

Análisis del potencial hídrico del río Jaramillo en la reserva natural del Parque Nacional Llanganates para dimensionar un sistema de generación que abastezca la demanda de energía eléctrica de la asociación Páramos Jaramillo

Analysis of the water potential of the river Jaramillo in the natural reserve of the National Park Llanganates to dimension a system of generation that supplies the electric energy demand of the association Páramos Jaramillo

Dorian Santiago Amores Ibarra¹, Luis Armando Tonato², Xavier Alfonso Proaño Maldonado³

RESUMEN:

La capacidad de generación necesaria para cubrir la carga estimada de los ranchos de la asociación “Páramos Jaramillo” se obtiene mediante la toma de datos medidos de acuerdo al método de obtención de caudal por velocidad y superficie, el caudal se calcula mediante histogramas de frecuencia que permiten encontrar un valor preciso de este modo se puede calcular la potencia máxima aprovechable de la carga estimada con una proyección del 10 % de 1 182 kW, es así que la carga total será de 1 301 kW, posteriormente se dimensiona el generador de acuerdo a la carga, donde se necesita una potencia de generación de 1,5 kW monofásico a 220 V, la distancia entre el generador y la carga es de 73 m donde deberá utilizar un cable concéntrico 3x8 Cu, dentro de una tubería de PVC de 1”, ésta debidamente soterrada. Estimada la carga y dimensionado el generador se tiene una energía anual de 4 769 MWh, con un coste anual de 500,85 USD, energía anual de generación de 9 504 MWh con un coste de generación de 907,2 USD, existe una energía no utilizada de 4 734 MWh con un coste de pérdida de 497,07 USD. El proyecto tiene una TIR de 14 meses.

Palabras Claves: Mediciones de caudal, dimensionamiento de generador, energía aprovechable, proyectos hidráulicos.

¹ Empresa Eléctrica Quito, Ecuador, damoses7@eeq.com.ec

² Consultor independiente, Cotopaxi, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador, luis.tonato7@utc.edu.ec

³ Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador, xavier.proano@utc.edu.ec

ABSTRACT:

The generation capacity necessary to cover the estimated load of the ranches of the association "Páramos Jaramillo" is obtained by taking data measured according to the method of obtaining flow by speed and surface, the flow is calculated by frequency histograms that allow to find a precise value in this way the maximum usable power of the estimated load can be calculated with a projection of 10 % of 1 182 kW, thus the total load will be 1 301 kW, then the generator is dimensioned according to the load , where a generation power of 1,5 kW single-phase at 220 V is needed, the distance between the generator and the load is 73 m where you must use a 3x8 Cu concentric cable, inside a 1 "PVC pipe, this duly buried. Estimated the load and dimensioned the generator, there is an annual energy of 4,769 MWh, with an annual cost of 500,85 USD, annual generation energy of 9 504 MWh with a generation cost of 907,2 USD, there is an unused energy of 4 734 MWh with a cost of loss of \$ 497,07. The project has an IRR of 14 months.

Keywords: *Flow measurements, generator sizing, usable energy, hydraulic projects.*

Recibido 2 de agosto de 2020; revisión aceptado 1 de octubre de 2020

1. INTRODUCCIÓN

Para el rancho de la asociación Páramos Jaramillo ubicada en el Parque Nacional Llanganates de la Provincia de Tungurahua Cantón Santiago de Píllaro es necesario abastecer del servicio de energía eléctrica mediante una fuente auto sustentable, aprovechando las fuentes hídricas que este sitio posee como el río Jaramillo, un estudio para dimensionar un sistema de generación reduciendo el impacto ambiental y visual brinda comodidad a cada uno de los socios de esta institución que se dedica a la protección de flora y fauna del lugar al cual no se puede acceder con ningún tipo de vehículo motorizado.

Para el presente estudio es primordial determinar el caudal del río Jaramillo el cual se ubica a 80 metros del rancho de la asociación, permitiendo obtener la relación del potencial hídrico y el potencial eléctrico, es decir, la cantidad máxima de energía eléctrica que se puede obtener de la energía proveniente del movimiento y la fuerza del agua de un determinado caudal medido en las estaciones de estiaje más críticas del año.

En la actualidad la creación de nuevos proyectos eléctricos de energía renovable se impulsan con una visión sostenible, ya que buscan evitar la contaminación ambiental por el uso de combustibles fósiles que generan daños al medio ambiente.

Análisis del potencial hídrico del río Jaramillo en la reserva natural del Parque Nacional Llanganates para dimensionar un sistema de generación que abastezca la demanda de energía eléctrica de la asociación Páramos Jaramillo.

2. METODOLOGÍA

Luego de realizar un análisis del sitio de estudio se determina mediante observación el lugar donde se debe captar el recurso hídrico para su aprovechamiento, una vez determinado la trayectoria del río se procede a tomar las mediciones del caudal mediante un análisis estadístico que permita encontrar su valor preciso, luego de identificar el caudal con mayor probabilidad de ocurrencia se puede determinar el caudal ecológico que permita encontrar la potencia neta aprovechable por el sistema.

Por otra parte mediante un censo de carga se analiza el comportamiento de la demanda que se debe cubrir considerando los equipos a ser alimentados, al obtener la demanda máxima se procede a dimensionar el sistema de generación que se adapte a las necesidades del usuario, finalmente se realiza un análisis de los costos de inversión y un balance general que identifique el beneficio que obtiene el usuario al aprovechar el recurso renovable existente.

3. RESULTADOS

3.1 Ubicación del río Jaramillo

El río Jaramillo está ubicado en la provincia de Tungurahua, Cantón Santiago de Píllaro, Parque Nacional Llanganates, sector páramos Jaramillo con las coordenadas geográficas de latitud -1.19120794° y longitud -78.37871512° , como se observa en la Figura 1.

Los límites del río Jaramillo se presentan a continuación, al Norte la Laguna Pisayambo (Laguna que sirve de represa para la Hidroeléctrica Pucará), al Sur la Parroquia el Triunfo, al Este la provincia de Napo y al Oeste el centro del cantón Santiago de Píllaro y las lagunas de Angascocha y Pujín.



Figura 1. Ubicación del río Jaramillo.

3.2 Mediciones de caudal del río Jaramillo

En la tabla 1 se detalla las características del tramo del río Jaramillo para el análisis del caudal.

Análisis del potencial hídrico del río Jaramillo en la reserva natural del Parque Nacional Llanganates para dimensionar un sistema de generación que abastezca la demanda de energía eléctrica de la asociación Páramos Jaramillo.

Tabla 1. Dimensiones del río Jaramillo.

Datos del Río Jaramillo	
Ancho (m)	1,5
Profundidad (m)	0,12
Longitud (m)	4

Uno de los factores necesarios para determinar el caudal del río Jaramillo, es identificar el lecho del río mediante la fórmula indicada en (1), los resultados de este cálculo se presentan en (2).

$$\text{Lecho del río} = \text{ancho} * \text{profundidad} \quad (1)$$

$$\text{Lecho del río} = 1.5 \text{ m} * 0.12 \text{ m} = 0.18 \text{ m}^2 \quad (2)$$

Luego de obtener el lecho del río se realizan mediciones de la velocidad que presenta el objeto al recorrer el tramo en horario de 6:00 a 22:00 horas desde diciembre 2017 hasta Mayo 2018, con la finalidad de obtener muestras de los meses que representan la época más lluviosa y la época más seca del año, lo que permite determinar la velocidad de recorrido, y posteriormente obtener el caudal por cada medición.

Con las mediciones de velocidad del flotador plástico en el tramo de 4 metros se puede determinar la velocidad de recorrido, tal como se muestra en la ecuación (3), así mismo los resultados son presentados en la ecuación (4).

$$\text{Velocidad del recorrido} = \text{distancia o tramo} / \text{tiempo} \quad (3)$$

$$\text{Velocidad del recorrido} = 4 \text{ m} / 7.15 \text{ s} = 0.5599 \text{ m/s} \quad (4)$$

Con la velocidad de recorrido, el lecho del río y el factor k se puede obtener el caudal mediante la expresión (5).

$$\text{Caudal (Q)} = k * \text{Lecho del río} * \text{Velocidad de recorrido} \quad (5)$$

El factor de corrección de error de medición para un arroyo o río (k) es de 0.7 en este caso, con este parámetro se procede a calcular el caudal existente aplicando la ecuación anterior, los resultados se presentan en la ecuación (6).

$$\text{Caudal (Q)} = 0,7 * 0.18 \text{ m}^2 * 0,5599 \text{ m/s} = 0,07054 \text{ m}^3/\text{s} \quad (6)$$

3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para obtener el valor de caudal más relevante con el cual se calcule la potencia eléctrica aprovechable, se determina la probabilidad de frecuencia de un caudal, por lo que se toman los datos de caudal en el cual se identifica el número de caudales medidos, para posteriormente encontrar un valor mínimo y un valor máximo denominados límite inferior y límite superior respectivamente.

Análisis del potencial hídrico del río Jaramillo en la reserva natural del Parque Nacional Llanganates para dimensionar un sistema de generación que abastezca la demanda de energía eléctrica de la asociación Páramos Jaramillo.

En la Tabla 2 se indica el resumen de los cálculos previos para el análisis estadístico.

Tabla 2. Cálculos previos al análisis estadístico de caudal.

Cálculos Previos	
N° datos	1870
Límite inferior	56,187
Límite superior	164,706
Rango	108,519
N° intervalos	12
Amplitud	9,043

En la Tabla 3 se especifica la frecuencia de cada intervalo, la frecuencia acumulada, el porcentaje de frecuencia, el porcentaje de frecuencia acumulada y el caudal más relevante para el cálculo de la potencia mecánica y potencia eléctrica.

Por otra parte en la Figura 2 se detalla el histograma de frecuencias donde se puede identificar el dato de mayor frecuencia y el crecimiento del porcentaje acumulado.

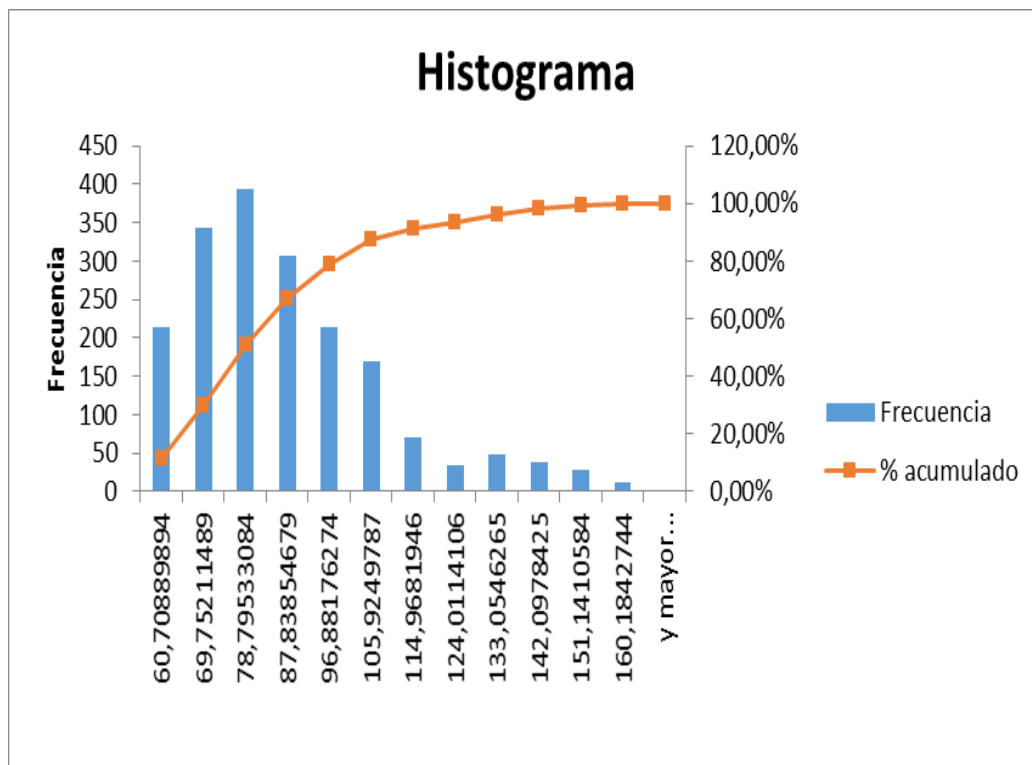


Figura 2. Histograma de caudales.

Tabla 3. Límites superiores e inferiores de acuerdo al número de intervalos

Caudales It/s	Frecuencia	Frecuencia Acumulada	% de Frecuencia	% de Frecuencia Acumulada
60,7088989	214	214	11,44 %	11,44 %
69,7521149	344	558	18,40 %	29,84 %
78,7953308	393	951	21,02 %	50,86%
87,8385468	306	1257	16,36 %	67,22 %
96,8817627	213	1470	11,39 %	78,61 %
105,924979	169	1639	9,04 %	87,65 %
114,968195	70	1709	3,74 %	91,39 %
124,011411	35	1744	1,87 %	93,26 %
133,054627	49	1793	2,62 %	95,88 %
142,097842	39	1832	2,09 %	97,97 %
151,141058	27	1859	1,44 %	99,41 %
160,184274	11	1870	0,59 %	100,00 %

En la tercera barra del histograma presentado en la Figura 2 se puede identificar el caudal más representativo, es decir, el que más frecuencia de repetición tiene en este caso 78.79 It/s. Para visualizar y entender la proporción de la frecuencia en la base de datos, es necesario observar que el dato más relevante está de acuerdo a los caudales y su frecuencia de participación.

3.4 Caudal ecológico

No todo el caudal concentrado en el río Jaramillo de la reserva natural del Parque Nacional Llanganates se va a destinar hacia las turbinas del sistema hidráulico, ya que es importante no interferir de manera agresiva con el ecosistema del lugar, por lo que es necesario determinar el porcentaje respectivo de caudal ecológico.

Las metodologías para implementar el caudal ecológico en el Ecuador están aún pendientes de ser redactadas por la Secretaría del Agua (SENAGUA) y el Ministerio del Ambiente, sin embargo, por los escasos datos que se poseen para el río Jaramillo de la reserva natural del Parque Nacional Llanganates, se opta trabajar en base a la Ley de Recursos Hídricos del Ecuador la cual define como caudal ecológico el 10% del caudal medio mensual.

Tomando como base el mes con el menor promedio de caudal correspondiente a $0.07879 \text{ m}^3/\text{s}$, y aplicando el 10% del caudal medio mensual que establecido en la Ley de Recursos Hídricos

Análisis del potencial hídrico del río Jaramillo en la reserva natural del Parque Nacional Llanganates para dimensionar un sistema de generación que abastezca la demanda de energía eléctrica de la asociación Páramos Jaramillo.

Volumen 4, número 2, diciembre de 2020
del Ecuador, el caudal ecológico mensual para el río Jaramillo está descrito a partir de la ecuación (7) y obtenido en la ecuación (8).

$$Q_{ecológico} = 10\% * Q_{teórico} \quad (7)$$

$$Q_{ecológico} = 10 \% * 0.07879 \text{ m}^3/\text{s} = 0.007879 \text{ m}^3/\text{s} \quad (8)$$

3.5 Caudal turbinable

De acuerdo a las estadísticas de histogramas de frecuencia de los caudales teóricos y en función del caudal ecológico antes establecido se puede determinar el caudal turbinable o aprovechable para la generación hidráulica, el cual se muestra en la ecuación (9). En la ecuación (10) se puede identificar el cálculo del caudal aprovechable.

$$Q_{turbinable} = Q_{teórico} - Q_{ecológico} \quad (9)$$

$$Q_{turbinable} = 0.07879 - 0.007879 = 0.07091 \text{ m}^3/\text{s} \quad (10)$$

3.6 Potencia máxima aprovechable. (potencia mecánica)

La ecuación (11) permite conocer la potencia mecánica o de entrada aprovechable con el caudal turbinable de 0.07091 m³/s. Además en la ecuación (12) se puede identificar el valor de la potencia mecánica establecida en kW.

$$P_{mecánica} = \rho * g * Q_{turbinable} * h \quad (11)$$

$$P_{mecánica} = 1000 \text{ kg/m}^3 * 9.8 \text{ m/s}^2 * 0.07091 \text{ m}^3/\text{s} * 10 \text{ m} = 6.95 \text{ kW} \quad (12)$$

La potencia mecánica solamente incluye el potencial hídrico que otorga el caudal, para determinar la potencia eléctrica es necesario incluir el rendimiento de la turbina y del generador como se muestra en la ecuación (13). En la ecuación (14) se puede apreciar el valor de la potencia eléctrica generada.

$$P_{eléctrica} = \rho * g * Q_{turbinable} * h * \eta_t * \eta_g \quad (13)$$

$$P_{eléctrica} = 1000 \text{ kg/m}^3 * 9.8 \text{ m/s}^2 * 0.07091 \text{ m}^3/\text{s} * 8.5 \text{ m} * 0.834 * 0.95 \quad (14)$$
$$= 4.68 \text{ kW}$$

Del cálculo evidenciado en la ecuación (14) se determina una diferencia de 2, 27 kW entre la potencia mecánica de la ecuación (12) y la potencia eléctrica, debido a que para obtener la potencia eléctrica influyen los rendimientos de la turbina del 83.4% y del generador del 95%, además se ha considerado una disminución de 1,5 m de la altura neta, lo cual corresponde a una altura de 8.5 m para el cálculo correspondiente.

3.7 Análisis de carga

En la Tabla 4 se detallan los equipos eléctricos para cada uno de los dos ranchos, ya que es necesario la instalación de luminarias led que permitan brindar una iluminación eficiente para no perjudicar la visión de las personas que hacen uso de las instalaciones.

Tabla 4. Carga Estimada.

CARGA TOTAL PARA ABASTECER						
Institución: Asociación Páramos Jaramillo						
N°	Equipos	Potencia c/u (W)	Cantidad	Potencia (W)	Fu	Potencia Utilizada (W)
1	Lámparas led	25	4	100	0,95	95
2	Cargador de teléfonos	33	4	132	0,95	125,4
3	Cargador de cámaras	55	4	220	0,85	187
4	Reproductor MP3	120	2	240	0,9	216
5	Linternas recargables	40	8	320	0,5	160
6	Mini Refri	200	2	400	1	400
TOTAL				1412		1183,4

3.8 Dimensionamiento

Una vez establecida la carga estimada de los ranchos de la asociación “Páramos Jaramillo”, se procede a dimensionar la potencia del generador tomando en cuenta la demanda máxima y proyectando un crecimiento del 10% dentro de los 15 años de vida útil del proyecto. Por lo que se establece los siguientes datos:

Demanda Máxima = 1183,4 W

Proyección = 10 %

Demanda Proyectada = 110% * 1183,4 W = 1301,74 W

Generador \approx 1.5 kW

En la ecuación (15) se determina el caudal con la potencia total que incluye la proyección de crecimiento de carga del 10%.

$$Q = 1.301 \text{ kW} / (1000 \text{ kg/m}^3 * 9.8 \text{ m/s}^2 * 8.5 \text{ m} * 0.834 * 0.95) = 19.7 \text{ lt/s} \quad (15)$$

Análisis del potencial hídrico del río Jaramillo en la reserva natural del Parque Nacional Llanganates para dimensionar un sistema de generación que abastezca la demanda de energía eléctrica de la asociación Páramos Jaramillo.

Volumen 4, número 2, diciembre de 2020

De acuerdo a la carga se establece el generador, pero de acuerdo al rango de caudal del generador y de la turbina se puede necesitar un incremento de caudal, por tal motivo, una vez dimensionado el generador se calcula el caudal con las características del generador. La potencia de los generadores está establecida por potencias definidas tales como: 1 kW, 1.3 kW, 1.5 kW, 1.6 kW, 1.7 kW, 3 kW, entre otras. Por tal razón con la demanda proyectada se dimensiona un generador de 1.5 kW.

Finalmente la carga está estimada para brindar comodidad al visitante sin pretender llenar de equipos o aparatos eléctricos innecesarios o que no aporten con el cuidado del medio ambiente que es el objetivo primordial de la asociación.

3.9 Determinación del generador

Una vez determinada la potencia máxima generable se puede tomar referencias de grupos o sistemas de generación hidráulica de empresas fabricantes de acuerdo a las características y la potencia requerida, por tal motivo, se ha deducido el siguiente generador que se indica en la Figura. 3. Además a continuación se presentan sus características técnicas.



Figura 3. Generador, turbina y sistemas de control automático de frecuencia.

Tipo: Francis turbina y generador conjunto

Marca: GK

Salida: 1.5 kW

Cabeza del agua: 6-10 m

Flujo: 0,015-0,024 m³/s

Voltaje: 110 V/220 V

Frecuencia: 50 Hz/60 Hz

Medio: agua

Temperatura: no más de 50 Grados

Análisis del potencial hídrico del río Jaramillo en la reserva natural del Parque Nacional Llanganates para dimensionar un sistema de generación que abastezca la demanda de energía eléctrica de la asociación Páramos Jaramillo.

En base a la potencia nominal de generación que es 1.5 kW, se calcula de manera teórica como se muestra en la ecuación (16) el caudal que el generador necesitaría para trabajar a su capacidad máxima.

$$Q = 1.5 \text{ kW} / (1000 \text{ kg/m}^3 * 9.8 \text{ m/s}^2 * 8.5 \text{ m} * 0.834 * 0.95) = 0.0227 \text{ m}^3/\text{s} \quad (16)$$

$$= 22.7 \text{ lt/s}$$

Según las características del generador, el caudal para alcanzar la potencia nominal de generación es de 0.0227 m³/s, por lo cual, se procede a recalcular el nuevo valor de caudal necesario para que el generador opere a su máxima capacidad. En donde la ecuación (17) representa el valor de la potencia eléctrica final.

$$P_{\text{eléctrica final}} = 1000 \text{ kg/m}^3 * 9.8 \text{ m/s}^2 * 0.0227 \text{ m}^3/\text{s} * 8.5 \text{ m} * 0.834 * 0.95 \quad (17)$$

$$= 1.583 \text{ kW}$$

Y si se relaciona la potencia nominal del generador con la potencia de cálculo se obtiene un menor rendimiento como se muestra en la ecuación (18).

$$\eta_{\text{generador}} = P_{\text{generador}} / P_{\text{cálculo}} = 1.5 \text{ kW} / 1.583 \text{ kW} = 94.7 \% \quad (18)$$

Éste rendimiento se determina adicional al rendimiento del generador y la turbina para el cálculo.

Con un caudal turbinable de 0.0729 m³/s y un caudal que el generador requiere para trabajar a su capacidad máxima de 0.0227 m³/s se obtiene un caudal sobrante de 0.0489 m³/s, es decir, se toma el 32.92% del caudal turbinable y el 67.08% seguirá su cauce normal. La pequeña y micro hidro eléctrica se construye en el lugar con la diferencia de la cabeza. El agua fluye en el generador de turbina fijado a través de la tubería de entrada conectada al depósito. El flujo empuja la turbina para girar el generador para generar electricidad.

3.10 Análisis económico

En la Tabla 5 se muestran los costos directos utilizados para el proyecto.

Tabla 5. Costos directos para la inversión en el proyecto.

COSTOS DIRECTOS		
Descripción	Valor	Unidad
Costo de materiales para la obra civil	504,30	USD
Costo de materiales para el ensamblaje hidráulico	570,40	USD
Costo de materiales para la instalación eléctrica	1053,51	USD
Costo por mano de obra	365,50	USD
Total, de costos directos	2493,71	USD

Análisis del potencial hídrico del río Jaramillo en la reserva natural del Parque Nacional Llanganates para dimensionar un sistema de generación que abastezca la demanda de energía eléctrica de la asociación Páramos Jaramillo.

De igual manera se detallan los costos indirectos en la Tabla 6.

Tabla 6. Costos indirectos para la inversión en el proyecto.

COSTOS INDERECTOS		
Descripción	Valor	Unidad
Costo de transporte de materiales	176,30	USD
Alimentación	350,00	USD
Otros	100,00	USD
Total, de costos indirectos	626,30	USD

Una vez calculado los costos directos e indirectos se determinan los costos totales que se necesitaran para el proyecto, los mismos que se especifican en la Tabla 7.

Tabla 7. Costos totales para la inversión en el proyecto.

COSTOS TOTAL DE PROYECTO		
Descripción	Valor	Unidad
Costos directos	2493,71	USD
Costos indirectos	626,30	USD
Total	3120,01	USD

Para determinar el costo por consumo de energía de los diferentes equipos eléctricos, los mismos que funcionan en diferente horario del día, se utilizará el pliego tarifario establecido para los consumidores residenciales con un consumo de 397.596 kWh, en ese sentido, el precio del kWh es de 0.105 dólares. A continuación, se calcula el costo que se debería pagar por el consumo mensual de energía:

$$\text{Costo mensual} = 397.596 \text{ kWh/mes} * 0.105 \text{ USD}$$

$$\text{Costo mensual} = 41.74 \text{ USD}$$

$$\text{Costo anual} = 4769.95 \text{ kWh/año} * 0,105 \text{ USD}$$

$$\text{Costo anual} = 500.85 \text{ USD}$$

Para realizar el cálculo del valor presente (VP) de los costos de inversión se utiliza el concepto del valor presente y un interés del 12% como se muestra en la ecuación (19), la cual permite calcular el valor presente de una serie de anualidades constantes que se pagan en un lapso de tiempo definido. En la ecuación (20) se puede observar el valor presente calculado.

$$VP = A(((1 + i)^{n-1})/(i(1 + i)^n)) \quad (19)$$

Dónde:

VP = Valor presente.

A = Anualidad.

i = Tasa de inversión anual.

n = Periodo de años.

$$VP = 500.85 \left(\frac{(1 + 0.12)^{15-1}}{0.12(1 + 0.12)^{15}} \right) = 3411.19 \text{ usd en 15 años} \quad (20)$$

Además, para traer a valor presente una cantidad que se encuentra ubicada en un tiempo diferente al año cero y que no es una serie de anualidades constante se utiliza la ecuación (21).

El cálculo se presenta en la ecuación (22).

$$VP = Ain(1/(1 + i)^n) \quad (21)$$

Dónde:

Ain = Valor que se requiere traer a valor presente.

$$VP = 3411.19 \left(\frac{1}{(1 + 0.12)^{15}} \right) = 623.21 \text{ usd en el año cero} \quad (22)$$

Para realizar el cálculo de la relación beneficio/costo entre el valor presente respecto a la inversión inicial se utiliza la ecuación (23).

$$\frac{B}{C} = \frac{3411.19}{3120.01} = 1.093 \quad (23)$$

Finalmente el período de recuperación de la inversión de capital se encuentra identificado en la ecuación (24).

$$RC = \frac{3411.19}{3120.01} * 12 \text{ meses} = 13.12 \text{ meses} \approx 14 \text{ meses} \quad (24)$$

4. CONCLUSIONES

- El método de velocidad y superficie fue la técnica determinada para estimar las mediciones del caudal del río Jaramillo, tratándose de una zona de acceso limitado, sitio en el cual la medición fue realizada con un objeto de plástico en un tramo de una longitud determinada del río, tomando en cuenta la profundidad del agua y el ancho del río.

- Con datos tomados de las mediciones de caudal realizadas por un tiempo de seis meses, desde el mes de diciembre de 2017 en donde se determinó estadísticamente un histograma de frecuencia en el que se obtuvo un caudal de mayor frecuencia, es decir, caudal representativo de 78.79 lt/s y con ese dato preliminar se calculó una potencia de generación de 1.301 kW.
- Se determinó un sistema de generación con embalse de pasada debido a la cantidad de agua que supera la necesaria para generación, un generador eléctrico con turbina tipo francis y control automático de frecuencia para que la puesta en marcha y el apagado del sistema eléctrico sea de fácil operación, incluso para los socios del Páramo Jaramillo.
- Se analizó técnica y económicamente que existe una tasa de retorno en un tiempo de 14 meses a partir de la instalación del sistema de generación, acotando que costos de transporte de material están a cargo de un fondo económico anual de la Asociación Páramos Jaramillo

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. Cuenca, “Estudio y diseño de un sistema micro-hidroeléctrico para generación y abastecimiento de energía eléctrica mediante energía renovable para una vivienda típica del sector de Sinincay perteneciente al Cantón”, 2015.
- [2] L. Acevedo, “División de Ingeniería Eléctrica”, 2014.
- [3] European Small Hydropower Association - ESHA, “Guía para el desarrollo de una pequeña central hidroeléctrica”, p. 174, 2006.
- [4] “Medición del potencial hidrológico para generación de energía renovable, la experiencia de la Fundación Solar en Guatemala.”
- [5] BUN-CA, Hidráulica a pequeña escala. 2002.
- [6] P. Daniel, T. Arriola, and R. C. López, “Renovables en el estado de sonora”, pp. 88–94, 2014.
- [7] E. Del, P. Hidráulico, E. N. El, M. Miranda, and F. Johana, “Estudio del potencial hidráulico en el río Portoviejo y su incidencia en la generación de electricidad”, 2017.
- [8] E. Del, P. Hidráulico, and E. N. El, “Jama y su incidencia en la generación”, 2017.
- [9] S. Cuenca, “Universidad Politecnica Salesiana”, 2011.
- [10] X. Criollo and C. Quezada, “Diseño de una mini central de energía hidroeléctrica en la plata de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Cuenca”, p. 29, 2011.
- [11] I. D. Muguerra, “Micro Centrales Hidroeléctricas”.

- [12] Universidad Centroamericana José León Cañas, “Pequeñas Centrales Hidroeléctrica”, pp. 1–74, 2012.
- [13] E. L. Río and B. León, “Diseño de mini-centrales hidroeléctricas modelo de aprovechamiento en el río Bernesga (león)”
- [14] “Modelo para estudios de ingeniería de perfil para proyectos de mini hidráulica”, 2014.
- [15] U. D. E. E. L. Salvador, “Estudio de las micro y mini plantas eléctricas hidráulicas”, 2009.
- [16] M. Amancio and R. Flores, “Diseño conceptual y evaluación financiera de centrales hidroeléctricas de pasada”, 2017.
- [17] M. G. Salas and I. C. Hidráulico, “Hidroeléctricas pequeñas”, 2008.
- [18] L. Raimundo, C. Jeria, and P. Guía, “Generación de energía hidroeléctrica en canales de regadío” mención ingeniería hidráulica sanitaria y ambiental noviembre 2012 Resumen.”
- [19] C. Ubicada, E. N. El, and D. E. L. A. V. I. A. Quito, 2015.