

DOI: <https://doi.org/10.23857/fipcaec.v7i1.522>

## Estudio preliminar para la implementación de un sistema de microgeneración hidroeléctrico, para autoconsumo, en la Hostería El Reventador

*Preliminary study for the implementation of a hydroelectric microgeneration system, for self-consumption, in the Hostería El Reventador*

*Estudo preliminar para a implantação de um sistema de microgeração hidrelétrica, para autoconsumo, na Hostería El Reventador*

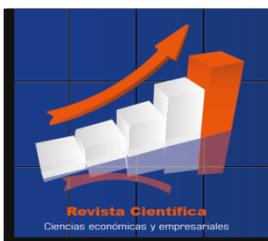
Rodrigo Alexander Ramírez-Coronel <sup>I</sup>  
[rodrigo.ramirez.31@est.ucacue.edu.ec](mailto:rodrigo.ramirez.31@est.ucacue.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-6527-8714>

Glenda Maricela Ramón-Poma <sup>II</sup>  
[gramon@ucacue.edu.ec](mailto:gramon@ucacue.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-6833-9129>

**Correspondencia:** [rodrigo.ramirez.31@est.ucacue.edu.ec](mailto:rodrigo.ramirez.31@est.ucacue.edu.ec)

\* **Recepción:** 30/11/2021 \* **Aceptación:** 18/12/ 2021 \* **Publicación:** 20/01/2022

1. Estudiante de la Maestría en Administración de Empresas con Mención en Dirección y Gestión de Proyectos. Unidad Académica de Posgrado, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
2. Docente de la Maestría en Administración de Empresas con Mención en Dirección y Gestión de Proyectos, Unidad Académica de Posgrado, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador.



## Resumen

Los recursos hídricos del Ecuador nacen en la Cordillera de los Andes y drenan sus aguas hacia dos vertientes, la del Pacífico y la del Amazonas, siendo esta última la que dispone de mayor potencial hidroenergético, esto debido a sus pendientes pronunciadas y altas precipitaciones. Es justamente en la zona más lluviosa donde se emplaza la hostería El Reventador, objeto de estudio, en la cual se realizó un estudio preliminar para determinar la factibilidad técnica de implementar un Sistema de Microgeneración Hidroeléctrica, para autoconsumo; resultando factible un turbogenerador de 7,5kW que aprovecha el agua de la vertiente El Reventador; garantizando el agua para consumo. La investigación tuvo un enfoque cuantitativo-deductivo, todos los datos se obtuvieron a través de estudios de campo, aplicando métodos y técnicas tanto teóricas como empíricas.

**Palabras clave:** Consumo de Energía; Energía Hidroeléctrica; Estudio de viabilidad; Turbina hidráulica.

## Abstract

Ecuador's water resources are born in the Andes Mountains and drain its waters towards two slopes, the Pacific and the Amazon, the latter being the one with the greatest hydroelectric potential, this due to its steep slopes and high rainfall. It is precisely in the rainiest area where the “El Reventador” inn is located, which is the object of study, in which a preliminary study was carried out to determine the technical feasibility of implementing a Hydroelectric Microgeneration System, for self-consumption; resulting feasible a 7.5kW turbogenerator that takes advantage of the water from the “El Reventador” spring; guaranteeing water for consumption. The research had a quantitative-deductive approach, all data were obtained through field studies, applying both theoretical and empirical methods and techniques.

**Keywords:** Energy consumption; hydroelectric power; Feasibility studies; Water turbines.

## Resumo

Os recursos hídricos do Equador nascem na Cordilheira dos Andes e drenam suas águas para duas vertentes, a do Pacífico e a da Amazônia, sendo esta última a de maior potencial hidrelétrico, devido

às suas vertentes íngremes e pluviosidade elevada. É precisamente na zona mais chuvosa que se localiza a pousada El Reventador, objeto de estudo, onde foi realizado um estudo preliminar para determinar a viabilidade técnica de implantação de um Sistema de Microgeração Hidrelétrica, para autoconsumo; é viável um turbogerador de 7,5kW que aproveita a água da nascente El Reventador; garantindo água para consumo. A pesquisa teve uma abordagem quantitativo-dedutiva, todos os dados foram obtidos por meio de estudos de campo, aplicando métodos e técnicas teóricas e empíricas.

**Palavras-chave:** Consumo de Energia; Energia hidroelétrica; Estudo de viabilidade; Turbina hidráulica.

## **Introduccion**

La electricidad es un componente básico en todo proceso productivo, sea de bienes o servicios; por tanto, su interrupción frecuente y/o prolongada, genera grandes pérdidas económicas, tanto para el consumidor o usuario que ve afectada su producción o actividades diarias y niveles de confort; como también las empresas distribuidoras que dejan de vender la energía y, además, afrontan sanciones o demandas a consecuencia de la mala calidad del servicio eléctrico (Levy & Carrasco, 2020).

La Hostería El Reventador es un establecimiento turístico ubicado en el Oriente ecuatoriano, en el límite de las provincias de Napo y Sucumbíos, a 159 km de Quito vía a Lago Agrio. Cuenta con capacidad de alojar a 80 personas simultáneamente. Se caracteriza por su abundante recurso hídrico, cuenta con varias cascadas internas debido a que la atraviesa el río Reventador. Su consumo energético es principalmente para iluminación, refrigeración y lavado. Se alimenta de energía eléctrica a través de la Empresa Eléctrica Distribuidora CNEL EP Unidad de Negocio Sucumbíos.

Si bien, a nivel general, Ecuador está en la lista de los países latinoamericanos con mejores indicadores de calidad del servicio eléctrico, específicamente los relacionados con la continuidad del servicio (Levy & Carrasco, 2020) (CNEL EP, 2021); la zona Oriental del Ecuador, en cambio, presenta los peores indicadores de continuidad del servicio eléctrico de todo el país (ARCONEL, 2020), con valores muy superiores a los máximos estipulados en la Regulación CONELEC No. 004/01. En el caso de la hostería el Reventador, su propietario ha registrado meses en que las

interrupciones del servicio eléctrico son casi a diario, y tardan varias horas o incluso días en restablecer el suministro. Esto ha ocasionado pérdidas económicas por daños de equipos eléctricos y la cancelación de reservaciones de huéspedes por la mala calidad del servicio eléctrico.

El objetivo de esta investigación es determinar la factibilidad técnica de implementar un sistema de microgeneración hidroeléctrica que abastezca el consumo eléctrico de la hostería el Reventador.

## Referencial teórico

### Potencial Hidroenergético

La energía hidráulica es aquella que proviene de aprovechar la energía cinética (caudal) y potencial (presión) del agua de ríos y mares. Es un tipo de energía primaria renovable, pues luego de su aprovechamiento se devuelve el agua a su cauce natural sin sufrir cambios en calidad ni cantidad (Schallenberg et al., 2008). Es una tecnología confiable, eficiente y madura (probada por muchos años), con gran capacidad de almacenamiento, y costos de operación y mantenimiento muy bajos (IHA, 2019).

El potencial hidráulico ( $Ph$ ) es directamente proporcional al caudal ( $Q$ ) y desnivel del agua ( $\Delta H$ ), multiplicada por su densidad ( $\rho$ ) y la gravedad ( $g$ ) (Meijer, 2012). Claro está, este potencial es teórico e instantáneo pues no se considera ningún tipo de pérdida (ideal), y tampoco las variaciones del caudal que se dan en las diferentes épocas del año.

$$Pot. Hidráulico (W) = \rho \left( \frac{kg}{m^3} \right) * g \left( \frac{m}{s^2} \right) * Q \left( \frac{m^3}{s} \right) * \Delta H (m) \quad [1]$$

Para considerar un aprovechamiento hidráulico con fines hidroeléctricos, se debe calcular el potencial hidráulico considerando las variaciones del caudal durante el año, es decir, un potencial hidroeléctrico promedio anual, mismo que se puede expresar en unidades de potencia promedio ( $\overline{MW}$ ) o de energía anual (MWh/año) (OLADE, 1984). En dependencia de los estudios realizados para determinar el potencial, existen tres niveles o categorías para clasificar al potencial hidroeléctrico (IHA, 2020) (CONELEC, 2013) (Muguerza, 2003), estos son:

- **Potencial Hidroeléctrico Teórico Bruto (PHTB):** Es la energía total disponible anual suponiendo que se pudiera aprovechar toda la escorrentía natural en todos los lugares para generación hidroeléctrica.
- **Potencial Hidroeléctrico Técnico Aprovechable (PHTA):** Es la energía anual que podría desarrollarse bajo la tecnología actual, independientemente de lo económico.
- **El Potencial Hidroeléctrico Económico Aprovechable (PHEA):** Es la energía anual que podría desarrollarse hoy, técnicamente aprovechable y a costos competitivos en comparación con otras fuentes de energía.

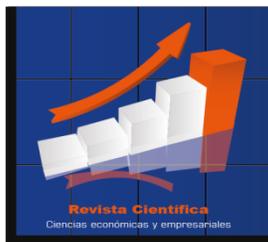
En un estudio realizado en la Universidad Tecnológica de Delft, se estimó el PHTB a nivel mundial en 52 PWh/año aproximadamente (considerando un factor de capacidad del 50%), lo interesante de ese estudio es que se hizo estimaciones específicas a nivel regional para diferentes capacidades de plantas (*Tabla 1*), esto es a nivel de micro (<0,1 MW), mini (<1 MW), pequeñas (<10 MW) y grandes centrales hidroeléctricas; esto gracias a que consideraron caídas ( $\Delta H$ ) hasta de 1m y caudales (Q) hasta de 0.1 m<sup>3</sup>/s. (Hoes et al., 2017)

**Tabla 1** Potencia hidroeléctrico bruto por Continente y su distribución entre tamaños de plantas

Continente	Grande (TWh/año)	Pequeña (TWh/año)	Mini (TWh/año)	Micro (TWh/año)	Total (TWh/año)	(%)
Asia	17.631	5.062	1.582	276	24.551	48%
Norte América	3.815	2.243	712	149	6.919	13%
Europa	971	854	328	86	224	4%
África	5.657	1.325	535	162	768	15%
Sur América	7.020	1.779	692	236	<b>9.727</b>	<b>19%</b>
Oceanía	168	166	44	5	382	0,7%
Australia	34	84	46	14	177	0,3%
Global	35.296	11.513	3.939	929	<b>51.677</b>	100%

Nota. Hoes (Systematic high-resolution assessment of global hydropower potential, 2017)

Según los indicadores del Banco Mundial (disponibles hasta el 2017), Sur América dispone del 30% del recurso hídrico a nivel mundial, 32% entre todos los países de América Latina (Banco Mundial, 2017) pero, disponibles para aprovechamiento hidroeléctrico teórico bruto, según el



estudio en Delft, solo el 19% del PHTB a nivel mundial, equivalentes a 9.727 TWh/año (tabla 1); de ese potencial, la Asociación Internacional de Energía Hidroeléctrica (IHA) estima que 1991 TWh/año (tabla 2) son técnica y económicamente aprovechables hoy (IHA, 2020), es decir, más del 20% del PTHB.

**Tabla 2** Potencial hidroeléctrico económico aprovechable estimado por Región

Región	PHEA		Potencia Instalable		Factor de Capacidad 2020
	(TWh/año)	(%)	(GW)	(%)	
África	2.302	19%	626	17%	42%
Asia Oriental y el Pacífico	2.777	22%	857	24%	37%
Europa	537	4%	204	6%	30%
Norte y Centro América	2.036	16%	581	16%	40%
Sudamerica	<b>1.991</b>	16%	505	14%	45%
Asia meridional y central	2.777	22%	857	24%	37%
<b>Total</b>	<b>12.420</b>	100%	<b>3.630</b>	100%	

Nota. IHA, Hydropower 2050.

La IHA estima las potencias de planta o instalables ( $P_{instalable}$ ) por Región en base al promedio de factores de capacidad o de planta ( $F_p$ ) correspondientes al año 2020 y considerando que el año tiene 8760 horas. Se asume el PHEA como la energía real que hubiese generado la planta en un año ( $E_{generada}$ ) y se calcula en base a la fórmula 2

$$P_{instalada} (W) = \frac{E_{generada} (Wh/año)}{F_p * 8760 \text{ horas}} \quad [2]$$

Los países que más recursos hídricos tienen, a nivel de Sur América son: Brasil con el 44%, Colombia con el 17% y Perú con el 13%, le siguen Chile y Venezuela con el 7% y 6%, respectivamente. Ecuador posee el 3% del recurso hídrico a nivel de Sur América y 1% a nivel mundial (Banco Mundial, 2017). Los recursos hídricos del Ecuador nacen en la Cordillera de los

Andes y drenan sus aguas, por el Este, hacia la vertiente Amazonas y, por Oeste, hacia la vertiente del Pacífico (Ver Tabla 3) (Ministerio del Ambiente, 2002).

**Tabla 3** División Hidrográfica del Ecuador

Vertientes	Ubicaciones	Área		División Hidrográfica			PHTB (MW)	
		km <sup>2</sup>	%	Sistemas	Cuencas	Subcuencas	C. medios	C. secos
Amazonas	Este	131.726	52%	7	7	36	66.501	29.404
Pacífico	Oeste	123.216	48%	24	72	101	24.475	7.647
Total		254.942	100%	31	79	137	<b>90.976</b>	<b>37.051</b>

Nota. El autor, con datos del Ministerio del Ambiente (2002) y CONELEC (2013)

El extinto Instituto Ecuatoriano de Electrificación INECEL, a través del Plan Maestro de Electrificación del Ecuador 1989 - 2000, realizó un inventario del potencial hidroeléctrico del Ecuador, el cual determinó un potencial hidroeléctrico teórico bruto total de Ecuador continental de 90.976MW con caudales medios y 37.051MW con caudales secos (tabla 3); sin embargo, estimó que el mayor potencial hidroeléctrico estaba entre las cotas 300 y 1.200 msnm, por lo que centró la evaluación del potencial hidroeléctrico en 11 de las 79 cuencas hidrográficas, dando un potencial teórico de **73.390MW**, de los cuales determinaron que **30.865MW** son técnicamente aprovechables y 21.903MW satisfacen el criterio de factibilidad económica (CONELEC, 2013).

**Tabla 4** Potencial hidroeléctrico inventariado de las 11 cuencas de mayor potencial Ecuador

Vertiente	Cuenca Hidrográfica	Área (km <sup>2</sup> )	PHTB (MW)	PHTA (MW)	PHEA (MW)
PACÍFICO	Mira	6.022	2.887	489	-
	Esmeraldas	21.418	7.530	1.879	1.194
	Guayas	32.675	4.205	311	-
	Cañar	2.462	1.339	112	-
	Jubones	4.326	1.123	688	590
	Puyango	4.965	961	299	229
	Catamayo	11.012	1.086	460	-
Subtotal 1		82.880	19.130	4.236	2.013
AMAZONAS	Napo - Coca	5.641	7.644	6.355	4.640
	Napo - Napo	26.987	13.125	5.930	3.839



Pastaza	20.543	11.102	1.434	1.121
Santiago - Namangoza	14.321	11.260	5.811	4.006
Santiago - Zamora	11.806	9.396	5.858	5.401
Mayo	3.720	1.734	859	500
Subtotal 2	83.018	54.259	26.246	19.507
<b>Total</b>	<b>165.898</b>	<b>73.390</b>	<b>30.482</b>	<b>21.520</b>

Nota. INECEL, Plan Maestro de Electrificación del Ecuador 1989 – 2000.

De las 11 cuencas más importantes del Ecuador, la más larga es la del río Napo, recorre territorio ecuatoriano y peruano antes de llegar al Amazonas, sumando una longitud de 1.130km. Entre sus innumerables afluentes se destacan: El Aguarico, el Payamino, el Curaray y el Coca; este último, el río coca, en su parte superior se alimenta del río Quijos, se caracteriza por sus grandes pendientes y precipitaciones (Pombosa et al., 2006); entre otras, en el río Quijos se encontraba la cascada San Rafael, la más alta del Ecuador pero que sucumbió ante la erosión regresiva de 2020 (SNGRE, 2020). Aprovechando las aguas del río Quijos (Instituto Geográfico Militar del Ecuador, 2021) se encuentra la Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair, que con sus 1500MW instalados, es hasta ahora la más grande del Ecuador (Heredia, 2016).

Como se puede ver en la Figura 1, la zona más lluviosa del Ecuador se encuentra dentro de la cuenca del río Napo, específicamente en la zona del Reventador, misma que alcanza precipitaciones de 6.000 a 7.000 mm/año (INAMHI, 2021). Parte de esas precipitaciones convergen en la micro cuenca río Reventador y drenadas por las faldas del volcán reventador hasta llegar directamente al río Quijos (Ver Figura 2) (Global Volcanism Program, 2003). Las precipitaciones mensuales de la zona del Reventador se muestran en la Figura 3, misma que está realizada con los históricos de la estación meteorológica “M0203-Reventador” propiedad del INAMHI. Actualmente esta estación no permite ver ni descargar históricos.

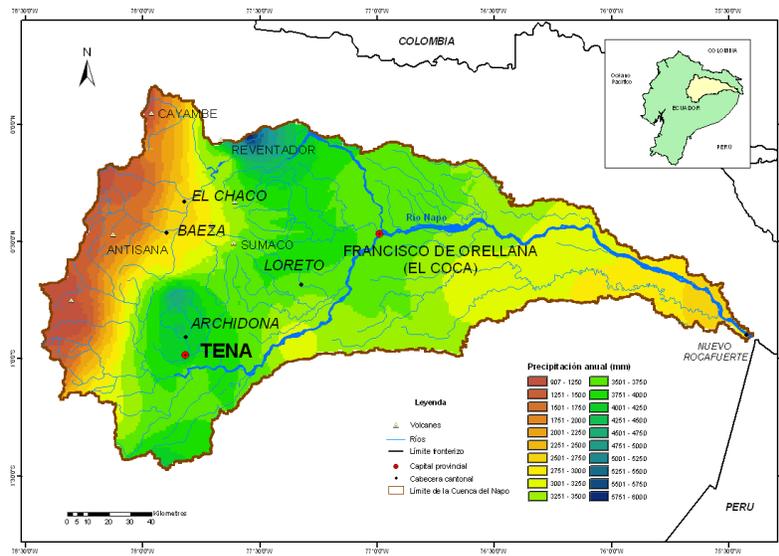


Figura 1. Mapa de Precipitación Media Multianual de la Cuenca del Río Napo

Fuente: Tomada de la “Monografía de la Cuenca del Río Napo en su parte Ecuatoriana, 2006”.

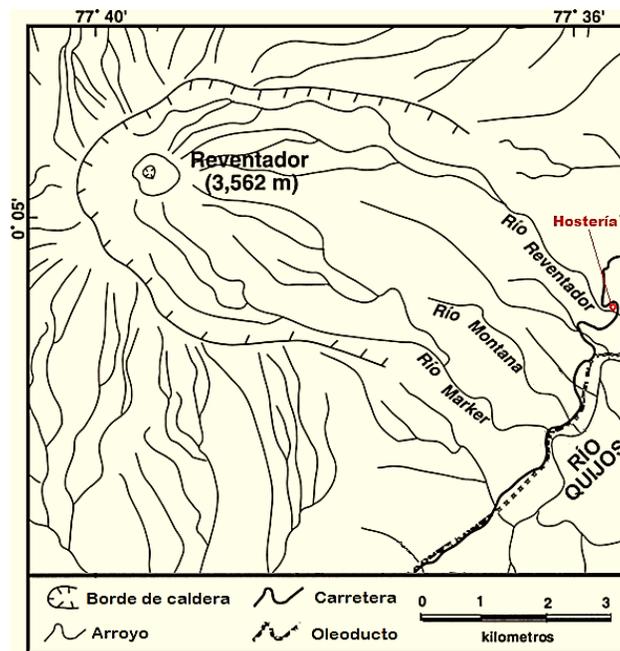
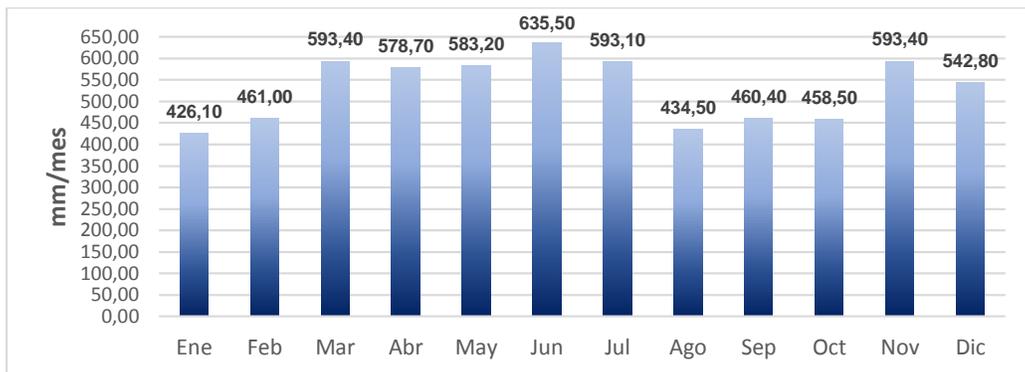


Figura 2. Micro cuenca “río Reventador”

Fuente: Editado de Global Volcanism Program (2003).



**Figura 3.** Precipitaciones promedio zona Reventador (1974-1978)

**Fuente:** El autor, con datos procesados por Pierre Pourrut (1995).

### Centrales Hidroeléctricas

Una central hidroeléctrica es un conjunto de instalaciones y equipos electromecánicos, necesarios para transformar la energía cinética y potencial del agua en energía eléctrica (Valdivieso, 2019). Se clasifican en tres tipos: **Centrales de Pasada** (o agua fluyente), **Centrales de Embalse** (o de regulación) con capacidad de almacenar energía potencial con agua de la captación (ARIAE, 2017) y **Centrales de Bombeo**, esta última con capacidad de almacenar energía potencial bombeando agua de la descarga en horas de menor demanda, análogo a una cisterna, y turbinándola para generar electricidad en horas de mayor demanda (IBERDROLA, 2017), optimizando el uso de la energía (capacidad instalada total) de todo el sistema.



**Central de Pasada**



**Central de Embalse**



**Central de Bombeo**

**Figura 4.** Clasificación General Centrales Hidroeléctricas

**Fuente:** Pablo Turmero (2010).

En la práctica, también existen centrales mixtas, adoptando la clasificación del tipo predominante. Ejemplo: C.H. Coca Codo Sinclair 1500MW es una central de pasada pero cuenta con un pequeño embalse de regulación diario para generar durante las horas pico o de mayor demanda (MERNR, 2018) (Ver Tabla 8).

Además de esta clasificación, existe una clasificación administrativa que está en función de su potencia instalada, esta sirve para diferenciarlas por su tamaño y por facilidad de identificación al momento de regular su aprovechamiento, por lo que es normal que no sea igual en todas las regiones pues el término grande o pequeña es relativo. Para este artículo, la clasificación adoptada es la del CONECEL - Ecuador (Tabla 5). La clasificación propuesta por la OLADE (Tabla 6) se muestra con fines comparativos.

**Tabla 5** Clasificación de Hidroeléctricas por rangos de Potencia CONELEC

Potencia	Clasificación
$\geq 50$ MW	Grande Hidroeléctrica
10 - 49,99 MW	Mediana Hidroeléctrica
1 - 9,99 MW	Pequeña Hidroeléctrica
100 - 999,99 kW	Mini Hidroeléctrica
5 - 99,9 kW	Micro Hidroeléctrica
< 5 kW	Pico Hidroeléctrica

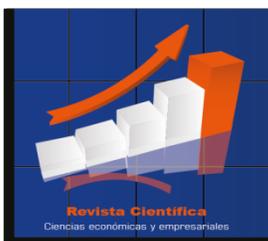
Nota. Clasificado acorde al Plan Maestro de Electrificación 2009-2020 (ARCONEL, 2009), y el inventario de recursos energéticos – 2015 (ARCONEL, 2015).

Dependiendo del salto o caída del agua, existe otra clasificación para las centrales hidroeléctricas, esta es: Centrales con saltos bajos, medios y elevados, y están en función de la clasificación por tamaño propuesta por la OLADE, esto es: Micro, Mini y Pequeñas centrales hidroeléctricas (Ver Tabla 6)

**Tabla 6** Clasificación de Hidroeléctricas por rangos de Potencia y Saltos OLADE

Hidroeléctricas	Potencia (kW)	Salto (m)		
		Bajo	Medio	Elevado
Micro centrales	Hasta 50	< 15	15-50	> 50
Mini centrales	50-500	< 20	20-100	> 100
Pequeñas centrales	500-5.000	< 25	25-130	> 130

Nota. Boletín Energético #16 OLADE (1980).



En Ecuador, el ente regulador del Sector Eléctrico ecuatoriano (antes CONELEC, ARCONEL y hoy Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables ARCERNNR), adoptó otras subclasificaciones administrativas, además de las anteriores, dentro de sus regulaciones, mismas que se muestran e Tabla 7.

**Tabla 7** Sub clasificaciones usadas por el sector eléctrico ecuatoriano

<b>Criterio</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Restricción</b>	<b>Regulación</b>
Por su tipo de energía	Renovables Convencionales	> 10 MW	ARCONEL - 004/15
	Renovables No convencionales	$\geq 100$ kW y < 10 MW	
Por tipo de empresa	Generadoras	$\geq 100$ kW	CONELEC - 01/14
	Autogeneradoras	$\geq 100$ kW y < 1 MW	
Por tipo de inversión	Públicas	<u>Sin restricción</u>	CONELEC - 04/11
	Privadas	< 50 MW	
Por su relación con el SNI	Incorporado al S.N.I.	$\geq 100$ kW	ARCONEL - 004/15
	Aislados	$\leq 50$ MW	
Por su influencia al SNI	Despachadas por CENACE	$\geq 1$ MW	ARCERNNR - 004/20
	No despachadas por CENACE	$\geq 100$ kW y < 1 MW	
Generación Distribuida	On-grid	< 1 MW	ARCERNNR - 001/21
	Off-grid	< 1 MW	

Nota. El autor, con información de regulaciones, adaptada a hidroeléctricas.

En Ecuador, hasta diciembre de 2018, habían un parque generador de 317 centrales habilitadas (MERNNR, 2018), de las cuales, más de la mitad están Aisladas, es decir, no están incorporadas al Sistema Nacional Interconectado SIN (centrales de Galápagos o las Petroleras), y de esas, solo 139 centrales eléctricas están bajo despacho del Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), entre las cuales hay 64 centrales hidroeléctricas: 39% privadas y 61% públicas, operadas en su mayoría por la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP (CENACE, 2021). En la Tabla 8 se muestran las centrales hidroeléctricas más grandes que cuenta el Ecuador.

**Tabla 8** Centrales hidroeléctricas más grandes del Ecuador

Nro.	Central	Tipo	Potencia Nominal (MW)	Potencia Efectiva (MW)	Ubicación (Provincia)
1	Coca Codo Sinclair	Pasada	1.500,00	1.500,00	Napo
2	Paute	Embalse	1.075,00	1.100,00	Azuay
3	Sopladora	Pasada	487,00	486,90	Azuay
4	Minas San Francisco	Pasada	275,00	274,50	Azuay
5	Marcel Laniado	Embalse	213,00	213,00	Guayas
6	San Francisco	Pasada	230,00	212,00	Tungurahua

Nota. Plan Maestro de Electrificación 2018-2027 e Informe anual 2020 CENACE.

## Metodología

La presente investigación tuvo un enfoque Cuantitativo-Deductivo, de lo general a lo particular, se analizó el potencial hidroenergético a nivel mundial hasta llegar a nivel local, aplicando métodos y técnicas tanto teóricas como empíricas.

Inicialmente, la investigación fue del tipo Exploratoria, lo que permitió contextualizar y caracterizar el objeto de estudio; identificando el tipo de central hidroeléctrica en que se enmarca el proyecto, así como los métodos y técnicas que se podían utilizar para recopilar la información; realizando estudios de campo de forma sistemática para determinar, por métodos directos e indirectos, los saltos de agua y caudales aprovechables con fines de generación hidroeléctrica, lo que permitió definir el origen del recurso hídrico, así como el emplazamiento óptimo de la captación y casa de máquinas. Finalmente, con toda esta información, la investigación pasó a ser correlacional ya que se evaluó y relacionó la disponibilidad del recurso hidroeléctrico con la demanda energética de la hostería, lo cual permitió dimensionar el grupo turbogenerador de la microcentral hidroeléctrica.

Esta investigación fue del tipo Aplicada o práctica ya que la misma tuvo como objetivo determinar, de forma preliminar, la factibilidad de implementar un Sistema de Microgeneración Hidroeléctrica que abastezca el consumo eléctrico de la hostería El Reventador.



Los métodos utilizados en la presente investigación para determinar el salto de agua y el caudal disponible fueron el método de medición de nivel del Ingeniero y, el método volumétrico, respectivamente.

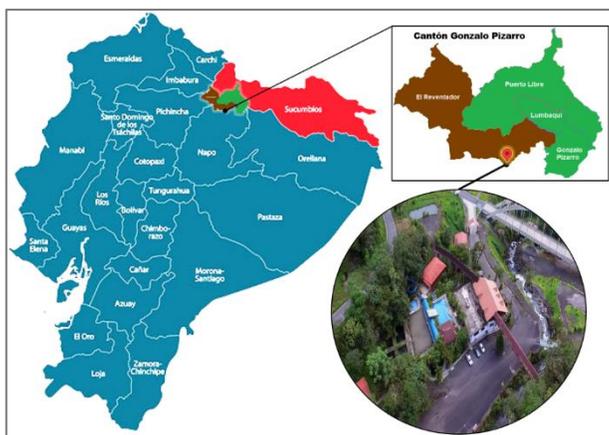
## Resultados

### Ubicación geográfica del proyecto

El proyecto se ubica dentro de la “Hostería El Reventador”, en el Km 159 vía Quito - Lago Agrio (ruta E45), en el límite de las provincias de Napo y Sucumbíos, junto al Puente “Río Reventador”. Políticamente pertenece a la parroquia El Reventador, del cantón Gonzalo Pizarro, Provincia de Sucumbíos (Ver Figura 5). Sus coordenadas geográficas son: Altitud: 1410 m.s.n.m.

Longitud: 77° 35' 33,64" W.

Latitud: 0° 6' 5,34" S



**Figura 5.** Localización geográfica de la “Hostería El Reventador”  
**Fuente:** El autor, con imágenes vectorizadas de Maria Egupova.

### Característica de la zona del proyecto

La parroquia rural El Reventador, se encuentra en la zona Nororiental del Ecuador, en las estribaciones de la Cordillera Oriental de los Andes, en la parte alta de la provincia de Sucumbíos. Se caracteriza por la predominancia de grandes pendientes, con elevaciones que varían desde los 3.880 msnm en la parte más alta hasta, hasta los 600 msnm en la parte más baja (GAD Reventador, 2020), además por ser la zona más lluviosa del Ecuador, con precipitaciones de 6.000 a 7.000

mm/año (INAMHI, 2021). Su temperatura promedio es de 18° C, con máximos de 21° C y mínimo de 10° C.

La “Hostería El Reventador” es un complejo turístico privado que nació en el año de 1995, ubicado en las faldas del Volcán Reventador (Ver Figura 2). Cuenta con una extensión de 200 hectáreas de bosque tropical, de las cuales, la mayoría se encuentran dentro del Parque Nacional Cayambe-Coca. Las instalaciones de la hostería ocupan, de manera dispersa, un área aproximada de 4 hectáreas; el hotel principal está a unos 30 metros de la vía principal que conduce a Lago Agrio (E45) y a unos 20 metros del “Río Reventador”, en su margen izquierda. Frente a la Hostería está el puente “Río Reventador” y a unos dos kilómetros se encontraba el mirador de la Cascada “San Rafael (Ver Figura 6).

La hostería se caracteriza por su abundante recurso hídrico natural; está rodeada de ríos y cascadas, además de vertientes que, por su cercanía al volcán, emerge desde la montaña agua templada a diferencia del resto de afluentes. El agua que llega hasta la hostería proviene de la microcuenca “Río Reventador”, la cual va a desembocar hasta la “Vertiente del Amazonas”. De acuerdo al ministerio del Ambiente, sería como la Tabla 9.

**Tabla 9** Hidrografía microcuenca Río Reventador

<b>Vertiente</b>	<b>Sistema</b>	<b>Cuenca</b>	<b>Subcuenca</b>	<b>Subcuenca 2</b>	<b>Microcuenca</b>
		2674 Río	267401 Río		Río
AMAZONAS	26 NAPO	Napo	Coca	Río Quijos	Reventador

Nota. El autor, con información del Ministerio del Ambiente (2002).

Debido a la erosión regresiva del río Quijos (SNGRE, 2020), que afectó las tuberías del Sistema de Oleoducto Transecuatoriano SOTE y del Oleoducto de Crudos Pesados OCP, obligó a estas empresas y a la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP a realizar trabajos correctivos emergentes y preventivos de largo plazo (Staff, 2021) (CELEC EP, 2021); esto propició gran afluencia trabajadores que incrementaron la demanda de habitaciones en la hostería. Actualmente en la hostería se hospedan, principalmente, personal técnico vinculado con los trabajos antes mencionados.

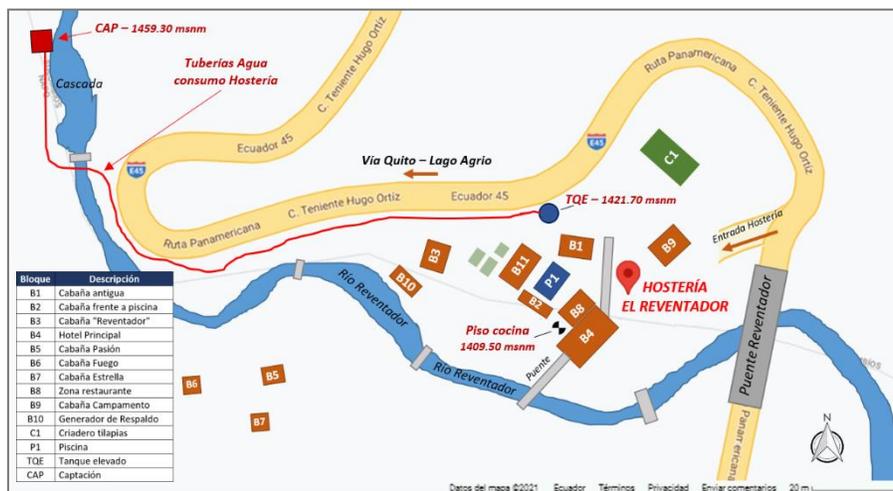
### Caracterización de las instalaciones

La hostería brinda el servicio de hospedaje, alimentación y actividades ecoturísticas; cuenta con un bar-restaurante, piscina, jacuzzi, zona de camping, sala de reuniones, internet, DIRECTV, señal de celular y zonas de aparcamiento. Tiene 36 habitaciones más una cabaña que puede funcionar como campamento; en total tiene capacidad de hospedar y atender a 80 personas simultáneamente. En la Figura 7 se indica la distribución de las instalaciones.



**Figura 6.** Vista panorámica “Hostería El Reventador”

**Fuente:** El autor. Foto tomada desde un dron el 28/08/2021.



**Figura 7.** Plano distribución instalaciones “Hostería Reventador”

**Fuente:** El autor, a partir de imagen de Google Maps.

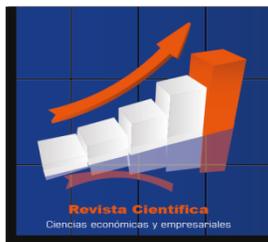
**Tabla 10** Información técnica Medidor, Transformador y Subestación que alimentan la hostería

<b>Medidor</b>	
Fase Conexión	A
Subtipo	Medidor Bajo Voltaje
Código Cliente	2000103591
Medidor	8025901
<b>Transformador</b>	
Alimentador	20LQ060T14 - REVENTADOR
No. Transformador	OID12607
Subtipo	Transformador Monofásico en Poste
Código Puesto	OID8908
Voltaje	13.8kV/240V
Potencia (kVA)	25
Configuración BT	Línea Monofásica
Propiedad	PARTICULAR
Conf. Lado Media	Línea Monofásica
<b>Subestación</b>	
Subtipo	Subestación Exterior
Código Estructura	Exterior 69/13.8kV a nivel
Número Subestación	20LQ06
Nombre Subestación	S/E LUMBAQUI
Alimentadores	20LQ060T11 - LUMBAQUI 20LQ060T13 - CASCALES <b>20LQ060T14 - REVENTADOR</b>

Nota. El autor, con información del Geoportal de CNELEP verificada en sitio.

La hostería se alimenta de energía eléctrica a través de la Empresa Eléctrica Distribuidora CNEL Sucumbíos, pues está dentro de su área de concesión. Lo hace a través de un transformador propio de 25kVA, el cual a su vez se alimenta de una línea de media tensión que viene de la Subestación Eléctrica S/E Lumbaqui, a través del alimentador REVENTADOR. La información técnica del medidor o contador de energía de la hostería, transformador y subestación, se indican en la Tabla 10.

Dado que la problemática que motivó la realización del presente proyecto fue la mala Calidad del Servicio Técnico de energía por las frecuentes interrupciones del suministro, y que la Regulación CONELEC No. 004/01 estipula que las empresas de Distribución deberán llevar control de éstos Índices por Empresa y Alimentador de media tensión MT, (CONELEC, 2001), se solicitó mediante



oficio a la CNEL Sucumbíos (trámite CNEL-SUC-ADM-2021-1012-E) el registro histórico de estos índices, de los tres alimentadores para comparar, evidenciando que los mismos están por arriba del límite admisible por la Regulación; además que el alimentador REVENTADOR es el que más interrupciones ha tenido, cinco veces más de lo que admite la regulación para alimentadores del área rural. Se evidencia que en el alimentador CASCALES es donde se demoran más en restablecer el servicio eléctrico, sin embargo, el alimentador REVENTADOR igualmente demoran en restablecer, más de tres veces de lo que indica la Regulación (Ver Tabla 11).

**Tabla 11** Índices de calidad del servicio técnico S/E LUMBAQUI

Descripción resumida	Índice	CONELEC No. 004/01	AÑO MÓVIL: OCT. 2020 -SEP. 2021		
		Límite admisible Alimentador Rural	20LQ060T11 LUMBAQUI	20LQ060T13 CASCALES	20LQ060T14 REVENTADOR
Frecuencia Media de Interrupción	Lim FMIK	<b>6</b>	20,21	25,50	<b>29,72</b>
Tiempo Total de interrupción	Lim TTIK	<b>18</b>	30,34	65,18	<b>56,62</b>

Nota. El autor, con información de CNEL Sucumbíos, con corte a septiembre.

Con esta información se puede evidenciar que la realización del presente proyecto está justificada, ya que la hostería debe soportar frecuentes interrupciones del suministro electro, siendo éstas interrupciones debidas principalmente por las altas precipitaciones, ya que la zona del Reventador es la más lluviosa del Ecuador (Ver Figura 1).

### Caracterización del recurso hídrico

Luego de las inspecciones de campo se evidenció que, dentro de la hostería, existen dos afluentes aprovechables cerca al hotel; ambos pertenecientes a la microcuenca “Río Reventador”, estas son: El río Reventador propiamente y, una vertiente junto él (Figura 8), desde donde actualmente se está captando el agua de consumo de la hostería (Figura 9); por lo que se hizo un análisis comparativo para decidir cuál afluente usar. En base a la experiencia del ingeniero proyectista y la del dueño de

la hostería (que conoce la microcuenca hace más de 25 años), se calificó dando valoraciones a cada una, resultando que es más conveniente aprovechar el agua de la Vertiente (Tabla 12).



**Figura 8.** Vertiente/Captación agua consumo hostería  
**Fuente:** El autor.

**Tabla 12** Comparación entre el río Reventador y la Vertiente

Criterio	Valoración	Río Reventador		Vertiente	
		Calificació	Ponderació	Calificació	Ponderació
		n	n	n	n
Cantidad de caudal	12%	10	1,2	5	0,6
Variaciones de caudal	5%	7	0,35	8	0,4
Cercanía a la hostería	18%	10	1,8	10	1,8
Arrastre de sedimentos	18%	8	1,44	10	1,8
Inversión Obras de Captación	47%	1	0,47	9	4,23
<b>Total:</b>	<b>100%</b>		<b>5,26</b>		<b>8,83</b>

Nota. La calificación fue de 1 a 10, siendo 1 malo y 10 muy bueno.

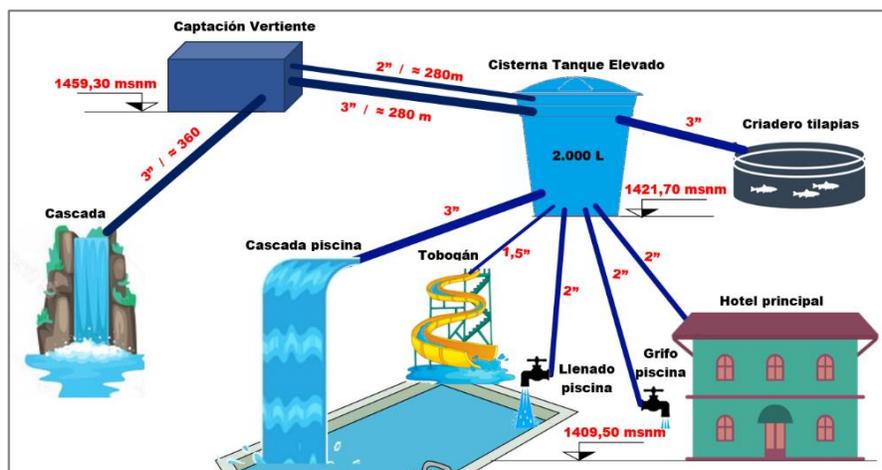
La Vertiente se encuentra a unos 300 metros en línea recta desde el hotel principal, en la margen derecha del río Reventador. La Captación se ubica en el mismo nacimiento de agua de la vertiente, y aprovecha la montaña como paredes de la misma, el resto está construida de concreto, con materiales reciclados (Figura 9). Desde la parte inferior de la captación salen 3 tuberías (manguera

negra): Una manguera de 3" va hacia una pequeña cascada, y dos mangueras (de 3" y 2") van hasta el Tanque Elevado (regulador de presión), desde donde se distribuye el agua de consumo del hotel (Figura 10).



**Figura 9.** Captación agua de Vertiente  
**Nota:** Tanque Captación. Volumen aproximado 2.21 m<sup>3</sup>.

Desde el Tanque Elevado salen 6 mangueras (entran 2), de ellas, de dos fluye agua constantemente (el resto se usan cuando se llena la piscina o se usa el tobogán / jacuzzi), estas son: la que va al Hotel y la que va al criadero de tilapias, esta última funciona como una tubería de reboce, mientras el consumo del resto de mangueras sea menor que del que llega de la Captación, siempre habrá agua fluyendo hacia el criadero de tilapias.



**Figura 10.** Esquema de distribución del agua en la Hostería Reventador  
**Fuente:** El autor.

De las inspecciones en sitio se pudo evidenciar:

- El consumo de agua del hotel se puede abastecer en su totalidad con la manguera de 2” que viene desde la Captación.
- La Captación presenta fisuras en su parte inferior, lo que, además de ocasionar fugas de agua considerables, comprometen la integridad de la estructura.
- Ninguna de las mangueras que salen desde la Captación cuenta con llave de corte, tampoco a su llegada al Tanque Elevado, lo que dificulta el mantenimiento.
- Hay lugares donde las mangueras están rotas por lo que, además de haber fugas de agua, permiten el ingreso de aire a las mismas, ocasionando pérdidas de presión y limitación de la circulación de caudal, esto debido a que la tubería está dispuesta libremente sobre el terreno y éste tiene forma sinusoidal.

### Determinación del caudal de la Vertiente

Una vez definido el esquema general de distribución del agua en la hostería (Figura 10), se definieron algunas alternativas o lugares desde donde se puede medir el caudal de la vertiente, de forma indirecta, por el método volumétrico (tiempo en que demora alcanzar llenar un volumen conocido) (Muguerza, 2003). Todas las alternativas fueron probadas de cierta manera para ver su fiabilidad; obteniendo los siguientes resultados:

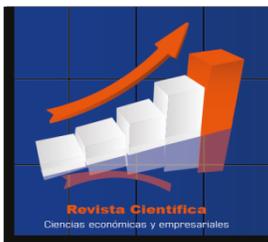
**Tabla 13** Caudal aportado por la manguera 3” al Tanque Elevado

Nro. de Prueba	Volumen (m3)	Tiempo		Caudal 3" m3/s
		Tiempo	(Seg)	
1	1,22	0:01:21	81	0,0151
2	1,22	0:01:23	83	0,0147
3	1,22	0:01:22	82	0,0149
Caudal promedio (m <sup>3</sup> /s):				<b>0,0149</b>

Nota. Calculado con el método volumétrico usando el tanque de 2.000 litros.

**Tabla 14** Caudal aportado por la manguera 2” al Tanque Elevado

Nro. de Prueba	Volumen (m3)	Tiempo		Caudal 2" m3/s
		Tiempo	(Seg)	
1	0,02	0:00:04	4	0,0050
2	0,02	0:00:04	4	0,0050



3	0,02	0:00:03	3	0,0067
Caudal promedio (m <sup>3</sup> /s):				<b>0,0056</b>

Nota. Calculado con el método volumétrico usando una caneca de 20 litros.

Como la manguera que llega hasta la Cascada es de 3", igual a la que llega al Tanque Elevado (Figura 10), y por la dificultad de medir este caudal, se infirió que estos dos caudales eran iguales, es decir se asumió que el caudal que llega hasta la cascada es 0,0149 m<sup>3</sup>/s; lo que daría un caudal total captado de la Vertiente, a través de las tres mangueras que salen de la Captación, igual a **0,03534 m<sup>3</sup>/s**. Para determinar el caudal total de la Vertiente hace falta sumarle las fugas de agua. Para determinar el caudal de fugas en la Captación, se vació el tanque de la captación, luego se tapó las fugas del tanque (sin cerrar las salidas de agua de las mangueras), lo que hizo subir el nivel, siendo el causante de este excedente el caudal que antes se fugaba. De esta forma se determinó el caudal de fugas aproximado (Tabla 15).

**Tabla 15** Caudal de fugas en la Captación

Nro. de Prueba	Volumen (m <sup>3</sup> )	Tiempo		Caudal Fugas m <sup>3</sup> /s
		Tiempo	(Seg)	
1	0,88	0:01:02	62	0,0143
2	0,88	0:01:07	67	0,0132
3	0,88	0:01:03	63	0,0140
<b>Caudal promedio (m<sup>3</sup>/s)</b>				<b>0,0138</b>

Nota. Calculado con el método volumétrico usando la Captación 2,21 m<sup>3</sup>.

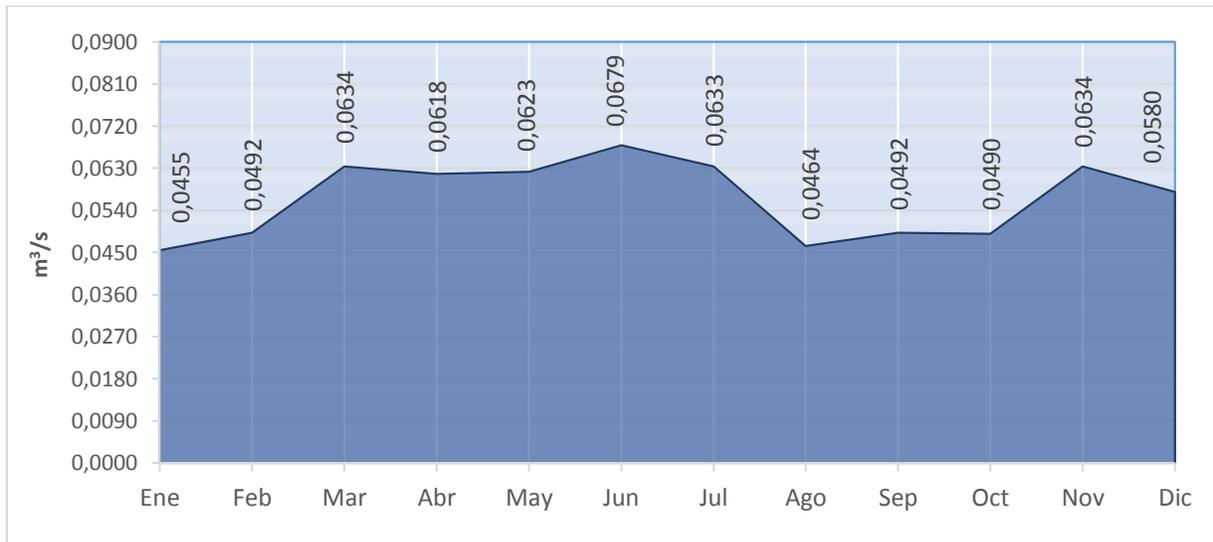
La sumatoria de todos los caudales arrojó como resultado que la vertiente tiene un caudal disponible de 0,0492 m<sup>3</sup>/s, de los cuales, el 28% actualmente se fuga por las fisuras en la Captación (Ver Tabla 16). Se debe considerar que este caudal es el correspondiente al mes de septiembre que es cuando fue medido, para tener una visión general de los caudales mínimos y máximos se deben monitorear los caudales al menos un año.

**Tabla 16** Caudal total de la Vertiente

Concepto	Caudal Vertiente	
	m3/s	%
Caudal Tubería 3" Tanque Elevado	0,0149	30,29%
Caudal Tubería 2" Tanque Elevado	0,0056	11,30%
Caudal Tubería 3" Cascada	0,0149	30,29%
Caudal de Fugas en Captación	0,0138	28,12%
<b>Caudal promedio (m3/s)</b>	<b>0,0492</b>	<b>100,00%</b>

Nota. Estos caudales fueron medidos el mes de septiembre.

Como no se cuenta con mucho tiempo para monitorear los caudales, se generó un histograma de caudales en base a las precipitaciones promedio de la zona (Figura 3) y el caudal del mes de SEPTIEMBRE (Tabla 16), quedando la curva siguiente:



**Figura 11.** Curva anual de caudales Vertiente

**Fuente:** El autor, generada a partir del caudal medido e histórico de las precipitaciones.

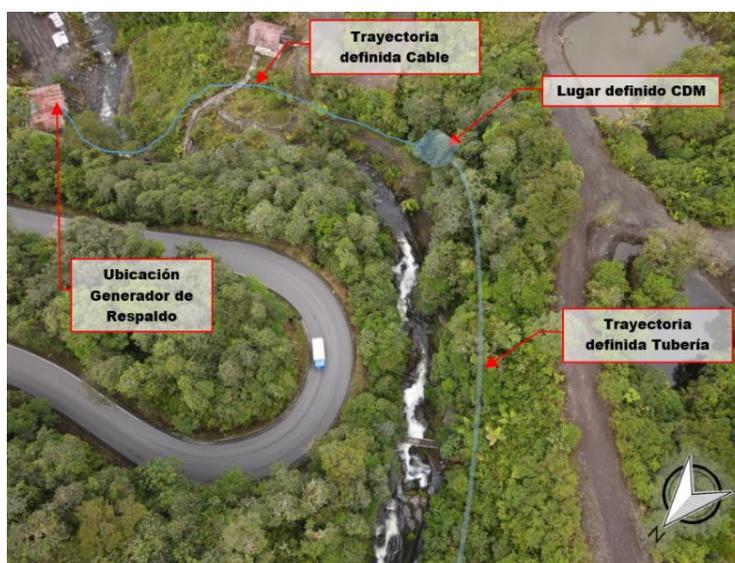
Como se puede apreciar en la curva de caudales, no existen variaciones bruscas del caudal, esto se debe a que las precipitaciones de la zona son casi constantes todo el año; teniendo los caudales

máximos en el mes de JUNIO con  $0,0679 \text{ m}^3/\text{s}$ , y los mínimos en el mes de ENERO con  $Q_{\text{min}} = 0,0455 \text{ m}^3/\text{s}$ . Estos datos son calculados.

### Determinación del salto o altura bruta

El salto o altura bruta es el desnivel que existe entre el lugar de la captación y la casa de máquinas (turbina); para determinarlo, primero se definió la ubicación más conveniente de la Casa de Máquinas CDM, donde va a estar la turbina, esto no solo viendo que tenga una buena caída o desnivel, sino también que esté ubicada estratégicamente, de tal forma que permita su construcción y operación de forma técnica, segura y económica.

Para este proyecto se encontró una un área plana, amplia, junto a la montaña y cerca al río (necesario para descargar el agua turbinada), y con un nivel que históricamente no ha sido alcanzado por el río; además, este lugar ya cuenta con acceso para vehículo, y está relativamente cerca al Generador de Respaldo, desde donde se podría distribuir la energía. Con estos argumentos, se definió la ubicación de la CDM, misma que se muestra en la Figura 12.



**Figura 12.** Lugar definido para Casa de Máquinas

**Fuente:** El autor. Foto tomada desde un dron el 28/08/2021.

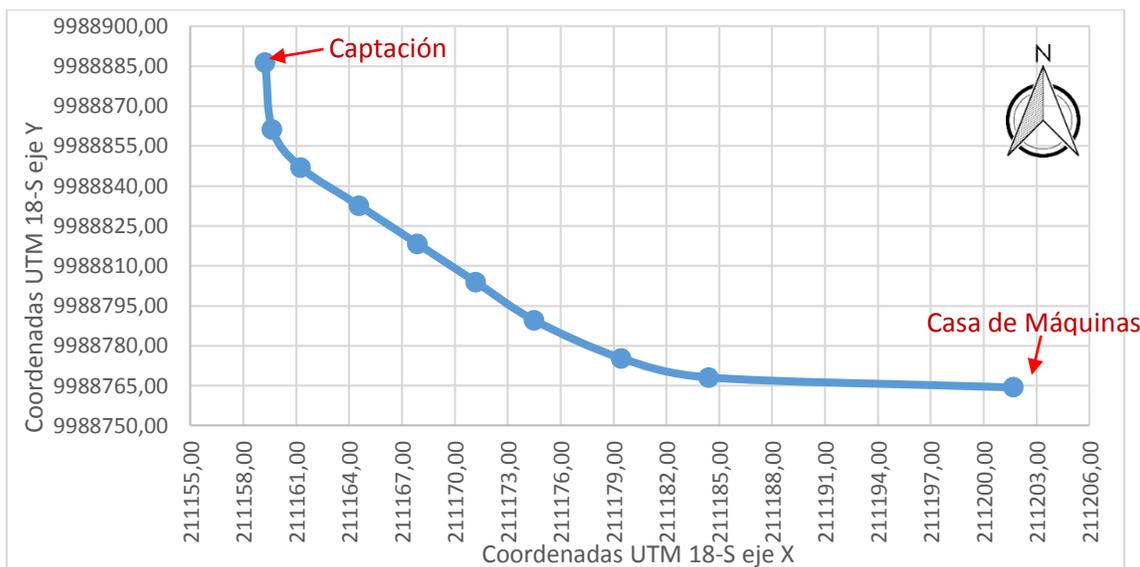
Debido a las largas distancias y laderas empinadas, se optó por realizar el estudio con el método de nivel del ingeniero, aunque es más costoso, pero se logró un trabajo definitivo, además de hacer un levantamiento de otros puntos importantes del proyecto. En este caso se utilizó una Estación Total marca TRIMBLE, modelo M3 DR3” Serie D046360, calibrada el 21/06/2021 por GEOLAB – GEOTOP CUENCA. Además, para obtener el punto referencial inicial, se usó la Aplicación “Mobile Topographer” versión Android. Los puntos georeferenciados de la CAP y CDM se muestran en la Tabla 17.

**Tabla 17** Coordenadas Geográficas trayectoria tubería

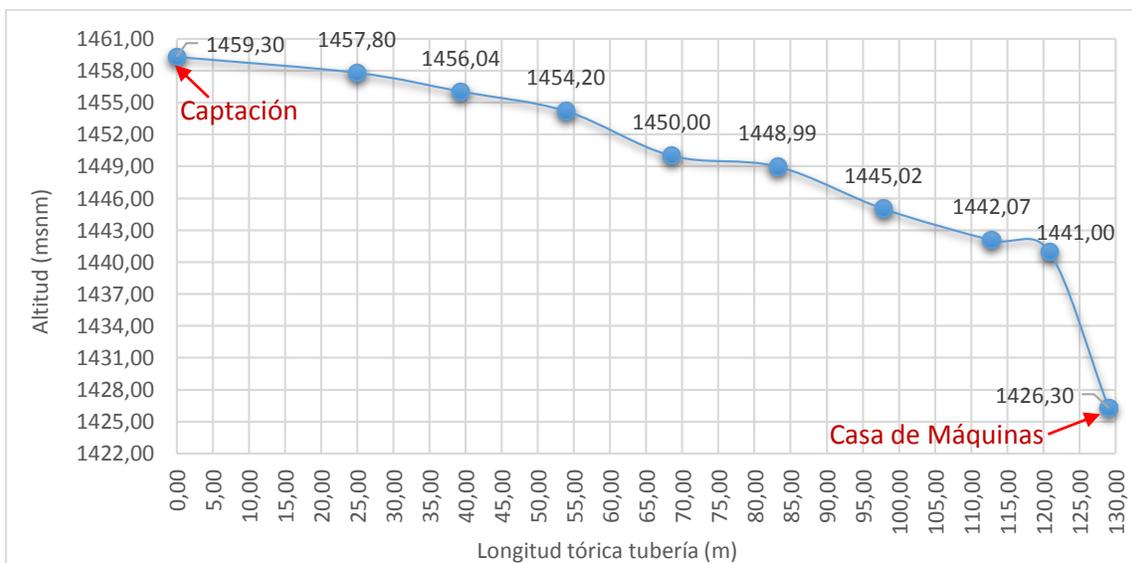
Nro.	X		Y		Longitud Tubería (m)	Altitud (msnm)	Descripción
	UTM 18-S	Dist. (m)	UTM 18-S	Dist. (m)			
1	211159,24	0,00	9988886,14	0,00	0,00	<b>1459,30</b>	<b>Captación</b>
2	211159,63	0,40	9988861,22	-24,93	24,93	1457,80	Talud 1
3	211161,26	2,02	9988846,87	-39,27	39,32	1456,04	Talud 2
4	211164,57	5,33	9988832,53	-53,62	53,88	1454,20	Talud 3
5	211167,88	8,64	9988818,18	-67,96	68,51	1450,00	Talud 4
6	211171,19	11,95	9988803,84	-82,30	83,17	1448,99	Talud 5
7	211174,50	15,26	9988789,50	-96,65	97,85	1445,02	Talud 6
8	211179,47	20,23	9988775,15	-110,99	112,82	1442,07	Talud 7
9	211184,43	25,19	9988767,98	-118,16	120,82	1441,00	Talud 8
10	211201,70	42,46	9988764,25	-121,90	<b>129,08</b>	<b>1426,30</b>	<b>Casa de Máquinas</b>

Nota. El autor con ayuda de un topógrafo. Longitud tubería calculada con teorema de Pitágoras.

En la Tabla 17 se puede apreciar que la longitud total de la tubería sería igual a **129,08m**.



**Figura 13.** Vista de planta trayectoria teórica de la tubería de presión  
**Fuente:** El autor.



**Figura 14.** Perfil de elevación teórico de la tubería de presión  
**Fuente:** El autor.

Con los datos de la Figura 14, se puede calcular que el desnivel o altura bruta entre la captación y la Casa de máquinas ( $\Delta H = 1459,30 - 1426,30$ ) es de **33 metros**.

### Estimación de la potencia hidráulica bruta total

Una vez determinado el caudal mínimo disponible y el salto o altura bruta, se procede a calcular, mediante la Ecuación 1, la potencia hidráulica bruta total disponible. Para este cálculo se consideró la densidad del agua igual a 1000 kg/m<sup>3</sup> (Zarza, 2020) y la gravedad igual a 9.81 m/s<sup>2</sup>; además un el Caudal promedio mínimo de la vertiente igual a 0,0455 m<sup>3</sup>/s y una altura bruta o desnivel de 33 m, dando un potencial hidráulico teórico total de:

$$Pot. Hidráulica bruta (W) = \left(1000 \frac{kg}{m^3}\right) * \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right) * \left(0,0455 \frac{m^3}{s}\right) * (33 m)$$

$$Pot. Hidráulica bruta (W) = 14.729,72 W \approx \mathbf{14,73 kW}$$

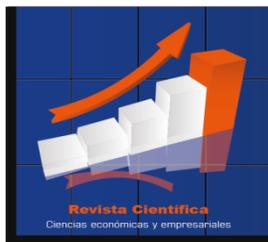
### Caracterización de la demanda eléctrica

La caracterización de la demanda consistió en el levantamiento de todas las cargas eléctricas (esto para determinar la carga total instalada disponible en la hostería) y, la determinación de la demanda eléctrica, esto a través del registro histórico del consumo eléctrico, tal como indica el artículo 7 de la Regulación para los SGDA ARCERNNR - 001/21, para casos de consumidores existentes como este caso (ARCERNNR, 2021).

**Tabla 18** Resumen cargas eléctricas instaladas por bloque

Bloque	Descripción	Contiene	Pot. Total (W)	%
B1	Cabaña antigua	Habitaciones 1-12	431	2%
B2	Cabaña frente a piscina	Habitaciones 13-15	651	3%
B3	Cabaña "Reventador"	Habitaciones 16-17	300	1%
B4	Hotel Principal	Habitaciones 18-30	2.825	14%
B5	Cabaña Pasión	Habitaciones 31-32	370	2%
B6	Cabaña Fuego	Habitaciones 33-34	370	2%
B7	Cabaña Estrella	Habitaciones 35-36	370	2%
B8	Zona restaurante	Restaurante, Cocina, Lavandería, Bodega 1	13.047	63%
B9	Cabaña campamento	Habitaciones 35-36	360	2%
B10	Generador de Respaldo	Área Generador y Bodega 2	60	0%
B11	Zona Barbacoa	Área barbacoa	90	0%
	Exteriores	Parqueaderos, puentes, caminos	1.973	9%
<b>Carga total Instalada (W):</b>			<b>20.847</b>	<b>100%</b>

Nota. El autor. Esta tabla es un resumen del levantamiento de equipos realizado en la hostería

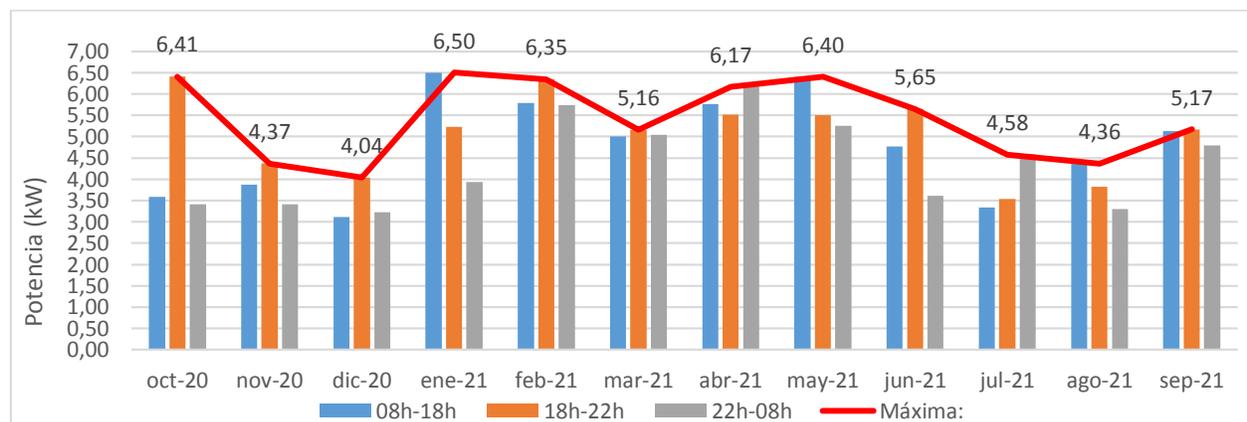


En la Tabla 18 se puede evidenciar que la hostería cuenta con una carga total instalada de 20.847 W, de las cuales, la mayor parte de la carga está en el bloque B8 o Zona de Restaurante con el 63%, esto se debe principalmente a los aparatos eléctricos de la Cocina, los cuales abarcan el 34% de la carga total.

**Demanda eléctrica hostería.**

Para determinar la demanda eléctrica, debido a que la hostería es un cliente regulado de CNEL Sucumbíos, se usó el mismo procedimiento indicado en el artículo 7 de la Regulación para los Sistemas de Generación Distribuida para Autoconsumo SGDA ARCERNNR - 001/21; que indica que, para consumidores existentes, se podrá utilizar los consumos históricos de energía eléctrica de los últimos 24 meses.

El histórico del consumo eléctrico de la hostería se lo obtuvo de las planillas eléctricas, mismas que están disponibles en la página web de CNEL de los últimos 12 meses. Según las planillas eléctricas, la Hostería Reventador (código Nro. 2000103591) tiene Tarifa Comercial, en bajo voltaje, con Registrador de Demanda Horaria; por tal motivo, fue posible obtener registros históricos mensuales y horarios (Ver Figura 15).



**Figura 15.** Demandas mensuales horarias Hostería Reventador

**Fuente:** El autor, con datos de las planillas CNEL.

En la Figura 15 se puede apreciar que la demanda máxima se dio en el mes de enero de 2021, en el horario de 08h-18h, alcanzando los 6,5 kW de potencia. Por seguridad, considerando la existencia de demandas picos, así como el incremento de la demanda futura o proyectada, para el

dimensionamiento del generador y todo el sistema en sí, se considera un **factor de seguridad de 1.15**, es decir, una potencia eléctrica de **7,5 kW**.

### Potencia hidráulica neta requerida

La potencia hidráulica neta requerida es aquella que se necesita disponible en el eje de la turbina para poder suplir la demanda eléctrica de diseño. Para su cálculo, se asume un rendimiento de 92% en la transmisión eléctrica, 96% en el generador y, 75% en la turbina. Lo que da un rendimiento total del **66%** que tendría el grupo turbogenerador, es decir, se requeriría una potencia hidráulica neta de **11,36 kW**.

### Altura neta

La altura neta es igual a la altura bruta menos las pérdidas hidráulicas. Preliminarmente se puede asumir como el 95% de la altura bruta (33m), es decir **31,35m**

### Caudal de diseño

Una vez conocida la potencia hidráulica requerida y la altura neta, se puede determinar el caudal de diseño o requerido a través de la ecuación 1, como sigue:

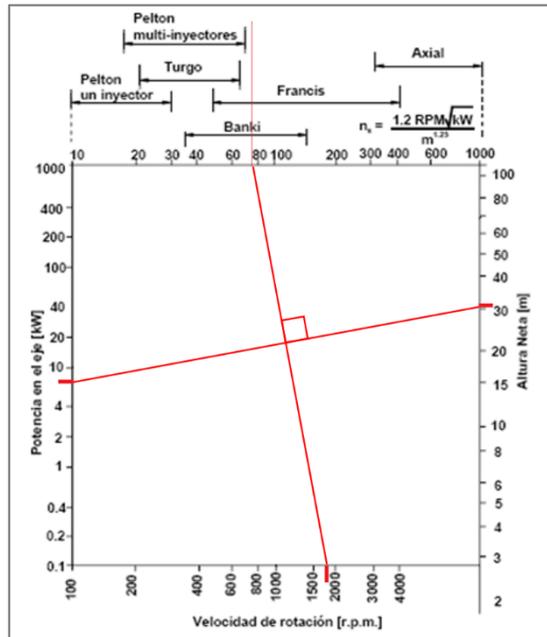
$$Q_{diseño} (m^3/s) = \frac{11.364 W}{\left(1000 \frac{kg}{m^3}\right) * \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) * (31,35m)} = 0,0369 m^3/s$$

El caudal mínimo de la vertiente es de 0,0455 m<sup>3</sup>/s, menos el caudal usado para consumo diario del hotel (0,0056 m<sup>3</sup>/s), da un caudal útil de 0,0399 m<sup>3</sup>/s, mismo que es mayor al caudal de diseño (**0.0369 m<sup>3</sup>/s**), por consiguiente, el caudal de la vertiente si abastecería del recurso hídrico tanto para el hotel como para la microcentral hidroeléctrica de 7.5kW.

### Selección de la Turbina

El método de selección de turbinas más preciso, y por ende el más aceptado, es el que tiene como criterio la **velocidad específica**; esto se debe a que involucra tres variables como son: la potencia a generar (**7,5kW**), la altura bruta (**33m**) y la velocidad de rotación que, para este caso se toma la velocidad de **1800 rpm** que es de un generador síncrono de 2 pares de polos que son los más

comunes. Se puede calcular o utilizar ábacos como en este caso (figura 16), con el que se determinó que el tipo de turbina que se debería usar para este proyecto es la Banki o Francis.



**Figura 16.** Ábaco para determinar el tipo de turbina de acuerdo a los  $n_s$   
**Fuente:** Manual de Mini y Micro-centrales Hidráulicas; de Teodoro Sánchez y Javier Ramírez.

### Factor de planta

En el año móvil, octubre 2020 a septiembre 2021, el consumo eléctrico promedio mensual de la hostería fue de 1.736 kWh, con un acumulado anual de **20.833 kWh** (Tabla 19).

**Tabla 19** Consumo eléctrico mensual Hostería “El Reventador”

Horario	CONSUMOS MENSUALES (kWh)											
	oct-20	nov-20	dic-20	ene-21	feb-21	mar-21	abr-21	may-21	jun-21	jul-21	ago-21	sep-21
08h-18h	654	593	604	718	1127	1219	1094	323	1534	588	703	653
18h-22h	298	271	272	316	495	521	445	421	360	254	289	315
22h-08h	388	361	427	505	804	870	722	695	589	462	501	442
<b>Total:</b>	<b>1340</b>	<b>1225</b>	<b>1303</b>	<b>1539</b>	<b>2426</b>	<b>2610</b>	<b>2261</b>	<b>1439</b>	<b>2483</b>	<b>1304</b>	<b>1493</b>	<b>1410</b>

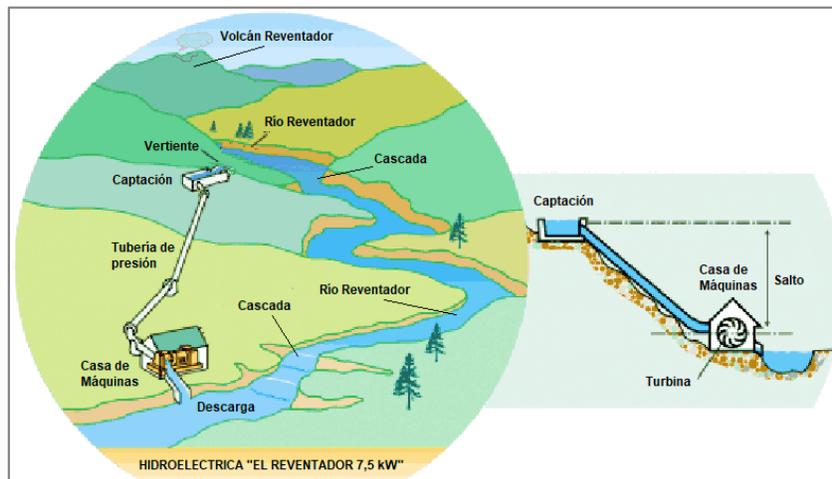
Nota. Elaboración propia con datos de planillas CNEL.

Asumiendo la energía del año móvil como la energía promedio anual, y una potencia instalada de **7,5kW**, aplicando la ecuación 2, se obtendría un factor de planta del **32%**.

$$F_p = \frac{E_{generada} (Wh/año)}{P_{instalada} (W) * 8.760 \text{ horas}} = \frac{20.833 \text{ kWh}}{(7,5 \text{ kW}) * (8.760 \text{ h})} \approx 32\%$$

### Discusión

Con la presente investigación se desarrolló una propuesta de generación de electricidad alternativa, mediante un grupo turbogenerador hidroeléctrico de 7,5kW, el cual es capaz de suplir las demandas máximas de electricidad de la hostería “El Reventador”; lo que le permitiría prescindir del suministro eléctrico de la distribuidora CNEL EP Sucumbíos; generando energía limpia y gratuita gracias al abundante recurso hídrico disponible.



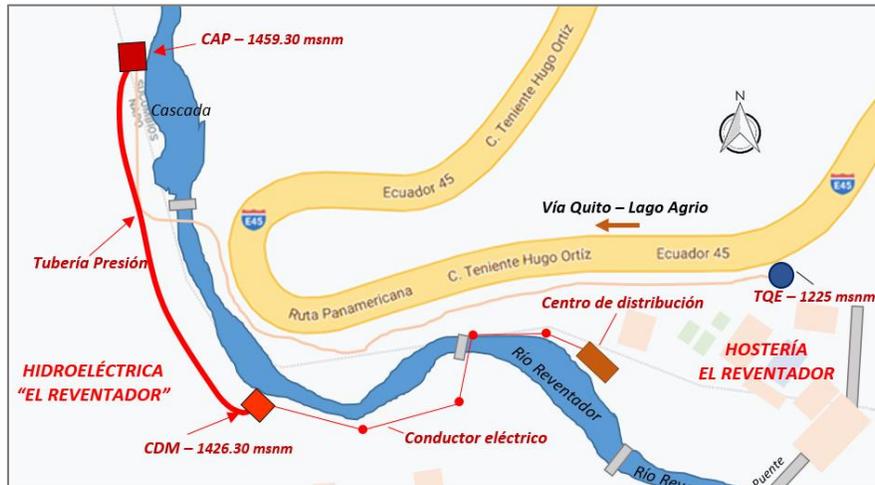
**Figura 17.** Diseño conceptual Sistema de Microgeneración Hidroeléctrico 7,5kW.

**Fuente:** El autor.

La propuesta consiste en redistribuir el recurso hídrico de la vertiente el Reventador (0,0455 m<sup>3</sup>/s) que actualmente se distribuye hacia el tanque elevado y hacia una cascada artificial, y usar la mayor parte del mismo (0,0369 m<sup>3</sup>/s) para generar electricidad, dejando únicamente la manguera de 2” hacia el tanque elevado para consumo de agua del hotel.

El agua a turbinar se desviaría directamente desde la captación (1459,30 msnm) hasta la casa de máquinas (1426,30 msnm) ya que la misma es de vertiente y no arrastra sedimentos. Esto a través

de 2 mangueras de 3", con la finalidad de obtener radios de curvatura pequeños que permitan acoplar la tubería a los diferentes relieves y, sobre todo, por reducir costos ya que los diámetros más grandes son más costosos.



**Figura 18.** Vista de planta Propuesta Sistema de Microgeneración Hidroeléctrico 7,5kW.  
**Fuente:** El autor.

Todas las instalaciones de la microcentral hidroeléctrica se emplazan en la margen derecha del río Reventador (Figura 18), sus parámetros principales son los siguientes:

**Tabla 20** Parámetros principales preliminares microcentral hidroeléctrica El Reventador

<b>Tipo de central:</b>	De pasada	<b>Generador:</b>	Síncrono
<b>Clasificación:</b>	Micro	<b>Pares de polos:</b>	2
<b>Salto bruto</b>	33 m	<b>Velocidad:</b>	1800 rpm
<b>Altura neta</b>	31,35 m	<b>Voltaje:</b>	240/120 V
<b>Caudal:</b>	0,0369 m <sup>3</sup> /s	<b>Frecuencia:</b>	60 Hz.
<b>Turbina:</b>	Banki/Francis	<b>Potencia nominal:</b>	7,5 kW
<b>Velocidad específica:</b>	75	<b>Energía anual:</b>	28.833 kWh
<b>Unidades:</b>	1	<b>Factor de Planta:</b>	32%

Nota. El autor.

## Conclusiones

Las instalaciones hidráulicas de la Hostería están hechas empíricamente, presentan fugas considerables de agua, no permiten cortar el flujo de agua para dar mantenimiento y, la obra civil de la captación está en peligro de colapsar.

El transformador eléctrico de la hostería está sobredimensionado, esto al parecer, debido a picos de demanda por trabajos eventuales que se realizan en la hostería.

Los indicadores de calidad del suministro eléctrico del alimentador de la hostería están por encima de lo permitido en la norma, por lo que es justificado el malestar de su propietario quien indica que son frecuentes las interrupciones del suministro eléctrico.

La hostería, y zona del Reventador en sí, están dentro de la zona con más precipitaciones del Ecuador, además de tener una geografía montañosa, lo que indicaría el motivo de las interrupciones y la demora en restablecer las mismas.

La hostería cuenta con el suficiente recurso hídrico para autogeneración hidroeléctrica. En este estudio solo se incluyó una vertiente que se la denominó “El Reventador”, sin embargo, existen más nacimientos de agua que se los podría aprovechar, además del mismo río Reventador.

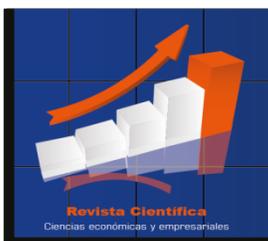
El caudal de la vertiente “El reventador” permite abastecer el consumo de agua del hotel y generar electricidad para autoconsumo de la hostería.

El presente estudio fue preliminar, y abarcó hasta la selección de la turbina. Falta realizar el diseño de las obras civiles, planos de detalle, y el estudio y la evaluación económica.

Preliminarmente, está justificado técnicamente la implementación de un sistema de microgeneración hidroeléctrica de 7,5kW, mismo que está en la capacidad de abastecer la demanda eléctrica de la hostería “El Reventador”.

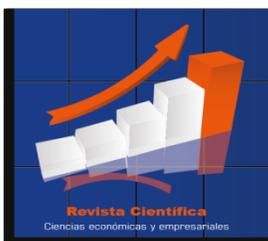
## Referencias

1. ARCERNNR. (junio de 2021). *Atlas del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2020*. Recuperado el 25 de octubre de 2021, de <https://bit.ly/3FkSsjG>
2. ARCERNNR. (2021). *Estadísticas del sector eléctrico ecuatoriano 2020*. Quito, Ecuador.
3. ARCERNNR. (2021). *Regulación ARCERNNR - 001/21*. Quito, Ecuador.



4. ARCONEL. (2009). Plan Maestro de Electrificación 2009-2020. Ecuador. Recuperado el 10 de noviembre de 2021, de <https://bit.ly/3J2PBhG>
5. ARCONEL. (junio de 2015). Inventario de Recursos Energéticos del Ecuador con fines de Producción Eléctrica - 2015. Quito. Recuperado el 10 de noviembre de 2021, de <https://bit.ly/30Ce24c>
6. ARCONEL. (2020). *Informe de actividades y gestión 2019*.
7. ASAMBLEA NACIONAL DEL ECUADOR. (2014). LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HÍDRICOS, USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA. Quito, Ecuador.
8. ASAMBLEA NACIONAL DEL ECUADOR. (16 de enero de 2015). LOSPEE. *Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica*. Quito.
9. Banco Mundial. (2017). *Indicadores. Recursos de agua dulce internos renovables 2017*. Recuperado el 11 de noviembre de 2021, de <https://bit.ly/32eXDmE>
10. CELEC EP. (24 de agosto de 2021). *CELEC EP expuso los trabajos para proteger la captación de la central Coca Codo Sinclair de la erosión regresiva en el río Coca 6-agosto-2021*. Obtenido de <https://bit.ly/3mh1O8H>
11. CENACE. (2021). Informe Anual 2020. Quito, Ecuador.
12. CNEL EP. (17 de 10 de 2021). *CNEL EP*. Obtenido de <https://bit.ly/3shmdOI>
13. CONELEC. (23 de mayo de 2001). REGULACION No. CONELEC – 004/01. *CALIDAD DEL SERVICIO ELECTRICO DE DISTRIBUCION*, 10-14 pp. Ecuador.
14. CONELEC. (2013). *Plan Maestro de Electrificación 2013 - 2022*. Recuperado el 24 de octubre de 2021, de IV Aspectos de sustentabilidad y sostenibilidad social y ambiental: <https://bit.ly/33zw7Rz>
15. Ecuador. Defensoría del Pueblo. (2012). *El servicio eléctrico: acceso, calidad y cobertura en las provincias de Orellana y Sucumbíos*. (D. d. Ecuador, Ed.) Recuperado el 17 de 10 de 2021, de <https://bit.ly/3p6STbX>
16. EPN, BIBLIOTECA PROYECTOS HIDROELECTRICOS. (18 de marzo de 2008). *CATALOGO DE PROYECTOS HIDROELECTRICOS*. Recuperado el 17 de 10 de 2021, de <https://bit.ly/3e37Cy7>

17. GAD Reventador. (2020). *PDOT de la Parroquia Rural El Reventador*. Recuperado el 15 de noviembre de 2021, de <https://bit.ly/3siFcbQ>
18. Global Volcanism Program. (2003). Report on Reventador. (E. e. Venzke, Ed.) *Smithsonian Institution*. doi:<https://doi.org/10.5479/si.GVP.BGVN200306-352010>
19. Heredia, V. (18 de noviembre de 2016). *EL COMERCIO*. (E. COMERCIO, Editor) Recuperado el noviembre de 2021, de Coca Codo Sinclair, la central más grande de Ecuador, se inauguró: <https://bit.ly/3p9v6YZ>
20. Hoes, O., Meijer, L., van der Ent, R., & van de Giesen, N. (8 de febrero de 2017). Systematic high-resolution assessment of global hydropower potential. 10. doi:10.1371/journal.pone.0171844
21. IBERDROLA. (19 de mayo de 2017). *CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE BOMBEO*. Recuperado el 11 de noviembre de 2021, de <https://bit.ly/320U4RC>
22. IEA. (2020). *Hydropower*. Recuperado el 24 de octubre de 2021, de <https://bit.ly/3e1NpZt>
23. IEA. (2020). *Hydropower Special Market Report*. Recuperado el 24 de octubre de 2021, de <https://bit.ly/3yASj9v>
24. IG-EPN. (2 de agosto de 2015). *Volcán El Reventador*. Recuperado el 15 de noviembre de 2021, de <https://bit.ly/32i7bO1>
25. IG-EPN. (10 de mayo de 2018). *Trabajos de IGEPN en el Volcán Reventador*. Recuperado el 15 de noviembre de 2021, de <https://bit.ly/3q9pMDX>
26. IHA. (2019). *Facts about hydropower*. (Association International Hydropower) Recuperado el 24 de octubre de 2021, de <https://bit.ly/3E5D4pZ>
27. IHA. (2020). *Hydropower 2050*. Recuperado el 24 de octubre de 2021, de <https://bit.ly/3p5KbdL>
28. IHA. (2021). *Hydropower 2050: Identifying the next 850+ GW towards Net Zero*. Recuperado el 24 de octubre de 2021, de <https://bit.ly/3p5KbdL>
29. INAMHI. (23 de marzo de 2021). *#DíaMeteorologicoMundial*. Recuperado el 10 de noviembre de 2021, de <https://bit.ly/329yTg7>
30. Instituto Geográfico Militar del Ecuador. (2021). *¿Sabes cuáles son los accidentes hidrográficos entorno a la erosión regresiva del Río Quijos?* Obtenido de <https://bit.ly/3mfBj3u>



31. International Renewable Energy Agency. (2020). *Renewable capacity statistics*. Recuperado el 24 de octubre de 2021, de <https://bit.ly/3p6VFYb>
32. Levy, A., & Carrasco, J. J. (Mayo de 2020). *Banco Interamericano de Desarrollo*. Recuperado el 15 de octubre de 2021, de <https://bit.ly/3IZKHSy>
33. Meijer, L. (21 de diciembre de 2012). *World Hydropower Capacity Evaluation*. Recuperado el 24 de octubre de 2021, de <https://bit.ly/3mhFAn7>
34. MERNNR. (2018). Plan Maestro de Electricidad 2018 - 2027. Quito, Ecuador.
35. MERNNR. (8 de septiembre de 2020). *Proyectos Energéticos Ecuador*. Recuperado el 15 de noviembre de 2021, de <https://bit.ly/3E4oRtv>
36. MERNR. (4 de diciembre de 2018). *CENTRAL HIDROELÉCTRICA "COCA CODO SINCLAIR"*. Recuperado el 12 de noviembre de 2021, de <https://bit.ly/3E9PQDU>
37. Ministerio del Ambiente. (Agosto de 2002). División Hidrográfica del Ecuador. Recuperado el 10 de noviembre de 2021, de <https://bit.ly/3yLKQEI>
38. Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Recuperado el 24 de octubre de 2021, de <https://bit.ly/3ea6QPP>
39. Neira, M., & Quintanilla, R. (2012). La Calidad del Servicio Técnico de Electricidad. *Revista Técnica "Energía", Edición No. 8*, 60-67 pp. Recuperado el 17 de 10 de 2021, de <https://bit.ly/3scVGCI>
40. OLADE. (1983). Apuntes para un Manual Técnico de Diseño, Estandarización y Fabricación de Equipos para Pequeñas Centrales Hidroeléctricas - Turbinas Peltón, Volumen II.
41. OLADE. (1984). EVALUACIÓN DEL POTENCIAL HIDROENERGÉTICO REGIONAL INFORME PRELIMINAR. *Revista Energética*, 57.
42. OLADE. (2020). *Generación eléctrica mundial y para América Latina y el Caribe (ALC) y su impacto en el sector energético por la pandemia producida por el COVID – 19*. Recuperado el 25 de octubre de 2021, de <https://bit.ly/3mcx9JW>
43. Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). (2020). *Panorama Energético de América Latina y el Caribe 2020*. OLADE, Quito. Obtenido de <https://bit.ly/3J0ZOLB>

44. Pombosa, R., Bourrel, L., Armijos, E., & Magat, P. (2006). Monografía de la Cuenca del Río Napo en su parte Ecuatoriana.
45. Pourrut, P. (1995). *El Agua en el Ecuador. Clima, precipitaciones, escorrentía*. Quito: Corporación Editorial Nacional.
46. Presidencia de la República. (26 de octubre de 2021). Decreto Nro. 239. Quito, Ecuador. Obtenido de <https://bit.ly/3J0iQ4P>
47. Presidencia de la República. (26 de octubre de 2021). Decretos Ejecutivos Nro. 238 y 239. Quito, Ecuador. Obtenido de <https://bit.ly/3e2srJY>
48. Primicias. (11 de mayo de 2021). Los tres males del río Coca: erosión lateral, regresiva y de profundidad. Recuperado el 15 de noviembre de 2021, de <https://bit.ly/3GTmY4S>
49. Schallenberg, J., Piernavieja, G., Hernández, C., Unamunzaga, P., García, R., Díaz, M., . . . Subiela, V. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*. Instituto Tecnológico de Canarias, S.A.
50. SGRE. (2020). *Informe Erosión Hídrica Regresiva No. 3*. Recuperado el 15 de noviembre de 2021, de <https://bit.ly/3q68lnY>
51. SNGRE. (05 de junio de 2020). *Informe Erosión Hídrica Regresiva No. 1*. Recuperado el 10 de noviembre de 2021, de <https://bit.ly/3GXtF5E>
52. SNGRE. (2021). *Informe Erosión Hídrica Regresiva No. 61*. Recuperado el 15 de noviembre de 2021, de <https://bit.ly/3p4Zl39>
53. Staff, R. (19 de mayo de 2021). *Petroecuador construirá séptima variante en tubería de su oleoducto SOTE por avance de erosión*. Obtenido de <https://reut.rs/3GTnT5k>
54. Tribunal Latinoamericano del Agua. (2004). *Situación Hídrica en América Latina*. Recuperado el 24 de octubre de 2021, de <https://bit.ly/320Vdso>
55. Turmero, P. (25 de septiembre de 2010). *Monografías.com*. Recuperado el 10 de noviembre de 2021, de La producción de energía eléctrica: <https://bit.ly/3EbvREW>
56. Valdivieso, A. (2019). *iagua*. Recuperado el 10 de noviembre de 2021, de ¿Qué es y cómo funciona una central hidroeléctrica?: <https://bit.ly/33zmkuJ>



©2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).