

DISEÑO ECONÓMICO DE UNA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA CON MÁQUINAS REVERSIBLES

1^{er}. Juan Manuel Barato Lozano y 2^{do}. Ramiro Ortiz Flórez

Sistemas Multienergéticos de Generación Universidad del Valle, Colombia

juan.barato@correounivalle.edu.co y ramiro.ortiz@correounivalle.edu.co

INTRODUCCIÓN

En Colombia, las Zonas No Interconectadas (ZNI) comprenden alrededor del 52 % del territorio y presentan serias dificultades para el acceso a energía eléctrica. Las Minicentrales Hidroeléctricas (Mini CHE), especialmente con máquinas reversibles, se plantean como una solución viable tanto técnica como económica para estas regiones.

Este documento presenta una evaluación económico-comparativa entre Mini CHE con equipos convencionales y con máquinas reversibles (bombas operando como turbinas y motores asíncronos como generadores), abordando costos de instalación (USD/kW), operación (USD/kWh) e indicadores económicos clave.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología de este artículo es la evaluación económica comparativa de Minicentrales Hidroeléctricas (Mini CHE), comparando el uso de equipos convencionales y maquinas reversibles; cuantificando costos preoperativos (USD/kW instalado), incluyendo inversión inicial, obras civiles y equipos, y costos operativos (USD/kWh generado), teniendo en cuenta administración, operación y mantenimiento (AOM). El análisis se realizó para rangos de potencia de 5 kW, 50 kW y 500 kW, considerando dos escenarios de mano de obra (profesional y comunitaria). Finalmente, se determinó la viabilidad técnica-económica mediante indicadores de ingeniería económica como el periodo de recuperación (PR), Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna de Retorno (TIR). Dentro de los primeros costos, se encuentran las obras hidráulicas como la bocatoma, el desarenador, la cámara de carga y la tubería encargadas de conducir el caudal de agua hasta la casa de máquinas. Esto se muestra en la figura 1.

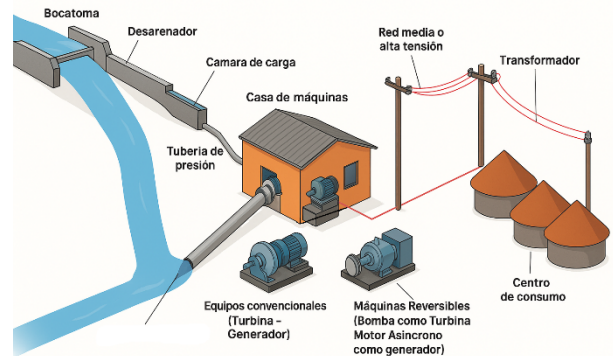


Figura 1.- Partes Principales de una Mini CHE. Fuente: Elaboración propia

El costo de la instalación a nivel de Mini CHE's está entre un rango de 3200-4480 USD por kW, de los cuales los equipos hidromecánicos (turbina, generador, etc) son equivalentes al 50% de la inversión de instalación. Aunque, el IPSE indica que en Colombia el costo de instalación a nivel de Mini CHE's está entre 7680-15360 USD por kW, el cual es evidentemente más alto al promedio nacional. Con base en la UPME se fijaron unos parámetros básicos para los costos en función de la potencia (P inst) según: altura (H), caudal (Q); que para el presente caso colombiano hay cuatro opciones de altura (10, 25, 50 y 75 metros) con sus respectivos niveles de caudales [7], para los rangos de potencia de 5 kW, 50 kW y 500 kW, como se observa en la Tabla I.

TABLE I
PARÁMETROS DE CAÍDAS Y CAUDAL DE UNA MINI CHE

Potencia (kW)	5				50				500			
Caída (m)	10	25	50	75	10	25	50	75	10	25	50	75
Caudal (m³/s)	0,05	0,02	0,01	0,007	0,51	0,20	0,10	0,07	5,10	2,04	1,02	0,68

Después del análisis de los costos preoperativos se encuentra que estos son mayormente de los equipos y las obras civiles. Donde se determinó que los costos de obras se pueden ahorrar si estas son hechas por la comunidad, y que los costos de

equipos se pueden reducir al utilizar el grupo propuesto de bomba funcionando como turbina y motor asíncrono como generador.

RESULTADOS

Los resultados de los indicadores económicos se encuentran en las Tablas II, III y IV.

TABLE II
INDICADORES ECONÓMICOS DE UNA MINI CHE DE 5KW

Parámetro	Conv. Profesional	Revers. Profesional	Conv. Comunitaria	Revers. Comunitaria
Pago de inversión (años)	16	16	16	16
Energía eléctrica generada por año (kWh)	26280	26280	26280	26280
Costo de la energía eléctrica (USD/kWh)	1.47	1.45	1.29	1.27
Costo kW instalado (USD/kW)	37230.51	35751.85	13530.27	12051.62
Periodo de recuperación (años)	25	25	19	18
VPN	\$137,921.64	\$132,977.31	\$60,381.96	\$55,437.62
TIR	0%	0%	4%	5%
TIRM	4%	4%	7%	8%

TABLE III
INDICADORES ECONÓMICOS DE UNA MINI CHE DE 50KW

Parámetro	Conv. Profesional	Revers. Profesional	Conv. Comunitaria	Revers. Comunitaria
Pago de inversión (años)	10	10	10	10
Energía eléctrica generada por año (kWh)	262800	262800	262800	262800
Costo de la energía eléctrica (USD/kWh)	0.31	0.29	0.29	0.27
Costo kW instalado (USD/kW)	10595	9515.05	9067.66	7987.79
Periodo de recuperación (años)	18	18	18	18
VPN	\$514,771.13	\$463,672.89	\$443,792.97	\$392,694.73
TIR	4%	4%	4%	4%
TIRM	6%	6%	6%	6%

TABLE IV
INDICADORES ECONÓMICOS DE UNA MINI CHE DE 500KW

Parámetro	Conv. Profesional	Revers. Profesional	Conv. Comunitaria	Revers. Comunitaria
Pago de inversión (años)	5	5	5	5
Energía eléctrica generada por año (kWh)	2628000	2628000	2628000	2628000
Costo de la energía eléctrica (USD/kWh)	0.17	0.14	0.15	0.12
Costo kW instalado (USD/kW)	3689.67	2717.16	3020.09	2047.52
Periodo de recuperación (años)	10	10	10	9
VPN	\$2,849,072.17	\$2,114,369.29	\$2,348,898.00	\$1,614,195.10
TIR	12%	12%	12%	12%
TIRM	11%	11%	11%	11%

Los resultados obtenidos muestran diferencias significativas entre el uso de equipos convencionales y máquinas reversibles. Por ejemplo, mientras que el costo promedio de instalación con equipos convencionales puede alcanzar hasta 15360 USD/kW según IPSE, el uso de máquinas reversibles permite reducir ese valor hasta un 78 % en sistemas de 500 kW.

Los sistemas con menor potencia (5 kW y 50 kW) resultan menos rentables si se contrata mano de obra profesional, por lo que es indispensable la participación de la comunidad local para asegurar su viabilidad económica. En contraste, las plantas de 500 kW muestran resultados positivos en todos los indicadores evaluados, con periodos de recuperación razonables y tasas de retorno superiores a la mínima atractiva del 10 %.

CONCLUSIONES

Las minicentrales hidroeléctricas (Mini CHE) son una solución viable para proporcionar electricidad en las ZNI o zonas rurales, mediante el uso de recursos hídricos locales y de máquinas reversibles.

Las máquinas reversibles (MR) son una alternativa superior a los equipos convencionales para una mini CHE. Son técnica y económicamente viables gracias a su menor coste, robustez y facilidad de mantenimiento. Reduciendo el costo de inversión en equipos electromecánicos (el 52% para una planta de 5 kW, el 67% para una de 50 kW y el 78% para una de 500 kW).

Por un lado, el rango de potencia de 500 kW es el más viable económicamente, con un periodo de recuperación aceptable e indicadores económicos positivos (VPN y TIR superiores a TMAR), especialmente al utilizar máquinas reversibles debido a su menor inversión inicial. Por otro lado, para proyectos más pequeños, suele ser necesaria la contribución de mano de obra comunitaria o subsidios estatales para su viabilidad económica.

EJEMPLO DE REFERENCIAS

La Energía que transforma territorios, hoy ilumina las ZNI. <https://Ipse.Gov.Co/Blog/2025/06/03/Columna-Del-Directorla-Energa-Que-Transforma-Territorios-Hoy-Ilumina-El-Turismo-Sostenible-En-Las-Zni/>.

Agarwal, T., & Wwww, W.: (2012). Review of Pump as Turbine (PAT) for Micro-Hydropower International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering <https://www.researchgate.net/publication/>

R. Ortiz Flórez, Máquinas Reversibles Aplicadas a Micro centrales Hidroeléctricas, Proyecto de COLCIENCIAS, pp. 6-14, 2011..

Ramiro, P. Flórez, O., & Insuasty, I. L. (n.d.). ESTRUCTURACIÓN DE LOS COSTOS EN MINIGENERACIÓN HIDROELÉCTRICA, 2011.