

12

Diseño y construcción de un prototipo modular de una microcentral hidroeléctrica estacionaria con turbina tipo Pelton

Paúl Álvarez¹, Cristian Arias², Edwin Bustamante²

1. Introducción

Uno de los principales recursos naturales con los que cuenta nuestro país es el hídrico, mismo que está siendo aprovechado para la generación de energía eléctrica a través de proyectos como la Central Hidroeléctrica Paute, Agoyán, San Francisco entre los más importantes; sin embargo, no abastece en totalidad la demanda de energía que tiene el país, teniendo inclusive que comprar energía a países vecinos para cubrir las demandas existentes en los últimos años. Además, cabe mencionar que los grandes proyectos de generación eléctrica mediante centrales hidráulicas quedan supeditadas a que exista la red de suministro eléctrico en el lugar donde se requiera energía, pero lugares ricos en potencial hidroeléctrico como en el Oriente ecuatoriano, o zonas rurales en la sierra y costa ecuatoriana son de difícil acceso y la red eléctrica resulta de muy costosa implementación; lo que en otras palabras significa que las comunidades de estas regiones difícilmente tienen acceso al servicio eléctrico a pesar de su potencial de generación de energía.

1 Director del proyecto de investigación, Docente de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana.

2 Egresados de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana.

A partir de estos antecedentes, las comunidades antes mencionadas únicamente podrán tener acceso a energía eléctrica si se instalan pequeñas centrales hidráulicas, o alguna otra fuente de energías renovables como paneles fotovoltaicos o centrales eólicas; así, nuestro proyecto se basa en la necesidad de diseñar y construir un prototipo de turbina capaz de generar energía suficiente para abastecer el suministro eléctrico a una o varias casas de estas comunidades, de tal manera que el prototipo diseñado, pueda adaptarse a diversas condiciones de caudales y alturas de acuerdo a la zona donde se emplace, que tenga un bajo costo, que sea de fácil construcción y además de mantenimiento mínimo.

Cabe mencionar que el tipo de turbina que mejor se adapta a las condiciones antes mencionadas es la turbina tipo Pelton, razón por la cual ha sido escogida como punto de partida para el proyecto de investigación.

Con este diseño, se responderá a inquietudes como el costo de implementar una microcentral hidráulica, la adaptación del prototipo a las condiciones geográficas, las eficiencias que se pueden lograr en base a la tecnología disponible y el importante tema de la relación costo-beneficio para conocer si se pueden realizar una producción en serie.

2. Materiales y métodos

2.1 Análisis de caudales y alturas disponibles

Previo a la fase de diseño, se analizaron las diferentes condiciones geográficas con las que cuenta nuestro país en lo que respecta a recursos hídricos ubicando un lugar determinado en el que funcionaría el proyecto, para realizar pruebas en el mismo, este punto se encuentra ubicado en el cantón Paute de la provincia del Azuay, en la quebrada Yumacay, específicamente en el campus Juan Lunardi de la Universidad Politécnica Salesiana.

En esta quebrada se instaló un vertedero triangular con el fin de determinar un caudal promedio en el periodo del año y así tener un parámetro de diseño del prototipo, además la quebrada contaba con el desni-

vel necesario que se utilizaría como caída bruta para lograr la altura, estos datos se determinaron por dos métodos: el primero se lo realizó utilizando una manguera de nivelación, que tiene una aproximación del 5% y el segundo método es mediante la utilización de un GPS.

A continuación, en la Tabla 1 se presentan los datos obtenidos de mediciones de altura de vertedero y caudal disponible en la quebrada durante 8 meses, se puede apreciar que los caudales logran su máximo en el mes de julio con 81,10 l/s que significa además una altura máxima de 32 cm, y después disminuyen paulatinamente hasta un mínimo de 6,98 l/s a una altura de 12 cm.

Tabla 1. Datos de la altura del desnivel y caudales aforados en la quebrada tomados en 8 meses

	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Altura [cm]	18,5	20	28	26	22	18	22	14
	19	20	32	22	22	15,5	22	12
		22	32	21	22	22,5	21	
		22,5	30	19,5	22,5	22,5	17	
Caudal (l/s)	20,61	25,04	58,08	48,26	31,78	19,24	31,78	10,27
	22,03	24,04	81,10	31,78	31,78	13,24	31,78	6,98
		37,78	81,10	28,29	31,78	33,62	28,29	
		33,62	69,01	23,51	33,62	33,62	16,68	
					28,29	31,78		

Una vez tomados estos datos se procedió al diseño hidráulico basándose en conceptos de Turbomáquinas hidráulicas, mientras que en el diseño mecánico se manejaron conceptos de ensayo y resistencia de materiales. La fase de simulación se llevó a cabo con un software especializado CAD.

2.2 Diseño hidráulico

Se procedió al diseño hidráulico basándose en conceptos de Turbomáquinas hidráulicas, se trabajó con una ASNM (altura sobre el nivel del mar) en la zona de 2.220 m y al final de la tubería de presión de

2190 m, a pesar de estas alturas la frecuencia de los caudales que se logra es muy pequeña, tal como muestra la figura 1

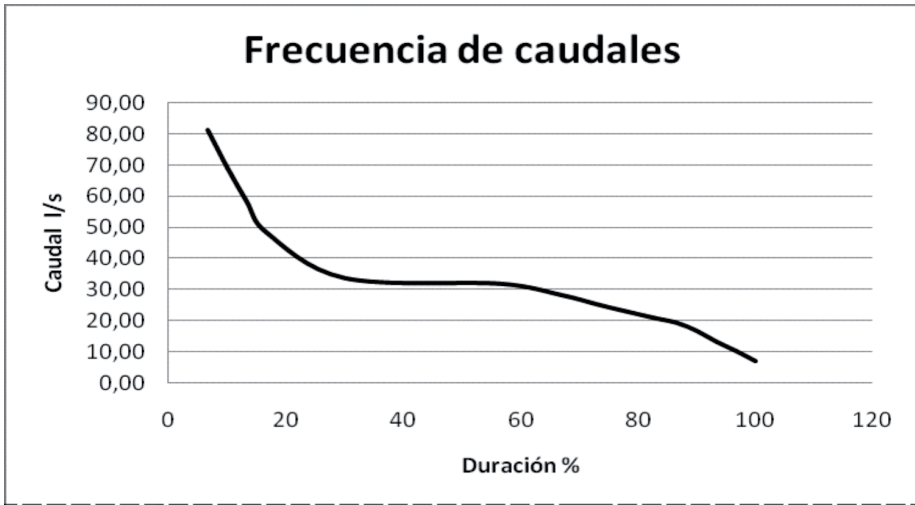


Fig. 1 Caudales de la quebrada en función de su porcentaje de duración

Para que la microcentral trabaje el 100% de tiempo a plena carga, el caudal de diseño fue muy pequeño, sin embargo como se requiere que trabaje a un 70% de tiempo a plena carga, el caudal de diseño disponible inclusive sobrepasa lo requerido.

Estadísticamente, se encuentra que el caudal de mayor frecuencia es de 10 l/s, con este valor se realiza el diseño ya que se quiere que la central trabaje a la máxima carga posible aproximadamente un 100 % de su capacidad total. En el diseño, para que la microcentral trabaje con un caudal de 10 l/s se estima una duración de potencia generada en un 96%, tal como muestra la Tabla 2.

Tabla 2. Cálculos de energía obtenidos en base a la altura del vertedero ubicado en Paute

Altura [cm]	Caudal [l/s]	Potencia relativa [kW]	Duración [%]	Energía [kWh x 10 ³]
32	81,10	16,9	6,7	9869
30	69,01	14,4	10,0	12598
28	58,08	12,1	13,3	14136
26	48,26	10,1	16,7	14681
22,5	33,62	7,0	30,0	18410
22	31,78	6,6	56,7	32875
21	28,29	5,9	66,7	34430
20	25,04	5,2	73,3	33524
19,5	23,51	4,9	76,7	32898
19	22,03	4,6	80,0	32170
18,5	20,61	4,3	83,3	31350
18	19,24	4,0	86,7	30445
17	16,68	3,5	90,0	27406
15,5	13,24	2,8	93,3	22561
14	10,27	2,1	96,7	18117
12	6,98	1,5	100,0	12748

2.3 Cálculos hidráulicos

Los cálculos hidráulicos nos sirven para determinar o dimensionar todos y cada uno de los elementos del prototipo, a partir de caudales y alturas disponibles.

2.3.1 Inyector

Tal como muestra la Tabla 3, las dimensiones de la tobera o inyector están en función del diámetro del chorro que actúa en la turbina y corresponden a las mostradas en la figura 2.

Tabla 3. Proporciones de la tobera en función del diámetro

A		0,0369	M
	40 - 60	45	grados
	60 - 90	70	grados
		0,0286	M
		0,013	M
		0,015	M
		0,0845	M
		0,117	M
		0,156	M
		0,39	M
		0,065	M

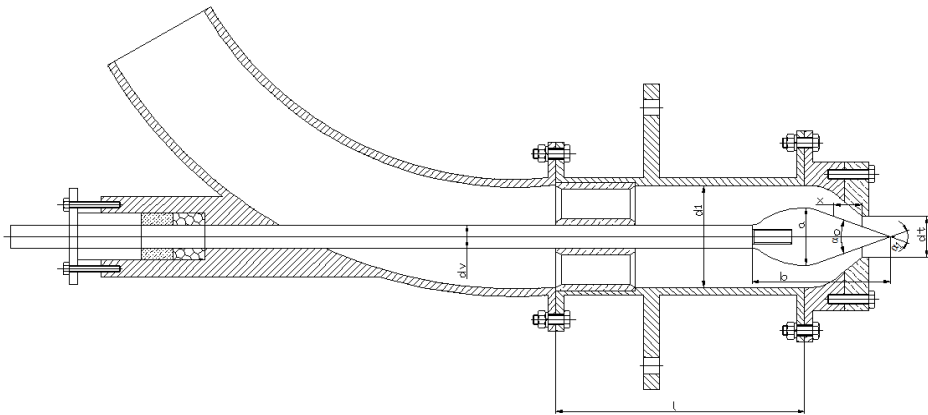


Figura 2. Diseño de la tobera con las dimensiones descritas

2.3.2 Álabes

A continuación, en la Tabla 4 se presentan las dimensiones de la geometría del álabes del rodete Pelton, correspondientes a las mostradas en la figura 3.

Tabla 4. Dimensiones de la cuchara en función del diámetro

B		0,078	M
L		0,0728	M
D		0,0234	M
f		0,0234	M
M		0,026	M
e		0,0117	M
		15°	grados
		16°	grados
		0,041	M
		5°	grados
		13°	grados

Cuchara de una turbina Pelton

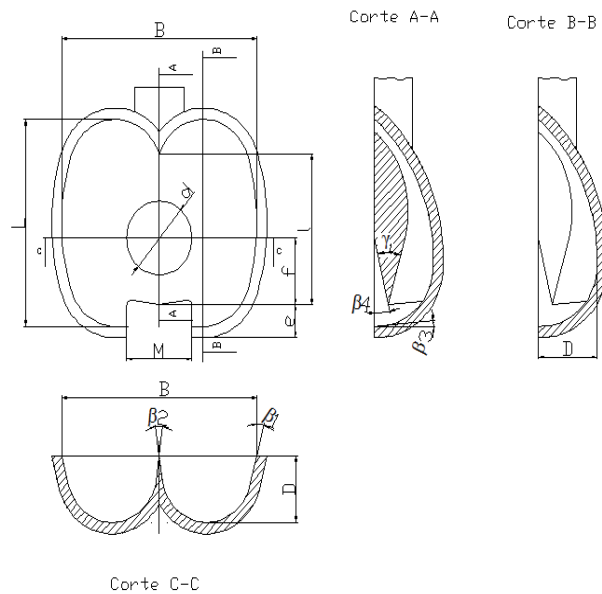


Figura 3. Diseño del álabe con las dimensiones descritas

El análisis del rodete de la turbina nos arroja datos de suma importancia para la construcción del mismo, de estos resultados destacamos el número de álabes o cucharas de la turbina, este número puede variar de 17 a 19 álabes según la relación de diámetros de la turbina con el diámetro del chorro del inyector, tal como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Datos logrados de la geometría del rodete.

Diámetro de paso del rodete	0,216 [m]
Relación de diámetros	0,12
Relación de diámetros	8,.
Diámetro máximo de la turbina	0,263 [m]
Paso máximo de las cucharas	0,040 [m]
Número teórico de cucharas	17
Número máximo de cucharas	19

2.4 Diseño mecánico de la turbina

Se realizó el diseño utilizando criterios de resistencia de materiales, con la finalidad de que los dispositivos del equipo no fallen el momento de que se ponga en marcha el conjunto de la turbina, logrando los datos mostrados en la Tabla 6.

Tabla 6. Datos de diseño y cálculo del rodete

Esfuerzo tangencial (FH)	423,24 [N]
Esfuerzo radial centrífuga	328,2 [N]
El momento flector máximo	37,58 [N*m]
El esfuerzo de flexión	66,63 [MPa]
Esfuerzo cortante promedio	4,52 [MPa]
Esfuerzos en el apoyo del vástago del álabe	2,52 [MPa]

Asimismo en el análisis de cargas por fatiga se encontró un componente medio de 46,58 MPa, un componente alternante de 19,9 MPa, resistencia a la fatiga de 151,5 MPa y un factor de seguridad a la fatiga de 7,3.

2.5 Cálculo y diseño del eje

El eje de la turbina al ser uno de los componentes más importantes del equipo se construyó de acero inoxidable debido a su alta resistencia a la corrosión ya que funcionará totalmente sumergido en agua. Los datos logrados se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Datos del cálculo y diseño del eje

Fuerza que ejerce el chorro sobre la turbina	133,15 [N]
Fuerza en x	18,4 [N]
Fuerza en y	134,98 [N]
Fuerza resultante	239,49 [N]
Reacciones	115,22 [N]
Torque máximo	28,76 [N.m]
Resistencia a la fatiga	322,5 [MPa]
Deflección máxima del eje	0,202 [mm]
Factor de seguridad	4,6
Velocidad crítica	2100 [rpm]
Velocidad de empalamiento	1710 [rpm]

2.6 Sistema de transmisión

El diseño y cálculos del sistema de transmisión se presenta en la Tabla 8, con estos datos se logra una eficiencia del sistema de un 96%.

Tabla 8. Diseño y cálculo del sistema de transmisión del movimiento.

Relación de transmisión	1,4
D1	0,4 [m]
D2	0,1 [m]
Velocidad periférica	19,15 [m/s]
Distancia entre centros	0,355 [m]
Longitud de banda	1,57 [m]
Número de bandas	1

2.7 Pruebas

Se realizaron pruebas para determinar el comportamiento de la turbina mediante modelos hidráulicos, con estas pruebas determinamos como varían los diferentes parámetros para llegar a un óptimo rendimiento, mientras se disminuía el diámetro del rodete de la turbina: el rendimiento hidráulico y las revoluciones por minuto (rpm) aumentaban, mientras el caudal y la potencia disminuían; estos datos se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Variación del rendimiento hidráulico, el caudal, la potencia y las rpm en función del diámetro del rodete de la turbina

Diámetro del rodete [m]	Rendimiento hidráulico	Caudal [m ³ /s]	Potencia [kW]	rpm
0,53	0,690	0,0489	6,53	300
0,44	0,695	0,034	4,53	360
0,35	0,70	0,0217	2,9	450
0,26	0,71	0,0122	1,63	600
0,17	0,717	0,00544	0,72	900
0,088	0,732	0,00136	0,18	1800

Al realizar las pruebas de la turbina sin carga o al vacío, se obtuvieron los resultados presentados en la Tabla 10 y graficados en la figura 4, donde se muestra claramente las variaciones de la altura, caudal, apertura del inyector y revoluciones por minuto al aumentar el voltaje.

Tabla 10. Resultados de las pruebas sobre la turbina sin carga

Voltaje	Altura	Presión	Caudal	Apertura inyector		N (Turbina)	N (Generador)
				vueltas	%	rpm	Rpm
68	19,53	13,0534	0,008	10	100	450	1862
81	19,53	13,0534	0,008	9,5	95	481	1964
85	19,53	13,0534	0,008	9	90	500	2040
91	21,57	15,954	0,0075	8,5	85	521	2111
96	22,60	17,404	0,0073	8	80	545	2236
102	23,62	18,854	0,0070	7,5	75	575	2331
112	25,66	21,755	0,0064	7	70	820	3306
112	25,66	21,755	0,0064	6,75	67,5	872	3572
112	26,69	23,206	0,0061	6,5	65	904	3674

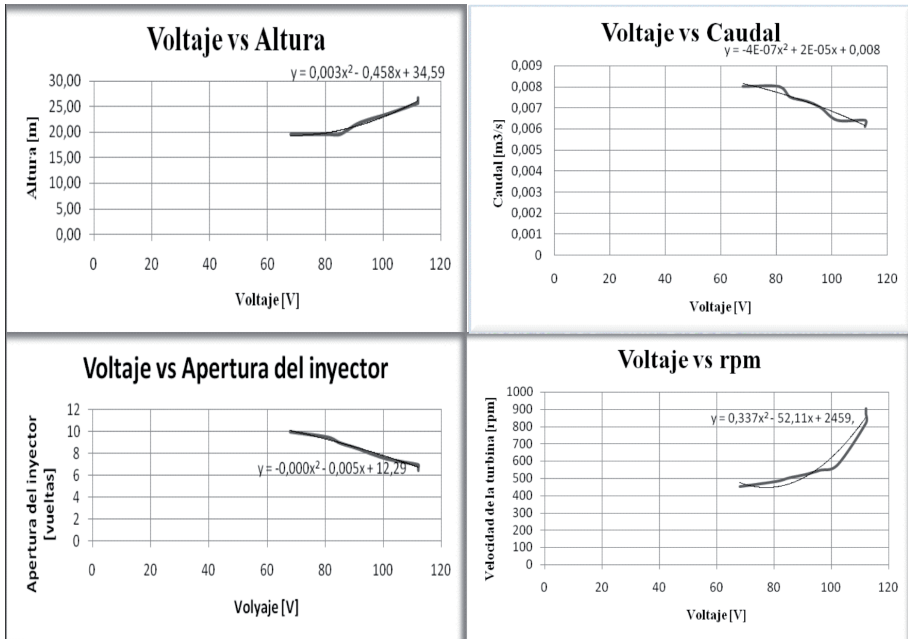


Figura 4. Variaciones de los principales parámetros de la turbina en período de prueba en función del aumento del voltaje.

Para mantener estable tanto el número de revoluciones de la turbina como el voltaje y la potencia que puede dar el generador eléctrico, se debe mantener constante el caudal y altura de ingreso a la turbina; durante las pruebas que se realizaron se variaba el ingreso de caudal y la presión con valores inferiores a los de diseño debido a que las características de funcionamiento de la bomba no permitían cumplir con los parámetros de diseño.

Durante las pruebas se determinó que para alcanzar el número de revoluciones de diseño de la turbina el recurso hídrico debía ser de 26 m de caída neta y un caudal de 1,5 l/s, considerando que estas pruebas se realizaron sin conectarle carga alguna al generador, ya que al consumir la potencia generada decaen las revoluciones de la turbina, ese fenómeno se presentó al no tener el caudal requerido de diseño, por lo tanto al momen-

to de realizar las pruebas con carga se aumentó la presión de entrada del chorro para compensar la disminución de caudal.

2.8 Pruebas de la turbina conectada una carga eléctrica

Una vez realizado el ajuste de la tabulación de datos obtenidos en la prueba de la turbina acoplada a un generador eléctrico y, a su vez, conectada una carga de eléctrica con una potencia de consumo de 1100 W, se obtuvo como resultado que la potencia aparente máxima que se genera es 2268 VA, la misma se modifica al multiplicar por el factor de potencia de la carga eléctrica conectada ($\cos \phi = 0,98$) y el rendimiento eléctrico del generador obtenemos una potencia efectiva 2001 W, estos datos se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Resultados de las pruebas con carga

Altura	Presión	Caudal	Apertura inyector	N (Turbina)	N (Generador)	Voltaje	Corriente	Potencia aparente	Cos
<i>m</i>	<i>Psi</i>	<i>m₃/s</i>	%	<i>Rpm</i>	<i>rpm</i>	<i>V</i>	<i>I</i>	<i>VA</i>	
17,47	10,15	0,0084	100	302	1206	37	2,8	112	0,99
17,47	10,15	0,0084	95	309	1251	39	2,93	124,4	0,99
18,49	11,60	0,0082	90	318	1298	40	3,04	134	0,99
19,00	12,33	0,0081	85	325	1323	42	3,15	143	0,99
19,51	13,05	0,008	80	333	1331	44	3,27	154	0,99
20,53	14,50	0,0078	75	342	1376	46	3,4	172	0,99
21,55	15,95	0,0075	70	349	1413	48	3,6	184	0,99
22,57	17,40	0,0073	65	360	1448	51	3,8	208	0,99
24,61	20,31	0,0067	60	375	1495	53	4,03	224	0,99
25,63	21,76	0,0064	55	386	1558	56	4,25	260	0,99
28,68	26,11	0,0055	50	406	1598	60	4,5	292	0,99
34,80	34,81	0,0033	40	445	1803	69	5,2	386,8	0,99

Realizado el ajuste de curvas del número de revoluciones de la turbina y el generador se determinó que si se cumplió con la capacidad de generación eléctrica cuando la turbina alcance girar a 900 rpm, con una altura neta de 25 m y 1 l/s.

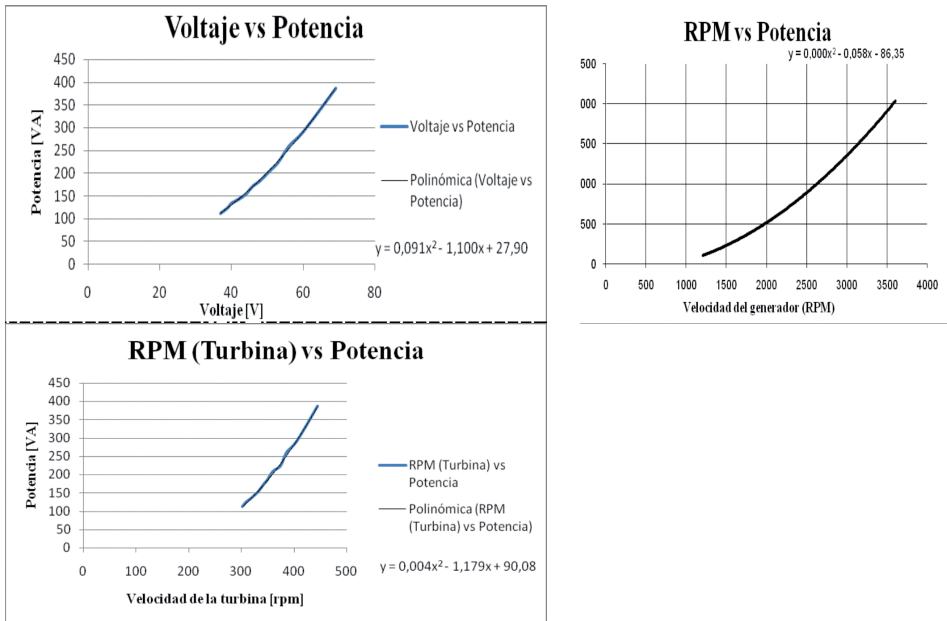


Figura 5. Gráficas de la variación de los parámetros de la turbina con carga.

2.9 Construcción

Para la etapa de construcción, se realizó una investigación de materiales y tecnologías disponibles en el medio, obteniendo como resultados procesos de mecanizado mediante arranque de viruta, procesos de fundición en arena y procesos de soldadura por arco voltaico.

Los materiales utilizados en el equipo son fundición de bronce, acero inoxidable, plancha negra A36 y acero St 37. Para que se transmita el movimiento hasta el generador eléctrico utilizamos un sistema de reducción mediante poleas.

3. Análisis de costos

3.1 Costo de construcción de la microcentral

Se realizó una cuantificación de los componentes utilizados tanto en la construcción de la microcentral como en el equipo para realizar las pruebas correspondientes. A continuación presentamos un cuadro de los componentes utilizados en el proyecto en la Tabla 12.

Tabla 12. Costo de construcción del equipo

Denominación	Valor Total
Generador 2,5 kW	\$ 313,60
Modelo de aluminio	\$ 380,80
Fundición de cucharas	\$ 168,00
Tornillería Inoxidable	\$ 48,44
Aceros para inyector y turbina	\$ 200,54
Carcasa	\$ 232,96
Transmisión	\$ 44,26
Inyector	\$ 87,63
Prensaestopas y empaques	\$ 18,04
Pernos inoxidables para turbina	\$ 30,69
Balanceo de turbina	\$ 20,00
Material estructural	\$ 66,21
Accesorios	\$ 120,65
Bomba centrífuga	\$ 538,08
Instalación eléctrica	\$ 144,68
Pintura	\$ 41,31
Construcción mano de Obra	\$ 50,40
Varios	\$ 78,87
TOTAL	\$ 2.585,16

En la Tabla 12 constan los valores de los materiales y servicios que se necesitaron para construir la microcentral hidroeléctrica y el banco de pruebas de la misma.

3.2 Elaboración del cuadro de flujo de caja interno

En la Tabla 13 se muestra una estimación de la inversión realizada en esta microcentral hidroeléctrica de 2kW. La mano de obra se ha estimado un valor para tener un monto inicial cerrado.

Tabla 13. Inversiones en la microcentral hidroeléctrica

Inversiones	Total US\$	año 1 US\$	
		3 mes	6 mes
Equipo mecánico	1.187,10	1.187,10	-
Equipo eléctrico	1.040,62	-	1.040,62
Banco de pruebas	278,57	-	278,57
Varios	78,87	-	78,87
Mano de obra	414,84	-	414,84
TOTALES	3.000,00	1.187,10	1.812,90

Tenemos otros datos que nos son de gran ayuda como los costos de operación y mantenimiento anual en el caso de que la microcentral hidroeléctrica sea implementada, este costo será de US\$ 2.040.

3.3 Determinación de los beneficios

Conociendo la venta en kilowatios-hora de energía en los periodos anuales, los ingresos por venta de energía se calculan con la energía que se proyecta vender a partir del segundo año. Para determinar el monto de los ingresos, se asume un costo por kWh, el cual puede variar de 6 a 15 centavos de dólar, tomándose los valores más altos para microcentrales con potencia menores de 100 kW (Manual IDTG, 2000), estos datos se presentan en la Tabla 15.

Tabla 14. Ingreso por venta de energía a US\$ 10¢ el kWh

años	Venta de energía en kWh	Ingreso por venta de energía US\$
2-4	19710	1971
5-7	29565	2956,5
8-10	39420	3942
11-13	49275	4927,5
14-16	59130	5913

3.4 Flujo de caja interno

Tabla 15. flujo de caja interno (en US\$)

Año	BENEFICIOS			COSTOS			Flujo de caja
	Valor energía	Valor residual	Benef. Total	Invers.	Operac. y Mantenimiento.	Costo total	
1	—		0	3000		3000	-3000
2	1971		1971		2040	2040	-69
3	1971		1971		2040	2040	-69
4	1971		1971		2040	2040	-69
5	2956,5		2956,5		2040	2040	916,5
6	2956,5		2956,5		2040	2040	916,5
7	2956,5		2956,5		2040	2040	916,5
8	3942		3942		2040	2040	1902
9	3942		3942		2040	2040	1902
10	3942		3942		2040	2040	1902
11	4927,5		4927,5		2040	2040	2887,5
12	4927,5		4927,5		2040	2040	2887,5
13	4927,5		4927,5		2040	2040	2887,5
14	5913		5913		2040	2040	3873
15	5913		5913		2040	2040	3873
16	5913	357,5	6270,5		2040	2040	4230,5

3.5 Cálculo de los indicadores del análisis beneficio-coste

3.5.1 VAN (*Valor Actual Neto*)

Por Valor Actual Neto de una inversión se entiende la suma de los valores actualizados de todos los flujos netos de caja esperados del proyecto, deducido el valor de la inversión inicial. Si un proyecto de inversión tiene un VAN positivo, el proyecto es rentable, el proyecto es más rentable cuando el VAN es más alto. El procedimiento para su cálculo se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16. Procedimiento de cálculo del VAN

Año	Flujo de caja	Tasa 5%		Tasa 1%	
		Factor del valor actual	VANE 5%	Factor del valor actual	VANE 1%
1	-3	0,9524	-2,86	0,9901	-2,97
2	-0,069	0,907	-0,06	0,9803	-0,07
3	-0,069	0,8638	-0,06	0,9706	-0,07
4	-0,069	0,8227	-0,06	0,961	-0,07
5	0,9165	0,7835	0,72	0,9515	0,87
6	0,9165	0,7462	0,68	0,9421	0,86
7	0,9165	0,7107	0,65	0,9327	0,85
8	1,902	0,6768	1,29	0,9235	1,76
9	1,902	0,6446	1,23	0,9143	1,74
10	1,902	0,6139	1,17	0,9053	1,72
11	2,8875	0,5847	1,69	0,8963	2,59
12	2,8875	0,5568	1,61	0,8875	2,56
13	2,8875	0,5303	1,53	0,8787	2,54
14	3,873	0,5051	1,96	0,87	3,37
15	3,873	0,481	1,86	0,8614	3,34
16	4,2305	0,4581	1,94	0,8528	3,61
		VANE:	13,28	VANE:	22,64

3.5.2 TIR (Tasa Interna de retorno)

Se denomina Tasa Interna de Rentabilidad o Retorno (TIR) a la tasa de descuento que hace que el Valor Actual Neto (VAN) de una inversión sea igual a cero. ($VAN = 0$), así este método considera que una inversión es aconsejable si la TIR resultante es igual o superior a la tasa exigida por el inversor, y entre varias alternativas, la más conveniente será aquella que ofrezca una TIR. mayor. La gráfica donde se presenta este análisis es la figura 6.

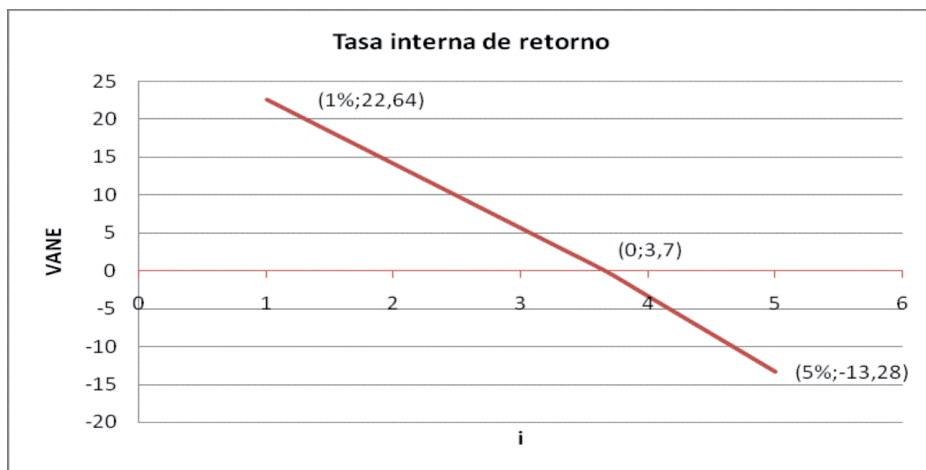


Fig. 6 Tasa interna de retorno

Del flujo de caja realizado en la Tabla 16 se obtiene un TIR de un 25% y un VAN de 7,41 USD. Al analizar el valor actual neto económico con una inversión inicial de 3000 USD se obtiene un VANE (5%) de 24,64 y un VANE (1%) de 13,28.

3.6 Costo unitario de la energía: el Factor del Valor Actual

Es el factor de pago único a la tasa de descuentos o interés que se haya seleccionado, para este caso seleccionamos 4%, el análisis se presenta en la Tabla 17.

Tabla 17. Cálculo del costo del kWh en USD

Año	COSTOS			ENERGÍA			Costo del kWh US\$
	Costo total anual	Factor del valor actual	Valor actual costo	Miles de kWh vendidos	Factor del valor actual	Valor actual energía miles kWh	
1	3	1,9615	5,88				
2	2,04	1,8861	3,85	19,71	0,9246	18,22	
3	2,04			19,71	0,889	17,52	
4	2,04			19,71	0,8548	16,85	
5	2,04			29,57	0,8219	24,30	
6	2,04			29,57	0,7903	23,37	
7	2,04			29,57	0,7599	22,47	
8	2,04	10,1569	20,72	39,42	0,7307	28,80	
9	2,04			39,42	0,7026	27,70	
10	2,04			39,42	0,6756	26,63	
11	2,04			49,28	0,6496	32,01	
12	2,04			49,28	0,6246	30,78	
13	2,04			49,28	0,6006	29,59	
14	2,04			59,13	0,5775	34,15	
15	2,04			59,13	0,5553	32,83	
16	1,68	0,5339	0,90	59,13	0,5339	31,57	
			31,35			396,79	0,079

4. Resultados

Se logró la construcción de una microcentral hidroeléctrica acoplada a un generador eléctrico y conectada una carga de eléctrica con una potencia de consumo de 1100 W, logrando así una potencia generada efectiva de 2001 W. Esta generación eléctrica se cumple cuando la turbina alcanza las 900 rpm, con una altura neta de 25 m y un caudal de 1 l/s. Esta microcentral fue completamente construida con tecnología y materiales disponibles en el Ecuador, y adaptada a la hidrografía de la quebrada Yumacay inclusive dentro del Campus Universitario Juan Lunardi.

El proyecto de construir una mini central hidráulica es factible desde el punto de vista económico, obteniendo como resultados un VAN mayor que cero y un TIR de 25%.

5. Discusión

Los análisis de la geografía e hidrografía realizados en el país y sobre todo en lugares carentes de energía eléctrica demuestran que es factible colocar pequeñas centrales hidráulicas para abastecer de electricidad a diferentes comunidades, por lo cual es importante que se siga incentivando este tipo de propuestas de energías limpias ya que el prototipo diseñado se puede adaptar a diferentes capacidades de caudal y altura que irían desde los 3 l/s y 34 m de altura de presión hasta 10 l/s y 17 m de altura de presión.

Además se probó que uno de los materiales más eficientes, en resistencia y durabilidad, además de lo económico y de fácil acceso, para la construcción del prototipo fue el bronce, sin embargo queda pendiente hacer un estudio de álabes y rodete en base a materiales poliméricos que podrían ser mas económicos y eficientes.

Bibliografía

CONAM

- 2003 Informe del Taller Regional Amazónico de presentación y consulta del PRO-MEC con organizaciones sociales, indígenas y campesinas realizado en Tena, del Consejo Nacional de Modernización, 23-24.

ITDG

- 2000 *Manual de mini y microcentrales hidráulicas: Una guía para el desarrollo de proyectos*. Perú.

Páginas Web

Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC). Ecuador. Plan Nacional de Electrificación (2006-2015). Consultada el lunes 2 de octubre del 2006.

Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC). Ecuador. Estadística del sector eléctrico ecuatoriano. Primer semestre del año 2006.

Centro de Estudios y Datos (CEDATOS). Página de Internet www.cedatos.com. Consultada el martes 3 de octubre de 2006.

Comisión Nacional Para el Ahorro de Energía. www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_631_energía_minihidraulic

www.unesco.org/uy/phi/libros/microcentrales/arrieta.html.

- Cálculos y diseños hidráulico-estructurales en minicentrales hidroenergéticas.
www.unesco.org.uy/phi/libros/microcentrales/csuarez.html.
- Microcentrales Hidroeléctricas en Venezuela. www.monografias.com
- Programa de minicentrales para las regiones australes de Chile. www.unesco.org.uy/phi/libros/microcentrales/alvarez.html.
- Comisión Nacional Para el Ahorro de Energía. www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_631_energía_minihidraulic#
- Experiencias en el campo de las microcentrales hidroeléctricas. www.unesco.org.uy/phi/libros/microcentrales/mucker.html.
- ITDG (Intermediate Technology Development Group, Memoria Anual de Soluciones prácticas (abril 02 - marzo 03) Oficina Regional para América Latina.
www.itdg.org.pe
- www.medioambienteonline.com/site/root/resources/case_study/4171.html
- Informe de la organización Soluciones prácticas – ITDG desarrolladas en el Perú
www.undp.org/sgp/download/document/LatinAmerica/Peru%20CPS.rtf
- Mataix Claudio: Turbomáquinas Hidráulicas, Ed, McGraw-Hill, Barcelona, 1985