

Análisis para determinar la factibilidad de la generación de energía hidroeléctrica a pequeña escala caso canal de riego Mascota, Jalisco.

Celerino de Jesús Mendoza Azuara¹, José Luis Ceja Anaya², Karina Gonzalez Plascencia³

Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Mascota

1,2 Profesores del Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Mascota

3 Estudiante del Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Mascota

Celerino.mendoza@mascota.tecmm.edu.mx

Resumen En la actualidad el desarrollo de proyectos con enfoque sustentable son de vital importancia en el mundo. En el presente artículo se presentan los resultados de la selección y medición de cuatro puntos del canal de riego del municipio de Mascota Jalisco durante el periodo Septiembre 2021- Noviembre 2021. El primer paso de este proceso consistió, en la medición de la velocidad del caudal en el periodo que abarca en los meses de Agosto a Noviembre. Es importante mencionar qué dentro de este periodo se desarrolla la siembra de chile poblano y el temporal de lluvias, lo que permitirá el aumento significativo del volumen del caudal, la medición se realiza utilizando el método del flotador para determinar la factibilidad de generación de energía hidroléctrica a pequeña escala.

Palabras clave: flotador, generación

Currently, the development of projects with a sustainable approach is of vital importance in the world. This article presents the results of the selection and measurement of four points of the irrigation channel of the municipality of Mascota Jalisco during the period September 2021- November 2021.

Keywords: float, generation. The first step of this process consisted of measuring the flow velocity in the period

from August to November. It is important to mention that within this period the planting of poblano pepper and the rainy season takes place, which will allow the significant increase of the flow volume, the measurement is carried out using the float method to determine the feasibility of small-scale hydroelectric power generation.

Keywords: float, generation

I INTRODUCCIÓN

La generación de energía limpia es cada vez mas utilizada en el sector de electricidad, aproximadamente el 20% de la energía del mundo es suministrada por fuentes renovables de energía [1]. Los sistemas hidráulicos modernos son una combinación de sistemas de control electrónicos, hidráulicos y mecánicos [2]. En México la generación de energía hidroeléctrica no se encuentra regulada [3]. Un poco más del 85% de la energía consumida en el territorio de México proviene de fuentes fósiles. [4] Lo que abre posibilidades de generación de proyectos amigables con medio ambiente, por su parte en el estado de Jalisco existe el Proyecto hidroenergético la yesca que entró en funcionamiento a finales del año 2012 y tendrá una capacidad de 750 MW [5]. En el municipio de Mascota se encuentra un canal de riego que se abastece de la presa Corrinchis mismo que es utilizado para nutrir

los sistemas de bombeo para las siembras de Maíz, chile, aguacate.

Los sistemas de bombeo son nutridos por combustibles fósiles, en su totalidad, compados a su vez con los sistemas de generación hidroeléctrica se caracterizan por tener un impacto ambiental positivo [6]. La medición del caudal tiene gran importancia para saber la disponibilidad del agua con que se cuenta y poder distribuir el agua en la cantidad deseada a los usuarios [7]. El proceso se basa en la detección de la velocidad de la corriente de agua a través de una sección transversal del río o canal [8]. De lo antes mencionado surge la necesidad de realizar un análisis para la generación de energía hidroeléctrica a pequeña escala con base en la velocidad y el gasto del caudal del canal de riego en el municipio de Mascota Jalisco, seleccionando cuatro puntos, para posteriormente realizar mediciones mensuales durante el periodo Septiembre – Noviembre del 2021 utilizando el método del flotador.

II DESAROLLO DE CONTENIDOS

Los elementos utilizados para el desarrollo del proyecto parten de mediciones mensuales donde las herramientas que permiten determinar la factibilidad de la investigación son: método del flotador, cálculo de velocidades iniciales y finales, cálculo del gasto, profundidad A y profundidad B.

Método del flotador

Este método permite realizar mediciones de aforos con caudales medios y altos [9]. Es necesario contar con mínimo de dos secciones transversales de un canal o flujo de agua, en casos de los canales de geometría regular se podrá emplear su formulación directa. Para este método se deben considerar flotadores superficiales, para realizar el cálculo de esta metodología es recomendable hacer las mediciones del caudal en diferentes épocas para tener registros bajos, medios y altos con el fin de determinar las variaciones durante el periodo a evaluar, el caudal está dado en función de la sección transversal (m) y por la velocidad (m/s). Donde se utiliza un cronómetro, una cinta métrica con una longitud de 10 metros mínimo y material flotante (pedazo de madera, bola de unicel) con bajo peso y baja densidad específica, poca o ninguna tendencia a absorber el fluido [10].

Para determinar la velocidad de caudal se emplea la siguiente formula.

Velocidad (v) = Distancia del tramo A-B (m) / tiempo de recorrido (s)

III METODOLOGÍA

El primer paso de este proceso consiste, en la medición de la velocidad del caudal dentro del periodo agosto a diciembre. Es importante mencionar que dentro de este periodo se contempla el temporal de lluvias o al menos una parte de él, lo que permitirá el aumento significativo del volumen del caudal.

Las mediciones realizadas se tomaron 3 veces durante este periodo de tiempo en las que se contemplaron cuatro puntos diferentes de estudio estos puntos fueron numerados del punto 0 hasta el punto número 3. Los resultados de las mediciones semuestran en la tabla que a continuación se presenta.

Fecha	Punto	Distancia en metros	Profundidad A	Profundidad B	Tiempo de recorrido (seg.)	Velocidad del caudal (m/s)
20/09/2021	0	10	89 cm.	81 cm.	20.43	0.48947626
20/09/2021	0	10	89 cm.	81 cm.	21.25	0.470588235
20/09/2021	0	10	89 cm.	81 cm.	22.23	0.449842555
20/09/2021	1	10	71 cm.	65 cm.	26.85	0.372439479
20/09/2021	1	10	71 cm.	65 cm.	22.35	0.447427293
20/09/2021	1	10	71 cm.	65 cm.	22.77	0.439174352
20/09/2021	2	10				
20/09/2021	2	10				
20/09/2021	2	10				
20/09/2021	3	10	38 cm.	39 cm.	10.1	0.99009901
20/09/2021	3	10	38 cm.	39 cm.	10	1
20/09/2021	3	10	38 cm.	39 cm.	9.9	1.01010101
07/10/2021	0	10	117 cm.	105 cm.	19.22	0.520291363
07/10/2021	0	10	117 cm.	105 cm.	16.89	0.592066311
07/10/2021	0	10	117 cm.	105 cm.	19.89	0.502765209
07/10/2021	1	10	105 cm.	90 cm.	20.72	0.482625483
07/10/2021	1	10	105 cm.	90 cm.	22.96	0.43554007
07/10/2021	1	10	105 cm.	90 cm.	22.96	0.43554007
07/10/2021	2	10	111 cm.	100 cm.	26.83	0.372717108
07/10/2021	2	10	111 cm.	100 cm.	34.85	0.286944046
07/10/2021	2	10	111 cm.	100 cm.	29.66	0.337154417
07/10/2021	3	5	21 cm.	19 cm.	10.26	0.487329435
07/10/2021	3	5	21 cm.	19 cm.	4.35	1.149425287
07/10/2021	3	5	21 cm.	19 cm.	8.86	0.564334086
26/11/2021	0	10	87 cm.	90 cm.	30.74	0.325309044
26/11/2021	0	10	87 cm.	90 cm.	23.3	0.429184549
26/11/2021	0	10	87 cm.	90 cm.	20.36	0.491159136
26/11/2021	1	10	85 cm.	75 cm.	22.55	0.44345898
26/11/2021	1	10	85 cm.	75 cm.	26.5	0.377358491
26/11/2021	1	10	85 cm.	75 cm.	23.18	0.431406385
26/11/2021	2	10	103 cm.	110 cm.	52.57	0.19022256
26/11/2021	2	10	103 cm.	110 cm.	41.69	0.239865675
26/11/2021	2	10	103 cm.	110 cm.	49.34	0.202675314
26/11/2021	3	10	50 cm.	45 cm.	13.78	0.725689405
26/11/2021	3	10	50 cm.	45 cm.	16.9	0.591715976
26/11/2021	3	10	50 cm.	45 cm.	14.46	0.691562932

Figura 1 Cálculo de la velocidad del caudal

Como se puede observar en esta tabla se muestran los resultados por fechas y posteriormente se desplazan por puntos. En la tabla se puede observar que la distancia

establecida para cada punto es, de 10 metros, de igual forma también fue necesario medir la profundidad al inicio y al final de estos 10 metros, que es el recorrido que realizará nuestro objeto flotante. La velocidad del caudal es el producto de dividirla distancia, que es equivalente a los 10 metros entre el tiempo de recorrido del flotador.

Gracias a la tabla también se puede observar que, en la primera fecha, que corresponde al día 20 de septiembre no se pudo realizar la medición del punto número 2 debido a que las condiciones climáticas no lo permitieron, puesto que las lluvias impedían el desplazamiento del objeto flotante.



Figura 2 Interrupción de medición por lluvias punto 2

En la siguiente imagen se muestran los resultados estándar por fechas.

Fecha	Punto	Distancia en metros	Profundidad A	Profundidad B	Tiempo de recorrido (seg.)	Velocidad del caudal (m/s)
20/09/2021	0	10	89 cm.	81 cm.	21.30333333	0.469410108
20/09/2021	1	10	71 cm.	65 cm.	23.99	0.41684035
20/09/2021	2	10				
20/09/2021	3	10	38 cm.	39 cm.	10	1
07/10/2021	0	10	117 cm.	105 cm.	18.66666667	0.535714286
07/10/2021	1	10	105 cm.	90 cm.	22.21333333	0.450180072
07/10/2021	2	10	111 cm.	100 cm.	30.44666667	0.328443179
07/10/2021	3	5	21 cm.	19 cm.	7.823333333	0.639113762
26/11/2021	0	10	87 cm.	90 cm.	24.8	0.403225806
26/11/2021	1	10	85 cm.	75 cm.	24.07666667	0.415339886
26/11/2021	2	10	103 cm.	110 cm.	47.86666667	0.208913649
26/11/2021	3	10	50 cm.	45 cm.	15.04666667	0.664599025

Figura 3 Resultados estándar por fechas

El siguiente paso consiste en agrupar las mediciones por puntos en lugar de fechas, para posteriormente obtener una medida estándar de las 3 mediciones realizadas en fechas diferentes para cada punto.

Punto	Distancia en metros	Profundidad A	Profundidad B	Tiempo de recorrido (seg.)	Velocidad del caudal (m/s)
0	10	89	81	21.30333333	0.469410108
0	10	117	105	18.66666667	0.535714286
0	10	87	90	24.8	0.403225806
	PROMEDIO	97.66666	92	PROMEDIO	0.469450067
	PROFUNDIDAD ESTANDAR	94.83333	LECHO DEL CAUDAL	CAUDAL (m³/s)	1.335538495
	SALTO (cm)	5.66666	2.8449		

Figura 4 Cálculo de caudal punto 0

Punto	Distancia en metros	Profundidad A	Profundidad B	Tiempo de recorrido (seg.)	Velocidad del caudal (m/s)
1	10	71	65	23.99	0.41684035
1	10	105	90	22.21333333	0.450180072
1	10	85	75	24.07666667	0.415339886
	PROMEDIO	87	76.66666667	PROMEDIO	0.427453436
	PROFUNDIDAD ESTANDAR	81.83333333	LECHO DEL CAUDAL	CAUDAL (m³/s)	1.049355441
	SALTO (cm)	10.33333333	2.4549		

Figura 5 Cálculo de caudal punto 1

Punto	Distancia en metros	Profundidad A	Profundidad B	Tiempo de recorrido (seg.)	Velocidad del caudal (m/s)
2	10				
2	10	111	100	30.44666667	0.328443179
2	10	103	110	47.86666667	0.208913649
	PROMEDIO	107	105	PROMEDIO	0.268678414
	PROFUNDIDAD ESTANDAR	106	LECHO DEL CAUDAL	CAUDAL (m³/s)	0.854397357
	SALTO (cm)	2	3.18		

Figura 6 Cálculo de caudal punto 2

Punto	Distancia en metros	Profundidad A	Profundidad B	Tiempo de recorrido (seg.)	Velocidad del caudal (m/s)
3	10	38	39	10	1
3	5	21	19	7.823333333	0.639113762
3	10	50	45	15.04666667	0.664599025
	PROMEDIO	36.333333	34.33333333	PROMEDIO	0.767904263
	PROFUNDIDAD ESTANDAR	35.33333317	LECHO DEL CAUDAL	CAUDAL (m³/s)	0.081390173
	SALTO (cm)	1.999999667	0.10599		

Figura 7 Cálculo de caudal punto 3

Para obtener la profundidad estándar es necesario obtener el promedio de la profundidad A de las 3 mediciones y el promedio de la profundidad B. Con estos resultados, se calculará la media aritmética para así obtener la profundidad estándar.

El salto es igual a la diferencia entre el promedio de la profundidad A y el promedio de la profundidad B. Para obtener el lecho del caudal es necesario multiplicar el ancho que mide el canal, que en el primer caso son 3 metros por la profundidad estándar.

Y como punto final se obtiene el caudal, que es el producto de multiplicar el lecho del caudal por el promedio de la velocidad del caudal, este resultado es arrojado en metros cúbicos sobre segundos.

Una vez determinado el caudal de cada uno de los cuatro puntos fue necesario utilizar la matriz del perfil competitivo para identificar cuál de ellos es capaz de generar mayor energía.

Factores críticos para el Éxito	Peso	PUNTO 0		PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3	
		Calificación	Ponderado	Calificación	Ponderado	Calificación	Ponderado	Calificación	Ponderado
Caudal	0.3	4	1.2	3	0.9	2	0.6	1	0.3
Salto	0.15	2	0.3	4	0.6	1	0.15	1	0.15
Lecho del caudal	0.15	2	0.3	2	0.3	4	0.6	2	0.3
Profundidad estándar	0.2	4	0.8	3	0.6	4	0.8	1	0.2
Velocidad del caudal	0.2	3	0.6	3	0.6	1	0.2	4	0.8
TOTAL	1		3.2		3		2.35		1.75

Figura 8 Matriz del factor competitivo

Como se muestra en la figura 8, se le adjudicó un peso a cada factor crítico, este depende de la relevancia que tenga cada factor, posteriormente se evaluaron los puntos de forma independiente, con la finalidad de contrastar los resultados.

Los resultados arrojaron que el puntaje más alto lo tiene el punto 0 y con esto se puede determinar que dicho punto es el más apropiado a para el sistema de generación de energía hidroeléctrica a pequeña escala en el caudal de riego de Mascota, Jalisco.

Ahora que se ha seleccionado el punto más viable para la implementación del sistema de generación de energía hidroeléctrica, es necesario calcular la capacidad de potencia que puede llegar a generar dicho sistema. Para ello, se debe implementar la siguiente fórmula:

$$P_H = \frac{Q \times H \times S}{75}$$

P_H : P. Hidráulica (HP)
 Q : Caudal (l/s)
 H : Altura (m)
 S : Gravedad específica (1 para agua limpia)

Imagen 9 Fórmula potencia hidráulica

En la imagen 9, se muestra los elementos que se requieren para obtener la potencia en HP son tres. El primero de ellos es el caudal en litros sobre segundo, de igual forma se debe conocer la altura, los cuales han sido determinados previamente, y por último se debe conocer

la gravedad específica, que en este caso será equivalente a uno, ya que este es el valor utilizado para el agua limpia.

Los datos para aplicar la fórmula son:

Caudal l/s 1335

Altura m 0.948

Gravedad específica 1

Aplicación de la formula $1335 \times 0.948 \times 1 / 75$

Potencia hidráulica (HP) 16.8744

IV RESULTADOS

De acuerdo a los resultados arrojados en las mediciones se determina que el caudal es igual a 1335 litros sobre segundo y el tamaño de la altura o salto que es igual a 0.94 metros, con estos datos es posible determinar la potencia hidráulica, que es igual a 16.8 HP lo que permite seleccionar el equipo de generación que se adapte a esas necesidades.

V BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Palencia, A. Majano and A. Ochs "La ruta hacia el futuro para la energía renovable en centroamérica", Alajuela: Trayser, 2013.
- [2] J. R. Pérez , "Estado del arte de los software de simulación de los sistemas hidráulicos," *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 15, no. 1, pp. 32- 37, 2006.
- [3] E. Guerra and J. Guillen, "Leyes de eficiencia energética en latinoamerica y el caribe," Olade, Quito, 2011.
- [4] J. Ramos, L. Montenegro and M. Frago, "Las centrales hidroelectricas en mexico, pasado, presente y futuro," *Ciencias del agua*, vol. III, no. 2, pp. 103, 121, 2012.
- [5] E. Siles and R. Delgado "Estudio geotécnico de algunos bancos de limo y aluvión para la construcción del proyecto hidroeléctrico la yesca", Tacna: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, 2013.
- [6] R. O. Flores and J. A. Avella , "Máquinas Hidráulicas Reversibles Aplicadas," *IEEE*

LATIN AMERICA TRANSACTIONS,, vol. 6, no. 2, pp. 170 - 175, 2008.

- [7] T.Torres and P. Ramos, "Caudales, Aforos, y Cálculos de persistencias," Universidad José Carlos Mariátegui, Moquegua, 2018.
- [8] J. Fernández and J. E. Duarte, "Desarrollo de un caudalímetro digital para la medición de caudal en ríos," *Revista de Investigación Desarrollo e Innovación*, vol. 3, no. 1, pp. 44 - 51, 2012.
- [9] C. J. Fernández de Cordoba, and J. A. Placencio, "Determinación de la velocidad del flujo en el río Yanuncay, por el método de flotadores", Cuenca: Dspace, 2018.
- [10] A. González, and J. D. Ramírez, "Manual piragüero 3 -Medición del caudal", Medellin: Corantioquia, 2014.