

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAEN

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
Y ELÉCTRICA**



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**“FACTIBILIDAD DE INSTALAR MINI CENTRAL
HIDROELÉCTRICA EN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA
POTABLE DE LA EPS MARAÑÓN, JAÉN”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
MECÁNICO ELECTRICISTA**

Autores: Bach. Deyni Brayan Alberca Cabrera
Bach. Jhefferson Anthony Condezo Cespedes

Asesor: Dr. Freddi Roland Rodríguez Ordoñez

Línea de investigación: Energías alternativas

JAÉN-PERÚ, enero de 2024

NOMBRE DEL TRABAJO

FACTIBILIDAD DE INSTALAR MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA EN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA

AUTOR

Deyni Brayan Alberca Cabrera & Jhefferson Anthony Condezo Cespedes

RECUENTO DE PALABRAS

18556 Words

RECUENTO DE CARACTERES

103627 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

89 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

5.5MB

FECHA DE ENTREGA

Aug 22, 2024 8:56 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Aug 22, 2024 8:58 AM GMT-5


● **7% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 6% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dr. Alexander Huamán Mera
Responsable de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería



FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día lunes 12 de agosto del 2024, siendo las 17:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente : Dr. José Gerardo Saavedra Carrasco
Secretario : Mg. Jannier Montenegro Juárez
Vocal : Mg. Juan Antonio Labrín Romero

Para evaluar la Sustentación del Informe Final:

- () Trabajo de Investigación
(X) Tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: "FACTIBILIDAD DE INSTALAR MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA EN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA EPS MARAÑÓN, JAÉN".

Presentado por los bachilleres: **Deyni Brayán Alberca Cabrera y Jhefferson Anthony Condezo Céspedes**, de la Escuela Profesional de INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA.


Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

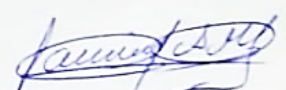
- (X) Aprobar () Desaprobar (X) Unanimidad () Mayoría

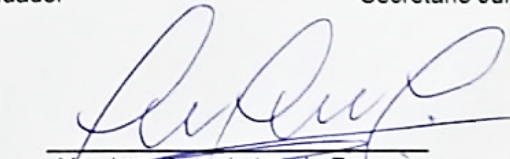
Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente | 18, 19 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | () |
| c) Bueno | 14, 15 | (15) |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 18:00 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando con la suscripción de la presente.


Dr. José Gerardo Saavedra Carrasco
Presidente Jurado Evaluador


Mg. Jannier Montenegro Juárez
Secretario Jurado Evaluador


Mg. Juan Antonio Labrín Romero
Vocal Jurado Evaluador

ÍNDICE

RESUMEN	4
ABSTRACT	4
I. INTRODUCCIÓN	5
1.1 Antecedentes de la investigación	5
1.1.1. A nivel internacional.	5
1.1.2. A nivel nacional.	9
1.1.3. A nivel local.....	11
1.2 Planteamiento del Problema.....	12
Formulación del problema.....	13
1.3 Justificación.....	14
1.3.1 Justificación Técnica:	14
1.3.2 Justificación Ambiental:.....	14
1.3.3 Justificación Económica:.....	14
1.3.4 Justificación Social:	15
1.4 Hipótesis.	15
1.5 Objetivos.....	15
1.5.1 Objetivo general	15
1.5.2 Objetivos específicos	15
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
III. RESULTADOS	54
IV. DISCUSIÓN	65
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
BIBLIOGRAFÍA	68
DEDICATORÍA	71
AGRADECIMIENTO.....	72
Anexos.....	73

RESUMEN

El estudio evaluó el potencial hidroeléctrico en la planta de tratamiento de agua potable de la EPS Marañón. Se destacó la importancia de esta investigación para proporcionar una fuente de energía sostenible en la región. La metodología incluyó análisis hidrológicos y económicos para determinar la viabilidad del proyecto. Los resultados mostraron que era factible generar energía eléctrica utilizando el sistema de abastecimiento de agua, con ingresos potenciales que superaban los costos de operación y mantenimiento. Estos hallazgos se alinearon con estudios anteriores que demostraron la viabilidad de proyectos similares en otras regiones. Se sugiere que la implementación de una mini central hidroeléctrica en la planta de tratamiento de agua potable de la EPS Marañón podría reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables y contribuir al desarrollo sostenible de la región. Se recomienda llevar a cabo estudios adicionales para validar estos resultados y explorar aún más el potencial de esta fuente de energía renovable.

Palabras Clave: mini central hidroeléctrica, potencial hídrico, costos energéticos, energía renovable, análisis de factibilidad

ABSTRACT

The study evaluated the hydroelectric potential at the EPS Marañón drinking water treatment plant. The importance of this research to provide a sustainable energy source in the region was highlighted. The methodology included hydrological and economic analyses to determine the feasibility of the project. The results showed that it was feasible to generate electric power using the water supply system, with potential revenues exceeding the operation and maintenance costs. These findings were in line with previous studies that demonstrated the feasibility of similar projects in other regions. It is suggested that the implementation of a mini-hydroelectric plant at the EPS Marañón drinking water treatment plant could reduce dependence on non-renewable energy sources and contribute to sustainable development in the region. Further studies are recommended to validate these results and further explore the potential of this renewable energy source.

Keywords: mini hydroelectric power plant, hydroelectric potential, energy costs, renewable energy, feasibility analysis

I. INTRODUCCIÓN

La energía desempeña un rol trascendental en el desarrollo de las sociedades contemporáneas, y en este contexto, las fuentes renovables emergen como una alternativa indispensable frente a los combustibles fósiles (Owusu & Asumadu-Sarkodie, 2021). La energía hidroeléctrica, en particular, se distingue por su carácter limpio y confiable, convirtiéndose en un pilar fundamental para la transición hacia un futuro energético sostenible (Hernández-Escobedo et al., 2021). En este escenario, las mini centrales hidroeléctricas cobran relevancia como soluciones que aprovechan los potenciales hídricos con un impacto ambiental reducido, posicionándose como una opción estratégica para avanzar hacia prácticas energéticas más respetuosas con el medioambiente (Kaunda et al., 2022).

1.1 Antecedentes de la investigación

1.1.1. A nivel internacional.

En Colombia, León (2022) realizó una investigación titulada "*Diseño de una PCH para la Generación de energía eléctrica aprovechando el sistema de abastecimiento de agua a Riohacha Distrito Turístico y Cultural*". El objetivo de esta investigación fue el diseño de una pequeña central hidroeléctrica que hizo uso del sistema de abastecimiento de agua en Riohacha. El enfoque metodológico empleado fue el de investigación descriptiva, estructurado en tres fases: sistemas de energía en redes hidráulicas, diseño de un sistema hidráulico y evaluación del sistema. La población objeto de estudio estuvo conformada por las comunidades Wayuu ubicadas en las cercanías. Para el desarrollo del estudio se redujo el cálculo de diseño de la pequeña central hidroeléctrica (PCH) como técnica, haciendo especial énfasis en el cálculo de las revoluciones específicas (Ns). Los resultados obtenidos arrojaron un valor de 86,87 para Ns, el cual se encontró dentro del rango aceptable para las turbinas tipo Francis lentas. Como consecuencia, la PCH diseñada tiene la capacidad de satisfacer el consumo diario de cada hogar, estimado en 1634 W/h, generando un total de 240 kW/h de energía. Los resultados obtenidos evidencian la viabilidad de aprovechar el sistema de abastecimiento de agua para la generación de energía eléctrica, así como la posibilidad de suministro de energía a las comunidades Wayuu. Estos resultados contribuyen a la búsqueda de soluciones energéticas sostenibles y accesibles en la región.

En Canadá, Mitchell y Adams (2021) llevaron a cabo una investigación titulada "Feasibility Assessment of Small-Scale Hydropower Installations in Remote Indigenous Communities." El objetivo de esta investigación fue evaluar la viabilidad de instalaciones de hidroeléctricas a pequeña escala en comunidades indígenas remotas. Utilizando un enfoque multidisciplinario, se realizaron análisis técnicos, económicos y sociales para determinar la factibilidad de las instalaciones. La población de estudio incluyó comunidades indígenas en áreas remotas. Los resultados mostraron que la instalación de hidroeléctricas a pequeña escala en estas comunidades podría ser factible, reduciendo la dependencia de fuentes no renovables y brindando beneficios económicos y sociales.

En Ecuador, Ayala (2021) llevó a cabo una investigación titulada "*Estudio de prefactibilidad para la implementación de una micro central hidroeléctrica utilizando el caudal de salida de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), Ibarra*". El objetivo de esta investigación fue realizar un estudio de prefactibilidad para la implementación de una micro central hidroeléctrica aprovechando el caudal de salida de PTAR de la ciudad de Ibarra. El enfoque metodológico utilizado incluye un diagnóstico de la situación actual, el análisis de información y la aplicación de modelos matemáticos para el dimensionamiento y diseño del sistema de la micro central hidroeléctrica. La población objeto de estudio estuvo conformada por la PTAR-I y sus características específicas, incluyendo las estructuras civiles y el equipo electromecánico necesario para la transformación de la energía mecánica en energía eléctrica. Se realizaron cálculos y análisis técnico-económicos, considerando los valores de inversión y gasto, para determinar la viabilidad del proyecto. Entre los resultados obtenidos, el estudio mostró la factibilidad de aprovechar el caudal de salida de la PTAR-I para la generación de energía hidroeléctrica a pequeña escala. Se estimó que la micro central hidroeléctrica podría generar un aporte energético de 120.888 kWh al año. Además, se propusieron dos alternativas en el análisis técnico-económico, reflejando resultados positivos para la aplicación de la primera propuesta.

En Ecuador, Chicaiza (2019) llevó a cabo un trabajo titulado *"Estudio de factibilidad técnica-económica para la modernización de la minicentral hidroeléctrica planta noroccidente perteneciente a la empresa pública metropolitana de agua potable y saneamiento de Quito (EPMAPS)"*. El propósito de esta investigación fue llevar a cabo un examen de la viabilidad técnica y financiera con el fin de modernizar la Minicentral Planta Noroccidente, propiedad de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS). El enfoque empleado implicó la presentación del estado presente de los elementos de la minicentral mediante el análisis de cuatro aspectos fundamentales: operación, mantenimiento, condición física y antigüedad. Para lograrlo, se utilizó como guía el documento "Hydro Life Extension Modernization EPRI TR-112350" elaborado por el Electric Power Research Institute (EPRI), que permitió una evaluación cualitativa de los equipos debido a la falta de información suficiente para un análisis cuantitativo. Una vez identificados las necesidades y oportunidades de modernización, se plantearon alternativas basadas en los avances tecnológicos disponibles en el mercado, con el propósito de solucionar los problemas actuales y extender la vida operativa de la minicentral hidroeléctrica con la mínima inversión requerida, se llevó a cabo un esfuerzo para identificar alternativas económicamente viables. Para lograr esto, se realizó un estudio económico a largo plazo, abarcando un período de 10 años, en el cual se evaluaron tres escenarios que contemplaban diversas opciones de modernización y rehabilitación. Se calcularon indicadores de viabilidad económica tales como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y la relación costo-beneficio. Dentro del estudio se incluyeron los equipos relevantes, como el grupo turbina y generador, el regulador de velocidad, el sistema de excitación, el transformador principal, el sistema de protección, el sistema de control y los servicios auxiliares eléctricos y mecánicos existentes en la minicentral hidroeléctrica.

En Costa Rica, Vargas (2019) realizó un trabajo de especialidad titulado *"Estudio de prefactibilidad para el Aprovechamiento Energético mediante Sistemas de Micro Generación Hidroeléctrica en líneas de agua potable para el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados"*. El objetivo principal de esta investigación fue formular un plan de generación eléctrica mediante la

implementación de microturbinas en la tubería de suministro de agua potable situada en San Isidro del General. El propósito fundamental de esta propuesta era obtener un beneficio financiero a través de la venta de la electricidad generada por este método. Para alcanzar este propósito, se empleó un enfoque descriptivo de tipo transversal, que involucró la evaluación del potencial hidroeléctrico presente en la línea de conducción de agua potable y la identificación del punto óptimo para la generación eléctrica más eficiente. Mediante este método, se eligió la turbina más apropiada de acuerdo a las características del fluido, con el objetivo de maximizar la producción de energía eléctrica en el punto identificado. Adicionalmente, se llevó a cabo el diseño detallado del sistema hidroeléctrico requerido para la instalación exitosa de la turbina en el punto de generación previamente determinado. Se llevó a cabo un estudio económico a largo plazo con un horizonte de tiempo de 10 años para determinar las alternativas económicamente viables, evaluando tres escenarios que recomendarán diferentes opciones de modernización y rehabilitación. Se estimaron los indicadores de factibilidad económica, como el Valor Actual Neto (VAN). Entre los resultados obtenidos, en relación al potencial hidráulico identificado en la línea de abastecimiento en la entrada de la planta de tratamiento, se determinó una altura de agua equivalente a 22,88 metros junto con un caudal de 135 litros por segundo. Estas condiciones posibilitarían la generación estimada de alrededor de 21 kilovatios de energía eléctrica. Se recibió una propuesta de la compañía Tecnoturbines que ofrecía una microturbina de su propia marca, específicamente el modelo Hydroregen de 14,5 kW, diseñada para funcionar en una red monofásica. Adicionalmente, se llevó a cabo un análisis financiero integral que abarcó la cuantificación de los costos de inversión, así como los ahorros previstos y otros indicadores financieros relevantes.

En México, Cuacuas y López (2019) llevaron a cabo una investigación titulada "Propuesta de instalación de una pequeña central hidroeléctrica en el municipio Xicotepec de Juárez, Puebla". El objetivo de este estudio fue proponer la instalación de una pequeña central hidroeléctrica en el municipio de Xicotepec de Juárez, Puebla. Para ello, determinaron el caudal de una caída de agua utilizando el método Racional Americano y delimitar una cuenca de escurrimiento correspondiente. A partir de estos datos se adquirió un caudal de diseño de 3,24

m³/s. Además, se determinó la altura útil del terreno mediante el análisis de curvas de nivel y se calculó las pérdidas de carga utilizando la ecuación de William Hazen para obtener un salto neto de 163,15 m. En el estudio, se realizó la selección de la turbina empleando un ábaco basado en el caudal y salto neto, lo que determinó que se podrían utilizar dos tipos diferentes de turbinas. Se tomó la decisión de selección considerando tanto la capacidad de generación como la eficiencia del grupo generador. En este sentido, se optó por una turbina tipo Francis de eje horizontal y velocidad específica baja. Además, se eligieron las especificaciones del generador y el transformador con base en la potencia a ser producida, buscando valores estándar y comerciales de tensión y potencia aparente. En paralelo, se llevó a cabo un análisis del impacto social, así como un análisis económico exhaustivo, con el fin de evaluar la factibilidad del proyecto desde diversas perspectivas.

1.1.2. A nivel nacional.

En Huancayo, Tomairo (2022), realizó un trabajo de investigación denominado *“Evaluación del potencial hidroeléctrico, para abastecer la demanda de energía eléctrica de la planta de tratamiento de aguas residuales Huamanga 2021”*, cuyo propósito fue analizar el potencial hidroeléctrico disponible en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga (PTAR). La investigación se enmarcó en un enfoque científico básico y descriptivo, con un diseño de naturaleza descriptiva simple. El estudio se centró en evaluar el nivel y la tendencia del potencial hidroeléctrico factible para satisfacer las necesidades de energía eléctrica de la PTAR. Para este fin, se llevó a cabo un muestreo mensual del caudal durante un período de tres años (2019, 2020 y 2021). Los datos fueron recopilados mediante métodos documentales, utilizando instrumentos propios de la ingeniería eléctrica. Durante la investigación, se examinó la evolución del potencial hidroeléctrico que podría ser aprovechado a partir del caudal procesado por la PTAR. Este proceso implicó registrar mensualmente el caudal en el intervalo de tiempo mencionado, con una media de caudal de 0.362 m³/s. También se midió la diferencia de alturas, dando lugar a un salto bruto de 10.956 m, del cual se derivó un salto útil de 10.518 m. Asimismo, se evaluó la demanda eléctrica necesaria para las operaciones de la PTAR mediante el análisis del perfil de carga mensual a lo largo del período de estudio, obteniendo una potencia media

de 7.983 kW. Los resultados estadísticos se procesaron mediante el software Statistical Package for Social Sciences (SPSS), para luego ser interpretados con base en principios y ecuaciones de la ingeniería de centrales hidroeléctricas. El análisis se complementó con estadísticas descriptivas, de donde se derivaron conclusiones tales como que la potencia máxima de generación (P_{max}) de la planta es de 24.562 kW a un caudal de 0.474 m³/s, y la potencia mínima de generación (P_{min}) es de 16.414 kW a un caudal de 0.330 m³/s. La potencia de generación promedio fue calculada en 18.760 kW, con un factor de planta (F_c) para los años 2019, 2020 y 2021 de 0.121, 0.137 y 0.124, respectivamente.

En Lambayeque, Monteza (2022), realizó un trabajo de investigación de grado titulado "Pequeña Central Hidroeléctrica de Agua Fluyente del Cauce del Río Utcubamba, Ubicado en el Distrito de Bagua Grande – Provincia de Utcubamba – Departamento de Amazonas", con el propósito de elaborar el diseño de una central hidroeléctrica a pequeña escala, con el fin de proveer de energía eléctrica a la estación de bombeo de agua situada en el distrito de Bagua Grande, en la provincia de Utcubamba, departamento de Amazonas. El método fue deductivo, porque el resultado a alcanzar está incluido en las premisas; la investigación a trabajado con una población que estuvo conformada por la central hidroeléctrica. La técnica fue las observaciones del recorrido del río Utcubamba y el instrumento fueron tesis, libros, revistas, folletos, etcétera. Entre sus resultados obtuvieron una Potencia de 213.37 kW, con el cual podrían satisfacer la demanda eléctrica.

En Lima, Pinto y Figueroa (2021), realizó una investigación denominado "*Prefactibilidad para la Instalación de una Turbina Hidrocinética, para la Generación de Energía Eléctrica, en el Staff Achoma. Arequipa – 2020*", Cuyo propósito fue la elaboración de una iniciativa dirigida al progreso de comunidades andinas y la contribución a la lucha contra la contaminación. El aporte de esta investigación al desarrollo de regiones remotas en nuestro país se enfoca en el análisis de la instalación de una turbina hidroeléctrica de dimensiones apropiadas para generar energía eléctrica sostenible en beneficio de dichas comunidades. El enfoque de la investigación es principalmente descriptivo y exploratorio. La metodología empleada para la recolección de datos consiste en entrevistar a dos actores clave del personal de Achoma, el público objetivo de este

estudio, que comprende a Autocolca y la Escuela Taller Colca. Luego de realizar las observaciones pertinentes, se constató que las características del canal eran idóneas, con un ancho de 1.8 metros y una profundidad de 1.5 metros, lo que resultaba en un caudal superior a los 2.6 m³/s. A raíz de esta condición, se recomendó la implementación de una turbina capaz de generar hasta 363 mil kWh, lo cual sería suficiente para suplir la demanda eléctrica de 65 mil kWh del personal mencionado. Este enfoque técnico se consideró factible. Desde el punto de vista económico, la propuesta demostró viabilidad al lograr un Valor Actual Neto (VAN) de S/933,166.64 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) que supera la tasa de descuento aplicada.

En Perú, Salazar y Rodríguez (2020) realizaron una investigación titulada "Evaluación de la Factibilidad Económica de una Central Hidroeléctrica de Pequeña Escala en Zonas Rurales." El objetivo de este estudio fue evaluar la factibilidad económica de una central hidroeléctrica de pequeña escala en áreas rurales del país. Se empleó un enfoque de análisis costo-beneficio y se consideraron los costos de instalación, operación y mantenimiento. La población objeto de estudio incluyó comunidades rurales en diferentes regiones. Los resultados indicaron que la inversión en hidroeléctricas de pequeña escala podría generar beneficios económicos significativos a largo plazo y contribuir al desarrollo sostenible de las zonas rurales.

1.1.3. A nivel local.

En Cajamarca, Taica (2018), realizó un trabajo de investigación denominado "*Estudio de factibilidad para la construcción de una mini central hidroeléctrica en Carhuaquero – Huacataz - Cajamarca 2018*", cuyo objetivo fue determinar la factibilidad para la posterior construcción de una mini central hidroeléctrica en Carhuaquero – Huacataz. El método fue descriptivo de corte transversal; la investigación a considerado como una población a los estudios de Mini centrales Hidroeléctricas. Posteriormente, tras realizar los respectivos cálculos, se identificó una demanda actual de 78 kW que no estaba siendo satisfecha, y se proyectó que esta demanda aumentaría a 122 kW en un período de 20 años. Con base en esta proyección, se determinó un caudal de diseño de 0.24 m³/s, una altura bruta de 138 m y una altura neta de 134.26 m. Estos valores condujeron al cálculo

de una potencia de 221.128 kW, la cual permitiría cubrir el déficit existente y garantizar el suministro eléctrico necesario para cumplir con los requisitos de la población a lo largo de un horizonte de evaluación de 20 años.

En la región de Cajamarca, Torres y García (2019) llevaron a cabo una investigación denominada "Potencial Hidroeléctrico y Análisis de Factibilidad para la Generación de Energía en la Planta de Tratamiento de Agua Potable Cajamarca." El objetivo de este estudio fue evaluar el potencial hidroeléctrico y la factibilidad económica para generar energía en la planta de tratamiento de agua potable en Cajamarca. Se utilizaron análisis hidrológicos y económicos para determinar la viabilidad de la instalación. La población objeto de estudio incluyó la planta de tratamiento y sus alrededores. Los resultados mostraron que el potencial hidroeléctrico podría ser aprovechado con beneficios económicos significativos para la planta y la comunidad local.

1.2 Planteamiento del Problema

La primera tecnología que empezó a producir kW a gran escala utilizando la fuerza del agua, fue una central hidroeléctrica, que es donde empezó la industria energética mundial. Además, han mejorado el rendimiento y las prestaciones del diseño de las infraestructuras, los equipos mecánicos y eléctricos y los sistemas de captación de energía (Ogayar, 2019).

Para los países miembros de la ONU, entre uno de sus Objetivos de Desarrollo Sostenible para el año 2030, es acabar con la pobreza y asegurar la prosperidad de sus habitantes, el cual depende especialmente de la electrificación de las viviendas de las zonas rurales. Sin embargo, debido a la dificultad de acceso a estas zonas y a la dispersión de sus habitantes, así como a la inadecuada planificación electro energética estatal para satisfacer la demanda rural, su cobertura es muy baja (Ortis, 2022).

Para el caso específico de la planta de tratamiento de agua potable de la EPS Marañón, esta requiere de una gran cantidad de energía eléctrica para su operación diaria, lo que se traduce en costos energéticos elevados. Esta situación se debe a que la planta utiliza equipos y maquinarias que consumen grandes cantidades de energía eléctrica, lo que aumenta los costos de operación. Para minimizar estos

costos se debe tener en cuenta que la zona donde se encuentra ubicada la planta de tratamiento cuenta con un potencial hidroeléctrico disponible que no está siendo aprovechado. Además, los costos energéticos elevados aumentan el costo del servicio de agua potable para los usuarios. Por otro lado, es importante abordar la dependencia de fuentes no renovables de energía eléctrica, especialmente cuando se recurre a un grupo electrógeno de emergencia para operar la planta de tratamiento de agua potable en momentos de suspensión del servicio por parte de la concesionaria. Esta práctica conlleva consecuencias negativas en términos ambientales, ya que estas fuentes no son sostenibles y contribuyen significativamente a la emisión de gases de efecto invernadero.

Con la finalidad de aportar en el cumplimiento del objetivo de desarrollo sostenible antes mencionado, se ha creído oportuno realizar una evaluación de la factibilidad económica de la instalación de una mini central hidroeléctrica en la planta de tratamiento de agua potable de la EPS Marañón, con el fin de reducir los costos energéticos y aprovechar el potencial hidroeléctrico disponible en la zona para generar energía renovable y sostenible. Para ello, se deben realizar diferentes actividades como la recopilación de información, entre ellas; caudal, altura, diámetro de la tubería para determinar el potencial hidroeléctrico disponible en la zona y verificar las condiciones necesarias para diseñar la instalación de la mini central hidroeléctrica y dimensionar los equipos necesarios.

Formulación del problema

La interrogante que se deriva de lo planteado es el siguiente:

¿Es factible la instalación de una mini central hidroeléctrica en la planta de tratamiento de agua potable de la EPS Marañón?

1.3 Justificación.

La justificación para la instalación de una mini central hidroeléctrica en la planta de tratamiento de agua potable de la EPS Marañón se fundamenta en múltiples aspectos:

1.3.1 Justificación Técnica:

La planta de tratamiento de agua potable de la EPS Marañón consume una considerable cantidad de energía eléctrica para su funcionamiento diario, con la instalación de una mini central hidroeléctrica se aprovecharía el potencial hidroeléctrico disponible en la zona para generar energía renovable y sostenible, el cual permitiría reducir la dependencia de fuentes no renovables y contribuiría a la diversificación de la matriz energética de la planta, promoviendo un suministro más seguro y estable de energía. Además, la generación de energía hidroeléctrica es predecible y constante, lo que contribuiría a la estabilidad de la operación de la planta de tratamiento.

1.3.2 Justificación Ambiental:

La generación de energía hidroeléctrica es una fuente de energía limpia y renovable que produce emisiones mínimas de gases de efecto invernadero en comparación con las fuentes de energía no renovables, por lo tanto al instalar una mini central hidroeléctrica, se reduciría la huella de carbono de la planta de tratamiento y se contribuiría a la mitigación del cambio climático. Además, se evitaría la quema de combustibles fósiles para la generación de energía, lo que reduciría la contaminación del aire y mejoraría la calidad ambiental de la zona.

1.3.3 Justificación Económica:

La generación de energía a partir de una mini central hidroeléctrica disminuiría los costos energéticos de la planta de tratamiento, y al generar energía renovable de manera interna, la planta podría reducir su dependencia de la red eléctrica externa y, en consecuencia, disminuir los gastos asociados a la compra de electricidad. Además, la inversión inicial en la instalación de la central hidroeléctrica podría ser recuperada a lo largo del tiempo a través de los ahorros en costos energéticos, mejorando la rentabilidad a largo plazo de la planta.

1.3.4 Justificación Social:

La instalación de una mini central hidroeléctrica no solo contribuiría a la sostenibilidad ambiental y económica, sino que también tendría un impacto positivo en la población y en el servicio de agua potable de la localidad, ya que la reducción de los costos energéticos permitiría ofrecer un servicio de agua potable a un costo más bajo para los usuarios, lo que beneficiaría especialmente a los usuarios y a aquellas en situación de vulnerabilidad. Además, la generación de empleo durante la construcción y operación de la central hidroeléctrica podría impulsar el desarrollo económico local.

1.4 Hipótesis.

La instalación de una mini central hidroeléctrica en la planta de tratamiento de agua potable de la EPS Marañón es factible si se aplicara la propuesta establecida.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Evaluar la factibilidad económica de la instalación de una mini central hidroeléctrica en la planta de tratamiento de agua potable de la EPS Marañón.

1.5.2 Objetivos específicos

- Realizar el cálculo para determinar el potencial hidroeléctrico disponible en la planta de tratamiento de agua potable de la EPS Marañón.
- Diseñar una mini central hidroeléctrica en la planta de tratamiento de agua potable de la EPS Marañón.
- Determinar la factibilidad económica de la propuesta de una mini central hidroeléctrica, considerando los costos de instalación, operación y mantenimiento.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Objeto de estudio:

La investigación se enfocó en la planta de tratamiento de agua potable de la EPS Marañón y en el potencial hidroeléctrico disponible en su entorno.

Figura 1. *Ubicación geográfica de la planta de tratamiento de agua potable de la EPS – Perú.*

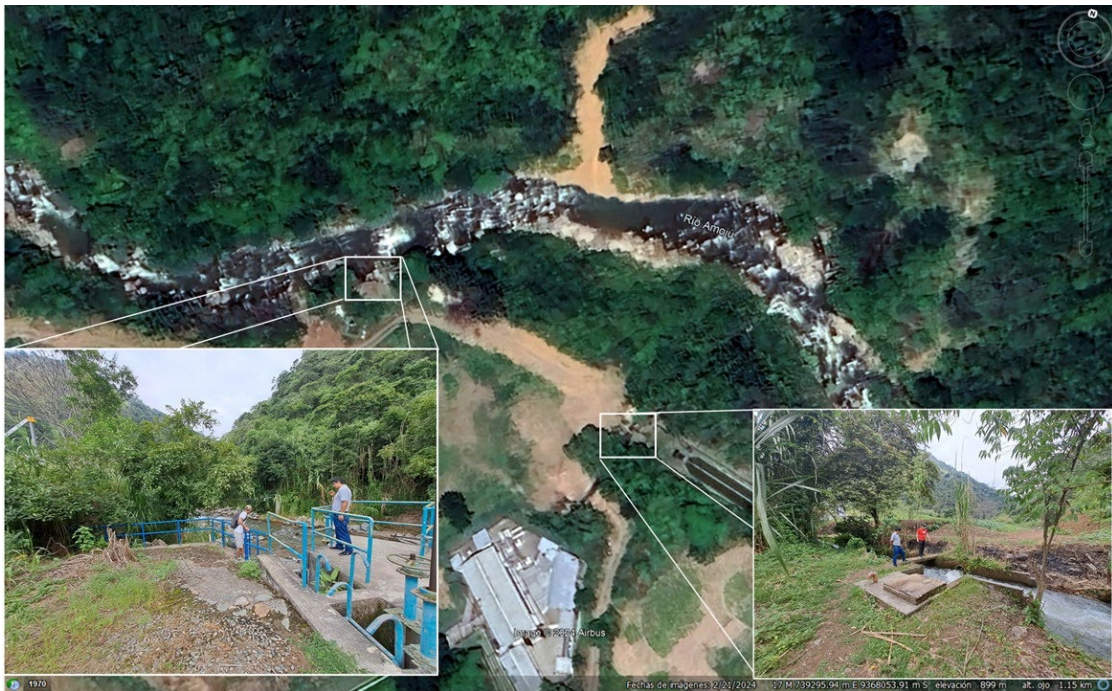


Fuente: Tomado por los investigadores

Ubicación geográfica del área de estudio.

El estudio se realizó en la planta de tratamiento de agua potable de la EPS Marañón, ubicada en el distrito y provincia de Jaén, región Cajamarca. La captación para la planta de tratamiento de agua potables que abastece a la ciudad de Jaén es de las aguas turbinadas de la hidroeléctrica la pelota y del río Amojú, los cuales se encuentran a una altitud de 872 metros sobre el nivel del mar, y aproximadamente en las coordenadas 9368056.61° de latitud sur y -739327.89° de longitud este (Municipalidad Provincial de Jaén, 2023).

Figura 2. Ubicación geográfica de la captación para la planta de tratamiento de agua



Fuente: Mapa geográfico del lugar. Capturado de Google Earth Pro

Métodos

Para realizar el cálculo que permitió determinar el potencial hidroeléctrico disponible en la planta de tratamiento de agua potable de la EPS Marañón, se solicitó a la empresa los permisos y autorizaciones necesarios para recopilar información precisa de la zona donde se encuentra la planta de tratamiento, y así obtener los datos de las características geográficas (altura), hidrológicas (caudal) y técnicas (diámetro de la tubería, espesor). Además, se tuvo en cuenta la variabilidad del caudal en los 5 últimos años.

Por otro lado, con la finalidad de diseñar una mini central hidroeléctrica en la planta de tratamiento de agua potable de la EPS Marañón, se analizó los datos recopilados en el cual se pudo determinar las condiciones necesarias para proponer la instalación de una mini central hidroeléctrica en la zona.

Una vez obtenida la información, se procedió al diseño y dimensionamiento de los equipos para la propuesta de instalación de la mini central hidroeléctrica, los equipos a utilizar fueron cotizados de las empresas proveedoras, que se encuentran disponibles en el mercado.

Finalmente, para evaluar la factibilidad de la propuesta, se realizó un análisis económico que consideró los costos de instalación, operación y mantenimiento y finalmente, se

presentó los resultados obtenidos en un informe técnico que incluyó las conclusiones y recomendaciones para la implementación de la propuesta.

Diseño del Estudio:

El enfoque metodológico abarcó un estudio observacional de corte transversal y tipo propositivo. Se describió el potencial hidroeléctrico, se diseñó la mini central y se evaluó la factibilidad del proyecto.

Población:

La población de estudio comprende la planta de tratamiento de agua potable de la EPS Marañón, ubicada en la región de Cajamarca. Esta planta es responsable del suministro de agua potable a la población de la Ciudad de Jaén. La evaluación del potencial hidroeléctrico y el diseño de la mini central se enfocan en las instalaciones y características hidrológicas presentes en esta planta de tratamiento.

Muestra:

Para el presente estudio, no se realizó un muestreo, ya que se analizó la planta de tratamiento de agua potable de la EPS Marañón en su totalidad. Esto se debe a que el objetivo principal es determinar el potencial hidroeléctrico y proponer un diseño adecuado para la implementación de una mini central hidroeléctrica en dicha planta. Por lo tanto, se considerarán todas las características relevantes, como los caudales, el salto neto disponible, las condiciones topográficas y las instalaciones existentes en la planta de tratamiento de agua potable.

Variables, operacionalización y definición conceptual y operacional

Variable independiente (VI).

Instalación de una mini central hidroeléctrica

Variable dependiente (VD).

Factibilidad económica

Operalización de variables

Variable	Dimensiones	Indicadores
Instalación de una mini central hidroeléctrica	Equipos	Tipo de equipos N° de equipos
Factibilidad	Económica	VAN y TIR

Definición conceptual y operacional

Variable	Definición	
	Conceptual	Operacional
Instalación de una mini central hidroeléctrica	Se refiere a la construcción y puesta en marcha de un sistema de generación de energía eléctrica a partir del aprovechamiento de la energía hidráulica disponible en una fuente de agua cercana, utilizando equipos y tecnologías diseñados específicamente para este propósito.	La instalación de la mini central hidroeléctrica, se definirá mediante el estudio hidrológico para el dimensionamiento de equipos
Factibilidad	Se refiere a la evaluación de la viabilidad de un proyecto o propuesta en términos económicos.	Se realizará a través de la evaluación de la capacidad, del cálculo de costo - beneficio el retorno de inversión y la rentabilidad.

Procedimiento:

Potencial hidroeléctrico disponible en la planta de tratamiento de agua potable de la EPS Marañón:

Con el objetivo de obtener el potencial hidroeléctrico disponible en la planta de tratamiento de agua potable de la EPS Marañón, se solicitó al responsable de la escuela profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, con fecha 3 de enero de 2024, la emisión de una carta de presentación dirigida a la EPS Marañón S.A. presentando a los investigadores. El coordinador de la Facultad de Ingeniería envió dos cartas de presentación, fechadas el 23 de enero, al encargado de la gerencia de la empresa EPS Marañón, dando a conocer a los investigadores (ver anexos A, B y C).

Descripción y Comparación de las Plantas de Tratamiento de Agua Potable en Jaén

La Tabla 1 describe las características principales de las dos plantas de tratamiento de agua potable en Jaén: la Planta 01 – Antigua y la Planta 02 – Nueva. La Planta Antigua se ubica a una altitud de 854 msnm, mientras que la Planta Nueva está a 852 msnm. Ambas plantas están construidas con concreto armado. La Planta Nueva cuenta con una infraestructura más grande y más componentes en comparación con la Planta Antigua. El caudal de ingreso y operativo, junto con la infraestructura detallada, muestra una distribución bien planificada del flujo de agua para optimizar el tratamiento en ambas plantas. Desde el desarenador, el agua se transporta inicialmente por una tubería de 500 mm de diámetro, que se divide en dos ramificaciones según los caudales de ingreso de cada planta, y en la salida, ambos caudales son reducidos a través de tubos de 300 mm de diámetro.

Tabla 1: Descripción del área de la planta de tratamiento de agua potable -Jaén

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE JAEN					
PLANTA 01 – ANTIGUA			PLANTA 02 – NUEVA		
Coordenadas	ESTE	740965	Coordenadas	ESTE	740990
	NORTE	9368477		NORTE	9368512
	ALTITUD	854 msnm.		ALTITUD	852 msnm.
Caudal de ingreso	220	L/s	Caudal de ingreso	200	L/s
Caudal operativo	170	L/s	Caudal operativo	165	L/s
INFRAESTRUCTURA			INFRAESTRUCTURA		
Material	Concreto armado		Material	Concreto armado	
Área	700	M2	Área	1180	M2
Componentes	Canal Parshall	1 unidad	Componentes	Canal Parshall	1 unidad
	Floculador	1 unidad		Floculador	2 unidad
	Decantador	4 unidad		Decantador	4 unidad
	Filtros	7 unidad		Filtros	8 unidad
	Cámara de desinfección	1 unidad		Cámara de desinfección	1 unidad
	Almacén	1 unidad		Almacén	1 unidad
	Caseta de dosificación	1 unidad		Caseta de dosificación	1 unidad
	Caseta de desinfección	No cuenta		Caseta de desinfección	1 unidad

Fuente: Plan de control de calidad Jaén EPS Marañón SA.

Determinación del Potencial Hidroeléctrico en la Planta de Tratamiento de Agua Potable

La información proporcionada por el gerente de EPS Maraón sobre el caudal neto de agua (220 L/s) que llega a la planta de tratamiento antigua fue crucial para determinar con precisión el potencial hidroeléctrico y diseñar adecuadamente la mini central hidroeléctrica (Tabla 1). Este dato permitió calcular la energía disponible y asegurar un diseño óptimo, maximizando la eficiencia y el rendimiento del proyecto. Se seleccionó el caudal que llega a la planta antigua debido a que existe área suficiente para implementar la casa de máquinas de la mini central propuesta.

Para determinar el potencial hidroeléctrico, se utilizó la altura de caída neta proporcionada por EPS Maraón, obtenida a partir de la diferencia de altura entre el nivel del agua en la captación y en la salida del tubo.

El rendimiento de la mini central hidroeléctrica se estimó en un 75%, considerando las pérdidas en los diferentes componentes del sistema, como la turbina, el generador y los sistemas de transmisión y control. Según Acharya et al. (2022), es común asumir un rendimiento global de alrededor del 75% para mini centrales hidroeléctricas, teniendo en cuenta las eficiencias típicas de los componentes individuales y las pérdidas inherentes al proceso de conversión de energía.

La densidad del agua, un parámetro fundamental en los cálculos hidroeléctricos, se asumió como 1000 kg/m^3 en condiciones estándar de temperatura y presión (Gomes et al., 2021). Este valor es ampliamente utilizado en ingeniería hidráulica y en el diseño de sistemas hidroeléctricos, a menos que se disponga de datos específicos sobre la densidad del agua en el sitio de interés.

La aceleración de la gravedad, una constante física que representa la fuerza gravitacional que actúa sobre los objetos cerca de la superficie terrestre, se tomó como 9.81 m/s^2 . Este valor es comúnmente aceptado y utilizado en cálculos relacionados con la energía potencial gravitacional y en el diseño de sistemas hidroeléctricos (Fang et al., 2021).

Utilizando estos valores estándar y las recomendaciones de la literatura científica especializada, se garantiza la fiabilidad y la comparabilidad de los cálculos con otros estudios similares en el campo de la hidroenergía. La potencia hidroeléctrica se calculó aplicando la siguiente ecuación (Fang et al., 2021):

$$P = \rho g Q H n$$

Donde:

P = Potencia hidroeléctrica (W)

ρ = Densidad del agua (kg/m^3)

g = Aceleración de la gravedad (m/s^2)

Q = Caudal de agua (m^3/s)

H = Altura de caída neta (m)

n = Rendimiento de la central (adimensional)

Sustituyendo los valores:

$$P = 1000(9.81)(0.22)(18)(0.75)/1000$$

$$P = 29.136 \text{ Kw}$$

Evaluación de componentes eléctricos y sistemas asociados:

Teniendo el valor real del potencial hidroeléctrico, se procedió a realizar una selección exhaustiva y detallada de los componentes eléctricos y sistemas asociados necesarios para el diseño de la mini central hidroeléctrica. Este proceso de selección implicó una evaluación minuciosa de las características y especificaciones técnicas de cada componente, asegurando así la integración adecuada y el funcionamiento óptimo del sistema en su totalidad.

Los cálculos detallados y precisos realizados permiten diseñar una mini central hidroeléctrica con una potencia estimada de 29.136 kW, lo que representa una utilización eficiente y maximizada del recurso hídrico disponible. Este enfoque meticuloso en la optimización del uso del recurso hídrico asegura que se logre el máximo rendimiento y eficiencia energética posible, contribuyendo de manera significativa a la sostenibilidad y viabilidad del proyecto.

Además, la selección de componentes eléctricos y sistemas asociados se llevó a cabo teniendo en cuenta diversos factores críticos, como la durabilidad, la eficiencia, la facilidad de mantenimiento y la compatibilidad con los estándares y normativas vigentes. Este enfoque integral y detallado garantiza que la mini central hidroeléctrica no solo cumple con los requisitos técnicos y operativos, sino que también sea capaz de operar de manera confiable y eficiente a lo largo de su vida útil.

Turbina hidráulica:

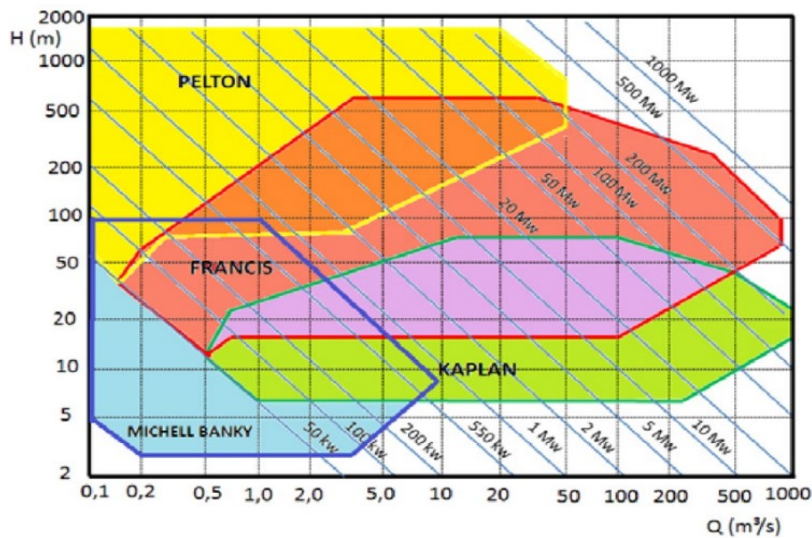
La selección del tipo de turbina adecuada para el diseño de la mini central hidroeléctrica fue un aspecto crucial. Se tomaron en consideración factores clave, como la altura de salto (o caída) disponible y el caudal de agua (Umaña-Wilches et al., 2023). Además, se evaluaron las horquillas de salto típicas para diferentes tipos de turbinas hidráulicas, tal como se muestra en la tabla 2:

Tabla 2: *Tipos de Turbinas Hidroeléctricas y sus Características*

Nº	Tipo de turbina	Rango de salto en metros	Caudal	Características:
1	Pelton	50 a 1800	Bajo a medio	Adecuadas para grandes saltos y caudales moderados. Eficientes para altas caídas.
2	Francis	20 a 700	Medio a alto	Versátiles y adecuadas para una amplia gama de saltos y caudales. Muy utilizadas en centrales hidroeléctricas.
3	Kaplan / Hélice	2 a 40	Alto	Ideales para bajos saltos y altos caudales. Comúnmente utilizadas en instalaciones de baja caída.
4	Michell-Banki (CrossFlow):	3 a 200	Bajo a medio	Adecuadas para saltos medianos y caudales moderados. Simples y de bajo costo.
5	Turgo	50 a 650	Bajo a medio	Utilizadas en saltos medios a altos y caudales moderados. Admiten variaciones en el caudal.

Nota: La clasificación de los caudales es la siguiente: bajo menor a 0.1 m³/s (100 litros/segundo), medio entre 0.1 m³/s y 1 m³/s (100 a 1000 litros/segundo), alto superior a 1 m³/s (1000 litros/segundo), Umaña-Wilches et al. (2023).

Figura 3. Ábaco para la selección del tipo de turbina.



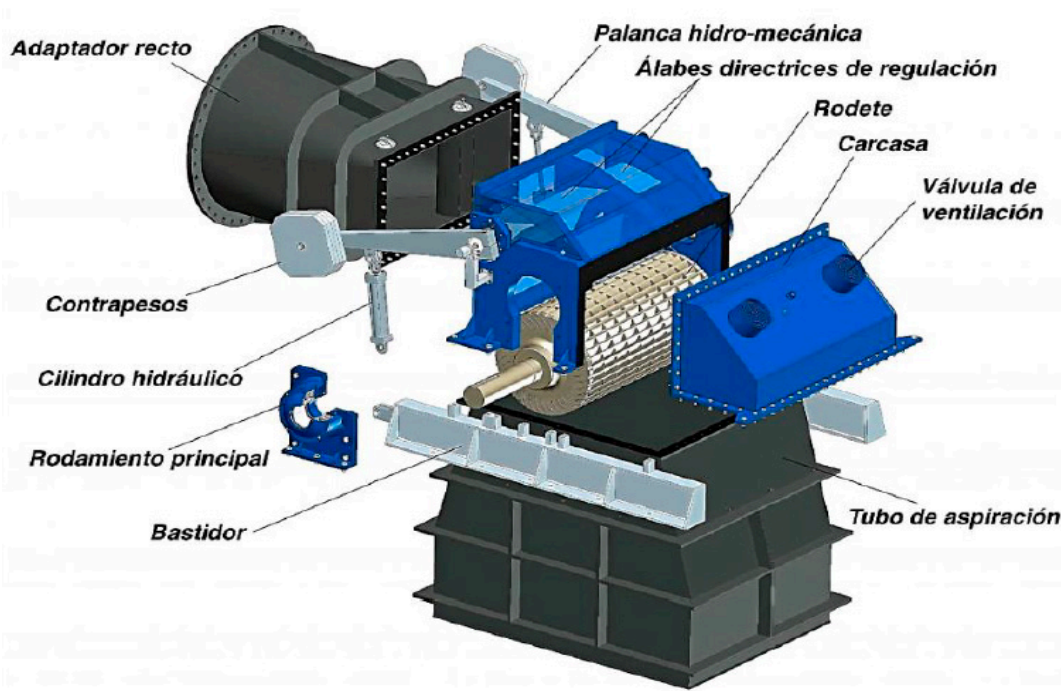
Tras analizar las condiciones específicas del sitio, que incluyen un rango de salto de 18 metros y un caudal moderado de 0.22 m³/s, se seleccionó una turbina Michell-Banki (CrossFlow) de potencia nominal 30kW, de 600 mm de diámetro de rodete, en un rango de 20-24 números de álabes, cuerpo y álabes en acero inoxidable AISI 304, eje en acero al carbono, como la opción más adecuada. Las turbinas CrossFlow son ideales para aplicaciones de salto medio, abarcando un rango de 3 a 200 metros, y pueden manejar caudales de bajo a medio (Arango-Manrique et al., 2022). Además, estas turbinas se caracterizan por su simplicidad de diseño, facilidad de construcción y mantenimiento, así como un costo relativamente bajo en comparación con otros tipos de turbinas (Acharya et al., 2022). Si bien las turbinas Francis y Kaplan/Hélice también fueron consideradas, la turbina CrossFlow resultó ser la más apropiada para las condiciones específicas del diseño, ofreciendo una solución eficiente y rentable para el aprovechamiento del recurso hídrico disponible.

Figura 4. Modelo de turbina patentado por la casa Ossberger



Fuente: https://es.made-in-china.com/co_cdforster/product_Mini-Hydro-Power-20-Kw-300kw-Water-Turbine-for-Hydro-Power-Plant_oiniiyegg.html

Figura 5. Modelo de turbina patentado por la casa Ossberger



Fuente: <https://www.redalyc.org/journal/5537/553768365003/html/>

Generador eléctrico

Los generadores eléctricos son máquinas encargadas de convertir la energía mecánica en energía eléctrica a través del principio de inducción electromagnética. Estos dispositivos están compuestos por dos partes principales: el rotor y el estator (Hernández-Escobedo et al., 2021).

El rotor es la parte giratoria que contiene un conjunto de imanes o devanados de hilo conductor. Cuando el rotor gira, crea un campo magnético giratorio. Por otro lado, el estator es la parte estática que rodea al rotor y contiene devanados de hilo conductor. Cuando el campo magnético giratorio del rotor pasa por los devanados del estator, se induce una fuerza electromotriz (FEM) en estos devanados, generando así una corriente eléctrica alterna (Arango-Manrique et al., 2022).

Existen diferentes tipos de generadores eléctricos, y su selección depende de varios factores, como la potencia requerida, la velocidad de rotación, el factor de potencia, la frecuencia de la corriente generada, entre otros. A continuación, se muestra una tabla enfocada en los generadores eléctricos más comunes:

Tabla 3: *Tipos de Generadores y sus Características*

Tipo de generador	Rango de potencia	Velocidad de rotación	Características
Síncrono	1 kW - 1000 MW	0 - 3600 rpm (fija, determinada por frecuencia de red)	Comúnmente utilizado en centrales hidroeléctricas y termoeléctricas. Alta eficiencia y capacidad de operar en paralelo.
Inducción	5 kW - 30 MW	1000 - 1800 rpm (ligeramente mayor que velocidad síncrona)	Robusto y de bajo mantenimiento. Utilizado en generación eólica y pequeñas centrales hidroeléctricas.
Imanes permanentes	1 kW - 10 MW	0 - 3600 rpm (variable)	Sin devanados en el rotor. Alta eficiencia y bajo mantenimiento. Utilizado en generación eólica y pequeñas centrales hidroeléctricas.
Corriente continua	1 kW - 5 MW	0 - 3600 rpm (variable)	Produce corriente continua. Utilizado en aplicaciones específicas como sistemas de energía renovable aislados.

Nota: Los rangos pueden variar dependiendo del fabricante y la aplicación específica.

Fuente: Adaptado de Arango-Manrique et al. (2022) y Hernández-Escobedo et al. (2021).

Para un sistema que debe alimentar equipos con conexión trifásica y monofásica, es crucial seleccionar un generador adecuado que pueda manejar ambas cargas de manera eficiente. De acuerdo con el potencial hidroeléctrico calculado de 29.136 kW y la selección de una turbina Michell-Banki (CrossFlow), el generador eléctrico más adecuado para acoplar con esta turbina sería un generador síncrono trifásico. Considerando un rendimiento del 90%, la potencia nominal del generador se calcula de la siguiente manera:

$$Potencia\ nominal = \frac{Potencia\ de\ la\ turbina}{Rendimiento}$$

$$Potencia\ nominal = \frac{30\ kW}{0.9} \approx 33.33\ kW$$

Para satisfacer esta necesidad, se recomienda seleccionar un generador síncrono trifásico con una potencia nominal de 35 kW, el cual es un valor estándar disponible en el mercado. Este generador debe tener una conexión en estrella, permitiendo así la alimentación de cargas monofásicas tras ciertos arreglos. Las especificaciones técnicas del generador deben incluir una potencia nominal de 35 kW, una tensión de salida de 380 V, 8 polos para una velocidad de giro de 600 rpm, un grado de protección IP54 y una clase de aislamiento F.

Los generadores síncronos son ampliamente utilizados en centrales hidroeléctricas debido a su capacidad para operar a velocidades variables y su robustez (Umaña-Wilches et al., 2023). Es fundamental que la potencia nominal del generador sea ligeramente superior a la potencia de la turbina para poder manejar picos de carga. Además, se recomienda un generador trifásico para generar energía eléctrica alterna trifásica, que es el estándar en redes eléctricas y puede suministrar tanto cargas trifásicas como monofásicas (Fang et al., 2021).

El consumo de energía del generador eléctrico, considerando que estará en funcionamiento durante ocho horas diarias se puede calcular de la siguiente manera:

$$\text{Consumo diario de energía eléctrica} = \text{Potencia nominal} \times \text{Tiempo de operación}$$

$$\text{Consumo diario de energía eléctrica} = 35\ kW \times 8\ \text{horas}$$

$$\text{Consumo diario de energía eléctrica} = 280\ kWh$$

Dado que la eficiencia del generador es del 90%, la energía real consumida desde la fuente de energía mecánica (por ejemplo, combustible) sería:

$$\text{Energía real consumida} = \frac{\text{Consumo diario de energía eléctrica}}{\text{Rendimiento}}$$

$$\text{Energía real consumida} = \frac{280 \text{ kWh}}{0.9}$$

$$\text{Energía real consumida} \approx 311.11 \text{ kWh}$$

Por lo tanto, la energía real consumida por el generador eléctrico desde la fuente de energía mecánica es aproximadamente 311.11 kWh por día.

Figura 6. *Generador de alternador síncrono de potencia equivalente*



Fuente: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/-60762433499.html>

Sistema de control y regulación

En una mini central hidroeléctrica, el sistema de control y regulación desempeña un papel fundamental al garantizar el funcionamiento seguro y eficiente de la instalación. Este sistema se encarga de monitorear y ajustar variables críticas, como el caudal de agua, la velocidad de la turbina y la potencia generada, con el fin de maximizar la producción de energía y proteger los componentes de la central (Kaunda et al., 2022).

Los sistemas de control y regulación modernos suelen estar basados en tecnologías de automatización y control digital, que permiten una gestión precisa y en tiempo real de los procesos. Estos sistemas pueden incluir diversos componentes, como se muestra en la tabla 4:

Tabla 4: *Componentes del Sistema de Control de una Central Hidroeléctrica*

Componente	Descripción	Tipo y modelo	Consumo de energía
Controlador lógico programable (PLC)	Dispositivo electrónico digital utilizado para automatizar procesos electromecánicos. Actúa como el cerebro del sistema de control, recibiendo señales de sensores y enviando órdenes a actuadores.	Siemens S7-1200	5 W
Sensores	Dispositivos que miden variables físicas como caudal, nivel de agua, velocidad de la turbina, tensión y corriente eléctrica, entre otros.	ABB FMR240 (caudal), Siemens SITRANS Probe LU240 (nivel de agua), Honeywell DPS (tensión y corriente)	1 W cada uno (3 W)
Actuadores	Elementos que convierten las señales eléctricas en movimiento o fuerza, como válvulas de control, frenos, sistemas de apertura de compuertas, entre otros.	Emerson AVENTICS Series 500	10 W
Interfaz de usuario (HMI)	Pantallas táctiles o estaciones de trabajo que permiten la visualización y el control manual de los parámetros de la central.	Allen-Bradley PanelView 800	15 W
Sistema de adquisición de datos (SCADA)	Software que recopila y procesa los datos de sensores y actuadores, permitiendo el monitoreo remoto y la toma de decisiones.	Wonderware System Platform	4 W

Sistemas de protección	Dispositivos que protegen los componentes de la central ante condiciones anormales, como sobrecargas, cortocircuitos, sobretensiones, entre otros.	Schneider Electric Easergy P5	2 W
------------------------	--	-------------------------------	-----

Fuente: Adaptado de Hernández-Escobedo et al. (2021) y Umaña-Wilches et al. (2023).

El diseño y configuración del sistema de control y regulación deben ser específicos para cada mini central hidroeléctrica, teniendo en cuenta factores como el tamaño de la instalación, el tipo de turbina, el régimen de caudales y los requerimientos de operación y mantenimiento (Arango-Manrique et al., 2022). Un sistema bien diseñado y calibrado permitirá optimizar la producción de energía, prolongar la vida útil de los componentes y garantizar una operación segura y confiable de la mini central hidroeléctrica. De acuerdo con la información proporcionada sobre el diseño de la mini central hidroeléctrica y los componentes seleccionados, se recomienda implementar un sistema de control y regulación basado en un controlador lógico programable (PLC) y tecnologías de automatización y control digital, es decir debe tener un controlador de carga digital con funciones de protección, regulación y sincronización, regulador de tensión automático (AVR) con rango de $\pm 5\%$, un sistema de control de velocidad y frecuencia mediante control de compuerta de admisión y protecciones para sobrecarga, cortocircuito, falla a tierra, subtensión, sobretensión.

Para calcular el consumo de energía eléctrica del sistema de control y regulación, se suma el consumo de energía de cada componente (39 W) y luego se multiplica este valor por el número de horas de funcionamiento diario, que para este caso es 8 horas diarias.

$$Energía(wh) = Potencia\ total\ (W) \times Tiempo(h)$$

$$Energía(wh) = 39\ W \times 8h$$

El consumo de energía eléctrica del sistema de control y regulación funcionando 8 horas diarias es:

$$Energía(wh) = 312\ Wh$$

Figura 7. Sistema de control y regulación basado en un controlador lógico programable (PLC) y tecnologías de automatización y control digital.



Fuente: <https://www.emerson.com/es-es/automation/control-and-safety-systems/distributed-control-systems-dcs/ovation-distributed-control-system/hydroelectric-power-plant-controls>

Trasformador

El transformador es un dispositivo eléctrico estático fundamental utilizado para transferir energía eléctrica entre circuitos mediante inducción electromagnética. Su función principal es ajustar los niveles de tensión y corriente mientras mantiene constante la frecuencia eléctrica. Los transformadores desempeñan un rol crucial en las redes eléctricas, facilitando la eficiente transmisión de energía a largas distancias y su distribución a los consumidores (Arango-Manrique et al., 2022).

Existen diversos tipos de transformadores, cuya elección depende de factores como la potencia requerida, nivel de tensión y frecuencia de operación. Según la siguiente tabla, se detallan los tipos más comunes junto con sus aplicaciones:

Tabla 5: *Tipos de Transformadores y sus Aplicaciones*

Tipo de transformador	Rango de potencia	Aplicaciones
Transformador de distribución	de Hasta 5 MVA	Distribución de energía en redes de media y baja tensión
Transformador de potencia	de 5 MVA - 1000 MVA	Transmisión y distribución de energía en redes de alta tensión
Transformador de instrumentación	de Hasta 1 kVA	Medición y protección en sistemas eléctricos
Autotransformador	Hasta 500 MVA	Cambios menores de tensión, arranque de motores
Transformador de aislamiento	de Hasta 1 MVA	Separación de circuitos, eliminación de armónicos

Fuente: Adaptado de Hernández-Escobedo et al. (2021) y Umaña-Wilches et al. (2023).

Para la mini central hidroeléctrica propuesta, se recomienda un transformador de aislamiento con una potencia nominal suficiente para las necesidades de la PTAR y adecuado para la corta distancia de transmisión. Se podría considerar un transformador con al menos 37.5 kVA de potencia nominal, ajustado para el voltaje de salida del generador síncrono (aproximadamente 380 V) y adaptado a los requisitos de baja tensión de la PTAR. Idealmente con grupo de conexión Dyn1 y opción de refrigeración seca o natural, diseñado para una instalación compacta cerca tanto de la mini central como de la PTAR, asegurando eficiencia y fiabilidad operativa.

Figura 8. Transformador aislamiento Trifásico – 37.5 kVA



Fuente: <https://www.highpower.com.pe/equipo/transformador-de-aislamiento-trifasico-20kva-40kva/>

Equipos de medición y control

Los equipos de medición y control son dispositivos electrónicos diseñados para adquirir, procesar y transmitir datos sobre el estado y el comportamiento de una planta o sistema. Estos equipos se encargan de medir variables físicas, como caudal, nivel de agua, velocidad, presión, tensión y corriente eléctrica, entre otras. Además, permiten monitorear el funcionamiento de los componentes clave de la central hidroeléctrica y realizar ajustes automáticos o manuales cuando sea necesario (Hernández-Escobedo et al., 2021; Umaña-Wilches et al., 2023).

Tabla 6: *Tipos de equipos de medición y control*

Equipo	Descripción
Medidores de caudal	Dispositivos que miden el flujo volumétrico de agua, como caudalímetros electromagnéticos, ultrasónicos o de presión diferencial.
Medidores de nivel	Sensores que determinan el nivel de agua en tanques o canales, como los medidores de radar, ultrasónicos o de presión hidrostática.
Medidores de velocidad	Instrumentos que miden la velocidad de rotación de la turbina, como tacómetros o codificadores ópticos.
Medidores de potencia	Equipos que miden la potencia eléctrica generada, como watímetros o analizadores de redes.
Sistemas de adquisición de datos (SCADA)	Software que recopila y procesa los datos de los sensores y dispositivos de campo, permitiendo el monitoreo y control remoto.
Controladores lógicos programables (PLC)	Dispositivos electrónicos digitales que controlan y automatizan los procesos en la central hidroeléctrica.
Interfaces de usuario (HMI)	Pantallas táctiles o estaciones de trabajo que permiten la visualización y el control manual de los parámetros de la central.

Para la mini central hidroeléctrica propuesta en la planta de tratamiento de agua potable de la EPS Marañón, se debe implementar un sistema de medición y control que incluya los siguientes componentes principales:

Medidores de caudal y nivel: Estos dispositivos son fundamentales para monitorear el flujo de agua y los niveles en la captación y en la salida de la turbina. Se recomienda de implementarse el diseño caudalímetros electromagnéticos y medidores de nivel ultrasónicos, debido a su precisión y confiabilidad.

Medidores de velocidad: Para supervisar la velocidad de rotación de la turbina y el generador, se recomienda si se desarrolla el diseño emplear codificadores ópticos o tacómetros digitales, que brindan lecturas precisas y permiten ajustar la operación de manera óptima.

Medidores de potencia: Con el fin de medir la potencia eléctrica generada y monitorear la eficiencia del sistema, se recomienda instalar watímetros o analizadores de redes trifásicos.

Sistema de adquisición de datos (SCADA): Un software SCADA permitirá si se desarrolla el diseño recopilar y procesar los datos de todos los sensores y dispositivos de campo, brindando una visión integral del funcionamiento de la central hidroeléctrica y facilitando el monitoreo y control remoto.

Controlador lógico programable (PLC): Un PLC actuará como el cerebro del sistema de control, recibiendo las señales de los sensores y enviando órdenes a los actuadores, como válvulas de control o sistemas de apertura de compuertas, para regular el caudal de agua y mantener la operación óptima de la central.

Interfaz de usuario (HMI): Una pantalla táctil o estación de trabajo HMI permitirá a los operadores visualizar los datos en tiempo real y realizar ajustes manuales cuando sea necesario, brindando un control adicional sobre el sistema.

Figura 9. Sistema de control en una planta hidroeléctrica



Fuente: <https://www.emerson.com/es-es/automation/control-and-safety-systems/distributed-control-systems-dcs/ovation-distributed-control-system/hydroelectric-power-plant-controls>

Infraestructura civil

La infraestructura civil en una mini central hidroeléctrica comprende las obras y estructuras necesarias para albergar y proteger los diferentes componentes del sistema, como la captación de agua, los canales de conducción, la casa de máquinas, las subestaciones eléctricas y las líneas de transmisión. Estas obras civiles deben ser diseñadas y construidas de acuerdo con las características geográficas, hidrológicas y sísmicas del lugar, garantizando la seguridad, durabilidad y accesibilidad de la instalación (Hernández-Escobedo et al., 2021; Kaunda et al., 2022).

Tabla 7: *Componentes de la infraestructura civil*

Componente	Descripción
Captación de agua	Estructura que desvía y concentra el flujo de agua desde la fuente hacia el sistema de conducción.
Canales de conducción	Canales abiertos o tuberías que transportan el agua desde la captación hasta la casa de máquinas.
Casa de máquinas	Edificio que alberga los equipos principales, como la turbina, el generador y los sistemas de control.
Subestación eléctrica	Instalación que contiene los transformadores y equipos de protección para la conexión a la red de transmisión.
Líneas de transmisión	Estructuras y conductores que transportan la energía eléctrica generada hasta los puntos de consumo o interconexión.
Obras complementarias	Estructuras adicionales como accesos, muros de contención, drenajes, etc.

Para la mini central hidroeléctrica diseñada en la planta de tratamiento de agua potable de la EPS Maraón, se recomienda implementar la siguiente infraestructura civil:

Casa de máquinas: Se debe edificar una casa de máquinas robusta y segura, que albergue la turbina, el generador y los sistemas de control y regulación. Esta estructura debe cumplir con las normas de construcción y resistencia sísmica correspondientes.

Obras complementarias: Una vez que alguna institución del gobierno quiera desarrollar el diseño deben contemplar obras complementarias como accesos vehiculares, muros de contención, drenajes, canales de desfogue y otras estructuras necesarias para garantizar la seguridad, accesibilidad y operación adecuada de la mini central hidroeléctrica.

Sistema de almacenamiento y gestión de energía

El sistema de almacenamiento y gestión de energía está diseñado para almacenar la energía eléctrica generada por la central hidroeléctrica y gestionarla de manera eficiente. Esto implica la capacidad de almacenar el excedente de energía cuando la generación supera la demanda, y liberar esa energía cuando la demanda es mayor que la generación. Además, estos sistemas pueden integrar fuentes de energía renovables adicionales, como paneles solares o aerogeneradores, para complementar la generación hidroeléctrica y mejorar la confiabilidad del suministro (Arango-Manrique et al., 2022; Hernández-Escobedo et al., 2021).

Tabla 8: Componentes del sistema de almacenamiento y gestión de energía.

Componente	Descripción
Baterías	Dispositivos electroquímicos que almacenan energía eléctrica para su uso posterior.
Inversores/Cargadores	Equipos que convierten la corriente continua (CC) de las baterías en corriente alterna (CA) para su uso en la red, y viceversa.
Sistemas de gestión de baterías (BMS)	Dispositivos electrónicos que monitorean y controlan el estado de carga, descarga y temperatura de las baterías.
Sistemas de control y monitoreo	Equipos que supervisan y gestionan el flujo de energía entre los diferentes componentes del sistema.
Sistemas de conexión a la red	Equipos que permiten la interconexión con la red eléctrica para la compra/venta de energía.

Para la mini central hidroeléctrica que se ha diseñado en la planta de tratamiento de agua potable de la EPS Marañón, si se desarrolla se recomienda implementar un sistema de almacenamiento y gestión de energía que incluya los siguientes componentes principales: **Baterías:** Se sugiere la implementación de un banco de baterías de ion-litio o de plomo-ácido, dependiendo de los requerimientos de capacidad, ciclo de vida y costo. Las baterías de ion-litio ofrecen una mayor densidad energética y ciclos de vida más prolongados, pero a un costo más elevado.

Inversores/Cargadores: Se requieren inversores/cargadores de alta potencia para convertir la corriente continua de las baterías en corriente alterna y viceversa, según sea necesario. Estos equipos deben ser dimensionados adecuadamente para manejar la potencia máxima generada por la central hidroeléctrica.

Sistemas de gestión de baterías (BMS): Un sistema BMS es esencial para monitorear y controlar el estado de las baterías, prolongando su vida útil y garantizando un funcionamiento seguro y eficiente.

Sistemas de control y monitoreo: Se implementará un sistema de control y monitoreo avanzado que supervise el flujo de energía entre los diferentes componentes del sistema, optimizando el uso de la energía generada y almacenada.

Sistemas de conexión a la red: Se instalará un sistema de interconexión a la red eléctrica local, que permita la compra/venta de energía según sea necesario, mejorando la confiabilidad del suministro y maximizando los beneficios económicos.

Sistema de monitoreo remoto.

Un sistema de monitoreo remoto consiste en un conjunto de dispositivos y tecnologías que permiten la recopilación, transmisión y visualización de datos en tiempo real desde una ubicación remota. Estos sistemas están diseñados para brindar una supervisión constante del estado y el rendimiento de los diferentes componentes de la central hidroeléctrica, como turbinas, generadores, sistemas de control y equipos auxiliares (Hernández-Escobedo et al., 2021; Umaña-Wilches et al., 2023).

Componentes del sistema de monitoreo remoto:

Tabla 9: Componentes del Sistema de Monitoreo y Control en Centrales Hidroeléctricas

Componente	Descripción
Sensores y dispositivos de campo	Instrumentos que miden variables físicas como caudal, nivel de agua, velocidad, potencia, etc.
Unidades de adquisición de datos	Dispositivos electrónicos que recopilan y procesan los datos de los sensores y dispositivos de campo.
Redes de comunicación	Infraestructura de comunicación (cableada o inalámbrica) que transmite los datos desde la central hasta el centro de control.
Servidor y software de monitoreo	Equipo informático y aplicaciones de software que reciben, almacenan y visualizan los datos de la central.
Interfaz de usuario	Pantallas o estaciones de trabajo desde las cuales los operadores pueden monitorear y controlar la central de forma remota.

Para la mini central hidroeléctrica propuesta en la planta de tratamiento de agua potable de la EPS Marañón, se recomienda implementar un sistema de monitoreo remoto que incluya los siguientes componentes principales:

Sensores y dispositivos de campo: Se deben instalar sensores y dispositivos de medición para monitorear variables críticas como caudal, nivel de agua, velocidad de la turbina, potencia eléctrica generada, temperatura, entre otros.

Unidades de adquisición de datos: Se está sugiriendo utilizar unidades de adquisición de datos (DAQ) o controladores lógicos programables (PLC) para recopilar y procesar los datos de los sensores y dispositivos de campo.

Redes de comunicación: Se implementará una red de comunicación robusta y confiable, que puede ser cableada (fibra óptica o cables de par trenzado) o inalámbrica (radio, celular o satélite), dependiendo de la ubicación y las condiciones del sitio.

Servidor y software de monitoreo: Se instalará un servidor dedicado y software de monitoreo especializados en el centro de control, que permitan recibir, almacenar y visualizar los datos recopilados desde la central hidroeléctrica.

Interfaz de usuario: Se utilizarán estaciones de trabajo o pantallas táctiles en el centro de control, desde las cuales los operadores puedan monitorear en tiempo real el estado de la central y realizar ajustes o acciones de control remoto cuando sea necesario.

Evaluación de costos de instalación y operación.

Cálculo del Valor Actual Neto (VAN)

El Valor Actual Neto (VAN) se calcula mediante la aplicación de la fórmula financiera estándar, descontando los flujos de caja futuros a una tasa de descuento del 5% y restando la inversión inicial, tal como se detalla a continuación:

$$\text{Flujo de caja neto anual} = \text{Ingresos anuales} - \text{Costos de operación}$$

El VAN se calcula con la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum \left(\frac{\text{Flujo de caja neto anual}}{(1 + r)^t} \right) - \text{Inversión inicial}$$

Donde:

- r es la tasa de descuento (5%)
- t es el año (de 1 a 20)

Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa de descuento que hace que el Valor Actual Neto (VAN) de un proyecto sea igual a cero. En otras palabras, es la tasa a la cual los ingresos futuros descontados son iguales a los costos iniciales del proyecto. La fórmula para calcular la TIR se basa en la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{t=0}^n \left(\frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} \right) = 0$$

Donde:

VAN es el Valor Actual Neto

FC_t es el flujo de caja en el año t

TIR es la Tasa Interna de Retorno

t es el año

n es el número total de años

Análisis financiero mediante métodos como VAN y TIR.

Para evaluar los costos asociados a la instalación y operación de la mini central hidroeléctrica propuesta para la planta de tratamiento de agua potable de la EPS Marañón, se deben considerar diversos componentes y factores, tal como se detalla a continuación:

Costo Unitario de Infraestructura Civil

Esta tabla 10 se presenta el desglose del costo unitario de los componentes principales de la infraestructura civil, incluyendo edificio, fundaciones, canales y vías de acceso.

Tabla 10: Costo Unitario de Infraestructura Civil

Componente	Subcomponente	Unidad	Cantidad	Costo Unitario S/.	Costo Total S/.
Edificio	Excavación	m ³	80	20	1,600
	Estructura	m ²	100	80	8,000
	Muros y paredes	m ²	200	40	8,000
	Techos	m ²	55	50	2,750
	Instalaciones eléctricas	m ²	50	25	1,250
	Instalaciones sanitarias	m ²	105	20	2,100
	Acabados	m ²	100	30	3,000
Fundaciones	Excavación	m ³	80	20	1,600
	Armado de acero	kg	1000	1.5	1,500
	Concreto	m ³	35	100	3,500
Canales	Excavación	m ³	100	15	1,500
	Revestimiento	m ²	100	25	2,500
	Desagüe y drenaje	m	70	10	700
Vías de Acceso	Nivelación y compactación	m ²	500	5	2,500
	Base y subbase	m ³	210	30	6,300
	Pavimentación	m ²	160	20	3,200
Total Estimado					50,000

Costo Unitario de Mano de Obra para Instalación y Puesta en Marcha

La tabla 11 detalla el costo unitario de la mano de obra para la instalación y puesta en marcha de equipos.

Tabla 11: Costo Unitario de Mano de Obra para Instalación y Puesta en Marcha

Descripción	Unidad de Medida	Cantidad	Costo Unitario (S/)	Costo Total (S/)
Técnicos especializados	horas	50	374	18700
Obreros especialistas	Días	100	113	11300
Cálculo del Costo Total				30000

Costos de instalación:

En la tabla 12 se presenta los costos estimados para la implementación de una minicentral hidroeléctrica, detallando los componentes principales y sus respectivos precios (Ver

anexo H). Estos incluyen la turbina Michell-Banki, el generador eléctrico, el sistema de control y regulación, el transformador, los equipos de medición y control, el sistema de almacenamiento y gestión de energía, el sistema de monitoreo remoto, la infraestructura civil, la mano de obra de instalación, el transporte y logística, los servicios de ingeniería y diseño, permisos y licencias. El costo total estimado del proyecto es de S/ 540 000.00

Tabla 12: *Presupuesto de Instalación de una Mini Central Hidroeléctrica*

Componente	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Precio Total (S/.)
Turbina Michell-Banki	Turbina de 35 kW, diámetro 0.5-1 m, acero inoxidable	1	70,000	70,000
Generador Eléctrico	Generador síncrono de 35 kW, 600 rpm, 400V, IP54	1	38,000	38,000
Sistema de Control y Regulación	PLC, sensores, VFD, sistema AVR, relés de protección	1	37,000	37,000
Transformador	Transformador de aislamiento de 37.5 kVA, 380V	1	25,000	25,000
Equipos de Medición y Control	Medidores de caudal, nivel, presión, potencia, etc.	1	35,000	35,000
Sistema de Almacenamiento y Gestión de Energía	Baterías de ion-litio de 100 kWh, inversores, EMS	1	150,000	150,000
Sistema de Monitoreo Remoto	Plataforma en la nube, cámaras, sensores, SCADA	1	50,000	50,000
Infraestructura Civil	Edificio, fundaciones, canales, vías de acceso, etc.	1	50,000	50,000
Mano de Obra de Instalación	Instalación y puesta en marcha de los equipos	1	30,000	30,000
Transporte y Logística	Transporte de equipos y materiales	1	20,000	20,000
Ingeniería y Diseño	Servicios de ingeniería y diseño del proyecto	1	20,000	20,000
Permisos y Licencias	Permisos ambientales, licencias de construcción, etc.	1	15,000	15,000
Total				540,000.

Costos de operación y mantenimiento

La tabla 13 presenta los costos estimados anuales asociados a la operación y mantenimiento de la mini central hidroeléctrica (Ver anexo H). Estos incluyen la mano de obra requerida para el personal de operación, mantenimiento y capacitación; mantenimiento programado de turbina, generador, sistemas de control, transformadores, líneas, subestación, equipos de medición y monitoreo, y sistema de almacenamiento y gestión de energía; mantenimiento correctivo para reparaciones, reemplazos imprevistos, repuestos y materiales; costos de operación como energía auxiliar, consumibles, seguros y gastos administrativos; y costos ambientales relacionados con el monitoreo, mitigación de impactos, permisos y licencias necesarios. El total estimado de estos costos anuales es de S/ 43,000, los cuales deben ser considerados en el análisis de viabilidad económica del proyecto.

Tabla 13: *Costos Anuales de Operación y Mantenimiento de una Mini Central Hidroeléctrica*

Componente	Costo estimado (S/ anuales)
Mano de obra	
Personal de operación y mantenimiento	12,000
Capacitación y entrenamiento	2,000
Mantenimiento programado	
Turbina, generador, sistemas de control	4,000
Transformadores, líneas, subestación	2,000
Equipos de medición y monitoreo	1,000
Sistema de almacenamiento y gestión de energía	2,000
Mantenimiento correctivo	
Reparaciones y reemplazos imprevistos	6,000
Repuestos y materiales	3,000
Costos de operación	
Energía auxiliar	1,000
Consumibles	1,000
Seguros y gastos administrativos	2,000
Costos ambientales	
Monitoreo y mitigación de impactos	3,000
Permisos y licencias	4,000
Total	43,000

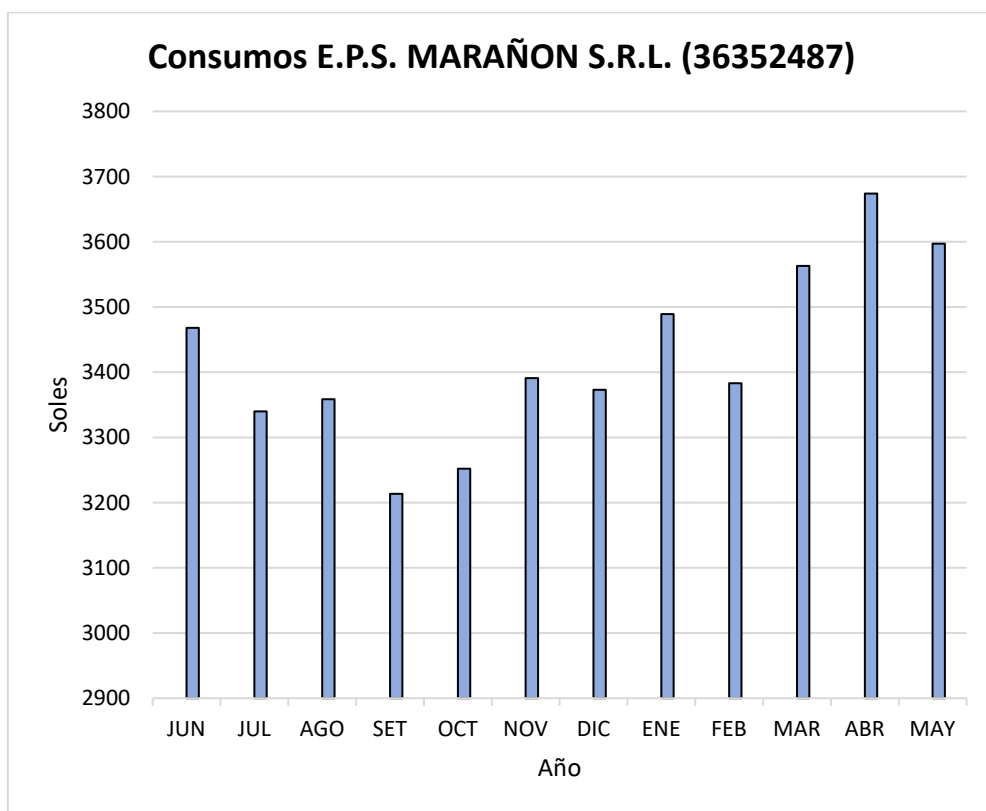
Ingresos estimados

La tabla 14 y la figura 10 muestra el detalle mensual del suministro 36352487 emitido por la empresa Electro Oriente, correspondiente al consumo de la E.P.S. Marañón S.R.L., bajo la tarifa MT4, para el periodo de junio de 2023 a mayo de 2024, además se muestra el consumo anterior y actual en kilovatios hora (kWh), así como el total consumido en el mes, el costo total mensual y el número de recibo asociado. Estos datos sirvieron como base para el análisis de viabilidad económica del proyecto y teniendo en cuenta que estos ingresos estimados pueden estar sujetos a variaciones debido a factores como la demanda energética, las tarifas eléctricas, la disponibilidad de recursos hídricos y otros aspectos técnicos y operativos.

Tabla 14: *Facturación de Consumo Eléctrico de la planta de tratamiento de la E.P.S. Marañón S.R.L*

Mes	Tarifa	L.Anterior	L.Actual	Consumo	Total Mes	Total Factura	Recibo
202306	MT4	12154.4	12332.6	5213	S/ 3,468.00	S/ 3,468.00	5468092
202307	MT4	12332.6	12503.2	5023	S/ 3,340.00	S/ 3,340.00	5756627
202308	MT4	12503.2	12682.7	5195	S/ 3,358.50	S/ 3,358.50	5893485
202309	MT4	12682.7	12857	5110	S/ 3,213.50	S/ 3,213.50	6067004
202310	MT4	12857	13030.9	5099	S/ 3,252.00	S/ 3,252.00	6159501
202311	MT4	13030.9	13211	5305	S/ 3,391.00	S/ 3,391.00	6375858
202312	MT4	13211	13379.2	4930	S/ 3,373.00	S/ 3,373.00	6393249
202401	MT4	13379.2	13556.2	5123	S/ 3,489.00	S/ 3,489.00	6610508
202402	MT4	13556.2	13732.3	5135	S/ 3,383.00	S/ 3,383.00	6694085
202403	MT4	13732.3	13907.3	5111	S/ 3,563.00	S/ 3,563.00	6956265
202404	MT4	13907.3	14097.2	5426	S/ 3,674.00	S/ 3,674.00	7050577
202405	MT4	14097.2	14271	5177	S/ 3,597.00	S/ 3,597.00	7266901
Total				61847	S/ 41,102.00	S/ 41,102.00	

Figura 10. Facturación de Consumo Eléctrico de la planta de tratamiento de la E.P.S. Marañón S.R.L



Producción anual de energía:

La producción anual de energía se estima basándose en el potencial hidroeléctrico calculado de 29.136 kW y un factor de planta del 45%. Este factor refleja el porcentaje del tiempo durante el cual se espera que la central hidroeléctrica opere a su capacidad máxima, teniendo en cuenta los períodos planificados de mantenimiento y las variaciones estacionales del caudal de agua, que actualmente se mantiene constante en 220 litros por segundo. El cálculo del factor de planta se fundamenta en un análisis detallado de las características técnicas de los equipos, incluyendo turbinas y generadores, así como en el cumplimiento de normativas ambientales y regulaciones operativas. Esta metodología asegura que la central opere de manera segura y eficiente, proyectando una producción anual estimada mediante la fórmula estándar de producción de energía.

$$\text{Producción anual} = \text{Potencia instalada} \times \text{Factor de planta} \times \text{Horas anuales}$$

donde las horas anuales se calculan como 8,760 horas (365 días x 24 horas/día), se obtiene:

$$\text{Producción anual} = 29.136 \text{ kW} \times 0.45 \times 8\,760 \text{ horas/año}$$

$$\text{Producción anual} = 114\,854.112 \text{ kWh/año}$$

Por lo tanto, se estima que la central hidroeléctrica, con una potencia instalada de 29.136 kW y un factor de planta del 45%, generará una producción anual de energía de aproximadamente 114,854.112 kWh=114.85 MWh

Tarifas de venta de electricidad:

En Perú, las tarifas de venta de electricidad para pequeñas centrales hidroeléctricas varían según la región y el sector de consumo (residencial, comercial, industrial). En este proyecto, se ha considerado la tarifa MT4, respaldada por el recibo de la E.P.S. Marañón S.R.L con suministro 36352487 (contrato) emitido el 05 de mayo de 2024 (ver anexo D). El Factor de Ponderación del Precio de la Energía (EP) se rige por la Resolución OSINERGMIN N° 061-2013-OS/CD, que establece la ponderación del precio de la energía en horas punta y fuera de punta para tarifas con simple medición de energía (MT4, BT4, BT5B, BT5C, BT5D, BT6 y BT7). Los usuarios se clasifican como presentes en punta si el cociente entre su demanda media en horas punta y su demanda máxima es mayor o igual a 0.5; de lo contrario, se consideran fuera de punta. La tarifa MT4, aplicable a suministros con alimentación a tensiones nominales en media tensión, incluye una simple medición de energía y potencia contratada (1E1P).

Teniendo la Potencia Generada es de 29.136 kW, con un total de 24 horas operativas diarias, distribuidas en 6 horas en horas punta y 18 horas fuera de punta. Según la tarifa MT4, se aplican los siguientes cargos: un cargo fijo mensual de S/. 14.03, una tarifa de S/. 0.3515 por kWh tanto en horas punta como fuera de punta para la Energía Activa, y un cargo de S/. 0.0492 por kVarh para la Energía Reactiva. Además, la Potencia Generada en horas punta tiene un cargo de S/. 65.73 por kW, mientras que la Potencia de Distribución fuera de punta se calcula a S/. 22.55 por kW. Estos valores se utilizan para calcular la energía generada y los ingresos asociados en función de la tarifa MT4, de acuerdo al siguiente detalle:

Calculo de la Energía consumida

Primero, se calcula cuánta energía se ha consumido durante un mes, separando en dos periodos entre horas punta y horas fuera de punta.

✓ Energía consumida en Horas Punta (kWh/mes):

$$\text{Energía Punta} = \text{Potencia Generada (kW)} \times \text{Horas Punta/día} \times \text{Días/mes}$$

$$\text{Energía Punta} = 29.136 \text{ kW} \times 6 \text{ horas/día} \times 30 \text{ días/mes} = \mathbf{5\ 244.48 \text{ kWh/mes}}$$

✓ Energía consumida Fuera de Punta (kWh/mes):

$$\text{Energía Fuera de Punta} = \text{Potencia Generada (kW)} \times \text{Horas Fuera de Punta/día} \times \text{Días/mes}$$

$$\text{Energía Fuera de Punta} = 29.136 \text{ kW} \times 18 \text{ horas/día} \times 30 \text{ días/mes} = \mathbf{15\ 733.44 \text{ kWh}}$$

Calculo de la Energía Reactiva (kVarh)

La energía reactiva depende del factor de potencia (FP) y de la energía activa generada. Se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Energía Reactiva (kVarh)} = \text{Energía Activa (kWh)} \times \left(\sqrt{\frac{1}{FP^2} - 1} \right)$$

✓ Calculo de la energía activa total generada mensualmente:

$$\text{Energía Activa Total} = \text{Energía Punta} + \text{Energía Fuera de Punta}$$

$$\text{Energía Activa Total} = 5244.48 \text{ kWh} + 15733.44 \text{ kWh} = \mathbf{20\ 977.92 \text{ kWh/mes}}$$

✓ Calculo de la energía reactiva:

$$\text{Energía Reactiva (kVarh)} = 20,977.92 \text{ kWh} \times \left(\sqrt{\frac{1}{0.85^2} - 1} \right)$$

$$\text{Energía Reactiva (kVarh)} = 20,977.92 \text{ kWh} \times 0.622 = \mathbf{13\ 048.27 \text{ kVarh/mes}}$$

Incentivos o beneficios por energía renovable:

En Perú, los proyectos de generación de energía renovable pueden beneficiarse de incentivos como la desgravación del Impuesto General a las Ventas (IGV) y del Impuesto Selectivo al Consumo (ISC) en la importación de bienes y servicios. Además, existe la posibilidad de obtener ingresos adicionales por la venta de Certificados de Energía

Renovable (CER) en el mercado de bonos de carbono. Según el Ministerio de Energía y Minas, los Certificados de Atribución de la Energía (EAC) se emiten como prueba de que la electricidad ha sido producida a partir de fuentes renovables. Cada EAC demuestra que 1 MWh se ha generado y vertido a la red desde una fuente renovable. Estos certificados se suelen comprar, vender y cancelar a precios determinados por un mercado de oferta y demanda, convirtiéndose en una moneda de cambio en el mercado de la energía renovable.

Por lo tanto, si se considera un ingreso adicional de S/ 0.10 por kWh por la venta de CER, se estaría refiriendo a la posibilidad de obtener ganancias por la venta de certificados que demuestran la generación de 1 MWh de electricidad renovable. Esta cifra de S/ 0.10 por kWh corresponde al valor de mercado estimado para la venta de estos certificados en Perú, aunque es importante tener en cuenta que los precios reales pueden variar según las condiciones del mercado.

Ingresos anuales estimados:

La tabla 15 se presenta los ingresos anuales estimados para la mini central hidroeléctrica propuesta en la planta de tratamiento de agua potable de la EPS Marañón, de manera detallada:

Tabla 15: Ingresos Anuales

Concepto	Valor/Descripción	Cálculo	Ingreso (S/.)
Potencia Generada (kw)	29.136	-	-
Horas Operativas por Día (horas)	24	-	-
Horas Punta (horas/día)	6	-	-
Horas Fuera de Punta (horas/día)	18	-	-
Días Operativos por Mes (días)	30	-	-
Factor de Potencia (FP)	0.85	-	-
Generación anual de energía (MWh)	114.85		
Cálculos de Energía	Consumo	Tarifa (S/./kWh o kVarh)	Ingreso (S/.)
Energía Activa en Horas Punta (kWh)	5,244.48	0.3515	1,843.43
Energía Activa Fuera de Punta (kWh)	15,733.44	0.3515	5,530.30
Energía Activa Total (kWh)	20,977.92	0.3515	7,373.74
Energía Reactiva (kVarh)	13,048.27	0.0492	641.97
Cálculos de Potencia	Consumo	Tarifa (S/./kW)	Ingreso (S/.)
Potencia Generada en Horas Punta (kW)	29.136	65.73	1,915.11
Potencia de Distribución Fuera de Punta (kW)	29.136	22.55	657.02
Otros Ingresos	Descripción	Tarifa (S/.)	Ingreso (S/.)
Cargo Fijo Mensual	1 mes	14.03	14.03
Ingreso Total Mensual por venta de electricidad			10,601.87
Ingreso Total Anual por venta de electricidad			127222.4359
CER (Certificados de Energía Renovable)		Tarifa (S/.)	Ingreso (S/.)
Ingresos por Venta de CER		0.1	11.49
Ingreso Total Anual			127233.92

Flujo de Caja Económica Proyectado para el Proyecto de Mini Central

Hidroeléctrica de la EPS Marañón

La tabla 16 proporciona un análisis detallado de la viabilidad financiera del proyecto a lo largo de 20 años, utilizando una tasa de descuento del 4.21%. En cada año, se registra la generación de Certificados de Energía Renovable (CER), las ventas de energía eléctrica, los ingresos totales, los costos iniciales de instalación, los gastos anuales de operación y mantenimiento, y los egresos totales. El flujo de caja económico refleja la diferencia entre los ingresos y los egresos, mostrando la evolución esperada del proyecto desde una inversión inicial significativa en el primer año (año 0) hasta un crecimiento progresivo en los ingresos anuales, con un enfoque en la rentabilidad sostenida a lo largo del tiempo.

Tabla 16: Flujo de Caja Económico por Año

Año	Certificados de Energía Renovable (CER)	Venta de energía eléctrica	Ingresos	Costos de instalación:	Costos de operación y mantenimiento	Egresos	Flujo de caja económico
0	0.00	0.00	0.00	540000.00	0.00	540000.00	-540000.00
1	11.49	127222.44	127233.92	0.00	43000.00	43000.00	84233.92
2	11.97	132578.50	132590.47	0.00	44810.30	44810.30	87780.17
3	12.47	138160.06	138172.53	0.00	46696.81	46696.81	91475.71
4	13.00	143976.59	143989.59	0.00	48662.75	48662.75	95326.84
5	13.55	150038.01	150051.55	0.00	50711.45	50711.45	99340.10
6	14.12	156354.61	156368.72	0.00	52846.40	52846.40	103522.32
7	14.71	162937.14	162951.85	0.00	55071.24	55071.24	107880.61
8	15.33	169796.79	169812.12	0.00	57389.74	57389.74	112422.38
9	15.97	176945.24	176961.21	0.00	59805.84	59805.84	117155.37
10	16.65	184394.63	184411.28	0.00	62323.67	62323.67	122087.61
11	17.35	192157.64	192174.99	0.00	64947.50	64947.50	127227.50
12	18.08	200247.48	200265.56	0.00	67681.79	67681.79	132583.77
13	18.84	208677.90	208696.74	0.00	70531.19	70531.19	138165.55
14	19.63	217463.24	217482.87	0.00	73500.55	73500.55	143982.32
15	20.46	226618.44	226638.90	0.00	76594.93	76594.93	150043.98
16	21.32	236159.08	236180.40	0.00	79819.57	79819.57	156360.83
17	22.22	246101.38	246123.59	0.00	83179.98	83179.98	162943.62
18	23.15	256462.24	256485.40	0.00	86681.85	86681.85	169803.54
19	24.13	267259.30	267283.43	0.00	90331.16	90331.16	176952.27
20	25.14	278510.92	278536.06	0.00	94134.10	94134.10	184401.96

El incremento del 4.21% en la venta de energía eléctrica y los costos de operación y mantenimiento se sustenta en un análisis basado en la evolución del sueldo mínimo y la inflación en Perú durante los últimos 10 años (Ver Anexos F y G), de los cuales se sacó un promedio. Este enfoque asegura que los cálculos reflejen de manera precisa los ajustes económicos significativos experimentados en el país, incorporando las variaciones anuales del sueldo mínimo y la inflación para mantener una planificación financiera coherente y alineada con las condiciones económicas actuales y proyectadas.

Punto de equilibrio del proyecto

Al contemplar los costos de ingreso y egresos se obtuvo el punto de equilibrio, en la que se demuestra el año en que se da el retorno de la inversión.

Mini central hidroeléctrica en la planta de tratamiento de agua potable de la EPS

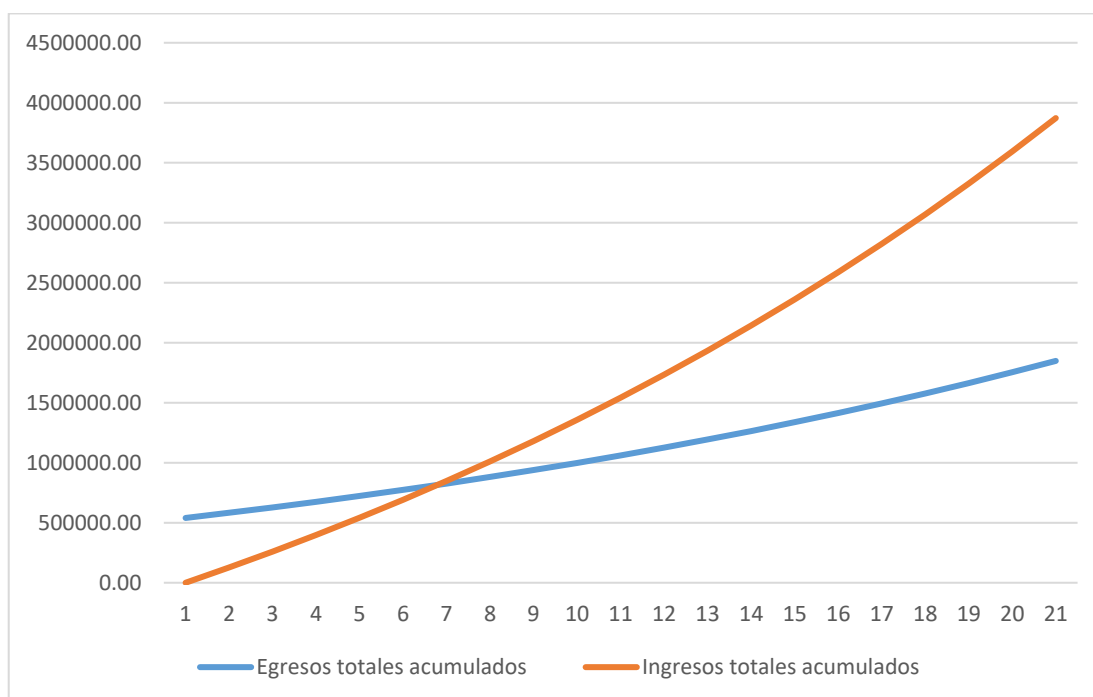
Marañón

Tabla 17: *Flujo de caja proyectada para 20 años*

Año	Egresos totales acumulados	Ingresos totales acumulados
Cero	540000.00	0.00
Primero	583000.00	127233.92
Segundo	627810.30	259824.39
Tercero	674507.11	397996.92
Cuarto	723169.86	541986.51
Quinto	773881.31	692038.06
Sexto	826727.72	848406.79
Séptimo	881798.95	1011358.64
Octavo	939188.69	1181170.76
Noveno	998994.53	1358131.97
Décimo	1061318.20	1542543.24
Undécimo	1126265.70	1734718.23
Duodécimo	1193947.49	1934983.79
Decimotercero	1264478.68	2143680.53
Decimocuarto	1337979.23	2361163.40
Decimoquinto	1414574.15	2587802.30
Decimosexto	1494393.73	2823982.70
Decimoséptimo	1577573.70	3070106.30
Decimoctavo	1664255.55	3326591.69
Decimonoveno	1754586.71	3593875.12
Vigésimo	1848720.81	3872411.19

Fuente: Elaboración propia.

Figura 11. Punto de equilibrio Mini central hidroeléctrica en la planta de tratamiento de agua potable de la EPS.



Fuente: **Elaboración propia.**

En la figura 11, se observa que, durante los primeros cinco años del proyecto, los egresos acumulados superan a los ingresos, indicando una fase de inversión donde aún no se han cubierto los costos totales. Sin embargo, en el sexto año, los ingresos acumulados (S/. 848406.79) superan a los egresos (S/. 826727.72), lo que marca el inicio de la recuperación de la inversión. Esto significa que el punto de equilibrio se alcanza en el sexto año, y a partir de ese momento, el proyecto comienza a generar beneficios netos.

Cálculo del Valor Actual Neto (VAN):

El Valor Actual Neto (VAN) se calcula utilizando la fórmula financiera estándar, donde los flujos de caja futuros se descuentan a una tasa de descuento del 4.21%, y se resta la inversión inicial. El flujo de caja neto anual se determina restando los costos de operación y mantenimiento anuales de los ingresos anuales, resultando en un flujo de caja neto para el primer año de S/ 84233.92.

La fórmula para calcular el VAN es:

$$\text{VAN} = \sum (\text{Flujo de caja neto anual} / (1 + r)^t) - \text{Inversión inicial}$$

$$\text{VAN} = \sum (84233.92 / (1 + r)^t) - S/ 540000.00 \text{ (desde } t = 1 \text{ hasta } t = 20)$$

$$\text{VAN} = [(84233.92 / (1 + 0.0421)^1) + \dots + (184401.96 / (1 + 0.0421)^{20})] - 540000.00$$

$$\text{VAN} = S/ 1,920,119.35$$

El VAN positivo indica que el proyecto es económicamente viable, ya que los ingresos futuros descontados superan la inversión inicial. Este resultado sugiere que el proyecto generará un valor presente neto significativo para la empresa después de recuperar la inversión inicial y cubrir los costos operativos.

Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR):

La Tasa Interna de Retorno (TIR) se obtuvo como la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero. Resolviendo con la hoja de Excel, se calculó que la TIR es del 18.64%. Esta cifra indica que el proyecto generará una rentabilidad promedio anual del 18.64% sobre la inversión inicial durante su vida útil, después de cubrir todos los costos operativos. Al comparar la TIR con la tasa de descuento utilizada en el cálculo del VAN (4.21%), se observa que la TIR es significativamente mayor, lo que sugiere que el proyecto es altamente rentable y supera ampliamente el costo de capital. Esta comparación indica que el proyecto no solo recuperará la inversión inicial, sino que también proporcionará un retorno sustancial adicional, justificando su viabilidad económica y potencial de éxito financiero.

Instrumentos

Se emplearon fichas de registro de datos hidrológicos y equipos de medición de caudal y altura para asegurar la precisión de los datos recopilados.

Recolección de Datos:

El proceso de recolección de datos se llevó a cabo con meticulosidad, considerando la ubicación, el momento y la duración de la toma de datos, garantizando la representatividad de la información.

Análisis de Datos:

Se realizaron cálculos mediante fórmulas estándar de conversión hidro-energética y se aplicaron métodos financieros, como VAN y TIR, utilizando herramientas de hojas de cálculo.

Consideraciones Éticas:

Se gestionaron los permisos necesarios para acceder a la información de la EPS Marañón, y se aseguró la confidencialidad de los datos recopilados, cumpliendo con las normativas éticas correspondientes.

Limitaciones del Estudio:

Se reconoció el acceso restringido a ciertas zonas de la planta y la disponibilidad limitada de datos hidrológicos históricos de la fuente de agua como limitaciones inherentes al estudio.

III. RESULTADOS

3.1 Potencial hidroeléctrico disponible en la planta de tratamiento de agua potable de la EPS Marañón.

La tabla 18 presenta las variables y sus respectivos valores utilizados en la ecuación de cálculo de la potencia hidroeléctrica, considerando la densidad del agua, la aceleración de la gravedad, el caudal de agua, la altura de caída neta y el rendimiento de la central hidroeléctrica propuesta

Tabla 18: Variables y valores utilizados para el cálculo del potencial hidroeléctrico en la planta de tratamiento de agua potable de la EPS Marañón

Variable	Valor	Unidad
ρ (Densidad del agua)	1000	kg/m ³
g (Aceleración de la gravedad)	9.81	m/s ²
Q (caudal de agua)	0,22	m ³ /s
H (Altura de caída neta)	18	metro
n (Rendimiento de la central)	0,75	adimensional
P (Potencia hidroeléctrica)	29.14	kilovatios

3.2 Diseño de la Mini Central Hidroeléctrica en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la EPS Marañón

Turbina Michell-Banki Sugerida para Minicentral Hidroeléctrica

La tabla 19 presenta las características sugeridas para una turbina Michell-Banki que cumpla con los requerimientos de potencia hidroeléctrica de 29.136 kW.

Tabla 19: Características sugeridas para la turbina utilizado en el diseño de la Mini Central Hidroeléctrica

Característica	Valor sugerido
Eficiencia	75%
Diámetro del rodete	0.5 - 1 metro
Número de álabes	20-24
Velocidad de rotación	600 rpm
Potencia nominal	35 kW
Material de construcción	Acero inoxidable o aleaciones resistentes a la corrosión
Sistema de regulación	Compuertas o deflectores
Mantenimiento	Acceso fácil para inspecciones y mantenimiento regular

Generador Eléctrico para la Turbina Michell-Banki

La tabla 20 presenta las características sugeridas para el generador eléctrico que acompaña a una turbina Michell-Banki, diseñado para cumplir con una potencia nominal de 30 kW y operar a una velocidad de 600 rpm, asegurando alta eficiencia y durabilidad.

Tabla 20: Características sugeridas para el generador utilizado en el diseño de la Mini Central Hidroeléctrica

Característica	Valor sugerido
Tipo de Generador	Síncrono o asíncrono
Potencia Nominal	35 kW
Velocidad Nominal	600 rpm
Frecuencia de Salida	50 Hz o 60 Hz
Voltaje de Salida	400V (trifásico)
Eficiencia	> 90%
Sistema de Enfriamiento	Aire enfriado (puede considerar agua enfriado si es necesario)
Factor de Potencia	0.8 – 1
Materiales de Construcción	Carcasa de acero inoxidable o resistente a la corrosión; bobinados de cobre
Regulación de Voltaje	Sistema AVR (regulación automática de voltaje)
Protección	Contra sobrecargas y cortocircuitos; aislamiento adecuado; IP54
Mantenimiento	Fácil acceso para inspección y mantenimiento regular; componentes modulares

Sistema de Control y Regulación para la Minicentral Hidroeléctrica

La tabla 21 presenta las características sugeridas para el sistema de control y regulación que acompañará a la turbina Michell-Banki y el generador eléctrico, asegurando un funcionamiento eficiente, seguro y fiable de la minicentral hidroeléctrica.

Tabla 21: Características sugeridas para el sistema de control

Característica	Valor Sugerido
Tipo de Controlador	PLC (Controlador Lógico Programable) o SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos)
Sensor de Caudal	Sensor de caudal ultrasónico o electromagnético
Sensor de Nivel	Transmisor de nivel ultrasónico o de presión
Sensor de Presión	Transmisor de presión de alta precisión
Control de Velocidad	VFD (Variador de Frecuencia) o gobernador hidráulico

Regulación de Voltaje	Sistema AVR (Regulación Automática de Voltaje)
Sistema de Protección	Relés de protección contra sobrecargas, cortocircuitos, y fallos a tierra
Sistema de Enfriamiento	Control automático del sistema de enfriamiento (aire o agua)
Monitoreo y Alarma	Sistema de monitoreo en tiempo real con alarmas para parámetros críticos
Interfaz de Usuario	HMI (Interfaz Hombre-Máquina) o pantalla táctil
Sistema de Comunicaciones	Ethernet/RS485 para integración con sistemas SCADA
Registro de Datos	Registro automático de datos operativos y eventos
Redundancia y Backup	Sistema de redundancia para controladores críticos y backup de energía
Accesibilidad Remota	Capacidad de monitoreo y control remoto a través de internet o red local
Mantenimiento	Diseño modular para facilitar el mantenimiento y las actualizaciones

Transformador para la Minicentral Hidroeléctrica

La tabla 22 presenta las características sugeridas para el transformador que se utilizará en la minicentral hidroeléctrica con la turbina Michell-Banki, el generador eléctrico, y el sistema de control y regulación mencionados anteriormente. Este transformador garantizará la adecuada conversión y distribución de la energía generada.

Tabla 22: *Características sugeridas para el Transformador*

Característica	Valor Sugerido
Potencia Nominal	37.5 kVA
Voltaje Primario	380 V
Voltaje Secundario	220 V / 380 V
Tipo de Transformador	Aislación
Grupo de Conexión	Dyn1
Frecuencia	50/60 Hz
Tipo de Refrigeración	Seca/Natural
Clase de Aislamiento	Clase F (155°C)
Tipo de Núcleo	Núcleo Laminado
Material del Núcleo	Acero Silicona Laminado
Tipo de Bobinado	Cobre
Temperatura de Operación	-20°C a 40°C
Pérdidas en Vacío	≤ 120 W
Pérdidas a Carga Completa	≤ 500 W
Nivel de Ruido	≤ 55 dB
Eficiencia	≥ 98%
Protección Contra Sobrecarga	Termostato Interno
Protección Contra Cortocircuito	Fusibles de Alta Capacidad
Dimensiones (Largo x Ancho x Alto)	800 mm x 600 mm x 1200 mm
Peso	250 kg
Instalación	Interior/Exterior

Equipos de Medición y Control

La tabla 23 presenta las características sugeridas para los equipos de medición y control que se utilizarán en la minicentral hidroeléctrica, asegurando la correcta operación y monitoreo de la turbina Michell-Banki, el generador eléctrico, el sistema de control y regulación, y el transformador.

Tabla 23: *Equipo de Medición y Control: Características Sugeridas*

Equipo de Medición y Control	Características Sugeridas
Medidor de Caudal	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: Electromagnético o ultrasónico ➤ Precisión: $\pm 0.5\%$ del rango completo ➤ Rango de Medición: Hasta 220 L/s ➤ Salida: 4-20 mA o Modbus RTU/RS485
Medidor de Nivel	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: Ultrasónico o radar ➤ Rango de Medición: Hasta 20 metros ➤ Precisión: $\pm 0.25\%$ del rango completo ➤ Salida: 4-20 mA o Modbus RTU/RS485
Medidor de Presión	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: Transductor de presión ➤ Rango de Medición: Hasta 20 bar ➤ Precisión: $\pm 0.25\%$ del rango completo ➤ Salida: 4-20 mA o Modbus RTU/RS485
Medidor de Potencia	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: Analizador de redes eléctricas ➤ Rango de Medición: 0-30 kW ➤ Precisión: $\pm 0.2\%$ del rango completo ➤ Salida: Modbus RTU/RS485, Ethernet
Medidor de Tensión y Corriente	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: Medidor digital ➤ Rango de Medición: 0-400V (tensión), 0-100A (corriente) ➤ Precisión: $\pm 0.2\%$ del rango completo ➤ Salida: Modbus RTU/RS485, Ethernet
Medidor de Frecuencia	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rango de Medición: 45-65 Hz ➤ Precisión: ± 0.1 Hz ➤ Salida: Modbus RTU/RS485, Ethernet
Controlador de Turbina	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: PLC (Controlador Lógico Programable) ➤ Capacidad: 24 entradas/salidas digitales y 8 entradas/salidas analógicas ➤ Protocolos: Modbus RTU/RS485, Ethernet
Sistema de Supervisión y Adquisición de Datos (SCADA)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Plataforma: Basada en PC ➤ Interfaz: Gráfica con pantalla táctil ➤ Funciones: Monitoreo en tiempo real, registro de datos, alarmas ➤ Protocolos: Modbus, OPC
Sensores de Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: Termopares o RTD ➤ Rango de Medición: -50°C a 200°C ➤ Precisión: $\pm 0.1\%$ del rango completo ➤ Salida: 4-20 mA o Modbus RTU/RS485
Relé de Protección	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: Relé multifunción ➤ Funciones: Protección contra sobrecorriente, subtensión, sobrecarga, fallos a tierra ➤ Comunicación: Modbus RTU/RS485, Ethernet

Sistema de Monitoreo de Vibración	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: Sensor piezoeléctrico ➤ Rango de Medición: Hasta 100 g ➤ Precisión: $\pm 0.5\%$ del rango completo ➤ Salida: 4-20 mA o Modbus RTU/RS485
UPS (Sistema de Alimentación Ininterrumpida)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Capacidad: 5 kVA ➤ Autonomía: 30 minutos a plena carga ➤ Salida: 230V AC ➤ Protección: Contra sobrecargas, picos de tensión

Sistema de Almacenamiento y Gestión de Energía

La tabla 24 presenta las características sugeridas para el sistema de almacenamiento y gestión de energía que se utilizará en la minicentral hidroeléctrica, asegurando la correcta operación y optimización de la turbina Michell-Banki, el generador eléctrico, el sistema de control y regulación, el transformador, y los equipos de medición y control.

Tabla 24: Componentes del Sistema y Características Sugeridas

Componente	Características Sugeridas
Baterías de Almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: Ion-Litio o Plomo-Ácido ➤ Capacidad: 100 kWh ➤ Voltaje Nominal: 400V ➤ Vida Útil: 10 años ➤ Protección: Contra sobrecargas, sobredescargas y cortocircuitos
Sistema de Gestión de Energía (EMS)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: Software de Gestión de Energía ➤ Funciones: Optimización del uso de energía, monitoreo en tiempo real, balance de carga ➤ Interfaces: SCADA, Modbus, OPC
Inversor de Energía	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: Inversor trifásico ➤ Capacidad: 30 kW ➤ Voltaje de Salida: 400V ➤ Frecuencia: 50 Hz o 60 Hz ➤ Eficiencia: >95%
Controlador de Carga	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: MPPT (Seguimiento del Punto de Máxima Potencia) ➤ Rango de Voltaje: 100-400V ➤ Corriente Máxima: 100^a ➤ Eficiencia: >98%
Sistema de Monitoreo de Baterías	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: Monitor de Batería Digital ➤ Funciones: Monitoreo de estado de carga (SoC), voltaje, corriente y temperatura ➤ Salida: 4-20 mA, Modbus RTU/RS485
Sistema de Refrigeración	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: Aire acondicionado o sistema de refrigeración líquida ➤ Capacidad: Adaptado al tamaño y calor generado por el sistema ➤ Funciones: Control de temperatura, protección contra sobrecalentamiento
Protección y Seguridad	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: Relés de Protección y Fusibles ➤ Funciones: Protección contra sobrecorrientes, cortocircuitos, sobretensiones ➤ Comunicación: Modbus RTU/RS485, Ethernet
Sistemas de Alarma	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: Alarmas sonoras y visuales ➤ Funciones: Alerta de fallos en el sistema de almacenamiento, niveles críticos de batería ➤ Integración: SCADA

Convertidor DC-DC	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: Convertidor bidireccional ➤ Rango de Voltaje: 100-400V ➤ Capacidad: 30 kW ➤ Eficiencia: >95%
UPS (Sistema de Alimentación Ininterrumpida)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Capacidad: 10 kVA ➤ Autonomía: 1 hora a plena carga ➤ Salida: 230V AC ➤ Protección: Contra sobrecargas, picos de tensión

Sistema de Monitoreo Remoto

La tabla 25 presenta las características sugeridas para el sistema de monitoreo remoto que se utilizará en la minicentral hidroeléctrica, asegurando la correcta operación y optimización de la turbina Michell-Banki, el generador eléctrico, el sistema de control y regulación, el transformador, los equipos de medición y control, y el sistema de almacenamiento y gestión de energía.

Tabla 25: *Componentes del Sistema y Características Sugeridas*

Componente	Características Sugeridas
Plataforma de Monitoreo Remoto	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: Plataforma basada en la nube ➤ Acceso: Web y aplicación móvil ➤ Funciones: Visualización en tiempo real, alertas, informes históricos, análisis predictivo
Controlador de Comunicación	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: Gateway de comunicación ➤ Protocolos: Modbus, TCP/IP, RS485, Ethernet, Zigbee ➤ Funciones: Agregación de datos, conversión de protocolos, transmisión segura
Sensores de Estado	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: Sensores de estado digital y analógico ➤ Funciones: Monitoreo de temperatura, vibración, presión, flujo de agua, voltaje, corriente ➤ Conectividad: Wireless, RS485
Cámaras de Vigilancia	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: Cámaras IP ➤ Resolución: Full HD o superior ➤ Funciones: Vigilancia en tiempo real, grabación, detección de movimiento ➤ Integración: Compatible con el sistema SCADA
Estación Meteorológica	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: Estación meteorológica compacta ➤ Funciones: Monitoreo de temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento, presión barométrica ➤ Conectividad: RS485, Ethernet
Servidor de Datos	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: Servidor en sitio o en la nube ➤ Capacidad: Adaptada a la cantidad de datos y tiempo de retención necesarios ➤ Funciones: Almacenamiento de datos, redundancia, acceso seguro
Pantalla HMI (Interfaz Hombre-Máquina)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: Pantalla táctil ➤ Tamaño: 7-15 pulgadas ➤ Funciones: Visualización en tiempo real, control de parámetros, alertas en sitio

	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Integración: Con el sistema SCADA y EMS
Software SCADA	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: Sistema de control y adquisición de datos ➤ Funciones: Control en tiempo real, visualización gráfica, generación de informes, control de alarmas ➤ Protocolos: OPC, Modbus, DNP3
Sistema de Alarmas y Notificaciones	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: Sistema de alarmas ➤ Funciones: Notificaciones por correo electrónico, SMS, y alertas en aplicación móvil ➤ Configuración: Personalizable según los umbrales de operación
Fuente de Alimentación de Emergencia	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: UPS (Sistema de Alimentación Ininterrumpida) ➤ Capacidad: Adaptada a la carga crítica del sistema de monitoreo ➤ Autonomía: Suficiente para mantener el sistema operativo durante cortes de energía temporales
Antivirus y Firewall	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: Software de seguridad ➤ Funciones: Protección contra malware y ataques cibernéticos, firewall para acceso seguro ➤ Actualizaciones: Automáticas y periódicas

Infraestructura Civil

La tabla 26 presenta las características sugeridas para la infraestructura civil necesaria para soportar la operación de la minicentral hidroeléctrica, incluyendo la turbina Michell-Banki, el generador eléctrico, el sistema de control y regulación, el transformador, los equipos de medición y control, el sistema de almacenamiento y gestión de energía, y el sistema de monitoreo remoto.

Tabla 26: *Componentes de infraestructura y características sugeridas*

Componente	Características Sugeridas
Edificio de la Casa de Máquinas	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Estructura: Hormigón armado o acero estructural ➤ Dimensiones: Adecuadas para albergar la turbina, generador, y equipos auxiliares ➤ Acceso: Puertas amplias y rampas para facilitar el mantenimiento ➤ Protección: Contra incendios y condiciones climáticas adversas

Fundaciones	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: Hormigón armado ➤ Capacidad de Carga: Diseñada para soportar la turbina, generador y transformador ➤ Reforzamiento: Según las especificaciones del suelo y cargas dinámicas generadas por los equipos
Canal de Desvío y Cámaras de Carga	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: Hormigón armado ➤ Dimensiones: Según el caudal y altura de caída neta ➤ Estructura: Reforzada para evitar filtraciones y erosión ➤ Acceso: Puertas de inspección y compuertas de regulación
Sistema de Drenaje	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: Canales y tuberías de drenaje ➤ Función: Evacuación eficiente del agua utilizada ➤ Materiales: PVC o acero inoxidable ➤ Mantenimiento: Fácil acceso para limpieza y mantenimiento
Almacenamiento de Energía y Sala de Control	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Estructura: Hormigón armado o acero estructural ➤ Dimensiones: Adecuadas para albergar baterías, inversores y equipos de control ➤ Seguridad: Sistemas de ventilación, detección de incendios y acceso controlado
Vías de Acceso y Áreas de Maniobra	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: Pavimentadas o grava compactada ➤ Dimensiones: Adecuadas para el transporte e instalación de equipos pesados ➤ Acceso: Rutas claras y señalizadas para vehículos de mantenimiento y emergencia
Sistemas de Protección Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: Barreras de contención, sistemas de tratamiento de aguas residuales ➤ Función: Minimizar el impacto ambiental de las operaciones ➤ Materiales: Adecuados para la protección del entorno y cumplimiento de normativas ambientales
Sistema de Iluminación y Ventilación	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: Iluminación LED y ventilación natural o forzada ➤ Función: Proveer un ambiente seguro y cómodo para el personal y operación de equipos ➤ Seguridad: Iluminación de emergencia y sistemas de extracción de aire en áreas críticas
Almacenamiento y Manejo de Residuos	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Estructura: Áreas designadas para residuos sólidos y peligrosos ➤ Función: Manejo adecuado y seguro de residuos generados ➤ Materiales: Contenedores y sistemas de almacenamiento aprobados para residuos específicos

Áreas de Oficinas y Personal	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Estructura: Hormigón armado o acero estructural ➤ Dimensiones: Adecuadas para albergar oficinas, vestuarios, y áreas de descanso ➤ Acceso: Controlado y seguro para el personal autorizado
Sistemas de Seguridad y Vigilancia	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo: Cámaras de vigilancia, sensores de movimiento, alarmas ➤ Función: Monitoreo y seguridad continua de las instalaciones ➤ Integración: Compatible con el sistema de monitoreo remoto y SCADA

3.3 Determinación de la factibilidad económica de la propuesta de una mini central hidroeléctrica, considerando los costos de instalación, operación y mantenimiento.

La tabla 27 resume los resultados clave del análisis financiero para la propuesta de una mini central hidroeléctrica, considerando los costos de instalación, operación y mantenimiento, así como los ingresos estimados.

Tabla 27: *Evaluación de Factibilidad Económica de la Mini Central Hidroeléctrica para la EPS Marañón*

Concepto	Valor
Inversión Inicial	S/ 540000.00
Ingresos Anuales	S/ 127233.92
Costos de Operación y Mantenimiento Anuales	S/ 43000.00
Flujo de Caja Neto Anual	S/ 84233.92
Tasa de Descuento	4.21%
Valor Actual Neto (VAN)	S/ 1,920,119.35
Tasa Interna de Retorno (TIR)	18.64%

El análisis financiero demuestra que la propuesta de la mini central hidroeléctrica es altamente factible desde una perspectiva económica. El Valor Actual Neto (VAN) positivo de S/ 1,920,119.35 indica que los ingresos futuros descontados superan ampliamente la inversión inicial y los costos operativos, lo que sugiere una alta rentabilidad del proyecto. La Tasa Interna de Retorno (TIR)

del 18.64% es significativamente superior a la tasa de descuento utilizada en el cálculo del VAN, que es del 4.21%.

Este resultado sugiere que el proyecto generará una rentabilidad promedio anual del 18.64% sobre la inversión inicial durante su vida útil, después de cubrir todos los costos operativos. Al comparar la TIR con la tasa de descuento utilizada en el cálculo del VAN (4.21%), se observa que la TIR supera considerablemente esta tasa, indicando que el proyecto no solo es viable, sino también una excelente oportunidad de inversión. La diferencia entre la TIR y la tasa de descuento resalta la solidez financiera del proyecto y su capacidad para generar valor a largo plazo para la EPS Marañón.

IV. DISCUSIÓN

La evaluación del potencial hidroeléctrico en la planta de tratamiento de agua potable de la EPS Marañón ha arrojado resultados prometedores. Los cálculos realizados indican que es factible generar energía eléctrica aprovechando el sistema de abastecimiento de agua. El análisis de los flujos de caja neta anuales muestra que los ingresos potenciales superan los costos de operación y mantenimiento, lo que sugiere que el proyecto sería rentable a lo largo del tiempo.

Estos resultados son consistentes con estudios anteriores que han demostrado la viabilidad de utilizar sistemas de abastecimiento de agua para la generación de energía eléctrica. En Colombia, León (2022) y en Ecuador, Ayala (2021) han realizado investigaciones similares, mostrando que este enfoque puede ser beneficioso para las comunidades locales al proporcionar una fuente de energía sostenible.

Las implicaciones prácticas de estos resultados son significativas. La generación de energía hidroeléctrica en la planta de tratamiento de agua potable no solo reduciría la dependencia de fuentes de energía no renovables, sino que también podría contribuir al desarrollo sostenible de la región al proporcionar una fuente de energía limpia y renovable.

Es importante reconocer las limitaciones propias de este estudio. La evaluación del potencial hidroeléctrico se basa en ciertas suposiciones y estimaciones que pueden no ser completamente precisas. Además, no se han tenido en cuenta posibles variaciones en el caudal de agua que podrían afectar la generación de energía eléctrica.

En conclusión, la evaluación del potencial hidroeléctrico en la planta de tratamiento de agua potable de la EPS Marañón sugiere que es factible y rentable implementar una mini central hidroeléctrica en el sitio. Se recomienda llevar a cabo estudios adicionales para validar los resultados y explorar aún más el potencial de esta fuente de energía renovable.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- El cálculo realizado utilizando las variables proporcionadas (densidad del agua, aceleración de la gravedad, caudal de agua, altura de caída neta y rendimiento de la central) indica que el potencial hidroeléctrico disponible en la planta de tratamiento de agua potable de la EPS Marañón es de 29,14 kilovatios. Esta cifra representa la potencia máxima teórica que se podría obtener mediante la instalación de una mini central hidroeléctrica aprovechando el caudal y la caída de agua disponible en la planta de tratamiento.
- Se ha propuesto un diseño detallado para la mini central hidroeléctrica, incluyendo la selección de una turbina Michell-Banki, un generador eléctrico, un sistema de control y regulación, un transformador y los equipos de medición y control necesarios. Además, se han sugerido las características de un sistema de almacenamiento y gestión de energía, un sistema de monitoreo remoto y la infraestructura civil requerida. El diseño propuesto tiene una potencia nominal de 30 kW, lo que cumple con el potencial hidroeléctrico calculado y permite aprovechar de manera eficiente los recursos hídricos disponibles en la planta de tratamiento.

El análisis financiero realizado demuestra que la propuesta de la mini central hidroeléctrica es económicamente factible. El Valor Actual Neto (VAN) positivo de S/ 1,920,119.35 indica que los ingresos futuros descontados superan la inversión inicial y los costos operativos, respaldando la viabilidad del proyecto. La Tasa Interna de Retorno (TIR) del 18.64% es significativamente superior a la tasa de descuento del 4.21%, lo que sugiere que el proyecto generará una rentabilidad promedio anual del 18.64% sobre la inversión inicial durante su vida útil, después de cubrir todos los costos operativos. Esta alta TIR demuestra que el proyecto no solo es viable, sino también una excelente oportunidad de inversión.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda llevar a cabo un monitoreo continuo del caudal y las condiciones hidrológicas en la planta de tratamiento de agua potable de la EPS Marañón para validar y actualizar periódicamente el potencial hidroeléctrico disponible. Esto permitirá una gestión más eficiente de los recursos hídricos y una mejor planificación de futuros proyectos de generación de energía hidroeléctrica.

- Se recomienda realizar un estudio detallado de impacto ambiental y social, así como consultas con la comunidad local, para garantizar que el diseño de la mini central hidroeléctrica en la planta de tratamiento de agua potable de la EPS Marañón sea sostenible y respetuoso con el medio ambiente. y las comunidades circundantes.

- se sugiere explorar oportunidades para mejorar la eficiencia y reducir los costos mediante la implementación de tecnologías y prácticas innovadoras en la gestión y operación de la mini central hidroeléctrica.

BIBLIOGRAFÍA

- Ayala, L. (2021). Estudio de pre-factibilidad para la implementación de una micro central hidroeléctrica utilizando el caudal de salida de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), Ibarra. [Universidad Técnica del Norte Facultad]. [http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/11282/2/04 MEL 115 TRABAJO GRADO.pdf](http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/11282/2/04_MEL_115_TRABAJO_GRADO.pdf)
- Chicaiza, A. (2019). Estudio de factibilidad técnica-económica para la modernización de la minicentral hidroeléctrica planta noroccidente perteneciente a la empresa pública metropolitana de agua potable y saneamiento de Quito (EPMAPS) [Escuela Politécnica Nacional]. In Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. [file:///C:/Users/USER/Downloads/CD 10100 \(1\).pdf](file:///C:/Users/USER/Downloads/CD_10100_(1).pdf)
- Cuacuas, J., y López, E. (2019). Propuesta de instalación de una pequeña central hidroeléctrica en el municipio Xicoteppec de Juárez , Puebla [Instituto Politécnica Nacional]. [file:///C:/Users/USER/Downloads/Tesis Oficial.pdf](file:///C:/Users/USER/Downloads/Tesis_Oficial.pdf)
- León López, W. (2022). Diseño de una PCH para la Generación de energía eléctrica aprovechando el sistema de abastecimiento de Agua a Riohacha Distrito Turístico y Cultural [Universidad Antonio Nariño]. http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/6715/1/2022_WilsonBladimirLeónLópez.pdf
- Ministerio de Energía y Minas. (n.d.). Energía y contribuciones determinadas a nivel nacional: Financiamiento. <https://www.sdfinance.undp.org/content/sdfinance/en/home/solutions/carbon-markets.html#mst-3>
- Mitchell, J., y Adams, R. (2021). Feasibility Assessment of Small-Scale Hydropower Installations in Remote Indigenous Communities.
- Monteza Huamán, D. R. (2022). Pequeña Central Hidroeléctrica de Agua Fluyente del Cauce del Rio Utcubamba, Ubicado en el Distrito de Bagua Grande – Provincia de Utcubamba – Departamento de Amazonas [Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. In Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. [https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/5092/BC-3893 BANCES PISCOYA-ROJAS PUICON.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/5092/BC-3893_BANCES_PISCOYA-ROJAS_PUICON.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

- Ogayar, B. (2019). Energía hidráulica (Elearning).
https://www.google.com.pe/books/edition/Energía_hidráulica/n3fIDwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=MINICENTRALES+HIDROELÉCTRICAS&printsec=frontcover
- Ortis, R. (2022). Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (Segunda).
https://www.google.com.pe/books/edition/Pequeñas_centrales_hidroeléctricas_2da/oANcEAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=MINICENTRALES+HIDROELÉCTRICAS&pg=PA34&printsec=frontcover
- Pinto, J., y Figueroa, J. J. (2021). Prefactibilidad para la Instalación de una Turbina Hidrocinética, para la Generación de Energía Eléctrica, en el Staff Achoma. Arequipa – 2020 [Universidad Antonio Ruiz Montoya].
https://repositorio.uarm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12833/2269/Pinto_Medina%2C_Juan_Percy_Figueroa_Ttito%2C_Juan_José_Tesis_Licenciatura_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Salazar, A., y Rodríguez, B. (2020). Evaluación de la Factibilidad Económica de una Central Hidroeléctrica de Pequeña Escala en Zonas Rurales
- Statista Research Department. (2024, May 22). Perú: Tasa de inflación anual 2015-2029. Statista. Retrieved from <https://es.statista.com/estadisticas/1190212/tasa-de-inflacion-peru/>
- Ramos Medina, A. (2023, julio 30). Sueldo mínimo 2023: ¿Qué gobierno elevó más la remuneración mínima vital en los últimos 20 años? Infobae Perú. Recuperado de <https://www.infobae.com/peru/2023/07/30/sueldo-minimo-2023-que-gobierno-elevo-mas-la-remuneracion-minima-vital-en-los-ultimos-20-anos/>
- Taica, H. (2018). “Estudio de factibilidad para la construcción de una mini central

hidroeléctrica en Carhuaquero – Huacataz - Cajamarca 2018.” In Universidad César Vallejo.

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/25132/taica_qh.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Tomairo, K. (2022). Evaluación del potencial hidroeléctrico, para abastecer la demanda de energía eléctrica de la planta de tratamiento de aguas residuales Huamanga 2021 [Escuela Académica Profesional de Ingeniería Eléctrica].
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12179/2/IV_FIN_10_9_TE_Tomairo_Villanueva_2022.pdf

Torres, C., y García, D. (2019). Potencial Hidroeléctrico y Análisis de Factibilidad para la Generación de Energía en la Planta de Tratamiento de Agua Potable Cajamarca.

Vargas Benambourg, D. (2019). Estudio de prefactibilidad para el Aprovechamiento Energético mediante Sistemas de Micro Generación Hidroeléctrica en líneas de agua potable para el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. [Tecnológico de Costa Rica]. In Tecnológico de Costa Rica.
https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10884/estudio_prefactibilidad_aprovechamiento_energetico_mediante_sistemas_micro_generacion_hidroelectric_a.pdf?sequence=1&isAllowed=y

DEDICATORÍA

A mis padres: Marianela y Melanio por el apoyo brindado, por no dejarme caer y siempre darme la mano en todo momento.

Jhefferson Anthony Condezo Cespedes

Dedicado a mis padres Agustín Alberca Pérez y Hilda Flor Cabrera Terrones por el sacrificio hecho de haberme criado y educado, a mi hermana mayor por el ejemplo, a mi hermano menor por el ejemplo que debe seguir de sus hermanos y a mi familia esposa e hijo porque son mi motor y motivo para salir adelante.

Deyni Brayan Alberca Cabrera

AGRADECIMIENTO

A mis hermanas y padres ya que fueron parte del proceso, sobre todo a Yajaira por siempre estar ahí a pesar de las diferencias. A Tatiana Roncal por estar pendiente de mi crecimiento personal y profesional en todo momento.

Jhefferson Anthony Condezo Cespedes


Agradezco a mis padres por formarme en valores; darme educación y estar en todo momento conmigo, gracias a ellos por enrumbarme por un buen camino, y ayudarme siempre a lograr mis metas, gracias a ellos se pudo lograr terminar mis estudios superiores y con ello se está logrando obtener el título de ingeniero mecánico electricista. gracias por todo

Deyni Brayan Alberca Cabrera

Anexos

Anexo A: Carta de presentación para realizar investigación en EPS Marañón S.A

**SOLICITUD DE CARTA DE PRESENTACIÓN PARA REALIZAR
INVESTIGACIÓN EN EPS MARAÑÓN S.A.**



Estimado

DR. EDWIN FÉLIX POICÓN.

Responsable de la Escuela de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Me dirijo a usted en mi calidad de egresados de la carrera de Ingeniería Mecánica y eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén. Junto con mi compañero de tesis, hemos desarrollado un proyecto de investigación titulado **"Factibilidad de Instalar Mini Central Hidroeléctrica en Planta de Tratamiento de Agua Potable de la EPS Marañón, Jaén"**.

Datos de los Tesistas:

- Deyni Brayan Alberca Cabrera / DNI: 70041463/ tef: 966172369
- Condezo Cespedes Jhefferson Anthony / DNI: 61651245 / tef: 955884794

Entidad de Interés:

- EPS Marañón S.A.

En este sentido, nos dirigimos a su departamento para solicitar formalmente una carta de presentación que nos permita acceder a la información relevante y necesaria para llevar a cabo nuestra investigación en la mencionada entidad.


Esta carta de presentación nos será de gran utilidad para obtener el permiso y la colaboración necesaria por parte de EPS Marañón S.A. Aspiramos a recopilar datos cruciales y realizar evaluaciones in situ que contribuirán al desarrollo de nuestra investigación y, en última instancia, aportarán conocimientos significativos a nuestra casa de estudio.

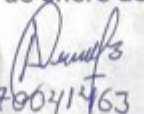
Agradecemos de antemano su colaboración en este proceso y quedamos a la espera de su respuesta positiva. Nos comprometemos a seguir todos los procedimientos y normativas establecidos por su departamento y EPS Marañón S.A., así como a proporcionar cualquier documentación adicional que pueda requerirse.

Quedamos a su disposición para cualquier aclaración o información adicional que pueda necesitar.


Agradecemos su atención y colaboración.

Jaén, 03 de enero del 2024


61651245


70041463

Anexo B: Carta de presentación de estudiante Condezo Cespedes Jhefferson Anthony



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE JAÉN

EXP. N°: 00705180

Jaén, 23 de enero de 2024

CARTA DE PRESENTACIÓN N° 012-2024-UNJ/VPA/FI

Señores
EMPRESA EPS MARAÑÓN S.A.
Jaén.-



ASUNTO: Presentación de estudiante de la Carrera Profesional de Ingeniería
Mecánica y Eléctrica

REF. : OFICIO N° 004-2024-UNJ/FI/EPIME

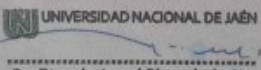
De mi consideración:

Es grato dirigirme a usted, para expresarle mi cordial saludo a nombre de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, y a la vez presentarle al Sr. JHEFFERSON ANTHONY CONDEZO CESPEDES, identificado con DNI N° 61651245 y con Código Universitario N° 2015210896, estudiante de la CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA de esta Universidad, quien esta actualmente desarrollando su proyecto de tesis denominado: "FACTIBILIDAD DE INSTALAR MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA EN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA EPS MARAÑÓN, JAÉN", aprobado con Resolución N° 303-2023-UNJ/FI de fecha 13 de noviembre de 2023.

En ese sentido, solicito se sirva brindar la información solicitada por los estudiantes, toda vez que es necesario para continuar con la ejecución del proyecto antes mencionado.


Sin otro particular expreso mis deferencias personales.

Atentamente,


UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dr. Ricardo Angel Shimabuku Ysa
Coordinador de la Facultad de Ingeniería

C.C.:
Archivo
Mariela M.

Anexo C: Carta de presentación de estudiante Alberca Cabrera Deyni Brayan



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE JAÉN

EXP. N°: 00705177

Jaén, 23 de enero de 2024

CARTA DE PRESENTACIÓN N° 011-2024-UNJ/VPA/FI

Señores
EMPRESA EPS MARAÑÓN S.A.
Jaén.-



ASUNTO: Presentación de estudiante de la Carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

REF. : OFICIO N° 004-2024-UNJ/FI/EPIME

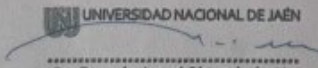
De mi consideración:

Es grato dirigirme a usted, para expresarle mi cordial saludo a nombre de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, y a la vez presentarle al Sr. DEYNI BRAYAN ALBERCA CABRERA, identificado con DNI N° 70041463 y con Código Universitario N° 2015210976, estudiante de la CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA de esta Universidad, quien esta actualmente desarrollando su proyecto de tesis denominado: "FACTIBILIDAD DE INSTALAR MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA EN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA EPS MARAÑÓN, JAÉN", aprobado con Resolución N° 303-2023-UNJ/FI de fecha 13 de noviembre de 2023.

En ese sentido, solicito se sirva brindar la información solicitada por los estudiantes, toda vez que es necesario para continuar con la ejecución del proyecto antes mencionado.

Sin otro particular expreso mis deferencias personales.


Atentamente,


UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dr. Ricardo Angel Shimabuku Ysa
Coordinador de la Facultad de Ingeniería

C.C.:
Archivo
Mariela M.

Anexo D: Suministro 36352487 (contrato) emitido el 05 de mayo de 2024

EVITA EL DENGUE, MALARIA Y CHINKUNGUNYA, LAVA Y ESCOBILLA LAS PAREDES DE TUS RECIPIENTES CADA TRES DIAS



Electro Oriente
Generando Progreso

EMPRESA REGIONAL DE SERVICIO PÚBLICO
DE ELECTRICIDAD DEL ORIENTE S.A.
AV. AUGUSTO FREYRE N° 1168 - IQUITOS - MAYNAS
R.U.C. 20103795631

Código 7210837000453 Salida: A2405 - SS.EE.: E242078
 Contrato 36352487 R. U. C. 20141814312
 Señores E.P.S. MARAÑON S.R.L.
 Direc. Legal Ca. A N° S/N Sector MAGLLANAL
 Localidad MAYORES
 Inroserie Nro. 02836516 EN 4 hilos

CONSUMO FACTURADO
ABR-2024
RECIBO N° S350-07266901

Emisión 05-MAY-2024
Vencimiento 20-MAY-2024

Pot.Cont.HP.	0.000	Tensión kV.	22.900
Pot.Cont.LP.	0.000	Conex. C.S.I Trifasico-Aereo (51690)	
Demanda Max.	16.70	Calificac. de Potencia	0.5650
Dem.Media HP(kW)	9.4406	Numero Horas Punta	130

Conceptos	Lectura		Diferencia	Factor	Consumo	Consumo Facturado	Precio Unitario	Importe Parcelal S/.
	Anterior	Actual						
Cargo Fijo Mensual	31-03-2024	30-04-2024				1.0000	14.0300	14.03
Energía Activa horas fuera de punta	14097.17	14270.95	173.78	22.7273	3949.5502	3949.5502	0.3515	1388.27
Energía Activa en horas punta	4113.26	4167.26	54	22.7273	1227.2742	1227.2742	0.3515	431.39
Energía Reactiva (kVar.h)	13853.19	14015.08	161.89	22.7273	3679.3226	2126.2753	0.0492	104.61
Potencia Generación presente en punta		0.735	0.735	22.7273	16.7046	16.7046	65.7300	1097.99
Potencia de Distribución fuera de punta		0.726	0.726	22.7273	16.5	16.7501	22.5500	377.71

DETALLES DE PAGOS ESPECIALES

Pilego Tarifario Resolucion OSINERGMIN N° 206-2013-OS/CD del 14-10-2013

TARIFA : MT4 LP	Parcial consumos mes	3414.00
	Alumbrado Publico	118.23
	Interes Compensatorio	11.05
	Int.Moratorio	0.41
	Redondeo Mes Anterior	-0.15
	Redondeo Mes Actual	0.14
	Total del Mes	3543.68
	Otros	53.32
	Total Recibo S/.	3597.00

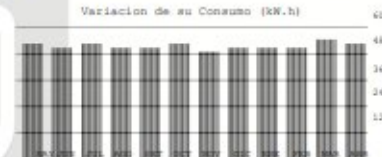
MENSAJES AL CLIENTE

ULTIMO DIA DE PAGO: 20-MAY-2024

*** DUPLICADO, SIN DERECHO A CREDITO FISCAL ***

	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
EAHP	1164	1145	1115	1149	1146	1211	1308	1181	1132	1153	1111	1221
EAFP	4048	3878	4879	3981	3953	4894	3823	4022	4900	3978	4313	3959
MDHP	15	14	15	14	14	15	16	14	16	16	16	16
MDFP	15	14	15	14	15	16	15	14	17	17	17	17
ER	3529	3436	3664	3688	3636	3688	3457	3628	3702	3523	3870	3679
Soles												


Variación de su Consumo (KW.h)



****DUPLICADO****

** LAS TARIFAS DE ELECTRICIDAD SON FIJADAS POR OSINERGMIN **

Contrato 36352487



Electro Oriente
R.U.C. 20103795631
No ESCRIBIR ni SELLAR en esta zona del recibo

Cons.Fact. ABR-2024
 Vencimiento 20-MAY-2024
 Código 7210837000453
 Tarifa MT4 LP
 RECIBO N° S350-07266901

TOTAL S/. 3597.00

BIENES TRANSFERIDOS / SERVICIOS PRESTADOS EN LA REGION DE LA SELVA PARA SER CONSUMIDO EN LA MISMA

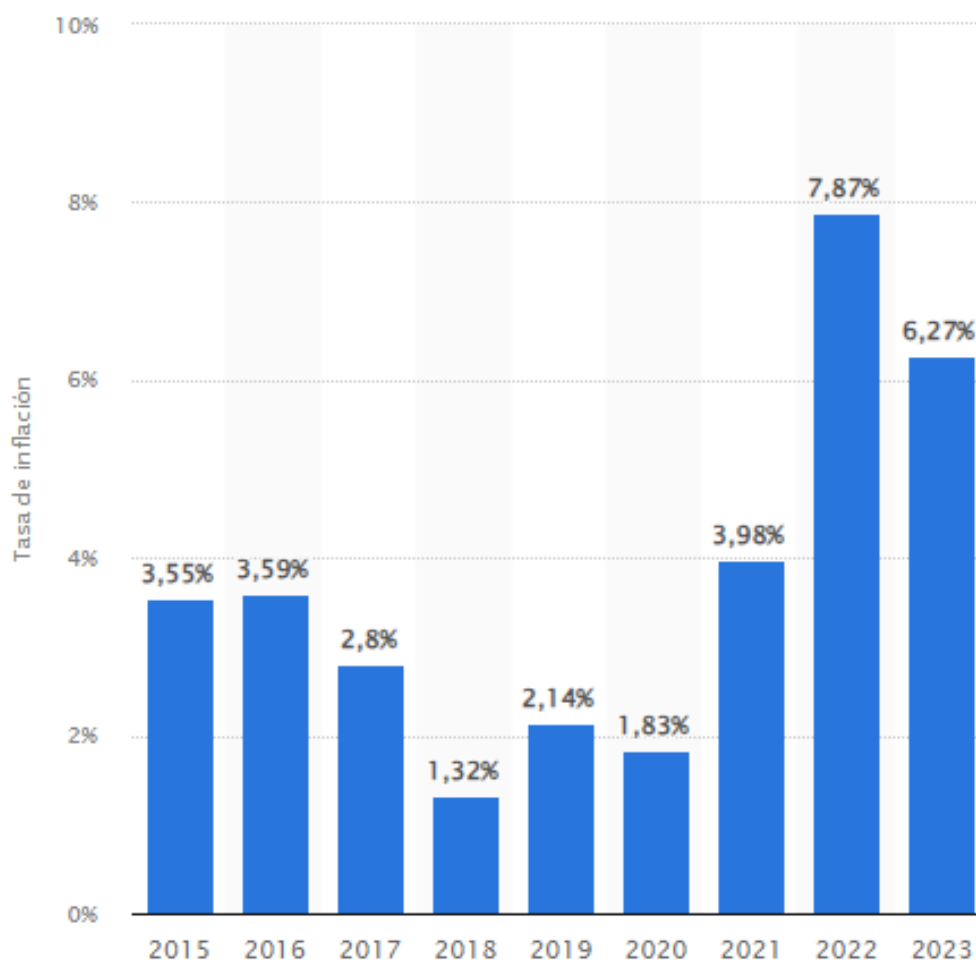
Anexo E: Panel de foto visitando a la EPS Marañón.







Anexo F: Evolución anual de la tasa de inflación en Perú desde 2015 hasta 2023



Fuente: <https://es.statista.com/estadisticas/1190212/tasa-de-inflacion-peru/>

Anexo G: Evolución en el tiempo del sueldo mínimo en Perú desde 2015 hasta 2023

Año	Sueldo mínimo (en Soles)	Porcentaje de aumento
2023	1.025,0	-
2022	1.025,0	-
2021	930,0	10.22%
2020	930,0	0.00%
2019	930,0	0.00%
2018	930,0	0.00%
2017	850,0	9.41%
2016	850,0	0.00%
2015	750,0	9.84%
Promedio		4.21%

Fuente: <https://www.infobae.com/peru/2023/07/30/sueldo-minimo-2023-que-gobierno-elevo-mas-la-remuneracion-minima-vital-en-los-ultimos-20-anos/>

Anexo H: Cotizaciones varios



CONSTRUCTORA Y SERVICIOS DEL NOR ORIENTE S.R.L.

R.U.C. 20487535231

- Consultoría Y Ejecución de Obras Civiles en General.
- Venta de Materiales de Construcción y Ferretería.
- Servicio de Alquiler de Maquinaria, Equipos de Construcción y Computo.

CONSOR

Cotización

A-00002

CIF/NIF	Cliente	Contacto	Fecha	Ciudad
123456789B	ANTHONY CONDEZO	ANTHONY CONDEZO	11/07/2024	JAÉN-CAJAMARCA
Teléfono	Dirección	Email	Descuento (%)	Forma de pago
978791869	Micaela bastidas n 1039 morro solar (2 piso) - Jaén.		0%	Contado

Item	Componente	Descripción	Cantidad	Unidad	Valor unitario	Valor Total
1	Edificio	Excavación	80	m ³	20	1600
2		Estructura	100	m ²	80	8000
3		Muros y paredes	200	m ²	40	8000
4		Techos	55	m ²	50	2750
5		Instalaciones eléctricas	50	m ²	25	1250
6		Instalaciones sanitarias	105	m ²	20	2100
7		Acabados	100	m ²	30	3000
8	Fundaciones	Excavación	80	m ³	20	1600
9		Armado de acero	1000	kg	1.5	1500
10		Concreto	35	m ³	100	3500
11	Canales	Excavación	100	m ³	15	1500
12		Revestimiento	100	m ²	25	2500
13		Desagüe y drenaje	70	m	10	700
14	Vias de Acceso	Nivelación y compactación	500	m ²	5	2500
15		Base y sub-base	210	m ³	30	6300
16		Pavimentación	160	m ²	20	3200


Asidelbrando Delgado Elera
 DNI: 27751350
 GERENTE GENERAL

Observaciones:	Importe	S/	50,000.00
Costo Unitario de Infraestructura Civil	Descuento	S/	-
	Subtotal	S/	50,000.00
	IGV	S/	-
	TOTAL	S/	50,000.00



CONSNOR

CONSTRUCTORA Y SERVICIOS DEL NOR ORIENTE S.R.L.

R.U.C. 20487535231

- Consultoría Y Ejecución de Obras Civiles en General.
- Venta de Materiales de Construcción y Ferrería.
- Servicio de Alquiler de Maquinaria, Equipos de Construcción y Computo.

Cotización

A-00004

CIF/NIF	Cliente	Contacto	Fecha	Ciudad
123456789B	ANTHONY CONDEZO	ANTHONY CONDEZO	11/07/2024	JAÉN-CAJAMARCA
Teléfono	Dirección	Email	Descuento (%)	Forma de pago
978791869	Micaela bastidas n 1039 morro solar (2 piso) - Jaén.		0%	Contado

Item	Componente	Descripción	Cantidad	Unidad	Valor unitario	Valor Total
1	Turbina Michell-Banki	Turbina de 35 kW, diámetro 0.5-1 m, acero inoxidable	1	und	70000	70000
2	Generador Eléctrico	Generador sincrónico de 35 kW, 600 rpm, 400V, IP54	1	und	38000	38000
3	Sistema de Control y Regulación	PLC, sensores, VFD, sistema AVR, relés de protección	1	und	37000	37000
4	Transformador	Transformador de aislamiento de 37.5 kVA, 380V/22kV	1	und	25000	25000
5	Equipos de Medición y Control	Medidores de caudal, nivel, presión, potencia, etc.	1	und	35000	35000
6	Sistema de Almacenamiento y Gestión de Energía	Baterías de ion-litio de 100 kWh, inversores, EMS	1	und	150000	150000
7	Sistema de Monitoreo Remoto	Plataforma en la nube, cámaras, sensores, SCADA	1	und	50000	50000
8	Infraestructura Civil	Edificio, fundaciones, canales, vías de acceso, etc.	1	und	50000	50000
9	Mano de Obra de Instalación	Instalación y puesta en marcha de los equipos	1	und	30000	30000
10	Transporte y Logística	Transporte de equipos y materiales	1	und	20000	20000
11	Ingeniería y Diseño	Servicios de ingeniería y diseño del proyecto	1	und	20000	20000
12	Permisos y Licencias	Permisos ambientales, licencias de construcción, etc.	1	und	15000	15000


Idelbrando Delgado Elvira
 DNI: 27751350
 GERENTE GENERAL

Observaciones:	Importe	S/	540,000.00
Presupuesto de Instalación de una Mini Central Hidroeléctrica	Descuento	S/	-
	Subtotal	S/	540,000.00
	IGV	S/	-
	TOTAL	S/	540,000.00



**CONSTRUCTORA Y SERVICIOS
DEL NOR ORIENTE S.R.L.**
R.U.C. 20487535231

- Consultoría Y Ejecución de Obras Civiles en General.
- Venta de Materiales de Construcción y Ferretería.
- Servicio de Alquiler de Maquinaria, Equipos de Construcción y Computo.

Cotización

A-00001

CONSNOR

CIF/NIF	Cliente	Contacto	Fecha	Ciudad
123456789B	ANTHONY CONDEZO	ANTHONY CONDEZO	11/07/2024	JAÉN-CAJAMARCA
Teléfono	Dirección	Email	Descuento (%)	Forma de pago
978791869	Micaela bastidas n 1039 morro solar (2 piso) - Jaén.		0%	Contado

Item	Descripción	Cantidad	Unidad	Valor unitario	Valor Total
1	Mano de obra	1			
1.1	Personal de operación y mantenimiento	12	und	3000	1200
01.2	Capacitación y entrenamiento	1	und	1000	2000
2	Mantenimiento programado	1		0	0
2.1	Turbina, generador, sistemas de control	1	und	4000	4000
2.2	Transformadores, líneas, subestación	1	und	2000	2000
2.3	Equipos de medición y monitoreo	1	und	1000	1000
2.4	Sistema de almacenamiento y gestión de energía	1	und	2000	2000
3	Mantenimiento correctivo	1		0	0
3.1	Reparaciones y reemplazos imprevistos	1	und	6000	6000
3.2	Repuestos y materiales	1	und	3000	3000
4	Costos de operación	1		0	0
4.1	Energía auxiliar	1	und	1000	1000
4.2	Consumibles	1	und	1000	1000
4.3	Seguros y gastos administrativos	1	und	2000	2000
5	Costos ambientales	1			0
5.1	Monitoreo y mitigación de impactos	1	und	3000	3000
5.2	Permisos y licencias	1	und	5000	4000

CONSTRUCTORA Y SERVICIOS DEL NOR ORIENTE S.R.L.

 R.U.C. 20487535231

 Micaela Bastidas

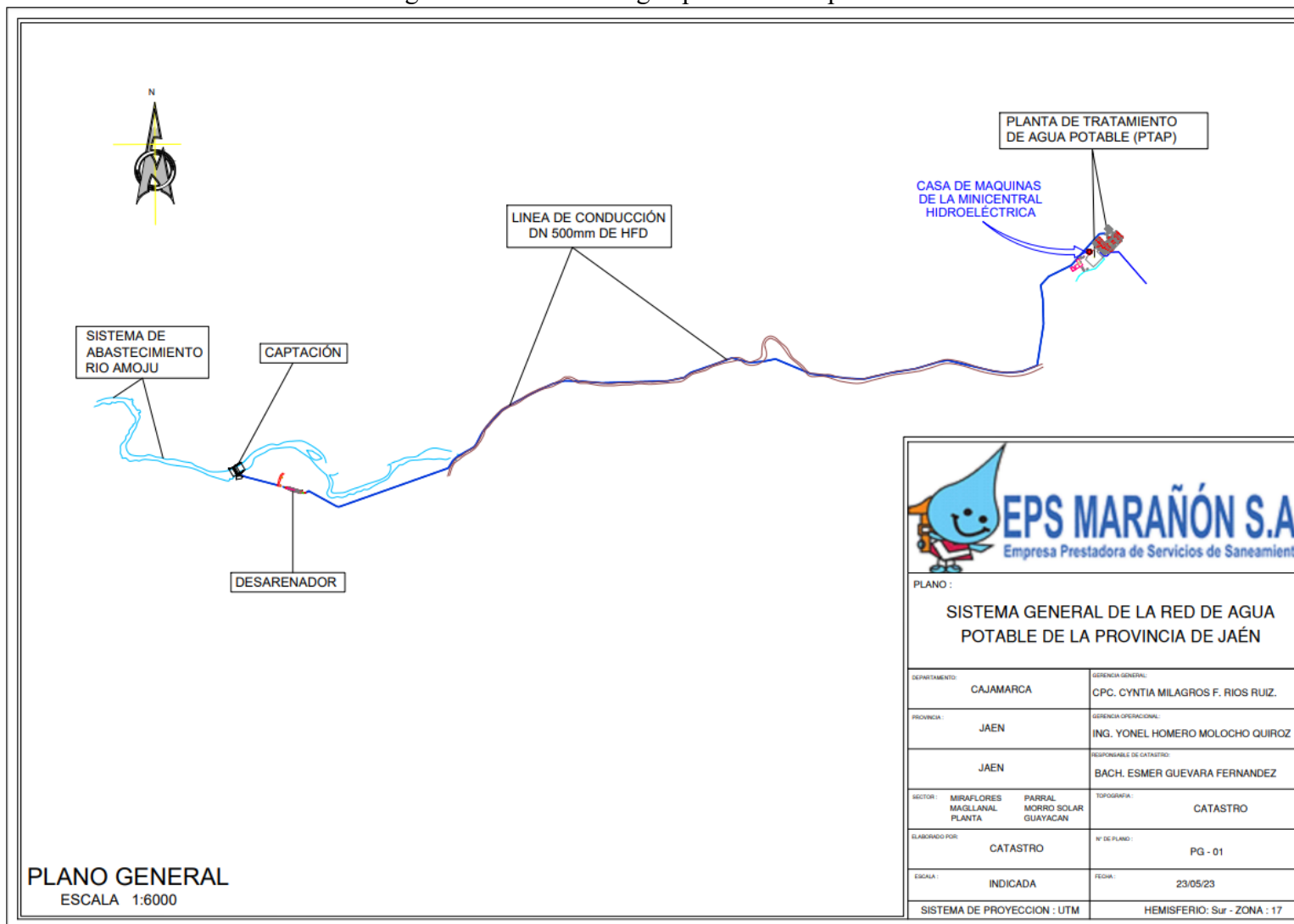
 Delegada General

 DNI: 27751350


 GENERAL GENERAL

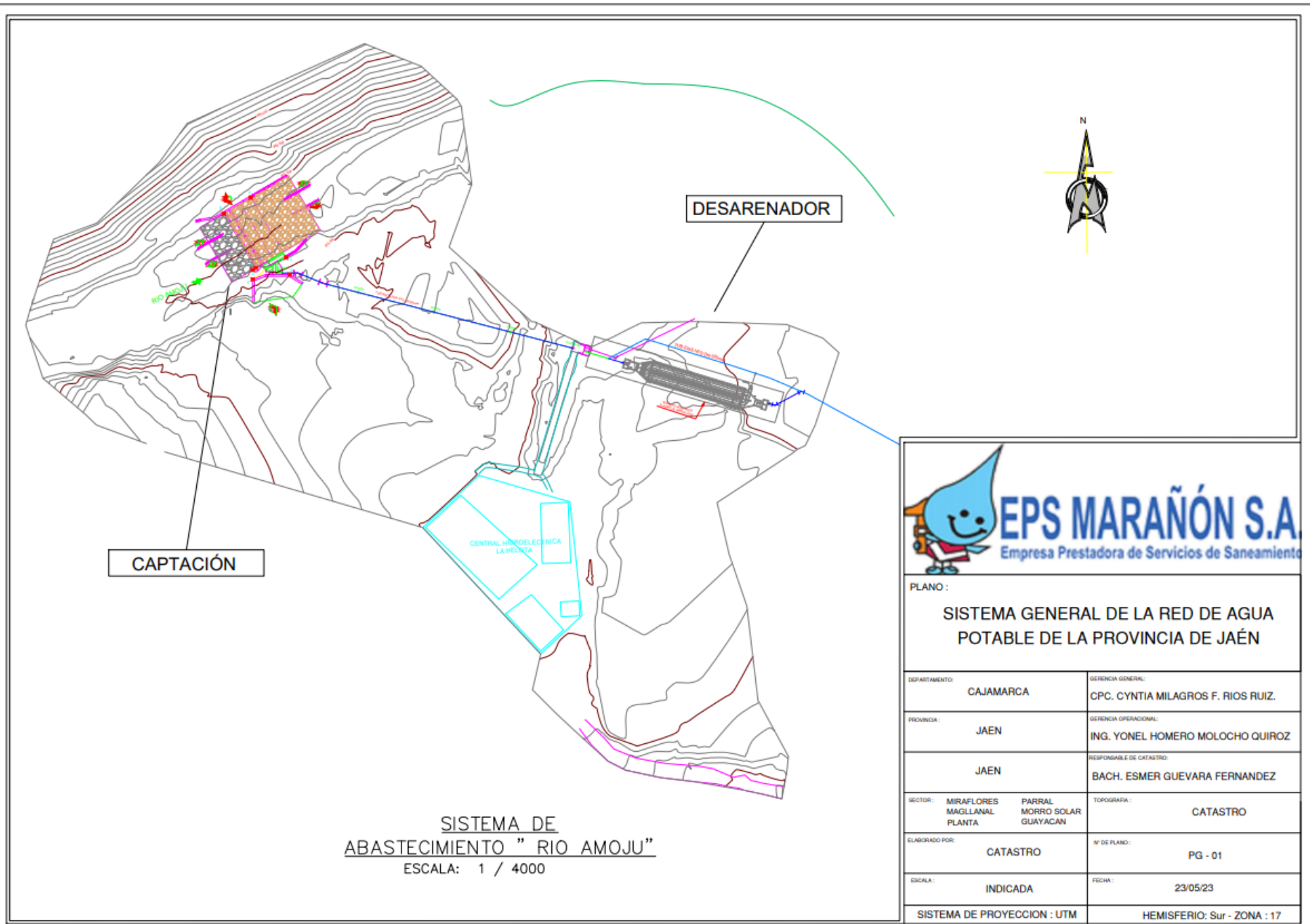
Observaciones: Costos Anuales de Operación y Mantenimiento de una Mini Central Hidroeléctrica	Importe	S/	43,000.00
	Descuento	S/	-
	Subtotal	S/	43,000.00
	IGV	S/	-
	TOTAL	S/	43,000.00

Anexo I: Planos catastral del sistema general de la red de agua potable de la provincia de Jaén



PLANO GENERAL
ESCALA 1:6000

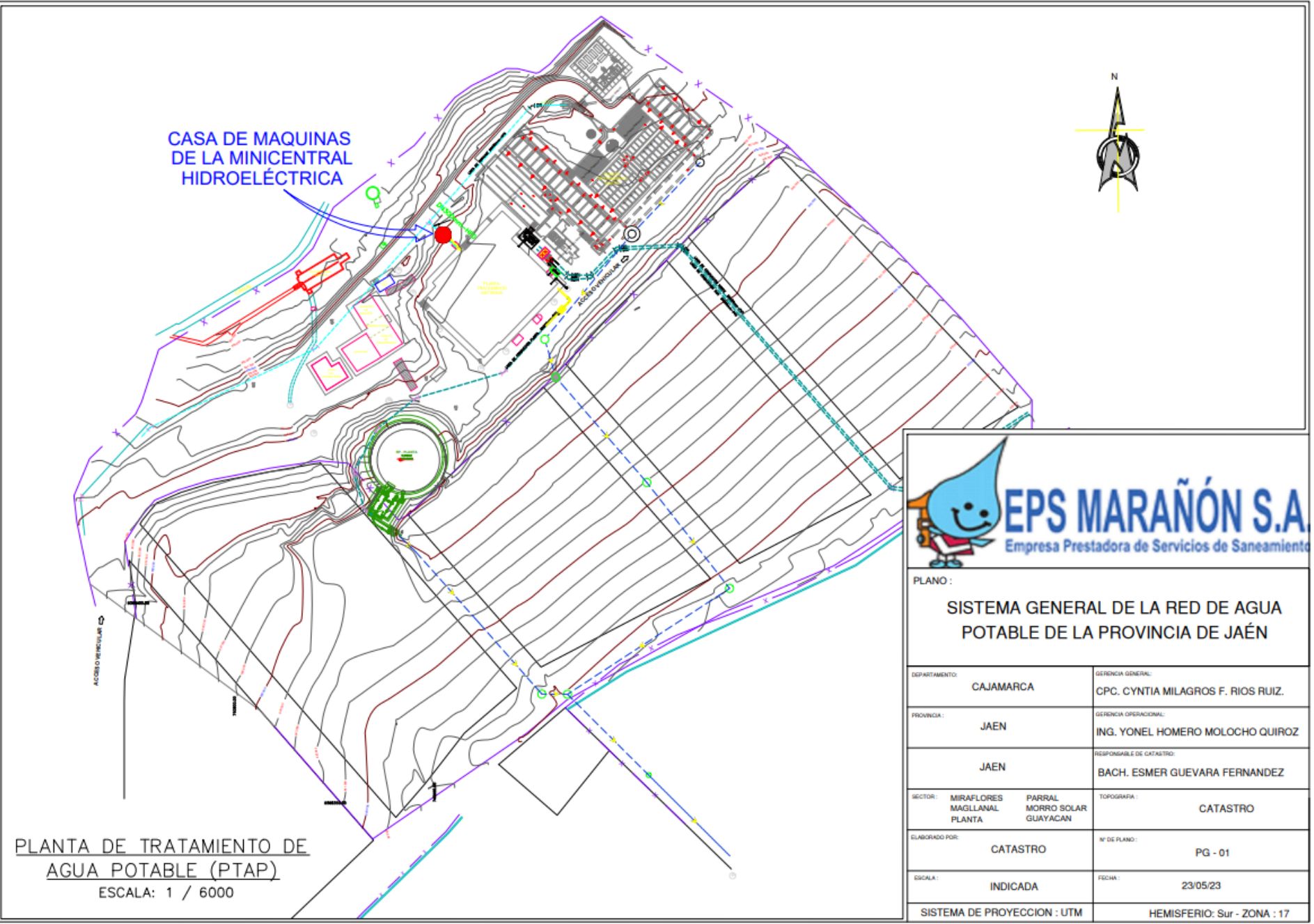
 EPS MARAÑÓN S.A. Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento	
PLANO : SISTEMA GENERAL DE LA RED DE AGUA POTABLE DE LA PROVINCIA DE JAÉN	
DEPARTAMENTO: CAJAMARCA	GERENCIA GENERAL: CPC. CYNTHIA MILAGROS F. RIOS RUIZ.
PROVINCIA: JAEN	GERENCIA OPERACIONAL: ING. YONEL HOMERO MOLOCHO QUIROZ
JAEN	RESPONSABLE DE CATASTRO: BACH. ESMER GUEVARA FERNANDEZ
SECTOR : MIRAFLORES MAGLLANAL PLANTA	TOPOGRAFIA: CATASTRO
ELABORADO POR: CATASTRO	N° DE PLANO: PG - 01
ESCALA: INDICADA	FECHA: 23/05/23
SISTEMA DE PROYECCION : UTM	HEMISFERIO: Sur - ZONA : 17



PLANO :
SISTEMA GENERAL DE LA RED DE AGUA POTABLE DE LA PROVINCIA DE JAÉN

DEPARTAMENTO:	CAJAMARCA	GERENCIA GENERAL:	CPC. CYNTHIA MILAGROS F. RIOS RUIZ.
PROVINCIA:	JAEN	GERENCIA OPERACIONAL:	ING. YONEL HOMERO MOLOCHO QUIROZ
	JAEN	RESPONSABLE DE CATASTRO:	BACH. ESMER GUEVARA FERNANDEZ
SECTOR:	MIRAFLORES MAGLLANAL PLANTA	PARRAL MORRO SOLAR GUAYACAN	TOPOGRAFIA: CATASTRO
ELABORADO POR:	CATASTRO	Nº DE PLANO:	PG - 01
ESCALA:	INDICADA	FECHA:	23/05/23
SISTEMA DE PROYECCION : UTM		HEMISFERIO: Sur - ZONA : 17	

SISTEMA DE ABASTECIMIENTO " RIO AMOJU "
 ESCALA: 1 / 4000



CASA DE MAQUINAS
DE LA MINICENTRAL
HIDROELÉCTRICA



ACCESO VEHICULAR

PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUA POTABLE (PTAP)
ESCALA: 1 / 6000

EPS MARAÑÓN S.A.
Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento

PLANO :
SISTEMA GENERAL DE LA RED DE AGUA POTABLE DE LA PROVINCIA DE JAÉN

DEPARTAMENTO:	CAJAMARCA	GERENCIA GENERAL:	CPC. CYNTHIA MILAGROS F. RIOS RUIZ.
PROVINCIA:	JAEN	GERENCIA OPERACIONAL:	ING. YONEL HOMERO MOLOCHO QUIROZ
	JAEN	RESPONSABLE DE CATASTRO:	BACH. ESMER GUEVARA FERNANDEZ
SECTOR:	MIRAFLORES MAGLLANAL PLANTA	PARRAL MORRO SOLAR GUAYACAN	TOPOGRAFIA: CATASTRO
ELABORADO POR:	CATASTRO	Nº DE PLANO:	PG - 01
ESCALA:	INDICADA	FECHA:	23/05/23
SISTEMA DE PROYECCION : UTM		HEMISFERIO: Sur - ZONA : 17	