

**Definición básica de equipamientos y evaluación económica de
Minicentrales Hidroeléctricas en la cuenca del Rio Sandia Puno**

Ing. Pablo Salazar Cossio

CIP 24228

Servicios Omega 4.0

Citar: J. PAIME, 2025, 3, 25-46

30 de junio de 2025

RESUMEN

El presente artículo recoge las conclusiones de un artículo publicado en la Revista Digital UNI PAIME75, 2024, 1, 12-25 {1}, en el cual se identificaron seis Aprovechamientos Hidroeléctricos, en la cuenca alta del río Sandia. El presente artículo formula la evaluación técnica económica del conjunto de las seis Mini hidroeléctricas (MCH), pronosticando los gastos de construcción, operación y de los ingresos por venta de energía para una vida útil de 50 años, con un valor residual cero de los activos al final de ella. Los costos de construcción están basados por inferencia en la Metodología del Estudio del Consultor CONSORCIO HALCROW – OIST S.A, que detalla el presupuesto el estudio definitivo de la MCH Turumuy, ubicado en Cuenca Alta de río San Gabán, colindante y similar al del río Sandia de las provincias de Sandia y Carabaya, Región de Puno. La factibilidad se obtuvo con el valor actual neto (VAN) positivo, utilizando una tasa de interés del 10% de financiamiento para un proyecto social. Se recomienda, formular una evaluación nueva, con una estimación de los gastos, tanto a nivel de capital inicial (CAPEX), como el de operación (OPEX), aproximando los cálculos a una ingeniería básica, para cotizaciones, con procedimientos constructivos que definen los precios de venta de energía en barra, como precio de distribución, que se utilizara durante la operación del sistema propuesto.

1.0 Ubicación del Proyecto

El proyecto se emplaza en la zona sur de Perú, región de Puno, cuenca del río Sandia.

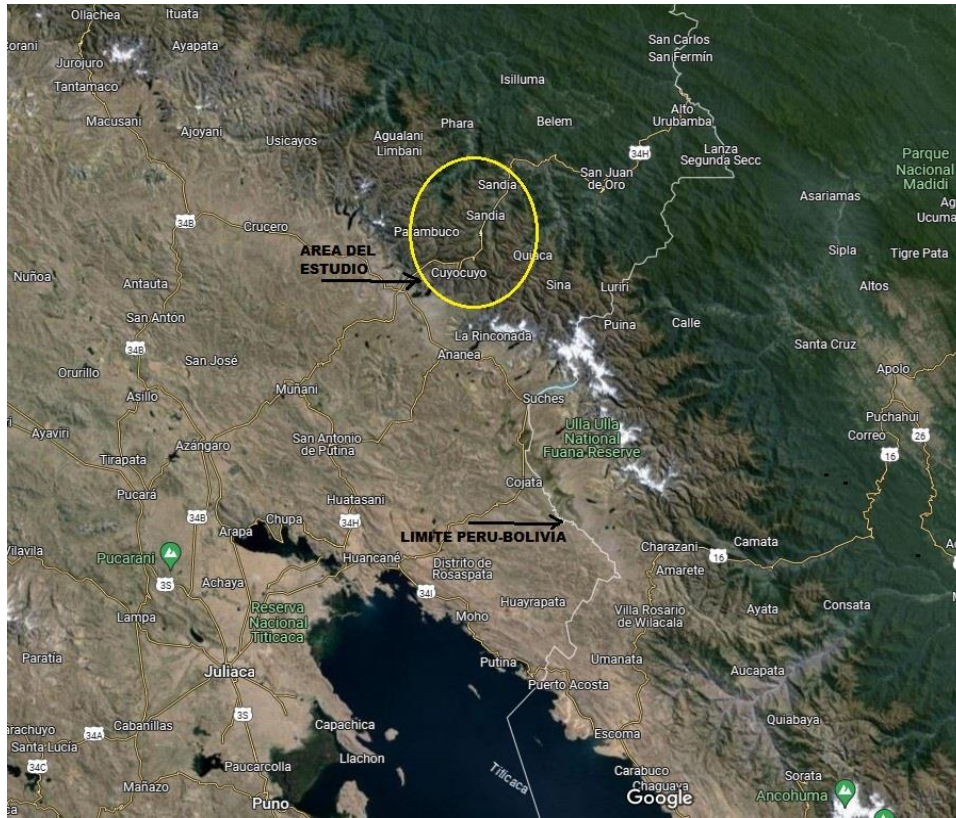


Figura 1 - Área de ubicación (marcado en amarillo) del Proyecto de Inversión Propuesto de seis mini centrales hidroeléctricas (MCH) en el Cuenca Alta del Río Sandia-Puno

2.0 Introducción

El presente artículo, trata de la evaluación técnica económica del proyecto de inversión propuesto, para la construcción de seis nuevas Minicentrales Hidroeléctricas en la cuenca del río Sandia, en Puno; cuya identificación de aprovechamientos expusieramos en un artículo de la Revista Digital UNI PAIME75, 2024, 1, 12-25.

El planteamiento en el primer artículo, fue el de operar con un factor de planta, asociado a la media del caudal de periodo de estiaje de ocho meses anuales. En este artículo, tomamos los caudales mínimos anuales en periodo de estiaje, que permita un factor de planta seguro. El dimensionamiento del equipamiento, será definido, de forma de permitir una generación 10% mayor, cuando el caudal lo permita y con ello se compense eventuales situaciones con caudales dé picos muy bajos.

Para los propósitos de la determinación de las Inversiones en Construcción, utilizamos la metodología del Estudio del Consultor CONSORCIO HALCROW – OIST S.A {2}

Tomamos la Metodología para la determinación del potencial hidroeléctrico teórico, como una medida de los recursos hidrográficos, en la cuenca alta del río Sandia, en Puno. Dicho potencial ha sido determinado y presentado en el primer artículo. Se ha tomado como base, las mediciones de los caudales turbinados en la MCH Shijisia, entregados por Electro Puno, y fueron inferidos con factores de correlación, obtenidos de los Estudios Hidrológicos realizados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), en los Estudio de Ampliación de la Carretera Ananea-Sandia, bajo es el Esquema Básico, siguiente:

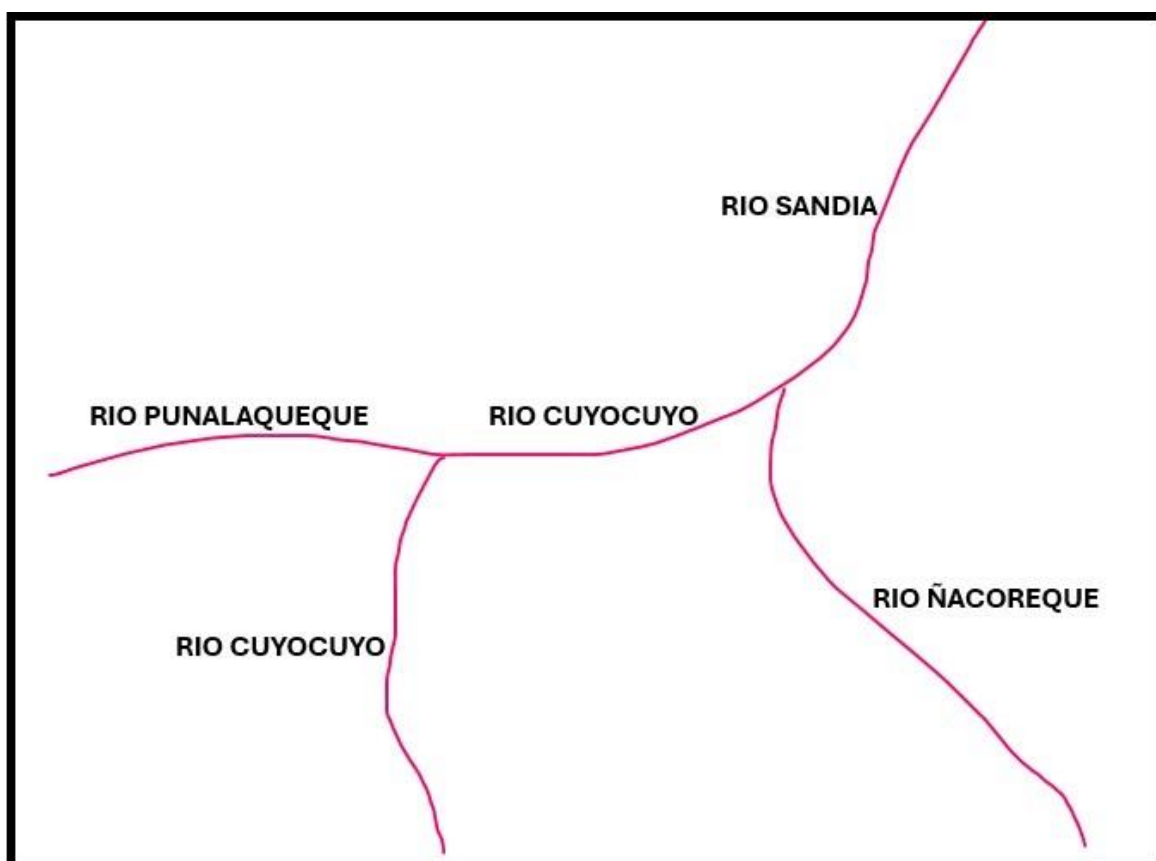


Figura 2 - Esquema Hidrológico Básico, en la cuenca alta del río Sandia, materia del Proyecto, donde las lecturas de caudales de la MCH existente de Electro sureste, está en el río Sandia.

En el presente Artículo, se desarrolla la evaluación técnica económica y los fundamentos para decidir la inversión para la construcción y operación de los aprovechamientos hidro energéticos identificados.

El potencial hidro energético teórico es una medida de los recursos hidrográficos disponibles en la cuenca alta del río Sandia; que requiere fundamentar con un índice económico de rentabilidad, denominado el Valor Actual Neto, que, aplicado al flujo de caja neto según los cronogramas de gastos e ingresos, basado en las inversiones necesarias y los volúmenes energéticos posibles de generarse.

Para establecer los costos de construcción, definimos los esquemas de las obras; y los costos de los aprovechamientos. Para estos últimos adoptamos, como referencia,

el presupuesto detallado, de la MCH Tupuri, ubicado en la quebrada del mismo nombre, en cuenca del río San Gabán, del cual inferimos costos unitarios correlacionados con los caudales y dimensiones, respecto de las seis MCH propuestas. Los presupuestos de cada aprovechamiento, tienen una estructura detallada de respaldo. El periodo de construcción es de 7 años:

Año (-7) Coordinaciones con autoridades, permisos, licencias, acuerdos sobre compensaciones prediales; y fundamentalmente el desarrollo de la ingeniería básica, definitiva y de detalle.

Año (-6) y año (-5) Construcción de las MCH 1 y MCH 2.

Año (-4) y año (-3) Construcción de las MCH 3 y MCH 4

Año (-2) y Año (-1) Construcción de las MCH 5 y MCH 7

Concluidas las MCH 1 y MCH 2; se inicia la operación comercial, a partir de inicio del año (-4)

3.0 Disponibilidad Hidráulica

REGISTRO PROMEDIO CAUDALES DE MINICENTRAL DE SHUISIA (ELECTROPUNO) UTILIZADOS Y FACTORES DE PLANTA ASOCIADOS					
Caudal en M3/s y Factor de Planta / por año	2019	2020	2021	2022	2023
Ene	1.165	1.494	1.739	1.109	1.184
Feb	1.560	1.529	1.658	1.774	1.819
Mar	1.919	1.886	1.191	1.630	1.885
Abr	1.934	1.904	1.203	1.754	1.851
May	1.900	1.546	1.189	1.713	1.370
Jun	1.165	1.403	0.652	0.952	0.721
Jul	0.569	0.824	0.523	0.549	0.362
Ago	0.418	0.463	0.346	0.355	0.179
Set	0.589	0.375	0.273	0.255	0.085
Oct	0.596	0.398	0.299	0.255	0.093
Nov	0.647	0.397	0.23	0.236	0.119
Dic	1.220	1.109	0.831	0.625	0.510
Q medio anual utilizado	1.140	1.111	0.845	0.934	0.848
Q medio fuera de Avenidas Utilizados (nueve meses)	0.881	0.888	0.674	0.663	0.514
Caudal Maximo Anual	1.934	1.904	1.739	1.774	1.885
Caudal Maximo en periodo Fuera de Avenidas	1.560	1.529	1.203	1.630	1.370
Factor de Planta Promedio Anual (caudal promedio/caudal maximo)	0.590	0.583	0.486	0.526	0.450
Factor de Planta Promedio Anual de MCH Propuestas (ponderado de F.P. en Fuera de Avenidas y F.P. en Avenidas	0.817	0.725	0.560	0.407	0.375
RIO		RIO	Punala- queque (1)	Cuyocuyo (2)	Ñacoreque (3)
Factor de Correlacion		Factor de Correlacion	21.5000	24.1000	31.5000
		Caudal (Q m3/s)	0.188	0.211	0.275

Cuadro 1. Disponibilidad hidráulica establecida de los estudios hidrológicos desarrollados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, en el año 2023. Como parte de los estudios de ampliación de la Carretera Ananea-Sandia

4.0 Proceso Constructivo

El Proyecto iniciaría el año (-7), con el desarrollo de las gestiones para permisos, autorizaciones, y licencias; así como la ingeniería definitiva e investigación sobre la procura. En el año (-6) y (-5); se ejecuta la ingeniería de detalle y la construcción, de las MCH 1 y MCH 2:

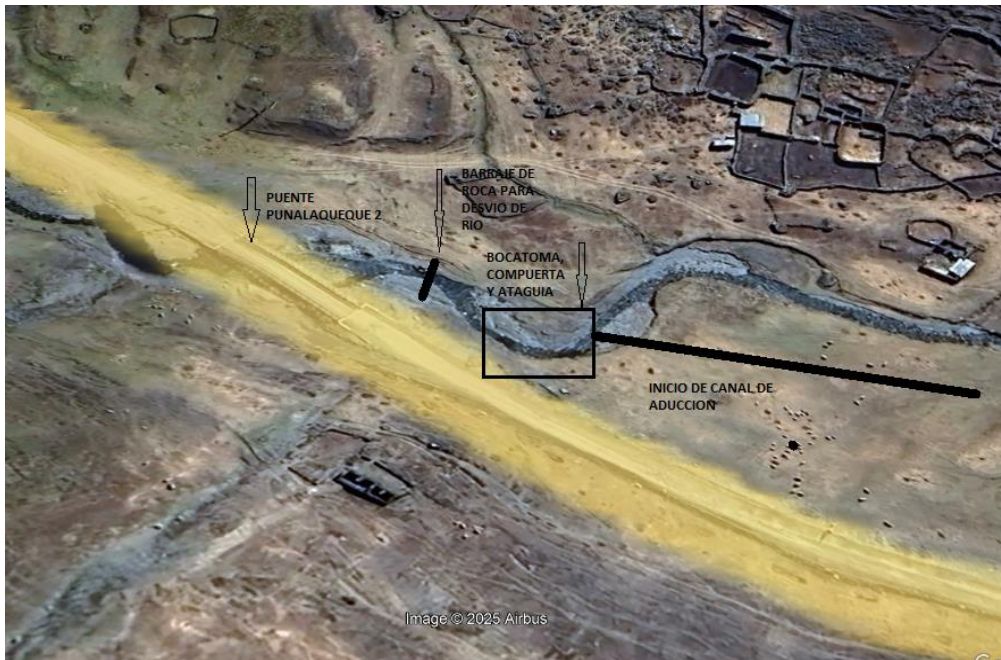


Figura 3 - Obras de captación MCH 1, con las dimensiones básicas identificadas en el aprovechamiento

Se iniciará la construcción de las obras civiles, de la MCH1, con las de bocatoma, barraje de roca, compuerta, ataguías y canal de aducción de 4,436 m de longitud, con una ruta paralelo y muy cercano a la carretera. Operará durante el periodo de estiaje anual, de 8 meses anuales; con caudal de 188 l/s, con altura neta de 290 m.

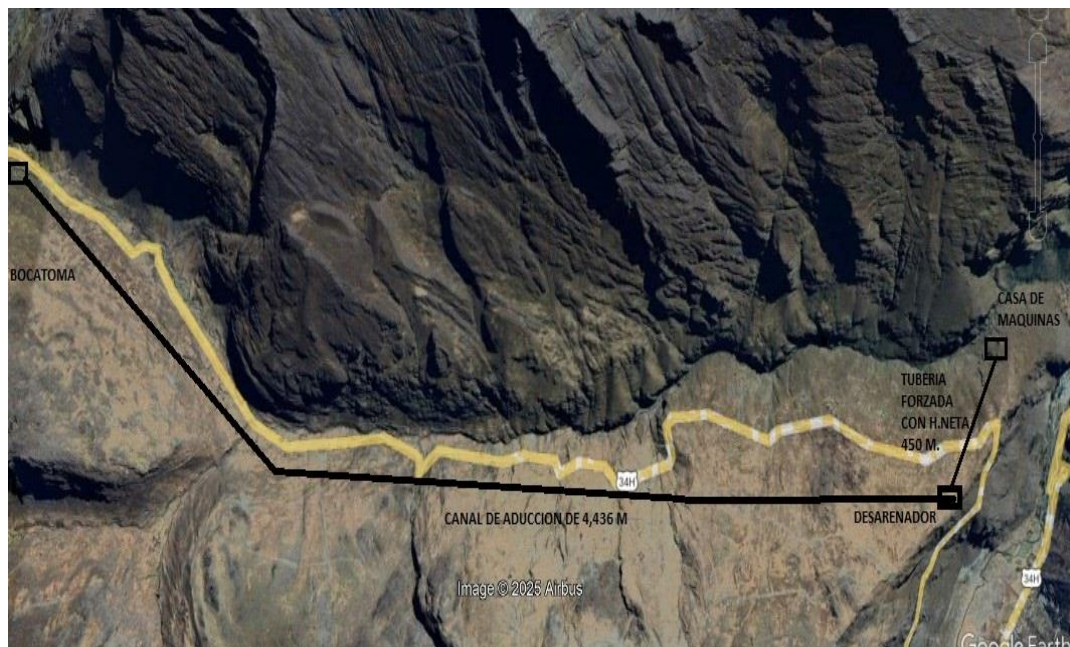


Figura 4 – Obras de conducción y casa de máquinas de MCH 1, con las dimensiones básicas identificadas en el aprovechamiento

A continuación, el resumen del presupuesto de construcción de las obras civiles y electro mecánicas, de MCH1; donde establecemos arbitrariamente, los costos de conceptos indirectos: como de seguros, estudios definitivos, gastos generales y

utilidades; los cuales aplicamos a todos los presupuestos de las otras MCH del proyecto.

14	COSTO DIRECTO DE CONSTRUCCION							3,735,046.95
15	SEGUROS EN PROCESO DE CONSTRUCCION HASTA PUESTA EN SERVICIO	GBL	1	3.5%	130,726.64			130,726.64
16	ESTUDIOS BASICA, DEFINITIVOS Y DE DETALLE. INC. ESTUDIOS ELECTRICOS Y DE PRE Y OPERATIVIDAD	GBL	1	8%	298,803.76			298,803.76
17	GASTOS GENERALES (25%)					25%	933,761.74	933,761.74
18	UTILIDAD (8%)					8%	298,803.76	298,803.76
19	SUB-TOTAL							5,397,142.84
20	IMPUESTOS DE LEY I.G.V. (18%)					18%	971,485.71	971,485.71
21	PRESUPUESTO TOTAL						SI.	6,368,628.55
22							SI. por \$.	3.75
23							\$.	1,698,300.95
24							KW	436
25							\$/KW	3,895

Cuadro 2. Resumen del presupuesto de obras civiles y electro mecánicas de MCH 1

La casa de máquinas, del MCH 1 estará ubicada al pie de río Punalaqueque, antes del empalme con el Río Cuyocuyo, con un canal de descarga muy corto. A 1.3 Km, aguas abajo, del canal de descarga de MCH1, se ubica la bocatoma de MCH2.

Debemos precisar que la MCH 2 tiene una potencia efectiva de 287 kW; existe y está operativa, pero en condiciones precarias, con equipos reutilizados, propiedad de la Municipalidad de Cuyocuyo. En general, consideramos un equipamiento totalmente nuevo para MCH 2. El MCH 2, incluye un barraje de roca, bocatoma, compuerta, ataguía y canal de aducción de 1,148m. Con un desarenador y tubería forzada de altura neta de 100m; todas serán obras nuevas.

Debemos tener en cuenta, que la MCH 2, da el suministro eléctrico al distrito de Cuyocuyo y nueve centros poblados rurales; de manera que su reconstrucción no debería paralizar la MCH 2. Por ejemplo, la cámara de carga y tubería forzada, nuevas, se ubiquen en posiciones distintas a las actuales. La interrupción del servicio, deberá solo determinarse para la construcción de la bocatoma y el canal de aducción. En el periodo de interrupción, ingresaría la MCH 1, que debiera estar terminada antes de la paralización.



Figura 5 - Obras del MCH 2, con las dimensiones básicas identificadas en el aprovechamiento

A continuación, el resumen del presupuesto de construcción de las obras civiles y electro mecánicas, de MCH 2:

14	COSTO DIRECTO DE CONSTRUCCION						2,680,571.61
15	SEGUROS EN PROCESO DE CONSTRUCCION HASTA PUESTA EN SERVICIO						93,820.01
16	ESTUDIOS DE ING. BASICAS, DEFINITIVAS Y DE DETALLE. INC. ESTUDIO SLECTRICOS Y DE PREOPERATIVIDAD Y OPERATIVIDAD						214,445.73
17	GASTOS GENERALES (25%)					25%	670,142.90
18	UTILIDAD (8%)					8%	214,445.73
19	SUB-TOTAL						3,873,425.98
20	IMPUESTOS DE LEY I.G.V. (18%)					18%	697,216.68
21	PRESUPUESTO TOTAL						S/. 4,570,642.66
22							S/. por \$.
23							\$.
24							KW
25							\$/KW

Cuadro 3. Resumen del presupuesto de obras civiles y electro mecánicas de MCH 2

Como se mencionó, la MCH 2, opera con caudal de estiaje, y sus instalaciones civiles y electromecánicas son precarias, aunque con alguna frecuencia, ha tenido reparaciones y repotenciaciones, con fondos de la Municipalidad de Cuyocuyo.

El presente Proyecto, considera obras nuevas, en bocatoma, canal de aducción; con cambio de la tubería forzada, y equipamiento de turbina-generator.

Las seis hidroeléctricas, materia del presente artículo, operaran con control remoto, con un centro de operación y control desde Juliaca.

A continuación, mostramos la MCH 3, con aguas turbinadas del MCH 2.



Figura 6 - Obras MCH 3, con las dimensiones básicas identificadas en el aprovechamiento

El proceso constructivo considera ejecutar la construcción de MCH3 y MCH4, en forma simultánea, los años (-4) y (-3); habiéndose concluido las MCH 1 y MCH 2; los años (-5) Y (-6). En el Año (-7), se desarrolla la ingeniería, permisos, licencias, y obras preliminares. El estudio de ingeniería definitiva y de detalle, deberá considerar un proceso constructivo continuo, es decir, la construcción de la MCH 4 simultáneamente con la construcción de las obras nuevas de MCH 3.

La MCH 3, tiene una potencia efectiva de 683 kW. Dimensionados para un factor de carga, asociada al caudal medio mensual, fuera de periodo de avenidas anuales.

A continuación, el presupuesto de construcción de las obras civiles y electro mecánicas, de MCH 3:

14	COSTO DIRECTO DE CONSTRUCCION										3,135,350.70
15	SEGUROS EN PROCESO DE CONSTRUCCION HASTA PUESTA EN SERVICIO						GBL	1	3.5%	109,737.27	109,737.27
16	INGENIERIA BASICA, DEFINITIVA Y DE DETALLE. INCLUYE CALCULOS ELECTRICOS Y ESTUDIO DE PRE Y OPERATIVIDAD						GBL	1	8%	250,828.06	250,828.06
17	GASTOS GENERALES (25%)							25%	783,837.67	783,837.67	
18	UTILIDAD (8%)							8%	250,828.06	250,828.06	
19	SUB-TOTAL									4,530,581.76	
20	IMPUESTOS DE LEY I.G.V. (18%)							18%	815,504.72	815,504.72	
21	PRESUPUESTO TOTAL								S/.	5,346,086.48	
22									S/. por \$.	3.75	
23										\$.	1,425,623.06
24									KW	683	
25									\$/KW	2,087	

Cuadro 4. Resumen del presupuesto de obras civiles y electro mecánicas de MCH 3



Figura 7 - Obras de la MCH 4, con las dimensiones básicas identificadas en el aprovechamiento

En la figura anterior, mostramos las obras de MCH 4, con aguas del río Ñacoreque. Tiene una potencia efectiva de 436 kW, con un canal de 1320m, con un grupo hidroeléctrico de 1x436 kW, a través de una tubería forzada de 198m de altura neta. Dimensionados para un factor de planta, asociada al caudal medio mensual, fuera de periodo de avenidas anual.

El resumen del presupuesto, de las obras civiles y electro mecánicas, es:

14	COSTO DIRECTO DE CONSTRUCCION								2,880,117.59
15	SEGUROS EN PROCESO DE CONSTRUCCION HASTA PUESTA EN SERVICIO	GBL	1	3.5%	100,804.12				100,804.12
16	INGENIERIA BASICA, DEFINITIVA Y DETALLE.INC. CALCULOS ELECTRICOS Y ESTUDIOS DE PRE Y DEOPERATIVIDAD	GBL	1	8%	230,409.41				
17	GASTOS GENERALES (25%)	GBL	1	25%	720,029.40				720,029.40
18	UTILIDAD (8%)	GBL	1	8%	230,409.41				230,409.41
19	SUB-TOTAL								3,931,360.52
20	IMPUESTOS DE LEY I.G.V. (18%)						18%	707,644.89	707,644.89
21	PRESUPUESTO TOTAL							S/.	4,639,005.41
22								S/. por \$.	3.75
23								\$.	1,237,068.11
24								KW	436
25								\$/KW	2,837

Cuadro 5. Resumen del presupuesto de obras civiles y electro mecánicas de MCH 4

A continuación, mostramos la MCH 5, con aguas del río Ñacoreque y Cuyocuyo.

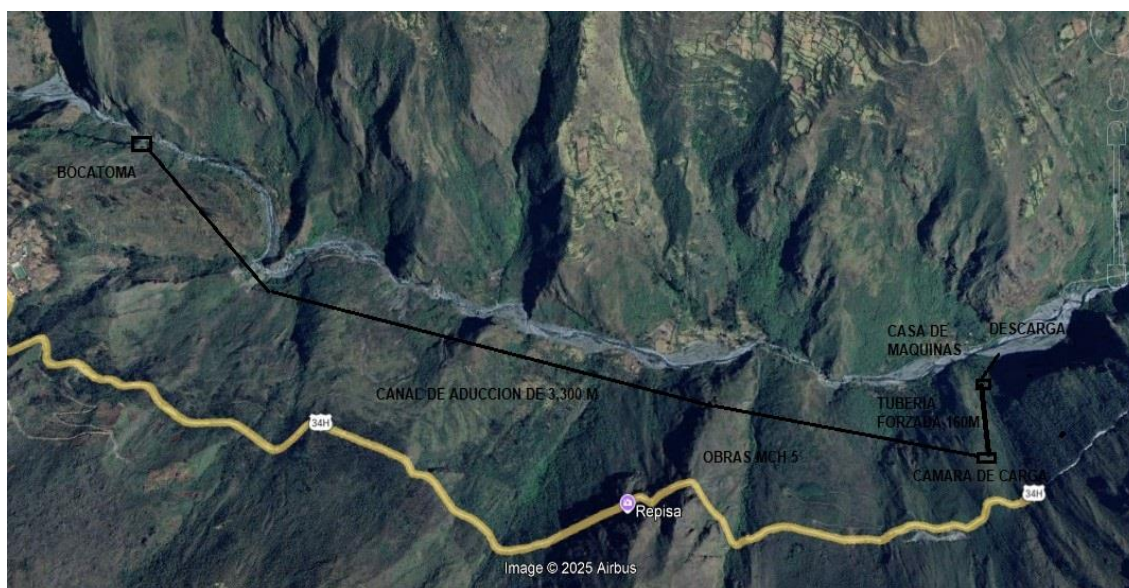


Figura 8 – Obras MCH 5, con las dimensiones básicas identificadas en el Aprovechamiento

La MCH 5, tiene una potencia efectiva de 812 kW, con un canal de 3,300 m, a través de una tubería forzada de 160 m de altura neta. Dimensionados para un factor de carga, asociada al caudal medio mensual, fuera de periodo de avenidas anual. Para el cálculo de la energía vendida, se utiliza un factor de sobredimensionamiento de 1.05, durante 8 meses.

Nace en una bocatoma, que lleva las aguas por un canal, del lado derecho de la quebrada y termina, justo antes de la bocatoma, de la MCH 6, de Electro Puno. En el desarrollo de la ingeniería definitiva y de detalle, será posible, definir la utilización de las aguas turbinadas, del MCH 5, como alimentación del MCH 6, ingresando al túnel de aducción.

El presupuesto de obras civiles y electro mecánicas, del MCH 5, es:

14	COSTO DIRECTO DE CONSTRUCCION						6,025,374.50
15	INGENIERIA BASICA, DEFINITIVA Y DETALLE.INC. CALCULOS ELECTRICOS Y ESTUDIOS DE PRE Y DEOPERATIVIDAD	GBL	1	8.0%	482,029.96		482,029.96
16	SEGUROS EN PROCESO DE CONSTRUCCION HASTA PUESTA EN SERVICIO	GBL	1	3.5%	210,888.11		210,888.11
17	GASTOS GENERALES (25%)	GBL	1	25%	1,506,343.62		1,506,343.62
18	UTILIDAD (8%)	GBL	1	8%	482,029.96		482,029.96
19	SUB-TOTAL						8,706,666.15
20	IMPUESTOS DE LEY I.G.V. (18%)			18%	1,567,199.91		1,567,199.91
21	PRESUPUESTO TOTAL					SI.	10,273,866.06
22						SI. por \$.	3.75
23						\$.	2,739,697.62
24						KW	812
25						\$/KW	3,374

Cuadro 6. Resumen del presupuesto de obras civiles y electro mecánicas de MCH 5

A continuación, mostramos la MCH 7, con aguas turbinadas de la MCH 6, de Electro Puno:

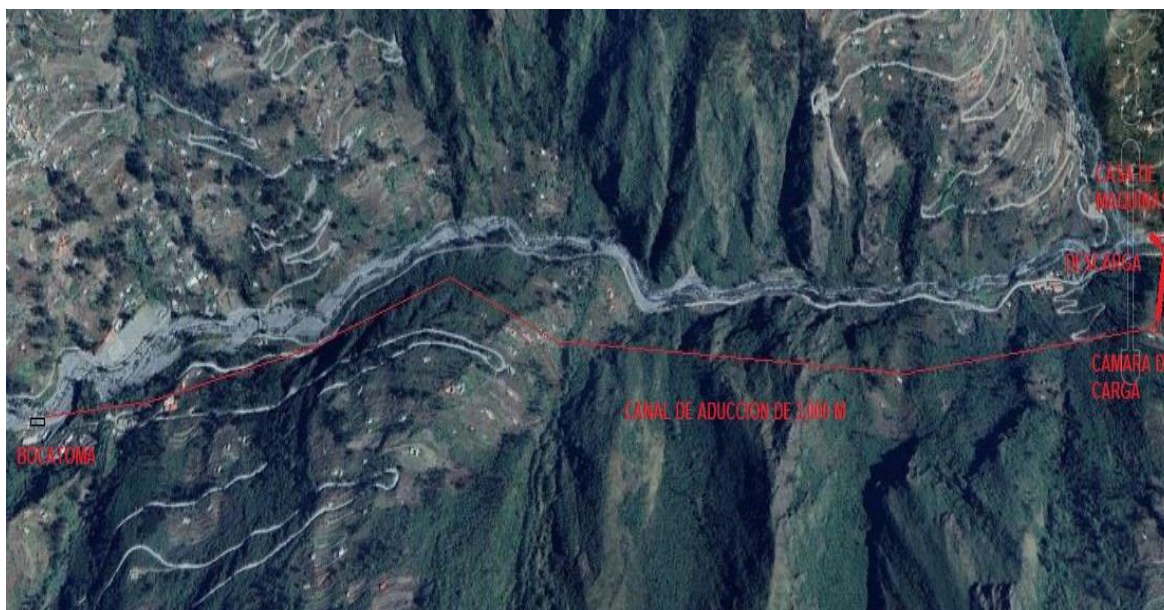


Figura 9 – Obras de MCH 7, con las dimensiones básicas identificadas en el Aprovechamiento

La MCH 7, tiene una potencia efectiva de 710 kW, con un canal de 3,000 m, a través de una tubería forzada de 102 m de altura neta. Dimensionados para un factor de carga, asociada al caudal medio mensual, fuera de periodo de avenidas anual. Para el cálculo de la energía vendida, se utiliza un factor de sobredimensionamiento de 1.05, durante 8 meses del periodo fuera de periodo de avenidas.

Nace del canal de descarga de la MCH 6, de Electro Puno, que lleva las aguas por un canal, del lado derecho de la quebrada y termina, justo en la cámara de carga, de la MCH 7.

En el desarrollo de la ingeniería definitiva y de detalle, será posible, definir la utilización de las aguas turbinadas, del MCH 6, como alimentación del MCH 7, ingresando a su canal de aducción. Este modo de operación, aseguraría una operación estable en periodos de avenidas, respecto de interrupciones por los efectos de grandes caudales, con palizada abundante.

El presupuesto de obras civiles y electro mecánicas del MCH 7, es:

14	COSTO DIRECTO DE CONSTRUCCION						5.311.567,85
15	SEGUROS EN PROCESO DE CONSTRUCCION HASTA PUESTA EN SERVICIO						185.904,87
	INGENIERIA BASICA, DEFINITIVA Y DE DETALLE. INC. CALCULOS ELECTRICOS Y ESTUDIOS DE PRE Y OPERATIVIDAD						424.925,43
16	GASTOS GENERALES (25%)						1.327.891,96
17	UTILIDAD (8%)						424.925,43
18	SUB-TOTAL						7.675.215,54
19	IMPUESTOS DE LEY I.G.V. (18%)						1.381.538,80
20	PRESUPUESTO TOTAL						9.056.754,33
21							SI. por \$.
21							3,75
21							\$.
21							2.415.134,49
22							KW
22							517
23							\$/KW
23							4.671

Cuadro 7. Resumen del presupuesto de obras civiles y electro mecánicas de MCH 7

5.0 Factores de Planta de Operación Proyectada de las Nuevas seis MCH

El planteamiento del presente artículo, es para operar:

La MCH 1, con un factor de planta, de: $=188/407= \mathbf{0.462}$, para la MCH 1, asociado al caudal de estiaje, durante 8 meses al año promedio. Siendo 407 l/s, el caudal máximo en periodo fuera de avenidas, con estiaje de nueve meses

La MCH 2 y MCH 3, con un factor de planta, de: $=359/862= \mathbf{0.416}$, para la MCH 2 y MCH 3, asociado al caudal de estiaje, durante 8 meses al año promedio. Siendo 862 l/s, el caudal máximo en periodo fuera de avenidas, con estiaje de nueve meses

La MCH 4, con un factor de planta, de: $=275/596= \mathbf{0.461}$, para la MCH 4, asociado al caudal de estiaje, durante 8 meses al año promedio. Siendo 596 l/s, el caudal máximo en periodo fuera de avenidas, con estiaje de nueve meses.

La MCH 5, con un factor de planta, de: $=634/1458= \mathbf{0.435}$, para la MCH 5; asociado a la capacidad del túnel de aducción en roca, del MCH 6. Siendo 1,458 l/s, el caudal máximo en periodo fuera de avenidas, con estiaje de nueve meses.

La MCH 7, con un factor de planta, de: $=724/1658= \mathbf{0.437}$, para la MCH 7, asociado su canal de Aducción, al canal de descarga del MCH 6 y túnel de Aducción, adicionando 200 l/s, entre Bocatoma de MCH6 y la Descarga de MCH6, antes del inicio del canal de aducción del MCH 7.

Los valores de factor de planta, se explica por el equipamiento seleccionado con el valor de estiaje promedio mensual. El valor del factor de utilización real, en términos del equipamiento seleccionado, teniendo en cuenta el diagrama de carga en meses de estiaje típico, mostrado en la figura 10 y la hidrología mostrada en el Cuadro 01, nos da un valor de **factor de planta intermensual de 0.50**, para cinco meses del estiaje iniciales y de 1.00 para los otros cinco meses restantes del estiaje. De manera que la media en todo el periodo de estiaje, el Factor de Utilización es de 0.750; el cual consideramos en los cálculos de Venta de Energía, de dicho periodo. El año de referencia tomado, es el 2021, pues es el más “seco” de los últimos seis años, y por tanto la situación más conservadora.

Preliminarmente podemos presumir que esta situación, está asociada al cambio climático, que nos lleva a tener este resultado de la evaluación como un indicador para fundamentar acciones frente al mismo. Nos referimos a las políticas de desarrollo agrario, en la partes altas y bajas, de la cuenca del rio Sandia. Claramente tenemos dos partes que va (1) de la laguna de Saytacochoa en los 4,300 msnm y los 2,100 msnm, en la ciudad de Sandia; y la otra de (2) de Sandia a la parte de inicio con la cuenca del rio Tambopata, en frontera de Madre de Dios.

AGOSTO 2021

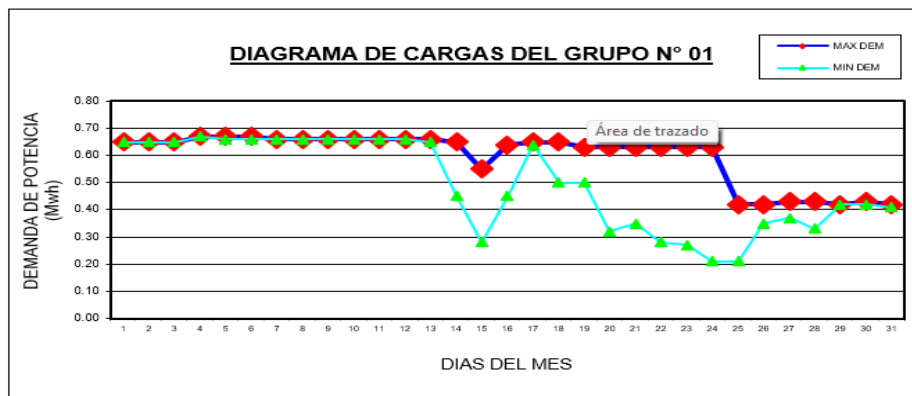


Figura 10 - Diagrama de Carga de agosto 2021, típico de estiaje, en la MCH 6 Shijisia de Electro puno, en el rio Sandia

Equipamiento seleccionado de las MCH propuestas

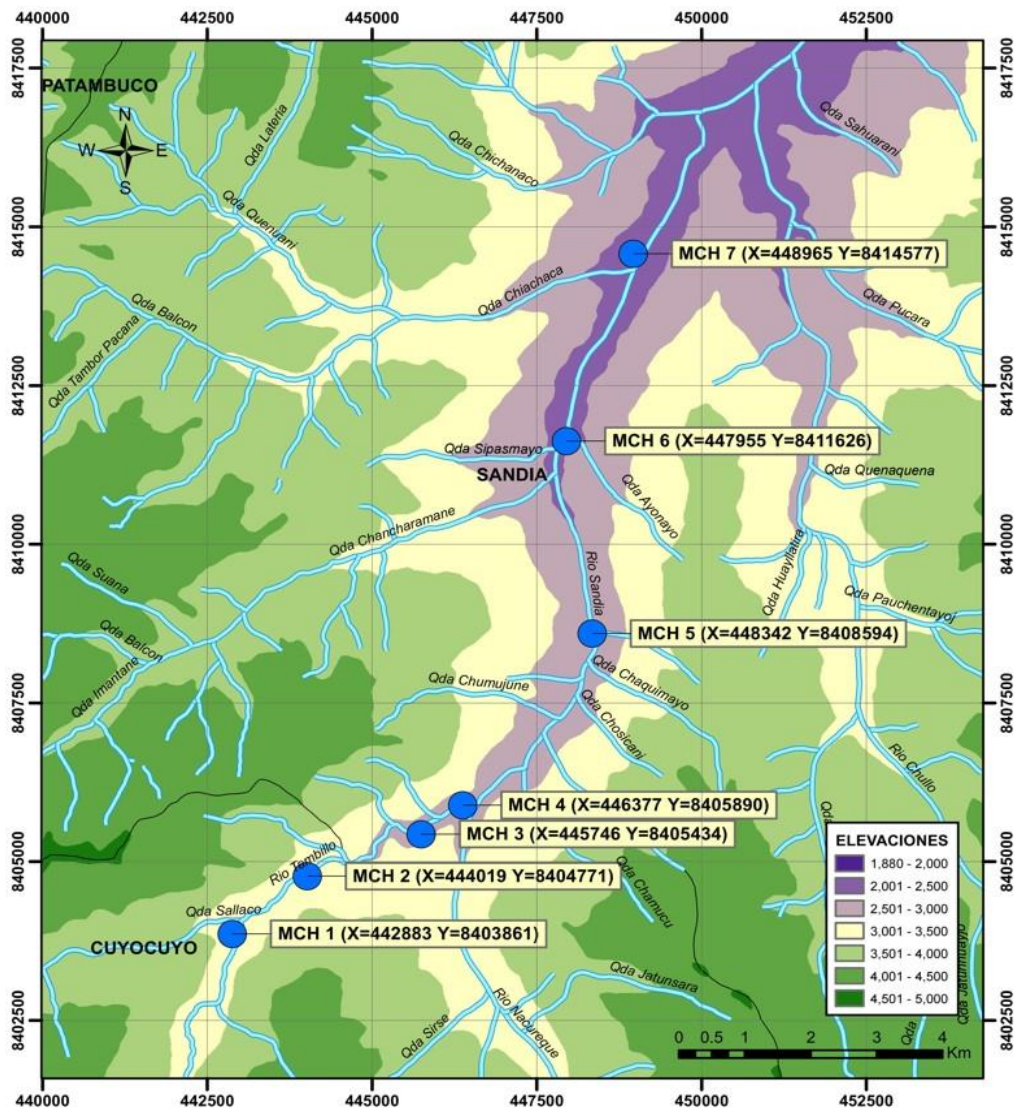


Figura 11 - Ubicación de las MCH Propuestas. Las coordenadas son referenciales, utilizadas para determinar los Aprovechamientos. En este Artículo se sincerarán conservadoramente, para asegurar su operatividad; conforme se avanza hasta los Estudios Definitivos

Determinamos la Potencia con la relación aproximada:

$$P = 8 * Q * H$$

Donde:

P(kW): Potencia firme en eje del generador, incluyendo eficiencias de diseño y perdidas por fricción

Q(M3/s): Caudal de ingreso a la tubería forzada, luego de la cámara de carga

H(m): Altura neta, entre salida de cámara de carga y el eje de la turbina en casa de maquinas

MCH	Q (m3/s)	H (m)	P (kw)	GRUPOS (KW)
MCH1 (+1)	0.188	290	436	1x480
MCH2 (1+2)	0.359	100	287	1x316
MCH3 (1+2)	0.359	238	683	2x375
MCH4 (+3)	0.275	198	436	1x480
MCH5 (1+2+3)	0.634	160	811	2x446
MCH7 (1+2+3)	0.724	102	591	2x285
			3,244	3,488

Cuadro 8. Disponibilidad hidráulica en periodos de estiaje fuera de avenidas, de 9 meses, medidos como caudal mínimo nominal. Estamos tomando año 2021, por ser el año “seco” del periodo de análisis.

En esta parte debemos fundamentar el modo de determinar los caudales, aguas arriba de la MCH Shijisia, que inferimos como caudales netos, libre de perdidas. En el caso de la MCH 7, si debiera incluirse las perdidas, pero consideramos que compensaremos con aportes directamente del rio, en la zona de descarga de MCH Shijisia, al canal que va a la MCH 7.

6.0 Cronograma de inversiones directas de construcción (\$)

Se presentan los valores, desde los años de construcción, desde (-07) hasta el (-01), previos al inicio de la operación comercial. Considerando que para fin del año (-05), se concluye con la construcción de las MCH 1 y MCH 2; de inicia la operación comercial de dichas MCH, se inicia en año (-04), conjuntamente con la continuación de la construcción de las MCH 3, MCH 4, para los años: (-04) y (-03), iniciando su operación comercial en inicio del año (-02). Se continua la construcción del MCH 5 y MCH 7; en los años, (-02 y (-01), con inicio de operación comercial, a inicio del año (01). En términos formales, la operación comercial del proyecto propuesto de las seis MCH Nuevas, el año (01), no obstante, el inicio de operación comercial de MCH 1, MCH 2, MCH 3 y MCH 4, previos al año (01).

Revista de Ingeniería Mecánica, Eléctrica y Electrónica – J. PAIME

CRONOGRAMA DE CONSTRUCCION DE SEIS MINICENTRALES HIDROELECTRICAS EN RIO SANDIA-PUNO				
CRONOGRAMA DE CONSTRUCCION				
EGRESOS DIRECTO POR CONSTRUCCION			\$	10,734,662.26

COSTOS TOTALES DE CONSTRUCCION POR MINICENTRALES								
			MCH1	MCH2	MCH3	MCH4	MCH5	MCH7
COSTOS TOTALES POR MINICENTRAL CON IGV			1,698,300.95	1,218,838.04	1,425,623.06	1,237,068.11	2,739,697.62	2,415,134.49

CRONOGRAMA DE CONSTRUCCION DE SEIS MINICENTRALES HIDROELECTRICAS EN RIO SANDIA-PUNO - MCH 1 Y MCH 2					
AÑO (-7)	AÑO (-6)		AÑO (-5)		AÑO (-4)
MCH1-MCH2	MCH1	MCH2	MCH1	MCH2	MCH1-MCH2
233,371.12	849,150.47	609,419.02	577,422.32	414,404.93	233,371.12

CRONOGRAMA DE CONSTRUCCION DE SEIS MINICENTRALES HIDROELECTRICAS EN RIO SANDIA-PUNO MCH 3 Y MCH 4					
AÑO (-6)	AÑO (-5)		AÑO (-4)		AÑO (-3)
MCH3-MCH4	MCH3	MCH4	MCH3	MCH4	MCH3-MCH4
213,015.29	712,811.53	618,534.05	484,711.84	420,603.16	213,015.29

CRONOGRAMA DE CONSTRUCCION DE SEIS MINICENTRALES HIDROELECTRICAS EN RIO SANDIA-PUNO MCH 5 Y MCH 7							
AÑO (-5)	AÑO (-4)		AÑO (-3)		AÑO (-2)		AÑO (-1)
MCH5-MCH7	MCH5	MCH7	MCH5	MCH7	MCH5	MCH7	MCH5-MCH7
412,386.57	1,369,848.81	1,207,567.24	465,748.59	410,572.86	465,748.59	410,572.86	412,386.57

CRONOGRAMA DE CONSTRUCCION DE SEIS MINICENTRALES HIDROELECTRICAS EN RIO SANDIA-PUNO - RESUMEN									
AÑOS DE CONSTRUCCION			(-7)	(-6)	(-5)	(-4)	(-3)	(-2)	(-1)
EGRESOS DIRECTOS POR CONSTRUCCION	\$	10,734,662.26	233,371.12	1,671,584.79	2,735,559.41	3,716,102.17	1,089,336.75	876,321.46	412,386.57

Cuadro 9. Cronograma de inversiones directas en el periodo de construcción por cada MCH.

7.0 Cronograma de gastos incluyendo los indirectos de construcción y operación comercial (\$)

EGRESOS INDIRECTOS EN DURANTE LA OPERACIÓN COMERCIAL								
EGRESOS INDIRECTOS EN DURANTE LA OPERACIÓN COMERCIAL		(-7)	(-6)	(-5)	(-4)	(-3)	(-2)	(-1)
ACTIVO IMPONIBLE					2,917,139	2,917,139	5,579,830	5,579,830
SEGURO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA ANUAL	0.50%				14,586	14,586	42,485	55,798
GESTION DE OPERACIÓN ANUAL	1.50%				43,757	43,757	127,455	167,395
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	2.50%				72,928	72,928	212,424	278,992
INTERES DE PRESTAMOS DE FINANCIAMIENTO	10.00%				1,073,466	1,053,587	1,033,708	1,013,829
AMORTIZACION DE FINANCIAMIENTO (AÑOS)	50				198,790	198,790	198,790	198,790
FONDO DE LIQUIDEZ MINIMO PARA OPERACIÓN	0.10%				10,735	10,735	10,735	10,735
TOTAL EGRESOS INDIRECTOS					1,414,262	1,394,383	1,625,597	1,725,539
TOTAL EGRESOS EN FLUJO DE CAJA (INC. IGV)								

EGRESOS INDIRECTOS EN DURANTE LA OPERACIÓN COMERCIAL							
1	2	3	4	5	6	7	8
10,734,662	10,734,662	10,734,662	10,734,662.26	10,734,662.26	10,734,662.26	10,734,662.26	10,734,662.26
96,158	96,158	96,158	96,158	96,158	96,158	96,158	96,158
288,474	288,474	288,474	288,474	288,474	288,474	288,474	288,474
480,791	480,791	480,791	480,791	480,791	480,791	480,791	480,791
993,950	974,071	954,192	934,313	914,434	894,555	874,676	854,797
198,790	198,790	198,790	198,790	198,790	198,790	198,790	198,790
10,735	10,735	10,735	10,735	10,735	10,735	10,735	10,735
2,068,898	2,049,019	2,029,140	2,009,261	1,989,382	1,969,503	1,949,624	1,929,745
12,869,194	2,049,019	2,029,140	2,009,261	1,989,382	1,969,503	1,949,624	1,929,745
NOTA AL FLUJO TOTAL DEL AÑO 1; ESTAMOS CONSIDERANDO: (1) COSTOS DIRECTOS E INDIRECTOS DEL AÑO 1; (2) COSTOS DIRECTOS E INDIRECTOS DE LOS AÑOS DE CONSTRUCCION (-4), (-3), (-2) y (-1); (3) COSTOS DIRECTOS DE CONSTRUCCION DE AÑOS: (-5), (-6) y (-7)							

EGRESOS INDIRECTOS EN DURANTE LA OPERACIÓN COMERCIAL					EGRESOS INDIRECTOS EN OPERACIÓN POR 37 AÑOS
9	10	11	12	13	14
10,734,662.26	10,734,662.26	10,734,662.26	10,734,662.26	10,734,662.26	82,322,258
96,158	96,158	96,158	96,158	96,158	737,420
288,474	288,474	288,474	288,474	288,474	2,212,261
480,791	480,791	480,791	480,791	480,791	3,687,101
834,918	815,039	795,160	775,281	755,402	2,896,524
198,790	198,790	198,790	198,790	198,790	7,355,232
10,735	10,735	10,735	10,735	10,735	82,322
1,909,866	1,889,987	1,870,108	1,850,229	1,830,350	14,036,638
1,909,866	1,889,987	1,870,108	1,850,229	1,830,350	14,036,638

Cuadro 10. Cronograma de gastos indirectos por construcción y operación, en el periodo de 50 años de vida útil

Consideramos los costos por (1) Seguros de riesgos de construcción, complementarias a las que pueda tener los contratistas de las obras; cuyo costo puede ser evaluado respecto de sus alcances; (2) Gestión de operación, que incluye todo costos de dirección, procura, asesorías y monitoreo; (3) Operación y mantenimiento, que incluye personal, mobiliarios, gastos corrientes operativos; (4) Intereses por costos del financiamiento de la construcción; y (5) Fondo de liquides mínimo de operación. Estos costos, deberán ser evaluados, en la siguiente etapa de la presente propuesta.

8.0 Cronogramas de ingresos por venta de energía (\$)

INGRESOS POR VENTA DE ENERGIA								
POTENCIA NOMINAL CONECTADA A RED EN 22.9 KV	KW	3,170.00					723.00	723.00
INGRESOS POR VENTA DE ENERGIA-TARIFA MT4 POR AÑO			(-7)	(-6)	(-5)	(-4)	(-3)	
CONCEPTO								
CARGO POR ENERGIA ACTIVA EN PUNTA CTV SI.KWH		17.81					108,782	108,782
CARGO POR ENERGIA ACTIVA FUERA DE PUNTA CTV SI.KWH		16.26					142,200	142,200
POTENCIA ACTIVA EN PUNTA POR MES		21.58					49,927	49,927
POTENCIA ACTIVA FUERA DE PUNTA POR MES		21.58					49,927	49,927
PERDIDAS TECNICAS Y CONSUMO PROPIO	5%						12,549	12,549
INGRESOS NETOS POR VENTA DE ENERGIA							338,288	338,288
IGV	18%						60,892	60,892
INGRESOS TOTALES POR VENTA DE ENERGIA C/IGV								

INGRESOS POR VENTA DE ENERGIA							
1,842.00	1,842.00	3,170.00	3,170.00	3,170.00	3,170.00	3,170.00	3,170.00
(-2)	(-1)	1	2	3	4	5	6
277,145	277,145	476,955	476,955	476,955	476,955	476,955	476,955
362,286	362,286	623,479	623,479	623,479	623,479	623,479	623,479
127,201	127,201	218,908	218,908	218,908	218,908	218,908	218,908
127,201	127,201	218,908	218,908	218,908	218,908	218,908	218,908
31,972	31,972	55,022	55,022	55,022	55,022	55,022	55,022
861,862	861,862	1,483,227	1,483,227	1,483,227	1,483,227	1,483,227	1,483,227
155,135	155,135	266,981	266,981	266,981	266,981	266,981	266,981
		15,317,224	1,750,207	1,750,207	1,750,207	1,750,207	1,750,207

INGRESOS POR VENTA DE ENERGIA							
3,170.00	3,170.00	3,170.00	3,170.00	3,170.00	3,170.00	3,170.00	3,170.00
7	8	9	10	11	12	13	14
							PARTIDA ACUMULADA POR 37 AÑOS DE OPERACIÓN
476,955	476,955	476,955	476,955	476,955	476,955	476,955	3,657,681
623,479	623,479	623,479	623,479	623,479	623,479	623,479	4,781,348
218,908	218,908	218,908	218,908	218,908	218,908	218,908	1,678,763
218,908	218,908	218,908	218,908	218,908	218,908	218,908	1,678,763
55,022	55,022	55,022	55,022	55,022	55,022	55,022	421,951
1,483,227	1,483,227	1,483,227	1,483,227	1,483,227	1,483,227	1,483,227	11,374,604
266,981	266,981	266,981	266,981	266,981	266,981	266,981	2,047,429
1,750,207	1,750,207	1,750,207	1,750,207	1,750,207	1,750,207	1,750,207	13,422,032

Cuadro 11. Cronograma de ingresos totales durante el periodo de vida útil de 50 años, con precios en barra del 2025 en SE Azángaro 138 kV. En la celda final del flujo total del año 1; estamos considerando: (1) costos directos e indirectos del año 1; (2) costos directos e indirectos de los años de construcción (-4), (-3), (-2) y (-1); (3) costos directos de construcción de años: (-5), (-6) y (-7)

9.0 Flujo de caja neto durante el periodo de construcción y vida útil de 50 años de operación con valor residual cero contables.

FLUJO DE CAJA DE INGRESOS Y GASTOS TOTALES (\$)

					FLUJO DE CAJA ENOMICO - INGRESOS TOTALES – EGRESOS TOTALES					
PERIODOS DEL PROYECTO EN AÑOS					1	2	3	4	5	6
INGRESO - EGRESOS DE FLUJO DE CAJA ECONOMICO CON IGV					2,448,030	-298,812	-278,933	-259,054	-239,175	-219,296
PERIODO					PERIODO DE OPERACIÓN COMERCIAL					

FLUJO DE CAJA ENOMICO - INGRESOS TOTALES – EGRESOS TOTALES							
							PARTIDA ACUMULADA POR 37 AÑOS DE OPERACIÓN
7	8	9	10	11	12	13	14
-199,417	-179,538	-159,659	-139,780	-119,901	-100,022	-80,143	-614,606
PERIODO DE OPERACIÓN COMERCIAL							

Cuadro 12. Flujo de caja del proyecto de inversión propuesto durante la vida útil

10.0 Valor actual neto del flujo de caja

Con los resultados del Flujo de Caja Económico, hemos calculado el Valor Actual Neto (VAN),

$$vAN = \sum_{n=0}^{n=50} \frac{C_n}{(1+i)^n}$$

con un resultado positivo, de: VAN: \$. 828,395.00, fundamentando la Rentabilidad del Proyecto.

Precisamos haber utilizado una Tasa de Interés del 10% anual, el cual implica una evaluación social el Proyecto Propuesto. En nuestro primer ejercicio, con una Tasa del 12% anual, para formularlo como Proyecto Privado; no concluyo en indicadores positivos.

11.0 CONCLUSIONES

Con estos resultados, formulamos las siguientes conclusiones:

1.- Nuestra evaluación de las gestiones de permisos, para alcanzar las licencias de uso del agua para las seis minicentrales propuestas; así como las afectaciones prediales, para las infraestructuras de bocatoma, canales, tuberías y casa de máquinas; requiere la participación de Gobiernos Provinciales y Gobernación Regional; así como de la empresa concesionaria, Electro Puno.

A lo antes, explicado, debemos agregar la necesidad de alcanzar suscribir contratos de financiamiento, estimados en el flujo de caja. Esta situación, recomienda la conformación de una autoridad autónoma, que afronte estas responsabilidades, de construcción y operación del sistema a construir.

2.- En la evaluación técnico económica practicada para obtener el flujo de caja neto, se utilizó la base de ingeniería básica a nivel de ficha técnica de cada aprovechamiento hidro energético identificado; de manera que su resultado requiere pasar a un nivel superior con datos técnicos de cada aprovechamiento, soportado en un nivel de ingeniería básica; para sustentar una propuesta de inversión sólida y convincente.

3.- En la evaluación económica practicada se utilizó la tasa del 10% anual, con resultados positivos, porque se ha planteado el proyecto en términos Sociales.

4.- Por ello, consideramos necesario, reformular los cálculos de CAPEX (Inversiones de capital directo e indirecto) y del OPEX (Gastos de operación y mantenimiento), a fin de soportar un flujo de caja consistente y más detallado; para lo cual, se requiere revisar los gastos e ingresos del proyecto, bajo la lupa de una ingeniería básica a una ficha, con estándares de cotizaciones, respaldado de experiencias o proyectos similares.

12.0 REFERENCIAS

{1} Revista Digital PAIME, 2024, 1, 12-25

<https://www.uni75paime.org/projects/flutter>

{2} Metodología del Estudio del Consultor CONSORCIO HALCROW – OIST S.A presentado a la DIRECCION DE FONDOS CONCURSABLES de la DIRECCIÓN GENERAL DE ELECTRIFICACIÓN RURAL del MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, en enero 2011, desarrollado para la EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL POTENCIAL HIDROELÉCTRICO – HIDROGIS, del PERU; por CONTRATO No 028-2010-MEM/DGER/DFC/GEF.