 * 10^{-4}m^2$$

Perímetro = $2 * 10^{-2}m$

Tomando los valores de fricción correspondiente a los datos obtenidos del canal de fibra de vidrio, se obtuvo una frición aproximada para cada sección. Velocidad final = 1.000896947 m/s (realizado con las pruebas en el canal)

Coeficiente de Bazing (paredes lisas y cemento pulido) = 0.06

Se obtuvieron los siguientes valores de las velocidades iníciales:

Secc	Pendiente	Fricción	Velocidad Inicial:
1	0,00013807	0,05834331	3,73961274
2	0,00774811	0,05826795	3,97097204
3	0,02050086	0,05826795	3,57139795
4	0	0,05834331	3,95933006
5	0,0200679	0,05826795	3,54853059
6	0,01929817	0,05826795	3,73297431
7	0,01837155	0,05826795	3,90286558
8	0,00827538	0,05826795	4,67291097
9	0,01002243	0,06143836	3,69922492
10	0,01966454	0,06143836	3,6684469
11	0,02032906	0,06143836	4,01227374
12	0,03644163	0,06143836	3,65579853
13	0,03808995	0,06143836	3,57332976
14	0,01019644	0,06143836	3,81871165
15	0,0086073	0,05826795	3,89522566
16	0,01595745	0,06143836	3,92952609
17	0,08328487	0,06143836	3,71416189
18	0,0270501	0,06143836	3,98410677
19	0,02741371	0,06143836	3,53369483
20	0,0903768	0,06143836	3,26934337
21	0,0313743	0,06143836	3,54485831
22	0,03478586	0,06143836	3,45219276
23	0,02924307	0,06143836	3,38257001
24	0,02237732	0,06143836	3,34509545
25	0,03171714	0,06143836	3,26039475
26	0,0211336	0,06143836	3,22485796
27	0,01788918	0,06143836	3,17430356
28	0,01653133	0,06143836	3,04442069
29	0,02748488	0,06143836	2,98404556
30	0,02263648	0,06143836	2,93519392
31	0,02123125	0,06143836	2,86307923
32	0,01206129	0,06143836	2,81632027
33	0,00792424	0,05826795	2,79043051
34	0,01523867	0,05826795	2,78198305
35	0,00904629	0,05826795	2,78273269
36	0,00412053	0,05826795	2,79855606
37	0,00380791	0,05826795	2,79042748
38	0,00418185	0,05826795	2,77717814
39	0,00418185	0,05826795	2,01186944
40	0,00418185	0,05826795	2,14308381

Cuadro 05. Velocidades iníciales requeridas para el modulo a escala.

Curvas características



Fig. 26. Diagrama velocidades iníciales vs. Pendiente de recta para la sección 1 (m=1).



Fig. 27. Diagrama velocidades iníciales vs. Longitud de recta para la sección 1 (m=5).



Fig. 28. Diagrama velocidades iníciales vs. Pendiente de recta vs. Longitud de recta para la sección 1.



Fig. 29. Diagrama velocidades iníciales vs. Secciones.

RESULTADOS

- Caudal total requerido para el funcionamiento del módulo experimental 404.268 l/m.
- La superficie simplificada para que funcione el modelo es:



Fig. 30. Modelo final.

- La velocidad final mínima para que funciones el modelo es aproximadamente 1.000896947 m/s.
- El rozamiento del modulo experimental depende de la pendiente de la sección, siendo la mayor de ellas 0.061438364.

CONCLUSIONES

• El generador de olas estáticas necesita bastante caudal, específicamente en nuestro caso es de 404.268 l/m. La mayor velocidad inicial esta en la sección 8 con un valor de 4.672911 m/s



Fig. 31. Modulo experimental en plena acción.

• La rugosidad de la superficie es un factor determinante en la experiencia, pues las velocidades requeridas varían mucho con éstas.

- Las velocidades iniciales dependen también de la forma de la superficie que recorren.
- Para construir el modelo a tamaño real solo habría que llevar la superficie ah escala, ya que se cuenta con el modelo en computadora, además las velocidades y el caudal se tendrían que volver a calcular utilizando el módulo experimental pero teniendo en cuenta relaciones como el número de Reynolds por ejemplo.
- Construir un modelo a escala real es una posibilidad factible, ya que como se muestra en este informe no es tan difícil calcular los parámetros necesarios, es así que con apoyo de la inversión privada se podría generar este atractivo turístico que aun es desconocido en Sudamérica.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas

- Generar un atractivo turístico que se puede instalar en cualquier lugar.
- Generar una fuente de empleo y de desarrollo al ser un proyecto hecho con tecnología íntegramente peruana.

Desventajas

 Este tipo de atracción demanda gran cantidad de energía porque las bombas tienen que generar una gran cantidad de caudal.

BIBLIOGRAFÍA

- FRANK M. WHITE. "Mecánica de Fluidos". McGraw-Hill. Interamericana de España S. A. C. España. 2004.
- 2. DOMINGUEZ FRANCISCO J. "Hidráulica". Editorial Universitaria Chile. Chile. 1959
- CÉSPEDES G. "Manual de Hidráulica". F. H. Hauser. 3era Edición. Buenos Aires, Argentina. 1948.
- 4. http://es.wikipedia.org/