

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Evaluación del potencial hidroeléctrico, para abastecer
la demanda de energía eléctrica de la planta de
tratamiento de aguas residuales Huamanga 2021**

Kevis Yurjen Tomairo Villanueva

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista

Huancayo, 2022

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

Dr. Ing. Carlos Quispe Anccasi

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios que me dio fuerzas y fe para creer que podía lograrlo. Cada día fue una lucha constante contra obstáculos, pero al final pude ver el resultado de la bendición de Dios.

A mi madre, Lucinda Villanueva Ñahuero, por cuidar siempre de mí, por haberme apoyado en todo momento, con sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien y por estar a mi lado en los momentos más importantes de mi vida.

A mi hermano Gover Lazarte Villanueva, quien fue como un padre y ejemplo de superación y competitividad.

Al Lic. Ciro Vivanco Chira, quien fue un padre para mí, siempre preocupándose por mí crecimiento y desarrollo como persona y profesional.

A mis hermanas, Mayli Y. García Villanueva, quien me motivo a seguir luchando por mis objetivos, y Ruth Tomairo Villanueva, quien siempre me tuvo presente en sus oraciones.

Agradezco a quien en vida fue el Ing. Eduardo Chuco Chuquillanqui quien fue una guía al inicio de este proyecto tesis.

Al Ing. Rudecindo Puiñcho Rodríguez quien me brindó información y abrió las puertas muy amablemente de las instalaciones de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga con la finalidad de recolectar información para el desarrollo de la tesis.

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a Dios por tantas alegrías que medio en la vida. A mi madre, F. Lucinda Villanueva Ñahuero, y hermanos, quienes fueron un soporte fundamental de apoyo y aliento durante todo el desarrollo de mi formación profesional.

ÍNDICE

ASESOR	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN.....	xiv
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema	1
1.1.1. Planteamiento del problema	1
1.1.2. Formulación del problema	6
1.1.2.1. Problema general.....	6
1.1.2.2. Problemas específicos	6
1.2. Objetivos	6
1.2.1. Objetivo general	6
1.2.2. Objetivos específicos.....	6
1.3. Justificación e importancia.....	7
1.3.1. Justificación técnica.....	7
1.3.2. Justificación económica.....	7
1.3.3. Justificación teórica	7
1.3.4. Justificación social.....	8
1.3.5. Justificación ambiental.....	8
1.3.6. Justificación legal	9
1.4. Hipótesis y variables.....	9

1.4.1.	Hipótesis general.....	9
1.4.2.	Hipótesis específicas.....	10
1.4.3.	Descripción y operacionalización de las variables.....	10
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....		12
2.1.	Antecedentes de la investigación.....	12
2.1.1.	Antecedentes internacionales.....	12
2.1.2.	Antecedentes nacionales.....	15
2.1.3.	Antecedentes regionales.....	17
2.2.	Bases teóricas.....	17
2.2.1.	Generación de energía eléctrica.....	17
2.2.2.	Energía del agua.....	18
2.2.3.	Energía y potencia del tramo.....	19
2.2.4.	Energía y potencia de la planta hidroeléctrica.....	22
2.2.5.	Factor de planta.....	27
2.2.6.	Demanda de energía eléctrica.....	27
2.2.7.	Cálculo de la demanda actual.....	27
2.2.7.1.	Método de Nosaki.....	28
2.2.7.2.	Método desarrollado por soluciones prácticas.....	28
2.2.7.3.	Método de demanda de energía (desarrollado por Ortiz).....	30
2.2.7.4.	Cálculo de la demanda con el método REA.....	31
2.2.7.5.	Cálculo de la demanda propuesta por PPL/GTZ.....	31
2.2.7.6.	Cálculo de la demanda mediante la curva de carga.....	32
2.2.8.	Cálculo de la demanda futura.....	42
2.2.8.1.	Fórmula estadística.....	42
2.2.9.	Evaluación del recurso hidroenergético.....	44
2.2.10.	Medición del salto.....	44
2.2.10.1.	Método de la manguera de nivelación.....	45
2.2.10.2.	Método de la manguera y manómetro.....	45

2.2.10.3.	Método del nivel de carpintero y reglas	46
2.2.10.4.	Método del altímetro	46
2.2.10.5.	Método del eclímetro y wincha	46
2.2.10.6.	Método del nivel de ingeniero	47
2.2.10.7.	Método del uso del GPS	49
2.2.11.	Medición del caudal	49
2.2.11.1.	Método de la solución de sal	49
2.2.11.2.	Método de recipiente.....	50
2.2.11.3.	Medidores de corriente o caudalímetro	50
2.2.11.4.	Método de selección de control y regla graduada	51
2.2.11.5.	Método del vertedero de pared delgada.....	51
2.2.12.	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga	52
2.2.13.	Objetivos principales PTAR Huamanga	53
2.2.14.	Características generales de la PTAR Huamanga.....	53
2.2.14.1.	Fase de tratamiento preliminar	53
2.2.14.2.	Fase de tratamiento primario	54
2.2.14.3.	Fase de tratamiento secundario	54
2.2.15.	Detalles técnicos de la PTAR Huamanga	55
2.2.15.1.	Suministro eléctrico.....	56
2.2.15.2.	Opción tarifaria.....	56
2.2.15.3.	Sistema de medición	57
2.3.	Definición de términos básicos	59
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....		60
3.1.	Método y alcance de la investigación	60
3.1.1.	El método sistémico.....	60
3.1.2.	Tipo de la investigación	60
3.1.3.	Nivel de la investigación	61
3.2.	Diseño de la investigación	61

3.3.	Población y muestra	62
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	62
3.4.1.	Procedimiento de extracción del perfil de carga de la PTAR Huamanga	62
3.4.2.	Medición del salto.....	65
3.4.3.	Medición del caudal.....	71
3.5.	Técnicas de análisis y procesamiento de datos.....	72
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		73
4.1.	Resultados del tratamiento y análisis de la información.....	73
4.1.1.	Análisis de la demanda eléctrica.....	73
4.1.1.1.	Análisis del perfil de carga	73
4.1.1.2.	Potencia consumida.....	75
4.1.1.3.	Energía consumida	76
4.1.2.	Análisis del potencial hidroeléctrico	77
4.1.2.1.	Medición de salto	77
4.1.2.2.	Medición del caudal	81
4.1.2.3.	Cálculo del potencial teórico de generación	85
4.2.	Prueba de hipótesis	91
4.2.1.	Prueba de normalidad.....	91
4.2.2.	Hipótesis general	91
4.2.3.	Hipótesis específicas.....	95
4.3.	Discusión e interpretación de resultados	98
4.3.1.	Discusión de resultados	98
4.3.2.	Interpretación de resultados.....	101
CONCLUSIONES.....		104
RECOMENDACIONES.....		106
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		107
ANEXOS		111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Eficiencia energética hidroeléctrica.....	3
Figura 2. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales - PTAR-Huamanga, Ayacucho.....	4
Figura 3. Caudal de ríos y lagunas que abastecen a hidroeléctricas debajo del promedio.	5
Figura 4. La energía hidráulica en el ciclo hidrológico.....	18
Figura 5. Determinación de la energía del tramo.	20
Figura 6. Altura de una planta hidroeléctrica.....	23
Figura 7. Eficiencias típicas del sistema para una micro central operando a plena carga.	25
Figura 8. Diagrama de carga para San Antonio de Lipez (año 2015).....	33
Figura 9. Diagrama unifilar de medición directa.	34
Figura 10. Diagrama unifilar de medición semi directa.....	34
Figura 11. Diagrama unifilar de medición indirecta.	35
Figura 12. Medidor electrónico Elster A1800.	36
Figura 13. Partes del medidor Elster A1800.....	37
Figura 14. Transformadores de corrientes toroidales.....	37
Figura 15. Sonda de extracción de datos Elster A1800.....	38
Figura 16. Entorno de extracción de data software Medercat.	39
Figura 17. Salto o caída de una fuente hídrica.....	45
Figura 18. Cálculo de la altura con nivel de ingeniero.....	48
Figura 19. Imagen satelital de la PTAR Huamanga.	52
Figura 20. Flujograma de funcionamiento de funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga.....	55
Figura 21. Suministro eléctrico de la PTAR - Huamanga.	56
Figura 22. Diagrama unifilar medición semi directa PTAR - Huamanga.....	57
Figura 23. Contador de energía PTAR – Huamanga.....	58
Figura 24. Transformador de corriente marca “Crompton Greaves” ratio 150/5 instalado en la PTAR - Huamanga.....	58
Figura 25. Sonda de extracción de datos Elster A1800.....	63
Figura 26. Computadora portátil usada para la extracción de perfil de carga por la concesionaria Electrocentro S.A.	63
Figura 27. Entorno de extracción de data software Metercad.	64
Figura 28. Ubicación georreferenciada de la cámara de carga.	66
Figura 29. Ubicación georreferenciada de la casa de máquinas.	67

Figura 30. Libreta de campo registro de cotas ubicación camada de carga y casa de máquinas.....	67
Figura 31. Equipo topográfico nivel de precisión marca Topcon, mira topográfica y trípode.	68
Figura 32. Levantamiento topográfico cámara de carga a casa de máquinas.....	69
Figura 33. Levantamiento topográfico casa de máquinas a cámara de carga.....	70
Figura 34. Libreta de campo levantamiento topográfico primera y segunda medición - altimetría.....	70
Figura 35. Caseta de medición del caudal - PTAR Huamanga.	71
Figura 36. Caudalímetro electrónico - PTAR Huamanga.	71
Figura 37. Registro de control del caudal 2004 a 2020 PTAR - Huamanga.	72
Figura 38. Gráfica de la demanda máxima mensual Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huamanga - análisis 2019, 2020 y 2021.....	76
Figura 39. Gráfica de la demandada de energía mensual - análisis 2019, 2020 y 2021...77	77
Figura 40. Perfil topográfico del terreno.	80
Figura 41. Gráfica de la curva de caudal mensual de los años 2004 a 2021.....	84
Figura 42. Caudal promedio anual registro 2004 - 2021.	85
Figura 43. Gráfica de la potencia disponible mensual - análisis 2019, 2020 y 2021.....	86
Figura 44. Energía disponible mensual - análisis 2019, 2020 y 2021.....	87
Figura 45. Demanda vs potencia útil - análisis 2019, 2020 y 2021.....	88
Figura 46. Demanda vs energía disponible - análisis 2019, 2020 y 2021.....	89
Figura 47. Histograma de la energía estimada.....	94
Figura 48. Demanda de la PTAR.	102
Figura 49. Crecimiento del caudal a través de los años.	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de las vertientes.	2
Tabla 2. Operacionalización de la variable dependiente.	11
Tabla 3. Operacionalización de la variable independiente.	11
Tabla 4. Rangos de eficiencia.	25
Tabla 5. Cálculo de la demanda.	29
Tabla 6. Perfil de carga extraído mediante el software Metercad.	39
Tabla 7. Crecimiento de la demanda por potencia y por energía.	43
Tabla 8. Registro de datos.	48
Tabla 9. Capacidad de caudal.	52
Tabla 10. Perfil de carga extraído mediante el software Metercad.	65
Tabla 11. Cuadro de control de perfil de carga de la PTAR-Huamanga.	74
Tabla 12. Potencia consumida de la PTAR 2019-2021.	75
Tabla 13. Demanda de energía mensual - Análisis 2019-2021.	76
Tabla 14. Registro de cotas GPS.	78
Tabla 15. Cálculo del salto mediante distancias verticales.	78
Tabla 16. Cálculo del salto mediante cotas.	79
Tabla 17. Cálculo de la distancia horizontal cámara de carga - casa de máquinas.	79
Tabla 18. Cuadro de control de caudal medida (l/s) afluente PTAR-Huamanga.	82
Tabla 19. Cuadro de control de caudal medida (m ³ /s) Afluente PTAR-Huamanga.	83
Tabla 20. Caudal promedio anual registro 2004 - 2021.	84
Tabla 21. Potencia disponible mensual - análisis 2019, 2020 y 2021.	85
Tabla 22. Energía disponible mensual - análisis 2019, 2020 y 2021.	86
Tabla 23. Cuadro comparativo demanda y potencia útil - análisis 2019, 2020 y 2021.	87
Tabla 24. Cuadro comparativo demanda y energía disponible - análisis 2019, 2020 y 2021.	89
Tabla 25. Estadísticos descriptivos.	92
Tabla 26. Datos ingresados en el software SPSS 21.	93
Tabla 27. Prueba de hipótesis general.	95
Tabla 28. Estadísticos descriptivos para la hipótesis específica.	96
Tabla 29. Prueba de hipótesis de la hipótesis específica.	97

RESUMEN

El trabajo de investigación tuvo por objetivo de evaluar el potencial hidroeléctrico disponible que posee la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga ya que técnicamente las instalaciones que posee la misma son similares a la de una mini o micro central hidroeléctrica. Utilizar la infraestructura con doble objetivo, será un gran beneficio para minimizar costos en una futura implementación de una micro central hidroeléctrica. A partir de ello, se estimó el potencial hidroeléctrico a través del estudio hidrológico y geográfico del objeto de estudio, paralelo a ello se realizó el estudio de la demanda eléctrica de la PTAR el cual toma un valor de $P_{max} = 10.452 \text{ kW}$.

El tipo de investigación fue científica básica descriptiva, de diseño descriptivo simple. Se usó para evaluar el nivel y tendencia del potencial hidroeléctrico que permitiría abastecer la demanda de energía eléctrica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga. Se realizó un muestreo mensual del caudal durante tres años (2019, 2020 y 2021), la técnica de recolección de datos usada fue la documental y los instrumentos utilizados son propios de la ingeniería eléctrica.

Para el desarrollo de la investigación, se evaluó la tendencia del potencial hidroeléctrico que se lograría con el caudal hídrico procesado por la PTAR, realizando así el registro mensual del caudal del año 2019 al 2021 teniendo un caudal medio de $0.362 \text{ m}^3/\text{s}$, del mismo modo se realizó la medición del salto teniendo un salto bruto de 10.956 m ; a partir del resultando, se determinó el salto útil de siendo este de 10.518 m . Así también, se evaluó la demanda eléctrica requerida por la PTAR en sus operaciones mediante el estudio del perfil de carga mensual del año 2019 al 2021 teniendo una potencia media de 7.983 kW .

Los resultados estadísticos fueron procesados el software SPSS, contrastados e interpretados en base a leyes y ecuaciones de la ingeniería de centrales hidroeléctricas para luego analizarlas con estadística descriptiva, donde como resultado se obtuvo que la potencia máxima de generación de la planta es de $P_{max} = 24.562 \text{ kW}$ a un caudal de $0.474 \text{ m}^3/\text{s}$ y la potencia mínima de generación es de $P_{min} = 16.414 \text{ kW}$ a un caudal de $0.330 \text{ m}^3/\text{s}$ y su potencia de generación media sería de 18.760 kW , y se tendría un factor de planta de $F_{c2019} = 0.121$, $F_{c2020} = 0.137$ y $F_{c2021} = 0.124$. De acuerdo a la evaluación de la energía hídrica, una micro central hidroeléctrica futura solo suministrará un pequeño porcentaje de su capacidad máxima de generación (P_{max}).

Palabras clave: potencial hidroeléctrico, mini o micro central hidroeléctrico, demanda máxima, potencia, generación, factor de planta.

ABSTRACT

The objective of the research work was to evaluate the available hydroelectric potential of the Huamanga wastewater treatment plant, because it has an infrastructure similar to a hydroelectric plant, the use of this system will allow reducing costs in a future implementation of a hydroelectric plant. micro hydroelectric plant. The hydroelectric potential was estimated by estimating the electrical demand of the WWTP and a hydrological study of the object of study, which was estimated at a value of 10.45 kW of demand.

The type of research was basic descriptive science, with a simple descriptive design. It was used to evaluate the level and trend of the hydroelectric potential that would allow supplying the electrical energy demand of the Huamanga Wastewater Treatment Plant. A monthly sampling of the flow was carried out for three years (2019, 2020 and 2021), the data collection technique used was documentary and the instruments used are typical of electrical engineering.

For the development of the research, the trend of the hydroelectric potential that would be achieved with the water flow processed by the WWTP was evaluated, thus making the monthly record of the flow from 2019 to 2021, having an average flow of $0.362 \text{ m}^3/\text{s}$, of the same mode the measurement of the jump was made having a gross jump of 10.956 m; From the result, the useful jump of 10.518 m was determined. Likewise, the electricity demand required by the WWTP in its operations was evaluated by studying the monthly load profile from 2019 to 2021, having an average power of 7.983 kW.

Statistical results were processed using Microsoft Excel software, contrasted and interpreted based on laws and equations of hydroelectric power plant engineering and then analyzed with descriptive statistics where as a result it was obtained that: the maximum power of the plant would be $P_{\max} = 24.562 \text{ kW}$ at a flow rate of $0.474 \text{ m}^3/\text{s}$ and the minimum power of $P_{\min} = 16.414 \text{ kW}$ at a flow rate of $0.330 \text{ m}^3/\text{s}$ and its average generation power would be 18.760 kW and we would have a plant factor of $F_{c2019} = 0.121$, $F_{c2020} = 0.137$ and $F_{c2021} = 0.124$. According to the estimation of hydroelectric energy, a micro hydroelectric plant will supply a small percentage of its maximum generation capacity (P_{\max}).

Key words: hydroelectric potential, mini or micro hydroelectric power plant, peak demand, power, generation, plant factor.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación, titulada “Evaluación del potencial hidroeléctrico, para abastecer la demanda de energía eléctrica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huamanga 2021”, contiene 4 capítulos.

CAPITULO I: contiene el planteamiento del problema, el cual nace como una iniciativa a darle un uso final al recurso hidráulico procesado por PTAR Huamanga el cual hoy en día es desperdiciado y vertido al río Alameda, ante ello se plantea la siguiente interrogante: ¿cómo evaluar el potencial hidroeléctrico que permitiría abastecer la demanda de energía eléctrica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga?, teniendo como objetivo evaluar el potencial hidroeléctrico en base a leyes y ecuaciones de la ingeniería de centrales hidroeléctricas y analizando los resultados con la estadística descriptiva. Además, el capítulo también contiene la justificación, la importancia, el alcance, las limitaciones y las hipótesis de la investigación.

CAPITULO II: contiene los antecedentes de la investigación, los cuales fueron escogidos según el tipo de estudio e investigación que realizaron, así también contiene las bases teóricas los cuales fueron estructurados de la siguiente manera: estudio de la demanda y estudio del potencial hidroeléctrico dentro de ello tenemos al estudio del estudio del caudal y salto y por último tenemos la descripción de detalles técnicos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Huamanga.

CAPITULO III: contiene la metodología de la investigación, el tipo y nivel de investigación, el diseño de la investigación a realizar, la población a estudiar, la técnica e instrumentos usados en la recolección de datos y concluyendo con la técnica de procesamiento de datos.

CAPITULO IV: contiene los resultados finales de la investigación, así también contiene el análisis de resultados y una discusión con los antecedentes, los mismos que fueron contrastados e interpretados en base a leyes y ecuaciones de la ingeniería de centrales hidroeléctricas y analizando los resultados con la estadística descriptiva, para finalmente dar como válido la hipótesis general con base en los resultados obtenidos luego del análisis estadístico.

Para terminar, se exponen las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

El autor.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

El Perú es un país mega biodiverso puesto que posee una gran diversidad de paisajes, biomas y ecosistemas (1). La Cordillera de los Andes es la cadena montañosa más larga de mundo, llegando a cruzar longitudinalmente todo el territorio peruano, con una elevación a más de 6 000 msnm. La verticalidad que posee el macizo andino, cerca al Océano Pacífico, hace que el país tenga una dinámica climática compleja y variada, lo que genera que seamos poseedores de gran potencial hidroeléctrico a lo largo del territorio peruano. El Ministerio de Energía y Minas, a través de la Dirección General de Electricidad, en su estudio titulado “Evaluación del Potencial Hidroeléctrico Nacional” detalla el potencial hidroeléctrico de todas las cuencas fluviales del territorio peruano, concluyendo que la vertiente del pacífico posee un potencial teórico de 29 257 MW, la vertiente del atlántico posee un potencial teórico de 176 287 MW y la vertiente del lago Titicaca posee un potencial teórico de 564 MW, siendo el potencial hidroeléctrico del país de 206 107 MW (2).

Tabla 1. *Características de las vertientes.*

Vertiente	Área (km ²)	Longitud de ríos (km)	Potencial teórico lineal (MW)	Potencial específico (MW/km)
Pacífico	229 060	19 2674	29 257	1.52
Lago Titicaca	45953	4 023	564	0.14
Atlántico	1 023 268	58 065	176 287	3.04
TOTAL	1 298 281	81 355	206 108	2.53

Fuente: Evaluación del potencial hidroeléctrico nacional, 1979.

Teóricamente, es el potencial que debemos aprovechar construyendo mini y micro centrales de generación hidroeléctrica en zonas donde se den las condiciones geográficas óptimas, pero no se realiza por el alto costo que implica ello. Se sabe que el país solo aprovecha, según el diario Gestión, una potencia de 77 000 MW. Como se observa, se está dejando de aprovechar gran potencial hidroeléctrico con el que cuenta el Perú; una fracción de ello es el potencial hidroeléctrico que posee la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga, puesto que la misma procesa diariamente un caudal aprovechable de 0.353 m³/s, el mismo que es desperdiciado y vertido luego de ser procesado al afluente, río Alameda, sin antes darle un último uso final.

La presente investigación nace con el objetivo de evaluar el potencial hidroeléctrico disponible que posee la PTAR Huamanga, la misma que a primera etapa serviría para cubrir la demanda máxima de 10.452 kW, el cual hoy en día es abastecido por la concesionaria Electrocentro S.A., siendo la misma un cliente mayor con tarifa eléctrica MT3. Para lo sucesivo se podría realizar pequeñas ampliaciones en MT para así abastecer de energía a pueblos jóvenes cercanos como Bq. Nadine Heredia Alarcón, ASC. Agroforestal Huarangales y Bq. Rumichaca.

factorenergia
Por fin hay otra luz

CASA NEGOCIO EMPRESA REVOLUCIÓN ENERGÉTICA

HOGARES Conócenos Tarifas Luz Tarifas Gas Sostenibilidad Cambia de compañía

Estás en: factorenergia > Blog > Eficiencia energética > La energía hidráulica



La energía hidráulica

Las energías renovables o alternativas cada día tienen un papel más importante en la generación de electricidad. Hoy hablaremos en profundidad sobre la energía hidráulica: qué es, cómo se genera y sus ventajas.

Figura 1. Eficiencia energética hidroeléctrica.

Fuente: Portal de Factor Energía.

La energía hidroeléctrica permite incrementar la eficiencia energética. El proceso de generación hidroeléctrico logra conseguir una eficiencia bastante alta, cercana al 90 %, vinculada a la conversión de la energía potencial del agua en energía eléctrica y no a procesos de conversión térmica de energía primaria como si es la situación de tecnologías que usan combustibles fósiles, cuya eficiencia puede estar en torno al 40 % y con un precio directo asociado al combustible de la energía no aprovechada, cosa que en la situación de la hidroelectricidad no pasa (3). De entre cada una de ellas, la tecnología de las minicentrales hidráulicas es la manera más respetuosa con el ambiente que se conoce para la generación de electricidad, como informa la Agrupación de Organizaciones de Energías Renovables (APPA) con base a los estudios de Estudio de Periodo de Vida (ACV) hechos para diversas tecnologías (4).



Figura 2. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales - PTAR-Huamanga, Ayacucho.

Fuente: SEDA Ayacucho (5).

Técnicamente, las instalaciones que posee la PTAR son similares a la de una mini o micro central hidroeléctrica, de modo que al utilizar la misma, con doble objetivo, sería un gran beneficio para minimizar costos en una futura implementación de una micro central hidroeléctrica. Si bien existen redes que pueden abastecer de energía eléctrica, se busca la generación de ésta a través de recursos renovables, lo cual genera un impacto ambiental negativo relativamente bajo en comparación con las fuentes generadoras clásicas. De acuerdo al Informe 2013 del Fondo Mundial para la Naturaleza (de siglas en inglés WWF), llamado “Mythbusters”, se precisa que, acabando con los mitos sobre energías renovables, “es necesario cuadruplicar el consumo actual de energías renovables para el año 2035 (en el mundo), de modo que se podría evitar la generación de emisiones de CO₂, hasta un 23 %” (6). Las centrales térmicas tienen gran ventaja al ser más baratas en construcción y operación, sin embargo, los costos de despacho de central hidráulica siempre serán más bajos.

La potencia generada en una central es dependiente del caudal turbinado y del salto útil, siendo este último dependiente paralelamente del grado que alcanza el agua en el embalse o zona de captación, las propiedades de las conducciones y de las magnitudes del área de descarga. El desarrollo de proyectos para instalar micro centrales y picos centrales de uso exclusivo, se fundamentan en estimar, ante todo, el potencial hidroeléctrico de la fuente hídrica para saber si es factible realizar el proyecto hidroeléctrico.

Para que la decisión de seleccionar la zona de interés sea considerada como adecuada, es necesario investigar sobre las condiciones hidrológicas de la zona. Esta última debe caracterizarse como una zona de altas precipitaciones, garantizando de esta manera ríos con caudales que posean potenciales hidráulicos elevados y constantes, sin dejar del lado un punto muy importante: el salto, ya que la combinación de estas dos características hidráulicas contribuye en gran manera a la generación de potencia eléctrica (7).



Figura 3. Caudal de ríos y lagunas que abastecen a hidroeléctricas debajo del promedio.

Fuente: Diario Gestión (8).

La energía hidráulica de los ríos, aprovechando los caudales y saltos, forma parte de alternativas de generación eléctrica en comunidades de mediana densidad de carga o usuarios con media-alta potencia instalada. El presente estudio se realiza con la finalidad de analizar previamente la prefactibilidad de la potencia eléctrica teórica que puede obtenerse de la PTAR-Huamanga para su autoconsumo, lo cual evitaría costos de compra de energía por parte de la empresa concesionaria local.

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Cómo evaluar el potencial hidroeléctrico para abastecer la demanda de energía eléctrica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huamanga 2021?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el potencial hidroeléctrico para abastecer la potencia máxima de demanda eléctrica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huamanga 2021?
- ¿Cuál es la demanda máxima de energía eléctrica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga 2021?
- ¿Cuál es la potencia máxima de demanda de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga 2021?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar el potencial hidroeléctrico para abastecer la demanda de energía eléctrica de la Planta d Tratamiento de Aguas Residuales Huamanga 2021.

1.2.2. Objetivos específicos

- Evaluar el potencial hidroeléctrico para abastecer la potencia máxima de demanda eléctrica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huamanga 2021.

- Determinar la demanda máxima de energía de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga 2021.
- Determinar la potencia máxima de demanda de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga 2021.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación técnica

La justificación técnica para la presente investigación tecnológica se basa en el aprovechamiento del recurso hídrico procesado por la planta, adicional a ello las instalaciones que posee la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga (PTAR-Huamanga), cuenta con las mismas instalaciones que técnicamente debe contar una mini o micro central hidroeléctrica, la cual garantizará su operación continua y crecimiento en el tiempo.

1.3.2. Justificación económica

La justificación económica de la presente investigación se basa en generar energía eléctrica de uso exclusivo para cubrir la demanda de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, Huamanga; esto generaría un ahorro significativo en su facturación de energía mensual, así mismo llevaría a la planta a ser auto sostenible mejorando así su rendimiento sin tener interrupciones a causa de fallas en el sistema eléctrico que lo alimenta. Todo ello sería en una primera etapa puesto que con el tiempo se podría ampliar el proyecto y así poder abastecer a sistemas eléctricos aislados como el Hospital Regional de Ayacucho o comunidades vecinas.

1.3.3. Justificación teórica

Esta investigación científica se realiza con la finalidad de aportar al conocimiento ya existente sobre la implementación de mini o micro

centrales hidroeléctricas en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), aprovechando tres factores: su infraestructura, recurso hídrico procesado y su geografía. Al evaluar toda la información obtenida luego del desarrollo de la presente investigación, se tendrá la oportunidad de generar nuevos conocimientos en el campo de la generación de energía eléctrica, así como también afianzar los conocimientos en diversas áreas y aplicaciones de la ingeniería.

1.3.4. Justificación social

La investigación realizada es de gran aporte a la sociedad ya que se iniciaría con la generación de energía eléctrica muy cerca a poblaciones en vías de desarrollo, o también llamados pueblos jóvenes, las mismas que no se encuentran electrificadas hasta la actualidad; dichas poblaciones serían las principales beneficiados con la energía generada en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga, ya que si se llegará a cubrir la demanda de la misma lo excedente se podría destinar para abastecer poblaciones pequeñas.

1.3.5. Justificación ambiental

La presente investigación está basada en el aprovechamiento de recursos renovables para producir energía limpia, en este caso se usará el agua procesada por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga, que hasta antes de la investigación se viene vertiendo al río Totorilla, dando así un uso final a la misma para generar energía eléctrica antes de desembocar la misma en el mismo afluente mencionado, para determinar si este proceso en sus diferentes etapas tendría posibles impactos ambientales; también se promoverá un Plan de Manejo Ambiental que involucre medidas de control, prevención, mitigación y compensación de los impactos negativos identificados.

1.3.6. Justificación legal

En los Artículos 82° y 85° de la Ley de Concesiones Eléctricas, se expresa detalladamente que en las zonas que se encuentren en la capacidad de habitabilidad necesaria para ser electrificadas, las Empresas Eléctricas prestadoras de servicio eléctrico deben suministrar energía a estos predios de manera obligatoria; debido a que estos lugares no cuenta con planes de electrificación y el presupuesto necesario y aprobado para poder electrificar dichas zonas, se demuestra que es importante el desarrollo de esta investigación, debido a que a través de esta tecnología se puede llegar a electrificar las zonas que se encuentran en lugares que la ley impone a que se le preste servicio público de electricidad a usuarios que no cuentan con redes primarias y/o secundarias para que usen este servicio.

Según el Decreto Legislativo N° 1002, en su Artículos 1° y 2°, se promueve, a través de sus organismos reguladores la promoción, el uso de energías renovables cuyos sistemas entren en operación comercial al sistema, y en el Artículo 3° se establece que con respecto a la generación hidroeléctrica, no debe superar 20 MW de la potencia instalada. Finalmente, en el Artículo 10° se precisa que, a través de la Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC), en coordinación con el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) y los gobiernos regionales, se tendrán que adecuar las formas y procesos para desarrollar proyectos de investigación sobre energías renovables, promoviendo la participación de las instituciones especializadas en la materia.

1.4. Hipótesis y variables

1.4.1. Hipótesis general

Se emplearon hipótesis descriptivas de un valor que se pronostica. Estas hipótesis se utilizan en estudios descriptivos, para intentar predecir un dato o valor en una o más variables que se van a medir u observar (9).

- H_1 : El potencial hidroeléctrico abastecerá la demanda de energía eléctrica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huamanga 2021.
- H_0 : El potencial hidroeléctrico no abastecerá la demanda de energía eléctrica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huamanga 2021.

1.4.2. Hipótesis específicas

- El potencial hidroeléctrico abastecerá la potencia máxima de demanda eléctrica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huamanga 2021.
 - o H_1 : El potencial hidroeléctrico abastecerá la potencia máxima de demanda eléctrica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huamanga 2021.
 - o H_0 : El potencial hidroeléctrico no abastecerá la potencia máxima de demanda eléctrica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huamanga 2021.
- La demanda máxima de energía de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga podrá ser abastecida por el potencial hidroeléctrico de la PTAR 2021.
- Determinar la potencia máxima de demanda de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga podrá ser abastecida por el potencial hidroeléctrico de la PTAR 2021.

1.4.3. Descripción y operacionalización de las variables

El trabajo de investigación desarrollada está compuesto por una variable dependiente, que es la potencial hidroeléctrico, y la variable independiente, que es la demanda de energía eléctrica de la PTAR; a continuación, se explica la operacionalización de variables con su definición conceptual, dimensiones, indicadores y el instrumento.

Tabla 2. *Operacionalización de la variable dependiente.*

Variable Dependiente: Potencial hidroeléctrico			
Definición Conceptual	Dimensiones	Indicador	Instrumento de Medición
El potencial hidroeléctrico definida como el estudio topográfico y caudal de una cuenca con la finalidad de determinar su capacidad de generación hidroeléctrica.	Salto útil	m	Nivel de ingeniero
	Caudal hídrico	m ³ /s	Caudalímetro

Fuente: elaboración propia.

Ya que la generación de energía eléctrica es la finalidad, no se debe dejar de lado que para determinar esta variable, se puede usar las dimensiones mencionadas, esto debido a que la energía eléctrica no es una dimensión directa, como la corriente eléctrica, la tensión eléctrica o el tiempo, pero que se puede medir directamente con el medidor multifunción electrónico Elster A1800.

Tabla 3. *Operacionalización de la variable independiente.*

Variable Independiente: Demanda de energía eléctrica			
Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Tratamiento
Definida como la cantidad de energía eléctrica que consume un cliente para abastecer sus necesidades.	Energía eléctrica	kW/h	Medidor multifunción

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

En la investigación titulada “Diseño de una mini central de energía hidroeléctrica en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Cuenca”, se llegó a las siguientes conclusiones: los pequeños proyectos hidroeléctricos tienen la capacidad de abastecer de energía eléctrica a sectores rurales. La utilización de infraestructura dentro de zonas urbanas, reduce los costos de construcción de infraestructura nueva, el cual se reutiliza los proyectos existentes. Los equipos que ya se utilizan en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, se puede aprovechar para la instalación de micro centrales hidroeléctricas (dependiendo del potencial hídrico). Si la planta de tratamiento, a través de la instalación de una central de generación, se busca que sea rentable a largo plazo, se debe sobredimensionar el diseño de la central para que abastezca la demanda energética. Se debe tener en consideración que, al realizar el diseño de una central de uso exclusivo, se debe modificar el sistema eléctrico existente, la cual permitirá mejorar la confiabilidad de la PTAR (10).

En la investigación titulada “Evaluación del potencial energético de la línea de conducción para agua potable Presa Chiquihurco - Planta de

Tratamiento Apatug 2013. Diseño de un sistema para el aprovechamiento de la energía hidráulica”, se evaluó el potencial energético de la línea de conducción para agua potable proveniente de la Presa Chiquihurco, provincia de Tungurahua, en base a la fundamentación teórica y los estudios hidrológicos, topográficos y geotécnicos desarrollados en el área de estudio. En la iniciativa se diseña una pequeña central hidroeléctrica que también de aprovechar el caudal hídrico facilitada a la Compañía Pública - Compañía Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato (EP-EMAPA-A) y las particulares condiciones topográficas del lote por donde cruza la línea de conducción que lleva esa agua hacia la planta de procedimiento, asegura la máxima generación viable de energía y la continuidad en el abasto de agua por gravedad hacia la planta de procedimiento, todavía en situaciones en las que sea primordial detener el desempeño de la turbina por mantenimientos o por imprevistos (11).

En la investigación titulada “Estudio de la viabilidad para el aprovechamiento del potencial hidráulico del río Barro Blanco en la finca Zamaixira ubicada en Silvania Cundinamarca”, se concluyó que gracias a la alta variabilidad que se muestra en el río en las temporadas de lluvia y sequía se hace bastante complejo el aprovechamiento de la energía del río, puesto a que en temporada baja (sequía) las turbinas hidrocinéticas no alcanzan a surtir el sector. Según las propiedades del área el potencial hidráulico que suministra el flujo de agua, es de 1 kW para la relación salto/caudal, lo cual no llega a cubrir la demanda (12).

En la investigación titulada “Cálculo y selección de una micro central hidroeléctrica empleando como fluido de trabajo un sistema de riego”, se realizó la propuesta del cálculo y selección de una micro central hidroeléctrica, trabajando con el flujo de un sistema de riego proveniente de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, en la región del Valle del Mezquita, para aprovechar la energía presente en el entorno con la finalidad de generar energía eléctrica. Se tomaron valores recomendados de elevación de salto y una potencia aproximada generada a dicha elevación, datos con los que se concluyó que el caudal primordial en sistema para todas las situaciones que iban a partir de una comunidad o sector hasta una sociedad y/o industria. La utilización de fuentes de

generación con recursos aprovechables propias de las comunidades, ofrece excelentes posibilidades de desarrollo local (13).

En la investigación titulada “Evaluación del potencial hidroeléctrico del río la gavia por variación espacio - temporal del caudal”, se menciona que la evaluación del recurso natural es indispensable para cualquier tipo de aprovechamiento con la finalidad de mantener un equilibrio, esto se logra a través de la aplicación de distintos métodos para elegir de este modo el que mejor se adapte a las necesidades y objetivos del proyecto. Los métodos teóricos de cálculo de caudales racional y HMS-SCS, permiten dar un acercamiento al comportamiento del recurso asociados a distintos periodos de tiempo (períodos de retorno). Estos métodos pueden ser evaluados y comparados con otros resultados de análisis de escenarios actuales a partir de aforos en sitio, así como los registros históricos de estaciones hidrométricas (14).

Así también, en el citado trabajo de investigación se aplicaron dos métodos de parámetros concentrados para el cálculo de caudales teóricos: el método racional y el empleado por el software Hec-HMS (The Hydrologic Modeling System) basado en la metodología propuesta por el SCS (Soil Conservation Service), con la finalidad de comparar y analizar el comportamiento de variables dentro de los mismos para obtener un estudio preliminar de viabilidad energética. Desde ello se hizo una evaluación general del comportamiento del flujo y se llevó a cabo el diseño preliminar de la obra de toma para el aprovechamiento energético bajo las condiciones de flujo a área independiente. Se tuvo como fin primordial la aceleración del flujo en un canal para generación hidroeléctrica respetando el rango de escurrimiento que posibilite solamente el paso por la obra de toma sin dañar las zonas adyacentes al flujo de agua, y de esta forma tener en cuenta de medidas ecológicas para la circulación del flujo. Dentro de proyectos de diseño, investigación y ejecución de centrales de generación eléctrica, sede tener un desarrollo adecuado de la viabilidad ambiental, los principales efectos que se considera en una central hidroeléctrica es la evaluación de los efectos adversos y las perturbaciones ocasionadas a comunidades, geografía, flora y fauna (14).

2.1.2. Antecedentes nacionales

La investigación titulada: “Estudio del potencial hidroeléctrico en la Laguna el Sauce - Tarapoto para satisfacer el incremento de demanda eléctrica región San Martín”, está enmarcada dentro del plan de desarrollo energético del Perú para los próximos años, en el cual estipula la relación entre el crecimiento del mercado eléctrico, tanto en el consumo y la generación de energía eléctrica. La información se obtuvo de la Estación Meteorológica el Sauce, la cual es administrada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), determinándose los niveles de elevación de agua que alcanza la laguna el sauce a lo extenso de los meses del año, del mismo modo se logró la proyección del sector eléctrico en la zona San Martín. Se logró la proyección de la producción de la potencia de generación y la energía producida por la central hidroeléctrica para una época de 20 años, en funcionalidad a los niveles de agua en la laguna del sauce, relacionando el aporte de energía eléctrica de la mini central para la zona San Martín, tanto en máxima demanda y energía eléctrica consumida. Al final usando indicadores económicos, se estableció la factibilidad de la inversión, teniendo presente que es a largo plazo, con tasas de intereses en el que el estado incentiva el aumento de la generación de energía eléctrica renovable común (15).

En la investigación titulada “Estudio de desarrollo de un proyecto de generación hidroeléctrica”, se aborda un plan de inversión en generación eléctrica tiene por finalidad proporcionar energía; esto implica la planeación integral de puntos administrativos y técnicos con el objetivo de obtener la concesión definitiva del plan. De esa manera, la tesis se orientó al desarrollo de un Análisis de Prefactibilidad de un plan de pequeña central hidroeléctrica (PCH) en la zona Pasco, con el objetivo de fomentar la inversión en proyectos de generación hidroeléctrica (16). El desarrollo de investigaciones de campo de los estudios básicos (sean del tipo hidrológicas, geotécnicas o ambientales), así como la tramitación de los procedimientos administrativos respectivos, permitirán otorgar el carácter de Estudio de Factibilidad al Proyecto (16).

En la investigación titulada “Estudio y diseño a nivel preliminar de una pequeña central hidroeléctrica en el distrito de Comas, provincia de Concepción perteneciente al departamento de Junín”, enuncia y pretende demostrar la viabilidad de desarrollar un proyecto de una pequeña central Hidroeléctrica en el pueblo de Comas, en la provincia de Concepción del departamento de Junín, para lo cual se realiza un análisis tanto de la demanda del recurso hídrico como de la demanda energética de la zona, con lo que posteriormente se realiza un pre dimensionamiento de las estructuras hidráulicas y de los demás equipos electromecánicos para obtener un presupuesto (17).

En la investigación titulada “Estudio de factibilidad para la construcción de una mini central hidroeléctrica en Carhuaquero - Huacataz - Cajamarca 2018”, se precisa que la energía eléctrica es imprescindible para el desarrollo nacional; la necesidad de electrificación a las comunidades más alejadas de las zonas urbana permite que las investigaciones en desarrollo y diseño de múltiples fuentes de generación sean necesarias. Con la propuesta de la creación de una mini central hidroeléctrica, es necesario determinar la factibilidad de dotar de energía eléctrica a las diferentes localidades del país. En la actualidad, el nivel de electrificación rural queda insatisfecha por los diferentes problemas de logística, factibilidad de conexión a red y costos que, para sectores rurales, son insatisfechas. Un diseño adecuado cubre el déficit y se garantiza la demanda de energía eléctrica exigida por la población a un largo plazo (18).

En la investigación titulada “Estudio y diseño a nivel de perfil de una central hidroeléctrica en el río Blanco, distrito de San Gabán, provincia de Carabaya, departamento de Puno”, se realizó una iniciativa de instalar una central hidroeléctrica en las aguas del río Blanco. En el mes de julio se efectuó una primera expedición hasta el sector alta del flujo de agua, con el fin de reconocer el área y evaluar preliminarmente las maneras de instalar una central hidroeléctrica. Siendo positivas las condiciones visualizadas y además evaluadas con imágenes satelitales, en el mes de octubre de 2016 se hizo una primera medición del caudal del flujo de agua en el punto dispuesto para las obras de derivación y toma de agua. Desde este dato, se desarrolló una correlación con los datos de la cuenca San

Gabán, generando de esta forma, un histórico de caudales del flujo de agua blanco y consecuentemente la persistencia del mismo. Para decidir la elevación geodésica, se logró uso de un dispositivo de posicionamiento universal satelital, contrastando al final la idoneidad del área para una central hidroeléctrica. Al final, para la evaluación económica, se ha considerado que la central hidroeléctrica, al ser del tipo RER, efectúa su comercialización en el mercado de Subasta RER (19).

2.1.3. Antecedentes regionales

En la investigación titulada “Estudio de impacto ambiental y modelamiento de una pequeña central hidroeléctrica en la cuenca del río Tambo”, se estudió acerca de la electrificación rural por medio de pequeñas hidroeléctricas, la cual es una alternativa posible que conllevará al crecimiento de la extensión de la frontera eléctrica, con energías renovables, para las zonas recludas de extrema pobreza que se hallan con bajo índice en el coeficiente de electrificación del Perú. La potencia eléctrica que se puede generar para cubrir las demandas está en función directa del caudal, por tanto es importante determinar correctamente el caudal ecológico ya que esto fijará el máximo caudal aprovechable para la generación de potencia (20).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Generación de energía eléctrica

La generación de energía eléctrica consiste en aprovechar la energía química, cinética, lumínica, nuclear, solar, entre otras para generar energía eléctrica, la misma que se clasifica en dos grandes grupos según su fuente:

- Fuentes de generación renovable.
- Fuentes de generación no renovable.

2.2.2. Energía del agua

Esta energía inicia su ciclo cuando la radiación de sol hace que el agua se evapore para luego condensarse en las nubes; los vientos arrastran éstas hasta las regiones montañosas donde estas se manifiestan en forma de nieve o lluvia. Las aguas de lluvia en estas regiones se unen con los manantiales, formando así ríos y quebradas que por acción de la gravedad y la geografía de estas regiones retorna al mar para así iniciar el ciclo una vez más.

A grandes rasgos, teniendo en cuenta los niveles de precipitación media anual en el mundo y la altura media de los terrenos sobre el nivel del suelo, puede estimarse que la energía potencial hidráulica es equivalente a casi el doble del consumo anual de energía primaria en el mundo, sin embargo, es evidente que un porcentaje del potencial estimado no puede ser explotado, ya que una parte del agua será siempre inaccesible y otra se evaporará antes de que pueda usarse (21).

Si se utiliza el caudal medio de los ríos para estimar el potencial hidráulico mundial se concluye que la energía total anual es, aproximadamente, una cuarta parte del estimado a partir de las precipitaciones.

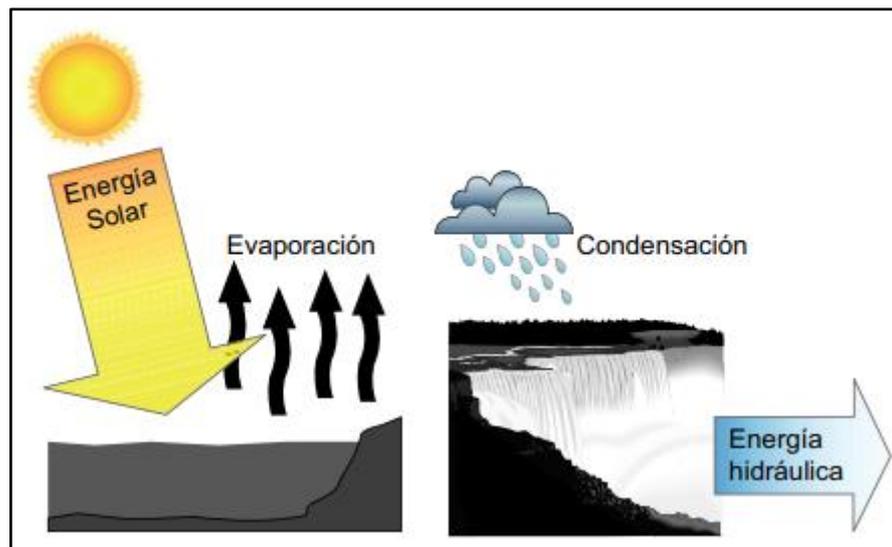


Figura 4. La energía hidráulica en el ciclo hidrológico.

Fuente: Carta *et al.* (21).

- Energía potencial: es la capacidad de un cuerpo para realizar un trabajo en función a su posición o configuración en relación a un punto de referencia (8).
- Energía cinética: es la energía que proviene del movimiento de un cuerpo, está definida como el trabajo necesario para acelerar un cuerpo que se encuentra en reposo hasta alcanzar velocidades mayores. Según la mecánica clásica se puede calcular por la ecuación del trabajo (segunda ley de Newton) (8).

$$E_c = W = \int \vec{F} * \vec{dr} = \int m \frac{dv}{dt} * \vec{v} dt = 1/2 mv^2$$

La ecuación anterior refleja la fórmula para determinar el trabajo de un cuerpo al estar sometido a una velocidad. De la ecuación se puede analizar que la energía cinética es mayor cuanto más es la rapidez, la cual es una medida dependiente del sistema de referencia. Si hablamos de la hidrodinámica la energía cinética de un fluido, depende de la densidad del fluido entonces resulta que:

$$e_c = \frac{1}{2} * \rho v^2$$

Donde:

- ρ = densidad de fluido.
- v = velocidad.

2.2.3. Energía y potencia del tramo

Un afluente dirige sus aguas desde las altas montañas hacia el mar; dicho fenómeno representa una cierta potencia y desde luego una energía que se puede aprovechar. Cuando se piensa en instalar una hidroeléctrica, se realizan ciertos cálculos para determinar su futura potencia; ello inicia calculando la potencia del tramo, el mismo que será el trayecto que tiene desde donde será la obra de toma hasta donde será el desfogue. Para ello se aplica la ecuación de Bernoulli en una sección del tramo 1-1 (22).

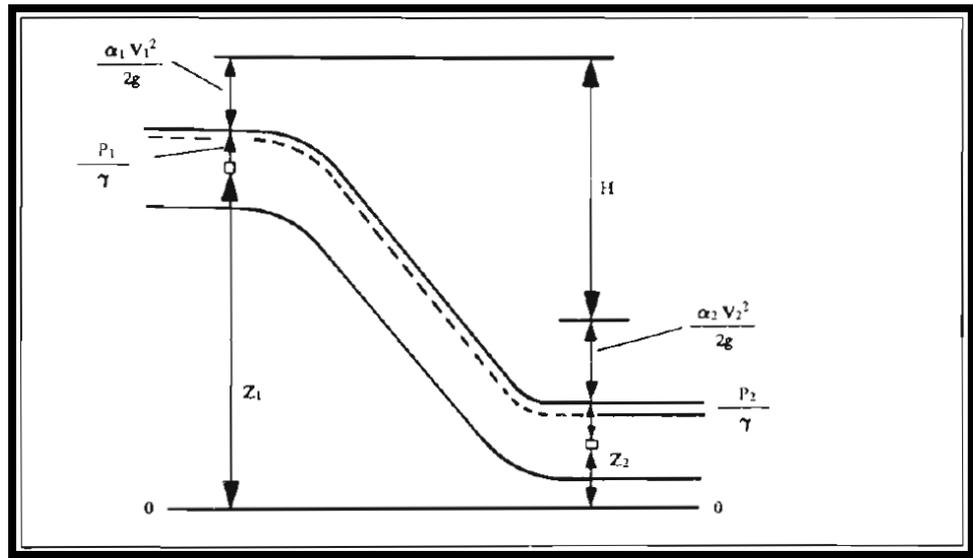


Figura 5. Determinación de la energía del tramo.

Fuente: Juárez (22).

$$E1 = \left(Z1 + \frac{P1}{\gamma} + \alpha1 \frac{V1^2}{2g} \right) W\gamma = \left(Z1 + \frac{P1}{\gamma} + \alpha1 \frac{V1^2}{2g} \right) Q + \gamma, \quad \text{Kgfm}$$

Donde:

- E1 = energía del agua en la sección del tramo 1-1.
- Z1 = altura física desde el plano de referencia hasta el centro de gravedad de la sección 1-1.
- $P1/\gamma$ = altura debida a la presión. Se mide desde el centro de gravedad de la sección, hasta en nivel del líquido.
- $\alpha1V1^2/2g$ = altura debida a la velocidad con la que se mueve el líquido.
- P1 = presión en el centro de gravedad de la sección 1-1.
- γ = peso específico del líquido.
- $\alpha1$ = coeficiente de pérdidas cinéticas.
- V1 = velocidad media del líquido en la sección 1-1.
- g = constante gravitacional.
- W = volumen del líquido.
- t = tiempo.

De la misma forma, se puede calcular la energía en el mismo torrente en la sección 2-2 que se encuentra aguas abajo.

$$E2 = \left(Z2 + \frac{P2}{\gamma} + \alpha1 \frac{V2^2}{2g} \right) W\gamma = \left(Z2 + \frac{P2}{\gamma} + \alpha2 \frac{V2^2}{2g} \right) Q + \gamma, \quad \text{Kgf m}$$

La energía comprendida entre la sección 1-1 y 2-2 se expresa como la diferencia de E1-E2.

$$E_{tr} = E1 - E2 = \left(Z1 - Z2 + \frac{P1 - P2}{\gamma} + \frac{\alpha1 V1^2 - \alpha2 V2^2}{2g} \right) W\gamma, \quad \text{kgfm}$$

Donde:

- $Z1 - Z2$ representa el cambio de energía de acuerdo a la variación de la altura.
- $P1 - P2/\gamma$ = cambio de energía por la variación de la presión.
- $(\alpha1 V1^2 - \alpha2 V2^2)/2g$ = variación de la energía cinética.

Relacionando $Z1$ y $Z2$ al nivel de la superficie libre y considerando que la diferencia de energía cinética, es muy pequeña la fórmula del tramo 2-2, la cual puede escribirse de la siguiente manera:

$$E_{tr} = H_{tr} W \gamma, \quad \text{kgfm}$$

A partir de la fórmula del tramo 2-2 se determina la potencia, conociendo que el volumen es igual al producto del gasto por el tiempo ($W = Qt$).

$$E_{tr} = \frac{E_{tr}}{T} = \left(Z1 - Z2 + \frac{P1 - P2}{\gamma} + \frac{\alpha1 V1^2 - \alpha2 V2^2}{2g} \right) Q + \gamma, \quad \text{Kgf m}$$

Donde:

- N_{tr} = Potencia del tramo.
- T = tiempo, s.

Considerando solo la altura física que, por lo demás es la más importante de la fórmula, se tiene:

$$E_{tr} = H_{tr} Q \gamma, \quad \text{kgfm}$$

a) Ecuación de la potencia bruta: la potencia expresada en kW se observa en la siguiente fórmula:

$$N_{tr} = 9.81 H_{tr} Q, \text{ kW}$$

Donde:

- [Ntr] = potencia bruta, en kW.
- [γ] = peso específico del agua, 9.81 KN/m³.
- [Q] = caudal, en m³/s.
- [H] = salto bruto, en m.

2.2.4. Energía y potencia de la planta hidroeléctrica

La diferencia fundamental entre la energía del tramo y la energía de la planta hidroeléctrica es la eficiencia o rendimiento (η), en cada etapa de la generación dicho parámetro debe incluirse en la fórmula de la planta (15).

$$E_{tr} = \left(Z_1 - Z_2 + \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_1 V_1^2 - \alpha_2 V_2^2}{2g} \right) w \gamma \eta$$

Considerando que ambos niveles, del lado de la cámara de carga y del lado de casa de máquinas, tienen superficies libres, se detalla que: $P_1/\gamma = h_1$, $P_2/\gamma = h_2$ y $Z_1 + h_1 = H_1$, $Z_2 + h_2 = H_2$; H_1 y H_2 caracterizan la posición de altura (nivel) del lado de la casa de máquinas con respecto al plano de comparación. La diferencia de $H_1 - H_2$ es la altura estática (Hest) (15)

$$E_{tr} = H_1 - H_2 = Z_1 - Z_2 + \frac{P_1 - P_2}{\gamma}$$

La energía queda del siguiente modo:

$$E_{ph} = \left(H_{est} + \frac{\alpha_1 V_1^2 - \alpha_2 V_2^2}{2g} \right) W \gamma \eta$$

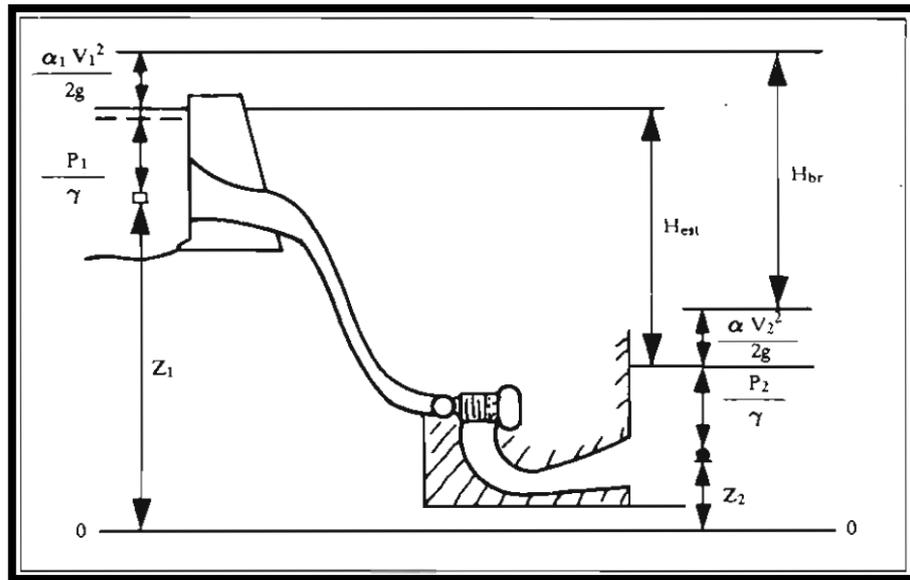


Figura 6. Altura de una planta hidroeléctrica.

Fuente: Juárez (22).

La fórmula anterior no resulta cómoda para emplearse en la práctica, ya que la eficiencia en este caso considera al mismo tiempo las pérdidas de la conducción hidráulica y las pérdidas en el equipo electromecánico como son la turbina, generador, reductor y transformador (14).

Normalmente las pérdidas se hallan considerando las pérdidas hidráulicas por separado, haciendo uso de fórmulas de ingeniería hidráulica que permiten cálculos en detalle con precisión aceptable. De esta manera se calculan las pérdidas en la obra de toma, en la tubería de presión, en las válvulas, aparato de regulación, etc. De esta forma se determinan las pérdidas hidráulicas, las cuales se restan a la altura bruta, resultando al final una altura neta. La altura bruta se determina mediante la siguiente expresión (H_{br}) (15).

Altura bruta:

$$E_{tr} = Z_1 - Z_2 + \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_1 V_1^2 + \alpha_2 V_2^2}{2g}$$

Altura neta:

$$E_{tr} = Z_1 - Z_2 + \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_1 V_1^2 + \alpha_2 V_2^2}{2g} - \sum \Delta H_{per}$$

Donde:

- $\sum \Delta h_{pe}$ r= suma de pérdidas a lo largo de toda la conducción hidráulica.
- H_{br} = altura bruta. Es la altura que corresponde a la diferencia total de energías del lado del vaso y el desfogue.
- H_{neta} = altura neta. Es la altura real aprovechable para la generación en planta.

Remplazando la altura neta en las fórmulas para la energía y la potencia de la planta quedan:

$$E_{pl} = H_{neta} W \gamma \eta, \quad \text{Kgfm}$$

$$E_{pl} = H_{neta} Q \gamma \eta, \quad \text{Kgfm/s}$$

En la siguiente ecuación, se expresa la energía en kWh para lo cual se remplace $\eta = 1\ 000$, y se divide entre 367 200 que se obtiene de multiplicar $102\ \text{kgfm} = 1\ \text{kW}$ por 3 600 s que se tiene una hora.

$$E_{pl} = \frac{H_{neta} W \eta}{367.2} \quad \text{kWh}$$

- a) Evaluación de la potencia neta: la potencia, expresada en KW, se obtiene mediante la siguiente formula:

$$N_{pl} = 9.81 H_{neta} Q \eta_{\circ}, \quad \text{kW}$$

Donde:

- $[N_{pl}]$ = potencia, en kW.
- $[\gamma]$ = peso específico del agua, $9.81\ \text{KN/m}^3$.
- $[Q]$ = caudal, en m^3/s .
- $[H]$ = salto útil, en m.
- $[\eta]$ = rendimiento de la obra civil.
- $[\eta]$ = rendimiento tubería.
- $[\eta]$ = rendimiento de la turbina.
- $[\eta]$ = rendimiento del generador.
- $[\eta]$ = rendimiento del transformador.
- $[\eta]$ = rendimiento en línea.
- $[\eta_{\circ}]$ = rendimiento total.

La eficiencia del equipo electromecánico se calcula como el producto de eficiencias de la turbina, del generador, del reductor y el transformador.

$$\eta_{e.m} = \eta_{turb} * \eta_{gen} * \eta_{red} * \eta_{tr}$$

Según Juárez (22), la eficiencia del sistema es el producto de la eficiencia del equipo electromecánico por la eficiencia de la transmisión.

$$\eta_{sist} = \eta_{e.m} * \eta_{transm}$$

La eficiencia de los equipos de potencia para plantas de gran capacidad, tiene valores comprendidos en los rangos que se dan en la siguiente tabla, por lo que las máquinas con menor capacidad son normalmente de menor eficiencia.

Tabla 4. Rangos de eficiencia.

Equipo	Eficiencia
Turbina	De 0.85 a 0.95
Reductor	De 0.80 a 0.98
Generador	De 0.90 a 0.98
Transformador	De 0.98 a 0.99

Fuente: Juárez (22).

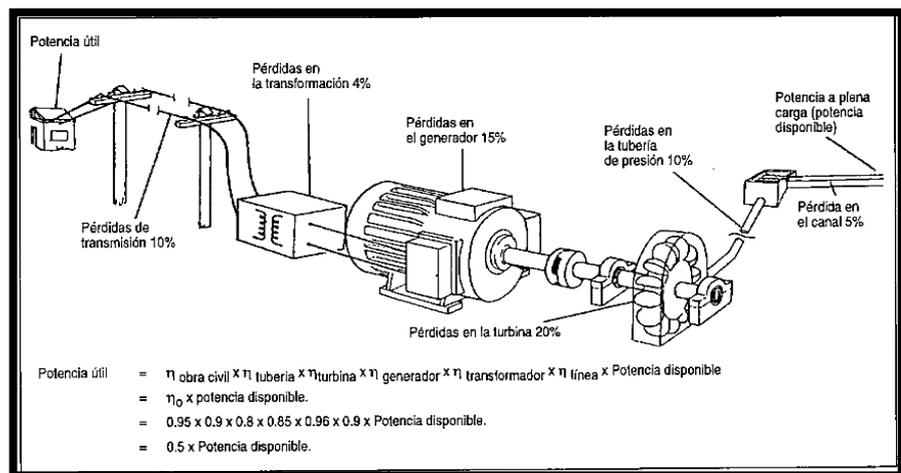


Figura 7. Eficiencias típicas del sistema para una microcentral operando a plena carga.

Fuente: Coz et al. (28).

Se muestra en la figura 7, las eficiencias típicas del sistema para una micro central operando a plena carga. La eficiencia total del sistema (η_o) en realidad varía entre 0.4 y 0.6 (16).

- $[\eta]$ Rendimiento de la obra civil = 0.95
- $[\eta]$ Rendimiento tubería = 0.9
- $[\eta]$ Rendimiento de la turbina = 0.8
- $[\eta]$ Rendimiento del generador = 0.85
- $[\eta]$ Rendimiento del transformador = 0.96
- $[\eta]$ Rendimiento en línea = 0.9

El rendimiento total es el producto de todos los rendimientos, el cual se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\eta_o = [\eta]_{\text{Rendimiento del obra civil}} * [\eta]_{\text{Rendimiento de la turbina}} * [\eta]_{\text{Rendimiento del generador}} * [\eta]_{\text{Rendimiento del transformador}} * [\eta]_{\text{Rendimiento Línea}}$$

b) Ecuación de la energía generada:

Determinada ya la potencia de generación, la energía que se puede producir en un salto de agua está dada por el producto de la potencia de generación y el tiempo que este la misma en funcionamiento. Para obtener la energía generada en un periodo de tiempo, se aplica la siguiente ecuación (23):

Si el caudal fuera constante durante un día: $E_{1\text{ dia}} = P * T$ (kWh/día)

Si el caudal es constante durante un mes: $E_{1\text{ mes}} = P * T$ (kWh/mes)

Y en un año: $E_{\text{a nual}} = P * T$ (kWh/año)

Donde:

- P = potencia, en kW.
- T = tiempo, en h (t.día = 24 horas y t.año = 8 760 h).

2.2.5. Factor de planta

El factor de planta es la relación entre la energía anual que produce la planta y la que podría generar si esta trabajara a su máxima capacidad todo el año (25). Dicho parámetro de producción puede ser determinada por la siguiente ecuación

$$F_c = \frac{E. \text{ med. anual}}{P_{\text{max}} * T}$$

Donde:

- Emed Anual = Pmed*T
- Pmed = Potencia medida.
- Pmax = Potencia máxima.
- T = tiempo (8 760 h/año).

2.2.6. Demanda de energía eléctrica

El análisis de demanda es un aspecto importante para el estudio de micro o minicentrales hidroeléctricas. Sus resultados deben aportar el consumo actual de la población o carga industrial a la que se desea suministrar energía, y con estos, proyectar la demanda durante un periodo de tiempo según necesidad (24).

2.2.7. Cálculo de la demanda actual

En pequeños sistemas aislados rurales, la estimación de demanda actual se realiza generalmente en base a la potencia, es decir, a la demanda máxima de potencia. A continuación, se presentan dos métodos basados en la potencia y un método que incluye un análisis mayor en términos de consumo de energía (24).

- Método de Nosaki.
- Método desarrollado por soluciones prácticas.

- Método de demanda de energía.
- Cálculo de la demanda con el método REA.
- Cálculo de la demanda propuesta por PPL/GTZ.
- Cálculo de la demanda mediante la curva de carga

2.2.7.1. Método de Nosaki

Es un método que se basa en el análisis de experiencias pasadas, la presente puede servir para hacer una estimación rápida de la demanda actual previa a un estudio formal. El método asume que la potencia instalada per cápita tiene un rango total el cual es proporcional al número de habitantes. Para determinar la demanda promedio, se promedia el valor más alto y el más bajo de los rangos establecidos por poblaciones (24).

2.2.7.2. Método desarrollado por soluciones prácticas

El método está basado en el estudio de cuatro tipos de cargas, el cual se detalla a continuación:

- a) Demanda doméstica: básicamente una demanda residencial, se estima una potencia de entre 250 y 400 W/vivienda. Se toma su ubicación geográfica, el tamaño promedio de vivienda, número y tipos de focos a utilizar, equipos, maquinarias, electrodomésticos entre otros (24).
- b) Demanda institucional: se realiza una estimación de potencia en base a las instituciones existentes como son (escuelas, postas de salud, municipio, local comunal e iglesias).
- c) Demanda industrial: se basa en el estudio de demanda de las industrias y su posible tecnificación con la masificación que causa la energía eléctrica (bodegas, hoteles, carpinterías, aserraderos, manufacturas entre otras industrias), en poblaciones pequeñas esta demanda es

mínima o casi nula, pero de acuerdo a las características de la zona o población, su ubicación y producción se puede estimar una demanda de potencia (24).

- d) Alumbrado público: la demanda de esta carga está relacionada directamente con el número y potencia de las luminarias que se requiere instalar para este servicio.

Toda la información es consolidada en una tabla en las que se incluirán factores de simultaneidad, ya que no todas las cargas estarán en uso constante y es claro que, de acuerdo al grado de pobreza o desarrollo, el consumo de energía varía durante la noche, ello conlleva a considerar una demanda diurna y una nocturna (24). Hay dos factores a considerar:

- Factor de simultaneidad (fs): es la probabilidad de que un número de usuarios utilicen el mismo equipo en un periodo de tiempo igual al otro; este valor puede variar entre 0 a 1.
- Factor de uso (fu): es la intensidad en el uso de los equipos; este valor puede variar entre 0 y 1.

Tabla 5. *Cálculo de la demanda.*

Cálculo de la demanda							
Tipo de carga	Potencia máxima (kW)	Carga diurna			Carga nocturna		
		fs	fu	kW	fs	fu	kW
Doméstica							
Institucional							
Industrial							
Alumbrado público							
		Total diurno			Total nocturno		

Fuente: Dávila *et al.* (24).

Nota: al resultado encontrado, la potencia total hallada en uno de los horarios, ya sea diurno como nocturno, se añaden las pérdidas por transmisión eléctrica; este valor está comprendido entre el 5 % y 10 %. Este resultado final será la demanda a considerar en el diseño del sistema.

2.2.7.3. Método de demanda de energía (desarrollado por Ortiz)

El presente método es un método sintético desarrollado por Ortiz en el 2001. Esta metodología es más rigurosa, requiere mayor información acerca de la rutina de la población, comunidad o centro poblado (24).

- a) Actividades en el hogar: se requieren datos de su rutina como; hora de acostarse, levantarse, preparar los alimentos.
- b) Actividades industriales y comerciales: se requieren datos del sector; agricultura maderera, pesca, ganadería, bodegas, minería, restaurantes y otros.
- c) Servicios públicos: se requieren dato de; colegios, escuelas, salud, comunicaciones, agua y saneamiento.

Con la información recolectada, se obtiene un panorama de las necesidades de la comunidad partir de ello puede asignarle una demanda o potencia eléctrica a cada una de ellas, con respecto al sector que pertenece.

- a) Demanda residencial: para desarrollar el método se debe escoger una vivienda representativa y proyectarla hacia el total de las viviendas a alimentar. La información que se recabe de la demanda residencial se dividirá en: iluminación, conservación y preparación de alimentos, recreación y comodidades (24).
- b) Demanda industrial y comercial: para el sector industrial se prevén casos individuales de acuerdo al tipo de industria, considerar según sea el caso una muestra representativa de una industria mayoritaria (24).
- c) Servicios públicos: la energía eléctrica aportara soluciones en materia de salud, educación, comunicaciones y alumbrado público (24).

2.2.7.4. Cálculo de la demanda con el método REA

Es un método americano, denominado REA (Rural Electricity Administration, o Administración de Electricidad Rural de los Estados Unidos de Norteamérica), la misma que se basa en dos factores (24):

Factor A: es el número de familias beneficiarias, el cual se determina por la siguiente ecuación:

$$\text{Fac A} = N \times [1 - 0.4 \times N + 0.4 \times (N^2 + 40)^{0.5}]$$

Donde:

- N = número de familias beneficiadas por categoría.

Factor B: está determinado por el consumo específico de cada beneficiario.

2.2.7.5. Cálculo de la demanda propuesta por PPL/GTZ

En el uso de este método se deben considerar varios factores como la curva de la demanda base a los requerimientos, el factor de simultaneidad, el índice de cobertura y el tiempo de uso de los equipos y artefactos. Para determinar el factor de simultaneidad del conjunto de equipos de una misma clase, se realiza a partir de la potencia instalada y la potencia máxima de utilización con la siguiente ecuación (24).

$$f_s = \frac{P_{\max}}{P_{\text{ins}}}$$

Para una mayor demanda, las curvas de demanda de los consumidores individuales se solapan y forman una curva global. La curva de punta de red no es igual a la suma de cargas punta individuales, ya que la probabilidad de que todos los consumidores conectados a la red consumen energía al mismo tiempo es casi nula. La relación entre la potencia máxima que se

toma en un instante y la suma de potencias máximas individuales de todos los usuarios conectados se denomina factor de simultaneidad del sistema. Para una red utilizada por consumidores similares (si suponemos que la misma potencia en el mismo periodo de conexión: categoría residencial), se tiene la siguiente ecuación (24):

$$F_{sn} = f_s + \frac{(1 - f_s)}{N^{0.5}}$$

Donde:

- N = número de usuarios.
- P_{ins} = potencia instalada.
- F_{sn} = factor de simultaneidad del conjunto de consumidores.

2.2.7.6. Cálculo de la demanda mediante la curva de carga

La curva de carga, o perfil de carga, es la representación del comportamiento de la demanda de un sistema eléctrico y está sujeta normalmente a fluctuaciones periódicas y cambios tendenciales. En el caso de las fluctuaciones periódicas, pueden ser de mayor importancia las variaciones originales en las horas del día (mañana, tarde y noche), de la semana o fluctuaciones estaciones (24).

Estos cambios tendenciales se deben a:

- Sustitución de otras fuentes de energía por la corriente eléctrica.
- Creciente mecanización en el sector productivo (si lo tuvieran).
- Creciente tecnificación en los hogares.

El comportamiento del sector rural está definido por las costumbres de su población y el ritmo de vida que practican, por lo que se puede esperar una curva de carga típica durante todo el proyecto. En base a un perfil de carga diaria, y estableciendo

el tiempo de utilización de energía durante el día en cada categoría, se tienen curvas de demanda diaria. Una vez procesadas estas curvas de demanda se puede obtener una con la demanda total del sistema. De esta forma se puede determinar las situaciones de mayor simultaneidad posible, ello con la finalidad de obtener una curva que exija la mayor potencia al sistema y que esta se pueda adoptar como representativa. A partir de esta, se procederá a proyectar la curva de carga para cada quinquenio, de esta forma se debe tener una visión más clara del comportamiento de la demanda. En la figura siguiente se observa la representación de un diagrama de carga (24).

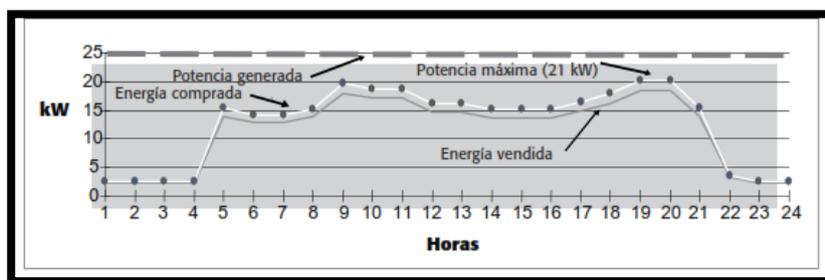


Figura 8. Diagrama de carga para San Antonio de Lipez (año 2015).

Fuente: Dávila *et al.* (24).

A) Tipos de sistemas de medición de energía: en cuanto a sistemas de medición, la elección de uno u otro dependerá de la potencia contratada y el nivel de tensión a la que se compra la energía. Para ello contamos con la medición directa, la medición semi directa y la medición indirecta.

- i. Medición directa: es usada comúnmente por las concesionarias eléctricas para registrar el consumo de energía eléctrica de sus clientes comunes (tarifas BT5 y BT6). La conexión del equipo de medición es directamente a la red en serie con la carga; tanto la bobina de corriente como de tensión están conectadas en serie con la red y la carga a abastecer.

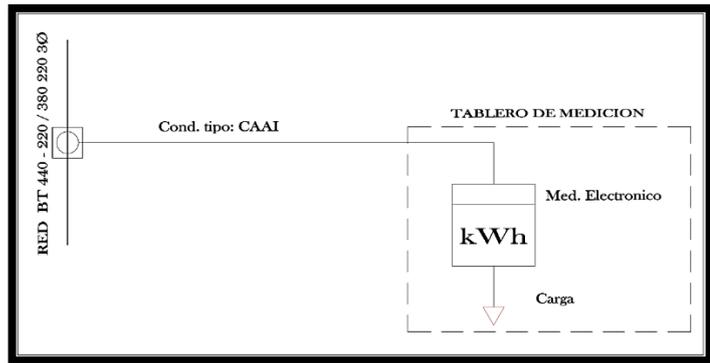


Figura 9. Diagrama unifilar de medición directa.

Fuente: cotejo propio de Electrocentro S.A.

- ii. Medición semi directa: la medición semi directa es usada comúnmente por las concesionarias eléctricas para registrar el consumo de energía eléctrica de sus clientes mayores de tarifas en media tensión (MT2, MT3 y MT4) o baja tensión (BT2, BT3 y BT4). La conexión del equipo de medición toma señales de corriente a través de transformadores de corriente y las señales de potencial se toman directamente de la línea de alimentación de la carga.

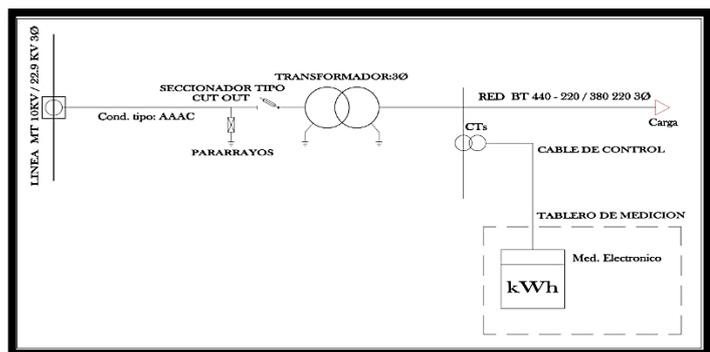


Figura 10. Diagrama unifilar de medición semi directa.

Fuente: cotejo propio de Electrocentro S.A.

- iii. Medición indirecta: la medición semi directa es usada comúnmente por las concesionarias eléctricas para registrar el consumo de energía eléctrica de sus clientes

mayores de tarifas en media tensión (MT2, MT3 y MT4) o baja tensión (BT2, BT3 y BT4). El equipo de medición no está conectado directamente a los conductores de la acometida, sino que toma señales de corriente y tensión del secundario de equipos auxiliares de medición (trafomix). Por este motivo, la corriente que pasa a través del equipo de medición es proporcional a la corriente de la carga.

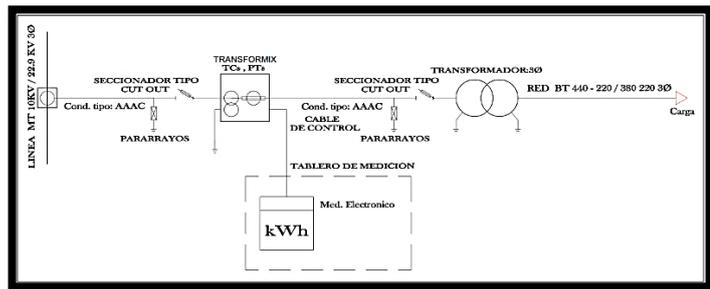


Figura 11. Diagrama unifilar de medición indirecta.

Fuente: cotejo propio de Electrocentro S.A.

B) Componentes del sistema de medición de energía: el sistema de medición de un cliente en tarifa MT3 es:

i. Medidor electrónico Elster A1800: según el catálogo de la marca (Elster), el medidor electrónico A1800 es un contador de energía muy preciso, resistente y habilitado para sistemas de medición dirigidas a las aplicaciones de medición avanzadas en comercio, industria y subestaciones. A continuación, se detallarán las características técnicas del equipo:

- IEC 62053 de precisión clase 0.2 %, 0.5 %, y 1 %.
- Caja de policarbonato con protección anti UV el IP 54.
- Amplio rango de tensión de operación, de 46 V a 528 V.

- Amplio rango de corriente, de 1 mA a 10 A (medición indirecta a través de CT's).
- Amplio rango de temperatura de operación, - 40°C a + 85°C (en el interior del medidor).
- Energía y demanda para kWh, kVARh y kVAh.
- Medición en cuatro cuadrantes.
- Hasta 4 tarifas para 4 tipos de día.
- Hasta 12 estaciones.
- Memoria no - volátil.
- Batería de fácil reemplazo, ubicada bajo la cubierta de terminales.
- Exacto reloj interno con respaldo de tiempo proporcionado por el supercapacitar y la batería de larga vida.
- Pantalla de cristal líquido LCD con caracteres de 16 segmentos y luz de contraste opcional.
- Software basado en Windows con soporte de multilinguaje.



Figura 12. Medidor electrónico Elster A1800.

Fuente: Technical Manual A1800 ALPHA Meter 10-201.

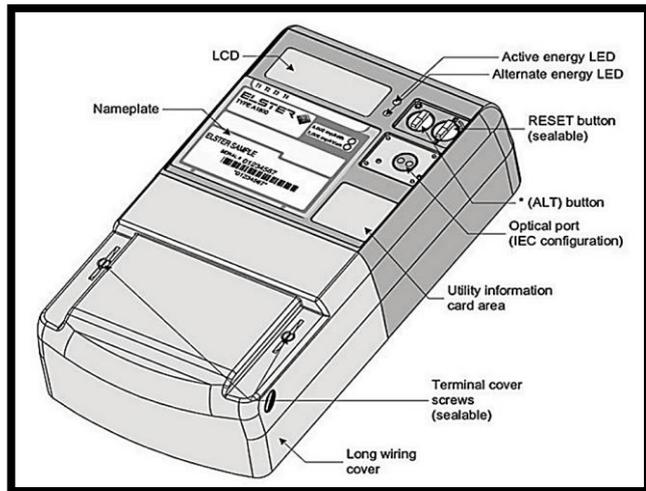


Figura 13. Partes del medidor Elster A1800.

Fuente: Technical Manual A1800 ALPHA Meter 10-201.

- ii. Transformadores de medición: es un dispositivo que reduce valores de corrientes altas a valores proporcionalmente menores a la del circuito. Los transformadores de medición se diseñan para tener en el secundario corrientes nominales de 1 a 5 A. El dispositivo desarrolla dos funciones: transformar la corriente y aislar los instrumentos de medición conectados a los circuitos de alta tensión o circuitos de corrientes altas. En cuanto a su conexionado, el primario del transformador se conecta en serie con el circuito cuya corriente se pretende medir y el secundario se conecta en serie con las bobinas de corriente de los instrumentos de medición (26).



Figura 14. Transformadores de corrientes toroidales.

Fuente: Catálogo ACOMEE.

C) Extracción de perfil de carga del medidor electrónico Elster A1800: Componentes del sistema de extracción de perfil de carga:

- i. Sonda de lectura de medidor: según el catálogo de la marca (Elster), La sonda para lectura de medidores está diseñada para recopilar datos almacenados en medidor Elster A1800; la sonda es un conector DB9 hembra estándar con un cable extra flexible de 1.2 metros. La adhesión de los equipos es magnética y el lector óptico es compatible con ANSI C12.18-1996.



Figura 15. Sonda de extracción de datos Elster A1800.

Fuente: Catálogo Elster.

- a. Laptop: es una computadora portátil de tamaño y peso ligero, está compuesta básicamente por una pantalla LCD, un teclado alfabético y numérico, un panel táctil para manejar el puntero, una fuente de batería en DC y un cargador para poder recargar las baterías o usarlo conectado a la toma de corriente AC.
- b. Software Metercad (Elster meter): el medidor de energía Elster A1800 posee un software de soporte

el Metercad, el cual es un recolector de datos el cual ofrece las siguientes funciones:

- Desarrolla programas para generar datos, configuradas y definidas por el usuario.
- Programación del medidor para enviar comando o datos de configuración definidas por el usuario al medidor.
- Extracción de data registrada por el medidor los cuales han sido almacenadas durante el mes.

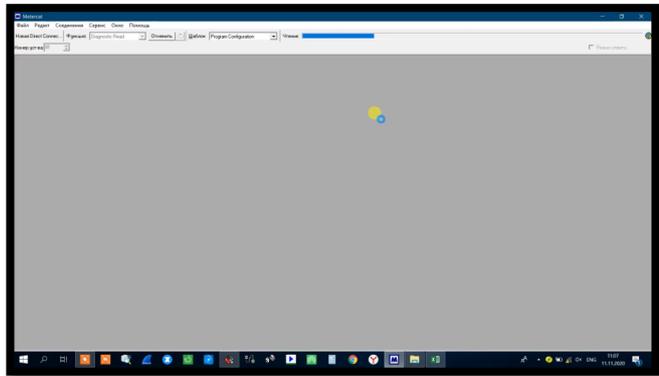


Figura 16. Entorno de extracción de data software Medercat.

Fuente: cotejo propio.

Tabla 6. Perfil de carga extraído mediante el software Metercad.

Meter ID:	Date	Time	Int.Len	kWh-Del	kWh-Rec	kVARH-Q1	kVARH-Q2	kVARH-Q3	kVARH-Q4	kVAH-Del	kVAH-Rec
2887047	1/10/2021	00:15	15	0.036325	0	0.0008	0	0	0.001825	0.036425	0
2887047	1/10/2021	00:30	15	0.03595	0	0.000575	0	0	0.00195	0.036025	0
2887047	1/10/2021	00:45	15	0.035875	0	0.000175	0	0	0.00235	0.035975	0
2887047	1/10/2021	01:00	15	0.036175	0	0.0002	0	0	0.001975	0.03625	0
2887047	1/10/2021	01:15	15	0.0358	0	0.000375	0	0	0.00235	0.035875	0
2887047	1/10/2021	01:30	15	0.035825	0	0.000125	0	0	0.002375	0.035925	0
2887047	1/10/2021	01:45	15	0.03575	0	0	0	0	0.00245	0.035825	0
2887047	1/10/2021	02:00	15	0.035525	0	0	0	0	0.0025	0.0356	0
2887047	1/10/2021	02:15	15	0.036175	0	0.000325	0	0	0.0021	0.03625	0
2887047	1/10/2021	02:30	15	0.03585	0	0.00015	0	0	0.0024	0.03595	0
2887047	1/10/2021	02:45	15	0.035575	0	0	0	0	0.0025	0.03565	0
2887047	1/10/2021	03:00	15	0.035725	0	0	0	0	0.00245	0.0358	0
2887047	1/10/2021	03:15	15	0.035975	0	0.000225	0	0	0.0023	0.036075	0
2887047	1/10/2021	03:30	15	0.035825	0	0.00015	0	0	0.002425	0.0359	0
2887047	1/10/2021	03:45	15	0.035725	0	0	0	0	0.00245	0.0358	0
2887047	1/10/2021	04:00	15	0.03565	0	0	0	0	0.002525	0.035725	0
2887047	1/10/2021	04:15	15	0.035825	0	0.000275	0	0	0.00225	0.035925	0
2887047	1/10/2021	04:30	15	0.035975	0	0.000125	0	0	0.002425	0.03605	0
2887047	1/10/2021	04:45	15	0.03575	0	0	0	0	0.0026	0.03585	0
2887047	1/10/2021	05:00	15	0.03585	0	0.00025	0	0	0.002575	0.03595	0
2887047	1/10/2021	05:15	15	0.018725	0	0.00335	0	0	0.000825	0.0198	0
2887047	1/10/2021	05:30	15	0.00805	0	0.006825	0	0	0	0.010575	0
2887047	1/10/2021	05:45	15	0.011775	0	0.00605	0	0	0	0.0135	0
2887047	1/10/2021	06:00	15	0.008425	0	0.007775	0	0	0	0.011525	0
2887047	1/10/2021	06:15	15	0.00995	0	0.01115	0	0	0	0.015	0

Fuente: cotejo propio.

ii. Análisis del perfil de carga:

Una vez extraído el perfil de carga mensual procedemos a analizarlo. El registro contiene energía activa “kWh”, energía reactiva “kVARh” y energía aparente “kVAh”, los mismos que fueron registrados en intervalos de 15 minutos durante todo un mes. Para el estudio usaremos la columna de energía activa registrada durante un mes desde las 00:00:00 horas del día 01 hasta las 00:00:00 horas del día 30 o 31 según sea el caso.

Conceptos básicos previos:

- a. Potencia activa: es una onda de frecuencia doble de la tensión y la corriente; su valor medio es la misma potencia activa, es positiva si esta va del generador hacia la carga y negativa si va de la carga al generador. Esta potencia corresponde a la energía que realmente es suministrada por el generador y consumida por la carga. Esta potencia es disipada por cargas resistivas más no por inductivas ni capacitivas; la ecuación de la potencia activa se expresa así de manera general (27):

$$P = V * I * \cos(\varphi), \text{ kW}$$

- b. Potencia reactiva: es una onda de frecuencia doble a la tensión y la corriente su valor, y su valor medio es nulo. Esta potencia es generada si en el circuito hay elementos capaces de almacenar energía, en forma de campos magnéticos como (bobinas, caracterizadas por su coeficiente de autoinducción L) o en forma de campos eléctricos como (condensadores, caracterizados por su

capacitancia C). Los elementos inductivos como capacitivos consumen energía durante medio ciclo de onda de la potencia la cual es almacenada en forma de campo eléctrico o magnético; en el siguiente medio ciclo, inyectan la energía almacenada hacia la red o hacia el generador dando lugar a una potencia que cambia de signo en cada semiciclo de onda de potencia. la ecuación de la potencia reactiva se expresa así de manera general (28):

$$Q = V * I * \text{sen}(\varphi), \text{ KVAR}$$

- c. Potencia aparente: se define de forma matemática con la siguiente expresión:

$$S = V * I = \sqrt{P^2 + Q^2}, \text{ KVA}$$

- d. La energía: está dada por el producto de la potencia y el tiempo que esta la misma está abasteciendo la demanda. Para obtener la energía generada en un periodo de tiempo se aplicará la siguiente ecuación (29):

$$E = P * T, \quad (\text{kWh, kVARh o kVAh})$$

Donde:

- P = potencia en (kW, KVAR o KVA).
- T = tiempo (h).

Teniendo ya ecuación de la energía, se despeja la misma en función de la potencia:

$$E = P * T, \quad \text{kW} = P = \frac{E}{T}, \quad \text{kW}$$

Como se sabe, la PTAR Huamanga es un cliente mayor en tarifa MT3, pero con un sistema de medición en baja tensión, por tal motivo a la ecuación de la potencia activa debemos multiplicarle por la relación de transformación que es de 150/5 equivalente a un factor de medición (K = 30) y el factor de transformación (FT = 1.025), ello para tener un valor real de nuestra medición. El tiempo a remplazar es de T = 0.25 h, ello debido a que la toma de datos se da en intervalos de 15 minutos:

$$P = \frac{E}{T} * K * FT, \quad \text{kW}$$

Donde:

- P = potencia activa o demanda (kW).
- E = energía activa registrada (kWh).
- T = tiempo (h).
- K = factor de medición.
- FT = factor de transformación.

2.2.8. Cálculo de la demanda futura

La demanda futura es una forma de predecir a anticiparte al crecimiento de la demanda potencial o actual en energía o potencia en un periodo de tiempo preestablecido por el diseñador del sistema (micro o minicentral hidroeléctrica). El crecimiento de la demanda debe calcularse de forma cuidadosa, ya que se realiza en base a estimados de natalidad, mortalidad, migración, perspectivas de desarrollo y otros (24).

2.2.8.1. Fórmula estadística

Existen muchos métodos para determinar la demanda de energía y potencia requerida en un futuro en un determinado periodo. Uno de los métodos más afables es la estimación de la demanda aplicando formulas estadísticas, el cual incluye como variable la demanda actual, tasa de crecimiento y el número de años de producción, la formula considera un crecimiento uniforme a lo largo de un periodo considerado (24).

$$P_n = P_0 \cdot (1 + i)^n$$

Donde:

- P_n = potencia proyectada al año n (kW).
- P_0 = potencia estimada para el año 0 (kW).
- i = índice o tasa de crecimiento considerado.
- n = número de años de proyección (10 a 30 años).

Para realizar la estimación de la demanda futura año a año, incluyendo una tasa de crecimiento por año, por lo general para los primeros cinco años, es posible que la tasa de crecimiento varié por la puesta en servicio del sistema eléctrico. Para calcular la demanda podemos hacer uso la tabla siguiente como referencia.

Tabla 7. *Crecimiento de la demanda por potencia y por energía.*

Crecimiento de la demanga por potencia y por energia												
Año	Residencial				Industrial o Comercial				Servicios Publicos			
	Potencia		Energia		Potencia		Energia		Potencia		Energia	
	%	w	%	kWh	%	W	%	kWh	%	W	%	kWh
0												
1												
2												
3												
4												
5												
.												
.												
N												

Fuente: Dávila *et al.* (24).

2.2.9. Evaluación del recurso hidroenergético

Luego de haber hecho la estimación de la demanda, se deben medir dos variables para así poder calcular el potencial energético del recurso hídrico los cuales son: el caudal, o descarga, y el salto disponible, o la caída. El siguiente paso consiste en hacer la evaluación del potencial de generación de energía en la zona, tratando de que la casa de fuerza se encuentre lo más próximo posible a la carga a alimentar (30).

2.2.10. Medición del salto

Los mapas con curvas de nivel sirven para hacer una primera estimación del salto disponible y pueden utilizarse para estudios de prefactibilidad de micro centrales hidroeléctricas (MCH). En los estudios de factibilidad, y en los definitivos, se hace necesario realizar mediciones en el lugar a fin de obtener una mayor precisión. Por el general, las precisiones de 3 % a más son requeridas, puesto que la caída es un parámetro esencial en el diseño del sistema.

Existen varios métodos para medir el salto a caída, que a continuación se detallan:

- Método manguera de nivelación (precisión aprox. 5 %).
- Método manguera y manómetro (precisión < 5 %).
- Nivel de carpintero y tablas (precisión aprox. 5 % en pendientes pronunciadas y poca precisión en pendientes suaves 10 - 20 %).
- Altimetro (precisión probabilidad de grandes errores (30 %).
- Eclímetro (precisión buena 5 %).
- Nivel de ingeniero (muy buena).
- Mapa (aceptable para prefactibilidad).

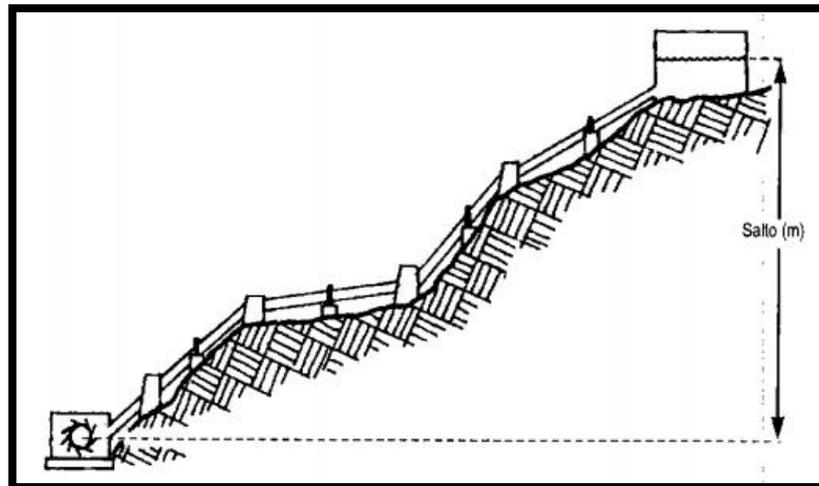


Figura 17. Salto o caída de una fuente hídrica.

Fuente: Coz *et al.* (28).

2.2.10.1. Método de la manguera de nivelación

Este método se basa en el principio de vasos comunicantes, es recomendable usar en lugares con pequeñas alturas, es económico, razonablemente preciso y poco propenso a errores.

Es necesario realizar dos o tres pruebas separadas para estar seguros de que los resultados finales sean correctos y confiables. Como dato adicional, si es posible realizar una comparación de resultados usando otros métodos (24).

2.2.10.2. Método de la manguera y manómetro

Este es, probablemente, el mejor de los métodos simples disponibles, pero tiene sus riesgos. Los dos posibles errores son la mala calibración de los manómetros y la presencia de burbujas en la manguera. Para evitar el primer error, se deberá calibrar el equipo antes y después de cada prueba en el lugar. Para prevenir el segundo error, se deberá utilizar una manguera de plástico transparente que permita ver si existen burbujas a

eliminar. El presente método puede ser usado tanto en caídas altas como bajas, pero se requiere de manómetros con diferente escala. Se recomienda utilizar de preferencia mangueras con diámetro entre 6 y 8 mm. Si se empleara otro material, con otros diámetros más delgados, se puede permitir el ingreso de aire, mientras que mangueras más gruesas resultan ser más pesadas en la práctica (24).

2.2.10.3. Método del nivel de carpintero y reglas

En principio este método es idéntico al de la manguera de nivelación. La diferencia es que la horizontalidad es establecida no por niveles de agua, si no por un nivel de carpintero (o de burbuja), colocado en una tabla de madera recta y fija. Este método en pendientes suaves es muy lento, pero en pendientes fuertes es adecuado especialmente si son pequeñas caídas (24).

2.2.10.4. Método del alfiler

El alfiler es un instrumento de medición que no requiere de conocimiento complejos para poder usarlo, pero relativamente costoso de adquirirlo. La precisión de los resultados que se obtengan depende básicamente de destreza de quien use la herramienta. Si se cuenta con mucha experiencia, y las mediciones se realizan con cuidado, los resultados serán confiables y válidos para efectuar cálculos de ingeniería, sin embargo, si este no fuera el caso, el método solo arrojará datos referenciales para un estudio preliminar, no para un estudio de factibilidad, mucho menos para cálculos de diseño de ingeniería.

2.2.10.5. Método del eclímetro y wincha

Para poner en marcha la aplicación de este método, es necesaria la participación de dos personas, una persona A, que usará el eclímetro, y la persona B, que apoyará en la medición. Es recomendable que la talla de ambos sea lo más parecida posible a fin de no incurrir en errores por diferencia de tamaños. Si lo mismo no fuera posible nos podemos ayudar de una regla (de tamaño mayor a la persona A), donde previamente debe marcarse la visual, colocando el eclímetro en la posición de 0°. El grado de precisión del método depende de la habilidad del operador en el uso del eclímetro (24).

2.2.10.6. Método del nivel de ingeniero

El nivel de ingeniero tiene una precisión de +/- 1 mm, pero es caro y pesado, además requiere de personas preparadas en el manejo del instrumento y la recolección de datos de las mediciones. Por lo general los errores se producen en las largas series de cálculos que se tiene que efectuar (24).

- Equipos necesarios:
 - o Nivel topográfico.
 - o Trípode.
 - o Mira.
 - o Machete.
 - o Libreta de apuntes y lapicero.
 - o 2 personas como mínimo para realizar las mediciones.

Procedimiento:

Definir las personas que efectuarán el trabajo, el operador del nivel y el portamira.

El operador colocará el nivel en un lugar, de tal forma que pueda visualizar al portamira en el primer punto (cámara de carga o casa de máquinas, según sea el caso), así como a un segundo punto siguiendo la dirección del terreno.

Si consideramos iniciar la medición desde la cámara de carga, el portamira se colocará en este punto, el operador visualizará la mira y tomará nota de la lectura (VAT); enseguida, el portamira se desplazará a un segundo punto y el operador, girando el anteojo del nivel, visualizará la mira y registrará otra lectura (VAD).

El operador hace un cambio de ubicación (estación), de tal forma que pueda ubicar al portamira en el punto anterior, para lo que el portamira no se ha movido, lo que hace es girar la mira para que el operador registre una nueva lectura, ahora verá VAT, luego el portamira se traslada a otro punto donde el operador registra la lectura en la mira que es VAD (24).

El procedimiento debe repetirse hasta llegar al punto donde será la casa de máquinas.

Tabla 8. Registro de datos.

Registro de datos (II)				
Estación	VAD	VAT	$H_i = \text{VAD} - \text{VAT}$	Observaciones
1				
2				
3				
4				
H_{total}				

Fuente: Dávila *et al.* (24).

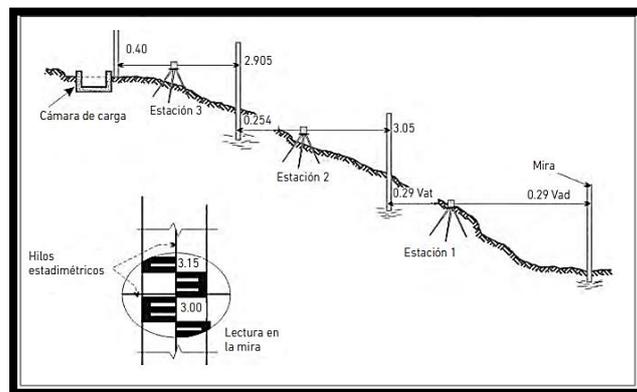


Figura 18. Cálculo de la altura con nivel de ingeniero.

Fuente: Dávila *et al.* (24).

2.2.10.7. Método del uso del GPS

El GPS es un instrumento de navegación global por satélite el cual proporciona información sobre ubicación, velocidad y sincronización horaria. Ello es posible gracias a un sistema de 24 satélites en seis planos orbitales centrados en la tierra. Para determinar la ubicación de un punto de la tierra solo se requiere 3 satélites.

2.2.11. Medición del caudal

En razón de que el caudal de los ríos varía a lo largo del año, realizar una medida del caudal instantáneo resulta un registro aislado cuya utilidad es relativamente pequeña. Cabe la posibilidad que algunas veces no exista información sobre el caudal del afluente, ante ello, nos vemos en la necesidad de recolectar nuestros datos a partir de mediciones instantáneas del caudal. Lo ideal es realizar la medición a diario, aunque también se usan mediciones semanales y mensuales.

Los métodos de medición de caudal son:

- Método de la solución de sal.
- Método del recipiente.
- Método de corriente o caudalímetro.
- Método de la selección de control y regla graduada.
- Método del vertedero de pared delgada.

2.2.11.1. Método de la solución de sal

Este método es fácil de usar y básicamente preciso. Si se efectúan bien las mediciones, darán errores menores al 5 % y permitirán hacer estimaciones de potencia y cálculos posteriores.

Este método se basa básicamente en el cambio de la continuidad del agua ($\text{ohm}^{-1} = 1 \text{ Siemens}$), al cambiar el grado de concentración de sal. De este modo, si disolvemos una masa (M) de sal en un recipiente y vertimos la mezcla en una corriente de agua, dando el tiempo necesario para diluirse, provocaremos un incremento de la conductividad el cual puede ser medido, como se explica más adelante, haciendo uso de un quipo llamado conductímetro.

Como podemos imaginar, el incremento de la conductividad dura un cierto tiempo y no es uniforme durante ese periodo, es decir, habrá pequeños incrementos al inicio y al final del paso de la concentración de sal, mientras que habrá un máximo en una situación intermedia (24).

2.2.11.2. Método de recipiente

El método es una forma sencilla de medir el caudal de un determinado arroyo. Todo el caudal a medir es desviado hacia un balde, barril o cualquier otro recipiente con volumen conocido. Luego se anota el tiempo que toma llenarlo. Como el volumen de recipiente ya es conocido, el caudal se obtiene dividiendo este volumen por el tiempo de llenado. La desventaja de este método es que todo el caudal debe ser redirigido hacia un recipiente. El presente método es muy útil para pequeños caudales (24).

2.2.11.3. Medidores de corriente o caudalímetro

También llamados molinetes, consisten en un mango con una hélice o copas conectadas al final. La hélice rota libremente y la velocidad de rotación está relacionada con la velocidad del agua. El contador mecánico registra el número de revoluciones del propulsor que se ubica a la profundidad deseada. Otros equipos

más avanzados utilizan impulsos eléctricos, con estos equipos es posible tomar varias lecturas en una corriente y calcular la velocidad media.

Los medidores de corriente son suministrados con una fórmula que relaciona la velocidad de rotación del instrumento con la velocidad de la corriente. Generalmente estos equipos se usan para medir la velocidad 1.2 a 5 metros por segundo, con un margen de error del 2 %.

El molinete de estos equipos debe ser sumergido bajo el agua, algunos fabricantes suelen marcar el mango del medidor para poder indicar la profundidad de los álabes (24).

2.2.11.4. Método de selección de control y regla graduada

Este método es parecido al método del vertedero, la diferencia radica en que la característica física de la sección es usada para controlar el tirante de agua y el caudal. El tirante de agua es la profundidad de esta en la sección. Se ubica una sección de control donde un cambio en el caudal se traduce en un cambio apreciable en el tirante de agua en la sección de control. Es crucial evitar una sección de control ancha por que los cambios en el caudal suelen ser cambios pequeños en el tirante.

2.2.11.5. Método del vertedero de pared delgada

Un vertedero es una estructura similar a un muro de baja altura el cual está situado a lo ancho de un canal o río. Un vertedero de medición de caudal tiene una abertura a través de la cual fluye toda la corriente de agua. Los vertederos son generalmente estructuras temporales, diseñados de modo que la descarga volumétrica pueda ser leída de manera directa o determinada por una simple lectura de diferencia de altura entre el nivel del agua antes del vertedero y en el vértice o cresta de este.

2.2.12. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga fue construida para tratar las aguas hervidas de la ciudad, luego de pasar por este proceso de limpieza es desecharlas rio abajo ya en condiciones aceptables de pH. La misma está ubicada en el distrito de Jesús Nazareno específicamente en la localidad de Totorilla, la cual viene funcionando desde 1974. Teniendo como ubicación geográfica a UTM 18 L Norte = 8547472, Este = 586211 y altitud 2 622 msnm.

Tabla 9. *Capacidad de caudal.*

Rango (caudal)	Capacidad de operación
Caudal máximo	934 l/s
Caudal promedio	618 l/s
Caudal mínimo	250 l/s

Fuente: cotejo propio.



Figura 19. Imagen satelital de la PTAR Huamanga.

Fuente: Google Earth Pro.

2.2.13. Objetivos principales PTAR Huamanga

Entre los objetivos de la planta, lo principal es realizar el tratamiento de las aguas servidas hasta obtener un pH aceptable y sea amigable al medio ambiente para así no causar un impacto al medio ambiente al verterla al río aguas abajo.

Al recuperar la calidad del agua, luego de tratarla, ésta puede ser usada para actividades como riego, recreación, construcción, generación de energía eléctrica, entre otras.

2.2.14. Características generales de la PTAR Huamanga

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga, actualmente en operación, tiene una cobertura de agua residual de 80 % de toda la ciudad, lo cual le conlleva a operar actualmente al 40 % de su capacidad, la misma que comprende tres etapas, una de tratamiento preliminar, tratamiento primario y tratamiento secundario, los cuales constituyen a dos módulos de tratamiento independientes los cuales se detallan a continuación.

2.2.14.1. Fase de tratamiento preliminar

Obra de ingreso con rejilla gruesa (O.I.): el área comprende la cámara de ingreso de las aguas residuales a la planta de tratamiento.

Cámara de rejilla (C.R): el área comprende la zona donde se hace la limpieza de particular gruesas (basuras de gran tamaño) que traen consigo las aguas residuales que ingresan a la planta.

Desarenador (DES): el área comprende la zona donde se hace la separación de arena y lecho de grava de las aguas residuales que ingresan a la planta. técnicamente es conocida como lixiviación de arena.

2.2.14.2. Fase de tratamiento primario

Tanque Imhoff (IMH4): el área comprende la zona de pre sedimentado de lodos disecados primario de las aguas residuales que ingresan a la planta (tanque de tratamiento de lodos).

2.2.14.3. Fase de tratamiento secundario

Filtro percolador (FP): el área comprende la zona de tratamiento biológico de materia orgánica soluble (biológicamente aeróbico) de las aguas residuales que ingresan a la planta de tratamiento de aguas residuales.

Lagunas facultativas (LF): el área comprende la zona de tratamiento facultativo aeróbico y anaeróbico de las aguas residuales que ingresan a la planta de tratamiento.

Sedimentador integrado lagunas (AT): el área comprende la zona de tratamiento de sedimentación de lodos secundario de las aguas residuales que ingresan a la planta de tratamiento.

Lagunas de maduración (LM): el área comprende la zona de tratamiento complementario para remover los microorganismos patógenos de las aguas residuales que ingresan a la planta.

Laguna de carga (LC): el área comprende la zona de tratamiento de cloración (aplicación de cloro al 7.5 a 8.5 de pH) de las aguas residuales que ingresan a la planta de tratamiento.

Canal de vertimiento: el área está compuesta por el canal de descarga, el cual es la etapa final de entrega de las aguas residuales tratadas al río alameda.

2.2.15.1. Suministro eléctrico

Es un punto de toma de energía eléctrica otorgado a sus clientes por la concesionaria en este caso Electrocentro S.A.; la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, registrado para la concesionaria como cliente (SEDA Ayacucho S.A.), suministro eléctrico N° 65364072, RUC N° 20143079075, dirección Bq. Totorilla S/N Cent. Ayacucho, Huamanga – Ayacucho y ruta 1489-40443-325. Añadiendo a lo anterior, la potencia contratada que tiene el suministro es de 60.00 kW y el promedio de máxima demanda es de 9.1174 kW.



Figura 21. Suministro eléctrico de la PTAR - Huamanga.

Fuente: cotejo propio.

2.2.15.2. Opción tarifaria

La planta de tratamiento, por su demanda elevada, pertenece al grupo de los clientes mayores o especiales, específicamente a la tarifa (MT3), medición en (baja Tensión), tensión y SED (22.9/13.2 KV/D-402561), sistema eléctrico (SE0161 Ayacucho RUR "ST4") y tipo de suministro (Trifásica Aérea "C5").

2.2.15.3. Sistema de medición

El sistema de medición de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales es del tipo semi directo, ello es debido a que es un cliente en media tensión tarifa MT3, pero con sistema de medición en baja tensión. Ello es posible debido a la conexión de equipos de medición los cuales toman señales de corriente a través de transformadores toroidales y las señales de potencial se toman directamente de la línea de alimentación de la carga. A continuación, se detalla el diagrama unifilar del sistema de medición de la planta.

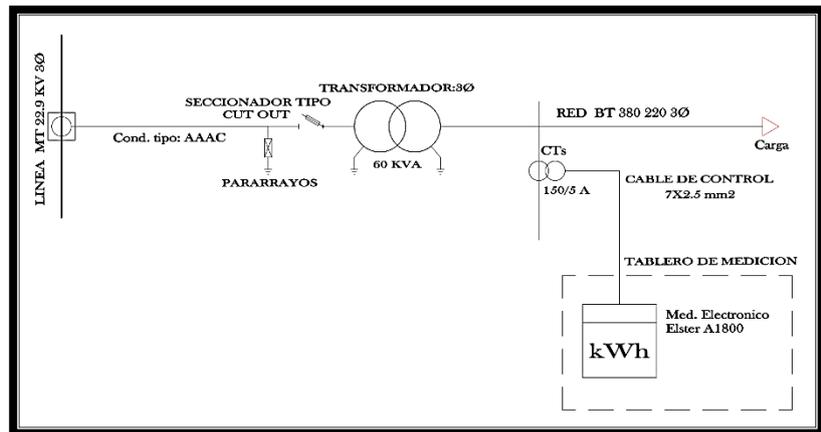


Figura 22. Diagrama unifilar medición semi directa PTAR - Huamanga.

Fuente: cotejo propio.

- A) Medidor multifunción: la planta cuenta con un medidor electrónico multifunción “Elster A1800”, el cual es un contador de energía eléctrica polifásico de registro integrado, el mismo que está diseñado para usos comerciales e industriales, así como también poseen soporte de software el cual aumenta más la precisión, eficacia y fiabilidad de la medición.



Figura 23. Contador de energía PTAR – Huamanga.

Fuente: cotejo propio.

- B) Transformadores de corriente: el equipo de medición electrónico Elster A1800, para su funcionamiento requiere de transformadores de medición o también llamados equipos reductores, los mismos que reducen los niveles elevados de corriente a valores de 1 mA a 10 A, y los niveles elevados de tensión de 46 V a 528 V. Valores que están dentro del rango aceptable por el equipo. La planta para su sistema de medición cuenta con dos transformadores toroidales de relación de transformación de 150/5 A, los cuales se pueden ver a continuación.



Figura 24. Transformador de corriente marca “Crompton Greaves” ratio 150/5 instalado en la PTAR - Huamanga.

Fuente: cotejo propio.

2.3. Definición de términos básicos

- **Altimetría:** determina la altura de los distintos puntos del terreno con respecto a un plano de comparación, generalmente el nivel medio del mar (31).
- **Energía eléctrica:** es la capacidad para realizar trabajo, medida en Joules (J). Las compañías suministradoras de electricidad miden la energía en watts hora (Wh) (32).
- **Demanda de energía:** es el consumo de electricidad de la determinada caga, la cual es variable en el tiempo ya el consumo de electricidad puede variar de acuerdo a la hora del día. En efecto en ciertas horas se consume más electricidad, por ejemplo (entre 6:00 pm y 11:00 pm a las que llamamos hora punta). Mientras que en otras se consume menos electricidad a las que llamamos (horas fuera de punta) (33).
- **Generación eléctrica:** es la primera actividad de la energía eléctrica, la cual consiste en transformar alguna clase de energía (térmica, mecánica, luminosa, entre otras) en energía eléctrica (33).
- **Máxima demanda:** es el registro de demanda de mayor consumo en un periodo de tiempo determinado (33).
- **Potencia de generación:** es la capacidad que se posee una planta de generación eléctrica para generar electricidad (33).
- **Potencia eléctrica:** equivale a la energía eléctrica que se produce en cada unidad de tiempo (33).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

3.1.1. El método sistémico

Los problemas de la sociedad, la naturaleza y el pensamiento, son complejos; esto exige que los objetos de investigación sean sistemas y no subsistemas (34).

Para desarrollar el presente trabajo de investigación se empleó el método sistémico. El propósito del método sistémico es estudiar el objeto mediante la determinación de sus elementos, sus relaciones y límites para observar su estructura y la dinámica de su funcionamiento. El enfoque sistémico enfrenta el problema en su complejidad a través de un pensamiento basada en la totalidad, en el estudio de la relación entre las partes y de las propiedades emergentes resultantes (34).

3.1.2. Tipo de la investigación

El tipo de la investigación desarrollada fue la básica; tiene como propósito ampliar el conocimiento científico a partir de la observación del funcionamiento de los fenómenos de la realidad. Sus niveles son la descripción y explicación (34).

3.1.3. Nivel de la investigación

En el presente estudio se consideró el nivel de investigación descriptiva; tiene como propósito describir los objetos de investigación tal como están funcionando u ocurriendo. El investigador no debe influir en el funcionamiento del objeto de investigación (34). Para nuestra investigación, se recopiló data sobre caudal y salto con la finalidad evaluar el potencial hidroeléctrico y verificar la posibilidad de abastecer la demanda de la PTAR de Huamanga. Así también. se recopiló data sobre el perfil de carga de la PTAR con la finalidad de evaluar la demanda de energía eléctrica.

3.2. Diseño de la investigación

El diseño elegido fue el descriptivo simple, mediante el cual se buscó recoger información actualizada sobre el objeto de investigación. Sirve para estudios de diagnósticos descriptivos y/o caracterizaciones. Para el presente estudio, se usó para evaluar el nivel y tendencia del potencial hidroeléctrico que permitirá abastecer la demanda de energía eléctrica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga. Se realizó un muestreo mensual del caudal (M) durante 3 años. Se evaluó la tendencia del potencial hidroeléctrico que se lograría con el caudal hídrico procesado por la PTAR, así mismo se evaluó la demanda eléctrica requerida por la PTAR en sus operaciones (O).

Diagrama:



Donde:

- M: muestra u objeto donde se realiza el estudio.
- O: observación de la muestra.
- M: caudal de la PTAR-Huamanga.
- O: evaluación del potencial hidroeléctrico de la PTAR-Huamanga y demanda eléctrica de la PTAR.

3.3. Población y muestra

La unidad de análisis estuvo conformada por el potencial hidroeléctrico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga Ayacucho, mientras que la muestra estuvo conformada por el registro del caudal hídrico procesado en la PTAR (l/s) durante los últimos tres años y el registro de demanda de la PTAR (kW).

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para el desarrollo de la presente investigación se aplicó un diseño de investigación de campo y documental. La aplicación de una técnica conduce a la obtención de información, la cual debe ser guardada en un medio materia de manera que los datos puedan ser recuperados, procesado, analizados e interpretados posteriormente (35). El nivel de técnica empleado fue el análisis documental y observación. Finalmente, dentro de los instrumentos se utilizó los niveles de computadora y sus unidades de almacenaje (equipo caudalímetro) y estructurados (formato de extracción de perfil) y no estructurados (diario de campo, cámaras).

En suma, la recolección de datos se realizó bajo un plan detallado de procedimientos que tienen la finalidad obtener los registros de la muestra. Para ello se utilizaron instrumentos que representaron a las variables de la investigación.

- Formato de extracción de perfil de carga (demanda de energía eléctrica).
- Diario de campo (medición del salto).
- Análisis documental (control del caudal).

3.4.1. Procedimiento de extracción del perfil de carga de la PTAR Huamanga

- A) Conexión de la sonda al lector séptico: según el catálogo de la marca (Elster). La sonda para lectura de medidores está diseñada para recopilar datos almacenados en medidor Elster A1800, la sonda es un conector DB9 hembra estándar con un cable extra flexible de 1.2 metros. La adhesión de los equipos es magnética y el lector óptico es compatible con ANSI C12.18-1996.



Figura 25. Sonda de extracción de datos Elster A1800.

Fuente: cotejo propio.

- B) Conexión de la computadora portátil: la computadora portátil de tamaño y peso ligero cuenta con el software de acceso a información del equipo de medición Elster A1800.



Figura 26. Computadora portátil usada para la extracción de perfil de carga por la concesionaria Electrocentro S.A.

Fuente: cotejo propio.

C) Acceso al software Metercad (Elster meter): el medidor multifunción Elster A1800 posee un software de soporte, el Metercad, el cual es un recolector de datos el cual ofrece las siguientes funciones:

- Desarrolla programas para generar datos, configuradas y definidas por el usuario.
- Programación del medidor para enviar comando o datos de configuración definida por el usuario al medidor.
- Extracción de data registrada por el medidor los cuales han sido almacenadas durante el mes.

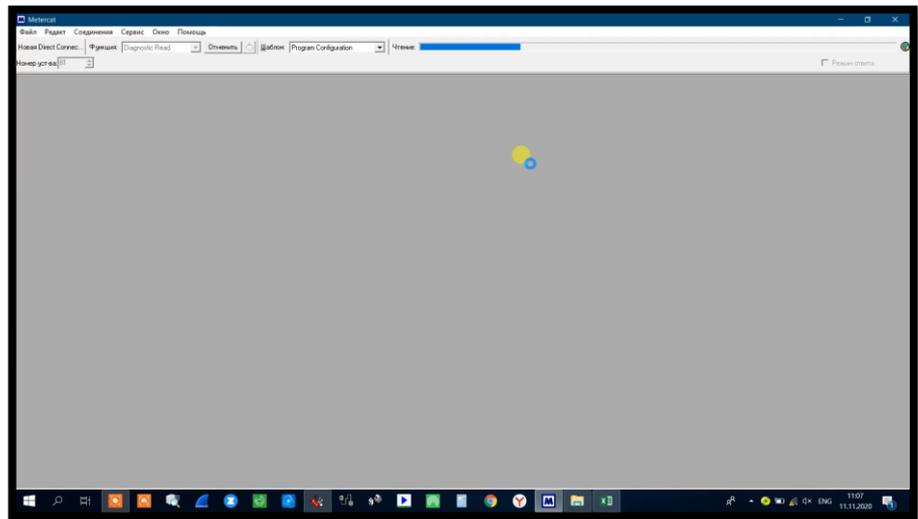


Figura 27. Entorno de extracción de data software Metercad.

Fuente: cotejo propio.

Tabla 10. Perfil de carga extraído mediante el software Metercad.

Meter ID	Date	Time	Int. Len	kWh-Del	kWh-Rec	kVARh-Q1	kVARh-Q2	kVARh-Q3	kVARh-Q4	kVAh-Del	kVAh-Rec
2887047	1/10/2021	00:15	15	0.036325	0	0.00008	0	0	0.001825	0.036425	0
2887047	1/10/2021	00:30	15	0.035995	0	0.000575	0	0	0.00195	0.036025	0
2887047	1/10/2021	00:45	15	0.035875	0	0.000175	0	0	0.00235	0.035975	0
2887047	1/10/2021	01:00	15	0.036175	0	0.00002	0	0	0.001975	0.03625	0
2887047	1/10/2021	01:15	15	0.0358	0	0.000375	0	0	0.00235	0.035875	0
2887047	1/10/2021	01:30	15	0.035825	0	0.000125	0	0	0.002375	0.035925	0
2887047	1/10/2021	01:45	15	0.03575	0	0	0	0	0.00245	0.035825	0
2887047	1/10/2021	02:00	15	0.035525	0	0	0	0	0.0025	0.0356	0
2887047	1/10/2021	02:15	15	0.036175	0	0.000325	0	0	0.0021	0.03625	0
2887047	1/10/2021	02:30	15	0.03585	0	0.00015	0	0	0.0024	0.03595	0
2887047	1/10/2021	02:45	15	0.035575	0	0	0	0	0.0025	0.03565	0
2887047	1/10/2021	03:00	15	0.035725	0	0	0	0	0.00245	0.0358	0
2887047	1/10/2021	03:15	15	0.035975	0	0.000225	0	0	0.0023	0.036075	0
2887047	1/10/2021	03:30	15	0.035825	0	0.00015	0	0	0.002425	0.0359	0
2887047	1/10/2021	03:45	15	0.035725	0	0	0	0	0.00245	0.0358	0
2887047	1/10/2021	04:00	15	0.03565	0	0	0	0	0.002525	0.035725	0
2887047	1/10/2021	04:15	15	0.035825	0	0.000275	0	0	0.00225	0.035925	0
2887047	1/10/2021	04:30	15	0.035975	0	0.000125	0	0	0.002425	0.03605	0
2887047	1/10/2021	04:45	15	0.03575	0	0	0	0	0.0026	0.03585	0
2887047	1/10/2021	05:00	15	0.03585	0	0.00025	0	0	0.002575	0.03595	0
2887047	1/10/2021	05:15	15	0.018725	0	0.00335	0	0	0.000825	0.0198	0
2887047	1/10/2021	05:30	15	0.00805	0	0.006825	0	0	0	0.010575	0
2887047	1/10/2021	05:45	15	0.011775	0	0.00605	0	0	0	0.0135	0
2887047	1/10/2021	06:00	15	0.008425	0	0.007775	0	0	0	0.011525	0
2887047	1/10/2021	06:15	15	0.00995	0	0.01115	0	0	0	0.015	0
2887047	1/10/2021	06:30	15	0.011375	0	0.0151	0	0	0	0.01895	0
2887047	1/10/2021	06:45	15	0.012425	0	0.01795	0	0	0	0.021925	0
2887047	1/10/2021	07:00	15	0.013225	0	0.019775	0	0	0	0.02385	0
2887047	1/10/2021	07:15	15	0.012825	0	0.018525	0	0	0	0.0226	0
2887047	1/10/2021	07:30	15	0.013125	0	0.019525	0	0	0	0.0236	0
2887047	1/10/2021	07:45	15	0.01285	0	0.018575	0	0	0	0.02265	0
2887047	1/10/2021	08:00	15	0.015375	0	0.017425	0	0	0	0.0234	0
2887047	1/10/2021	08:15	15	0.015575	0	0.0171	0	0	0	0.02325	0
2887047	1/10/2021	08:30	15	0.015575	0	0.016575	0	0	0	0.022825	0
2887047	1/10/2021	08:45	15	0.03205	0	0.016675	0	0	0	0.03685	0
2887047	1/10/2021	09:00	15	0.038425	0	0.01675	0	0	0	0.0423	0
2887047	1/10/2021	09:15	15	0.027375	0	0.015975	0	0	0	0.032225	0
2887047	1/10/2021	09:30	15	0.01755	0	0.015625	0	0	0	0.0239	0
2887047	1/10/2021	09:45	15	0.015475	0	0.013775	0	0	0	0.020925	0
2887047	1/10/2021	10:00	15	0.0157	0	0.013375	0	0	0	0.020825	0
2887047	1/10/2021	10:15	15	0.015475	0	0.01365	0	0	0	0.02085	0
2887047	1/10/2021	10:30	15	0.015425	0	0.01335	0	0	0	0.0206	0
2887047	1/10/2021	10:45	15	0.01535	0	0.013475	0	0	0	0.0207	0
2887047	1/10/2021	11:00	15	0.015	0	0.01215	0	0	0	0.019475	0
2887047	1/10/2021	11:15	15	0.0148	0	0.011975	0	0	0	0.019175	0
2887047	1/10/2021	11:30	15	0.01495	0	0.012975	0	0	0	0.02005	0
2887047	1/10/2021	11:45	15	0.014875	0	0.012275	0	0	0	0.019475	0
2887047	1/10/2021	12:00	15	0.015	0	0.011675	0	0	0	0.019175	0
2887047	1/10/2021	12:15	15	0.014275	0	0.009925	0	0	0	0.01755	0
2887047	1/10/2021	12:30	15	0.01515	0	0.01175	0	0	0	0.019375	0
2887047	1/10/2021	12:45	15	0.014275	0	0.010475	0	0	0	0.017975	0
2887047	1/10/2021	13:00	15	0.014225	0	0.0094	0	0	0	0.01725	0
2887047	1/10/2021	13:15	15	0.0153	0	0.0126	0	0	0	0.02015	0
2887047	1/10/2021	13:30	15	0.0149	0	0.010775	0	0	0	0.01855	0
2887047	1/10/2021	13:45	15	0.01465	0	0.010275	0	0	0	0.0181	0
2887047	1/10/2021	14:00	15	0.023	0	0.010975	0	0	0	0.026025	0
2887047	1/10/2021	14:15	15	0.036875	0	0.010075	0	0	0	0.03845	0
2887047	1/10/2021	14:30	15	0.024825	0	0.010475	0	0	0	0.027325	0
2887047	1/10/2021	14:45	15	0.0148	0	0.010175	0	0	0	0.01825	0
2887047	1/10/2021	15:00	15	0.014375	0	0.01155	0	0	0	0.018625	0
2887047	1/10/2021	15:15	15	0.01425	0	0.0116	0	0	0	0.01865	0
2887047	1/10/2021	15:30	15	0.013925	0	0.01095	0	0	0	0.01785	0
2887047	1/10/2021	15:45	15	0.01415	0	0.011325	0	0	0	0.0183	0
2887047	1/10/2021	16:00	15	0.015025	0	0.01385	0	0	0	0.02065	0
2887047	1/10/2021	16:15	15	0.014	0	0.011425	0	0	0	0.018275	0
2887047	1/10/2021	16:30	15	0.015775	0	0.016075	0	0	0	0.0228	0
2887047	1/10/2021	16:45	15	0.014475	0	0.011825	0	0	0	0.0189	0
2887047	1/10/2021	17:00	15	0.01445	0	0.011275	0	0	0	0.01865	0
2887047	1/10/2021	17:15	15	0.0141	0	0.011425	0	0	0	0.0185	0
2887047	1/10/2021	17:30	15	0.029975	0	0.01195	0	0	0	0.032625	0
2887047	1/10/2021	17:45	15	0.01515	0	0.011325	0	0	0	0.019475	0
2887047	1/10/2021	18:00	15	0.03075	0	0.011525	0	0	0	0.039975	0
2887047	1/10/2021	18:15	15	0.03785	0	0.006375	0	0	0	0.038675	0
2887047	1/10/2021	18:30	15	0.045225	0	0.00405	0	0	0.0001	0.0456	0
2887047	1/10/2021	18:45	15	0.039475	0	0.0058	0	0	0.000075	0.040225	0
2887047	1/10/2021	19:00	15	0.0384	0	0.00435	0	0	0.00015	0.038925	0
2887047	1/10/2021	19:15	15	0.0392	0	0.00545	0	0	0.0001	0.039975	0
2887047	1/10/2021	19:30	15	0.038275	0	0.004575	0	0	0.000225	0.038825	0
2887047	1/10/2021	19:45	15	0.0379	0	0.00415	0	0	0.000475	0.03845	0
2887047	1/10/2021	20:00	15	0.038175	0	0.0046	0	0	0.000375	0.03875	0

Fuente: elaboración propia.

3.4.2. Medición del salto

Para realizar la medición del salto, se utilizaron dos métodos: el método del uso del GPS y el método del nivel de ingeniero.

A) Método del uso del GPS: actualmente existen varios métodos para medir el salto con diferentes niveles de sofisticación, una de ellas es el uso de un Sistema de Posicionamiento Global (GPS), para el desarrollo de la presente investigación se usó el GPS de la marca GARMINEL. El procedimiento de recolección de datos se realizó de la siguiente manera:

- Para medir el salto lo primero que se realizó el recorrido de la pendiente donde estaría la tubería de presión, haciendo uso de un mapa geográfico para ubicar la zona, haciendo uso del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), enseguida se debe ubicar la cámara de carga para posteriormente gepear nuestra posición.

a) Primera medición



b) Segunda medición



Figura 28. Ubicación georreferenciada de la cámara de carga.

Fuente: cotejo propio.

- Después de ello, se busca aprovechar la mejor geografía de salto disponible, diseñando así el recorrido de la tubería de presión. En seguida, se debe ubicar la casa de máquinas y generar nuevamente la posición para así tener dos puntos georreferenciados; la diferencia entre las dos posiciones es el salto aprovechable para la generación de energía.

a) Primera medición

b) Segunda medición



Figura 29. Ubicación georreferenciada de la casa de máquinas.

Fuente: cotejo propio.

REGISTRO DE COTAS GPS			
FECHA REGISTRO	COTA - CAMARA DE CARGA	COTA - CASA MAQUINAS	SALTO (m)
30/11/21	2640	2630	—
11/12/21	2635	2617	—

Figura 30. Libreta de campo registro de cotas ubicación camara de carga y casa de máquinas.

Fuente: elaboración propia.

- B) Método del nivel de ingeniero: el nivel de precisión, es un instrumento topográfico comúnmente usado para nivelación geométrica y la altimetría. Para el estudio se usó el equipo de la marca Topcon, modelo AT-B4A y número de serie WP071223, una mira topográfica y un trípode.



Figura 31. Equipo topográfico nivel de precisión marca Topcon, mira topográfica y trípode.

Fuente: cotejo propio.

Procedimiento:

Para el desarrollo del trabajo de nivelación geométrica, se requirieron dos personas que efectuaran las mediciones, el operador del nivel y el portamira.

El trabajo constó en realizar dos recorridos de medición. En la primera, el operador colocará el nivel en un lugar, de tal forma que se visualice al portamira como el primer punto (cámara de carga). La segunda el operador colocara el nivel en un lugar, de tal forma que se visualizó el portamira en el primer punto (casa de máquinas), dando como resultado una nivelación descendente y la otra como ascendente.

Primera medición:

Se consideró iniciar la medición desde la cámara de carga, el portamira se colocó en este punto, el operador visualizó la mira desde la estación (E1) y tomó nota de la lectura (VAT) o lectura (+), en seguida el portamira se desplazó a un segundo punto y el operador girando el lente del nivel visualizó la mira y registró otra lectura (VAD) o lectura (-).

El operador hace un cambio de estación (E2), de tal forma que pueda ubicar al portamira en el punto anterior; en tanto a que el portamira no se ha movido, lo que hace es girar la mira para que el operador registre una nueva lectura, viendo VAT, o lectura (+), luego el portamira se

traslada a otro punto donde el operador registra la lectura en la mira que es VAD, o lectura (-).

El procedimiento para la primera medición se repitió hasta llegar al punto donde se encontró la casa de máquinas, lo cual se logró con cinco cambios de estación E3, E4 y E5.



Figura 32. Levantamiento topográfico cámara de carga a casa de máquinas.

Fuente: cotejo propio.

Segunda medición:

Se consideró iniciar la medición desde la casa de máquinas, el portamira se colocó en este punto, el operador visualizó la mira desde la estación (E1) y tomó nota de la lectura (VAT), o lectura (+), en seguida el portamira se desplazó a un segundo punto y el operador girando el lente del nivel visualizó la mira y registró otra lectura (VAD), o lectura (-).

El operador hizo un cambio de estación (E2), de tal forma que pueda ubicar al portamira en el punto anterior; para lo que el portamira no se ha movido, lo que hizo es girar la mira para que el operador registre una nueva lectura, ahora verá VAT, o lectura (+), luego el portamira se trasladó a otro punto donde el operador registró la lectura en la mira que es VAD, o lectura (-).

El procedimiento para la primera medición se repitió hasta llegar al punto donde será la cámara de carga, lo cual se logró con cuatro cambios de estación E3 y E4.



Figura 33. Levantamiento topográfico casa de máquinas a cámara de carga.

Fuente: cotejo propio.

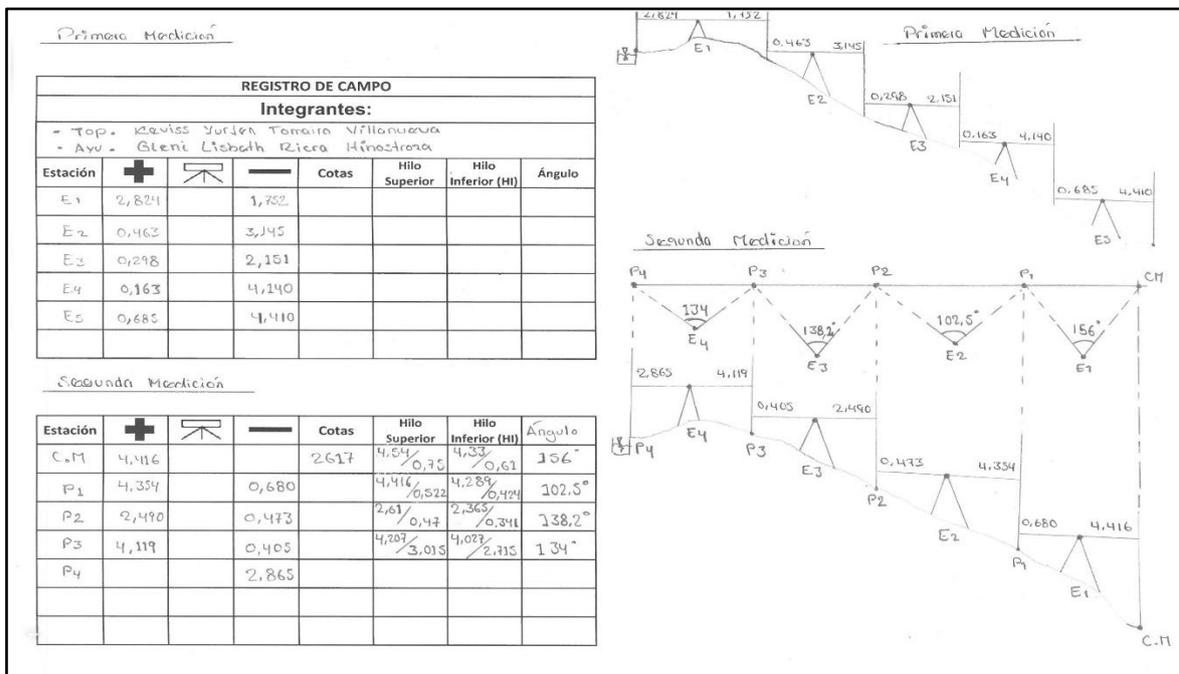


Figura 34. Libreta de campo levantamiento topográfico primera y segunda medición - altimetría.

Fuente: elaboración propia.

3.4.3. Medición del caudal

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga cuenta con un caudalímetro electrónico el cual es el encargado de medir en tiempo real el caudal que es procesado en la planta, ello es posible gracias a los sensores que posee el equipo.



Figura 35. Caseta de medición del caudal - PTAR Huamanga.

Fuente: cotejo propio.



Figura 36. Caudalímetro electrónico - PTAR Huamanga.

Fuente: cotejo propio.

El registro mostrado comprende valores registrados por el caudalímetro; dichos valores son promediados en tiempo real para así tener un valor final por mes, la unidad de registro del caudal está en litros por segundo (l/s).

CUADRO DE CONTROL DE CAUDAL AFLUENTE MEDIA ANUAL PTAR TOTORA

Mes	Unidad	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Enero	[l/s]		241	267	271	296	285	292	299	284	307	351.3	370.1	392.1	369	362.2	380.7	388.7	405
Febrero	[l/s]		247	262	276	287	291	286	326	330	300	333.2	368.5	392.4	365.3	361	407.6	376.4	407.7
Marzo	[l/s]		253	263	277	283	274	277	270	313	319	335.4	360.4	360.4	359.31	371.8	409.8	372.8	405.6
Abril	[l/s]		239	244	291	272	272	278	272	300	279.3	301.0	345.1	345.2	359.7	368.9	385.1	340.1	373.7
Mayo	[l/s]		232	226	273	270	261	271	258	265	278.2	313.4	338.3	338.6	341.1	357.3	375.6	332.2	355.3
Junio	[l/s]	209	231	233	250	266	250	268	254	266	281.3	307.9	332.5	332.5	332.1	342.2	347	316.7	347.2
Julio	[l/s]	212	229	232	246	258	249	266	256	261	282.2	309.4	340.6	343.7	333.6	346.8	351.1	340.8	342.5
Agosto	[l/s]	222	233	238	252	260	252	261	246	263	294.462	310.5	347.2	346.9	341.8	347.5	343.2	345.6	346.4
Septiembre	[l/s]	220	234	241	265	264	258	267	267	254.5	292.5	330.3	342.3	342.2	343.6	351.1	335.5	351.3	357.4
Octubre	[l/s]	227	249	245	272	266	265	269	269	244	311.4	329.5	344.7	342.1	344.8	351.3	348.6	352.6	357.4
Noviembre	[l/s]	240	252	256	287	267	272	267	281	287	324.3	327.4	360.0	344.5	345.1	351	362.6	355.6	374
Diciembre	[l/s]	265	271	271	297	272	290	299	294	322	327	345.5	391.7	378.4	352.3	353.7	473.9	371.3	380.1
Promedio	[l/s]	227.8	242.7	248.2	271.5	271.8	268.3	275.1	274.3	282.5	299.7	323.6	353.5	354.9	351.4	355.4	376.7	353.8	371.0

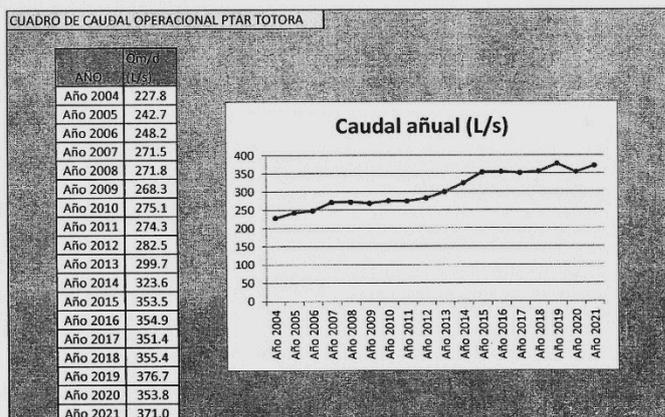


Figura 37. Registro de control del caudal 2004 a 2020 PTAR - Huamanga.

Fuente: SEDA Ayacucho.

3.5. Técnicas de análisis y procesamiento de datos

En la presente investigación se usó la estadística descriptiva para procesar los datos, mediante lo cual se midió la tendencia de la media, mediana y moda de las variables. Las medidas de tendencia central son los puntos centrales en una distribución. Las principales medidas de tendencia central son la moda, la mediana y la media. La moda es la puntuación que más se repite. La mediana es el valor que divide a la distribución por la mitad. La media es el promedio aritmético de una distribución (35). Estos valores se procesaron en el transcurso del tiempo, observando mediante el caudalímetro el valor promedio del caudal, asimismo observando paralelamente mediante el medidor multi función el perfil de demanda de la PTAR Huamanga.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

4.1.1. Análisis de la demanda eléctrica

Para el análisis de la demanda eléctrica se utilizó el perfil de carga, potencia consumida y energía consumida. Se utilizó la técnica de cálculo de la demanda mediante la curva de carga y medición directa. Para el perfil de carga se realizaron mediciones cada 15 minutos. La potencia consumida se obtuvo mediante los picos de máxima demanda.

4.1.1.1. Análisis del perfil de carga

Para determinar la demanda de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Huamanga se tuvo que recurrir al método de cálculo de demanda mediante la curva de carga o también llamado análisis de perfil de carga. Esto fue posible ya que la PTAR es un cliente mayor de tarifa MT3, el cual cuenta con un equipo de medición multitarifa que se encarga de registrar el consumo de energía el intervalo de 15 minutos.

Debido a la cantidad de los registros de los tres años de análisis 2019, 2020 y 2021, se optó por solo trabajar con el periodo donde se reportó la mayor demanda.

Tabla 11. Cuadro de control de perfil de carga de la PTAR-Huamanga.

Suministro 65364072							
Medidor N° 2887047							
Año	Mes	Día	Hora	Factor de medición	Factor de transformación	Energía activa	Demanda (kW)
2019	Enero		P. Fuera de punta	30	1.025	0.07900	9.717
2019	Febrero		P. Fuera de punta	30	1.025	0.07900	9.717
2019	Marzo		P. Fuera de punta	30	1.025	0.07900	9.717
2019	Abril		P. Fuera de punta	30	1.025	0.07450	9.164
2019	Mayo		P. Fuera de punta	30	1.025	0.05450	6.704
2019	Junio		P. Fuera de punta	30	1.025	0.07375	9.071
2019	Julio		P. Fuera de punta	30	1.025	0.07500	9.225
2019	Agosto		P. Fuera de punta	30	1.025	0.05525	6.796
2019	Setiembre		P. Fuera de punta	30	1.025	0.06300	7.749
2019	Octubre		P. Fuera de punta	30	1.025	0.07150	8.795
2019	Noviembre		P. Fuera de punta	30	1.025	0.07575	9.317
2019	Diciembre		P. Fuera de punta	30	1.025	0.06850	8.426
2020	Enero		P. Fuera de punta	30	1.025	0.07275	8.948
2020	Febrero		P. Hora punta	30	1.025	0.05525	6.796
2020	Marzo		P. Hora punta	30	1.025	0.05575	6.857
2020	Abril		P. Hora punta	30	1.025	0.05350	6.581
2020	Mayo	8	21:15:00	30	1.025	0.054625	6.719
2020	Junio	30	21:45:00	30	1.025	0.053275	6.553
2020	Julio	20	12:45:00	30	1.025	0.0721	8.868
2020	Agosto	11	11:45:00	30	1.025	0.0749	9.213
2020	Setiembre	7	21:00:00	30	1.025	0.05545	6.820
2020	Octubre	20	08:30:00	30	1.025	0.0736	9.053
2020	Noviembre	25	10:30:00	30	1.025	0.084975	10.452
2020	Diciembre	15	11:30:00	30	1.025	0.0536	6.593
2021	Enero	27	09:15:00	30	1.025	0.065925	8.109
2021	Febrero	5	22:00:00	30	1.025	0.053675	6.602
2021	Marzo	22	18:15:00	30	1.025	0.0515	6.335
2021	Abril	1	21:45:00	30	1.025	0.063075	7.758
2021	Mayo	12	09:30:00	30	1.025	0.05745	7.066
2021	Junio	15	11:45:00	30	1.025	0.055175	6.787
2021	Julio	21	11:30:00	30	1.025	0.0572	7.036
2021	Agosto	27	09:00:00	30	1.025	0.05485	6.747

2021	Setiembre	29	18:30:00	30	1.025	0.06295	7.743
2021	Octubre	5	18:30:00	30	1.025	0.0622	7.651
2021	Noviembre		P. Hora punta	30	1.025	0.08274	9.686
2021	Diciembre		P. Hora punta	30	1.025	0.06856	8.026

Fuente: elaboración propia.

4.1.1.2. Potencia consumida

Para determinar la potencia consumida o demanda se tuvo que analizar el perfil de carga mensual de la PTAR Huamanga, los valores que contiene la siguiente tabla son los picos de demanda máxima mensual de los años (2019, 2020 y 2021), la hora y el día en el que se realizó dicho registró. Así también, la tabla contiene valores donde no hay hora ni día de registro, dichos valores fueron extraídas del registro “Histórico de consumo y lecturas” de la concesionaria Electrocentro S.A. (ver Anexo 3), al cual se logró acceder mediante el código de suministro en su plataforma NGC.

Tabla 12. Potencia consumida de la PTAR 2019-2021.

Mes	Día	Hora	Demanda (kW) - 2019	Día	Hora	Demanda (kW) - 2020	Día	Hora	Demanda (kW) - 2021
ENERO		P. FUERA DE PUNTA	9.717		P. FUERA DE PUNTA	8.948	27	09:15:00	8.109
FEBRERO		P. FUERA DE PUNTA	9.717		P. HORA PUNTA	6.796	5	22:00:00	6.602
MARZO		P. FUERA DE PUNTA	9.717		P. HORA PUNTA	6.857	22	18:15:00	6.335
ABRIL		P. FUERA DE PUNTA	9.164		P. HORA PUNTA	6.581	1	21:45:00	7.758
MAYO		P. FUERA DE PUNTA	6.704	8	21:15:00	6.719	12	09:30:00	7.066
JUNIO		P. FUERA DE PUNTA	9.071	30	21:45:00	6.553	15	11:45:00	6.787
JULIO		P. FUERA DE PUNTA	9.225	20	12:45:00	8.868	21	11:30:00	7.036
AGOSTO		P. FUERA DE PUNTA	6.796	11	11:45:00	9.213	27	09:00:00	6.747
SETIEMBRE		P. FUERA DE PUNTA	7.749	7	21:00:00	6.820	29	18:30:00	7.743
OCTUBRE		P. FUERA DE PUNTA	8.795	20	08:30:00	9.053	5	18:30:00	7.651
NOVIEMBRE		P. FUERA DE PUNTA	9.317	25	10:30:00	10.452		P. HORA PUNTA	9.686
DICIEMBRE		P. FUERA DE PUNTA	8.426	15	11:30:00	6.593		P. HORA PUNTA	8.026

Fuente: elaboración propia.

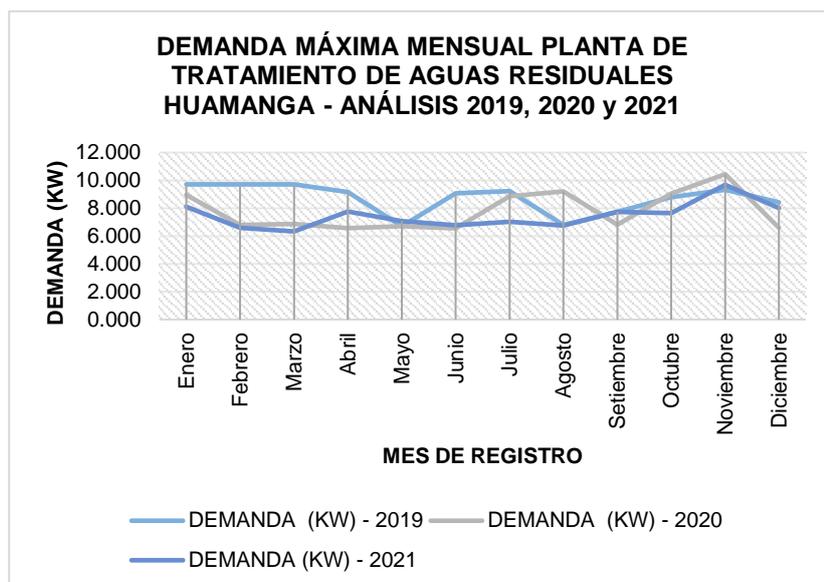


Figura 38. Gráfica de la demanda máxima mensual Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huamanga - análisis 2019, 2020 y 2021.

Fuente: elaboración propia.

4.1.1.3. Energía consumida

Del análisis del perfil de carga mensual de la PTAR Huamanga, se obtuvo también la energía consumida en intervalos de 15 minutos dichos valores fueron procesados para obtener la demanda mensual de los años (2019, 2020 y 2021). Así también, la tabla contiene valores que fueron extraídas del registro “Histórico de consumo y lecturas” de la concesionaria Electrocentro S.A. al cual se logró acceder mediante el código de suministro en su plataforma NGC.

Tabla 13. Demanda de energía mensual - Análisis 2019-2021.

Mes	Σ Energía Activa Mensual 2019	Demanda (kWh) - 2019	Σ Energía Activa Mensual 2020	Demanda (kWh) - 2020	Σ Energía Activa Mensual 2021	Demanda (kWh) - 2021
Enero		2 264.645		2 463.075		2 653.110
Febrero		2 045.490		2 161.725	65.953	2 028.069
Marzo		2 264.645		2 423.100	70.288	2 161.366
Abril		2 384.632		2 321.625	66.806	2 054.293
Mayo		2 115.600	83.718	2 574.326	68.847	2 117.059

Junio	2 146.350	75.323	2 316.174	67.161	2 065.194
Julio	2 297.025	90.990	2 797.946	68.776	2 114.850
Agosto	2 183.250	85.456	2 627.777	68.719	2 113.095
Setiembre	2 146.350	80.546	2 476.788	69.700	2 143.273
Octubre	2 315.475	80.183	2 465.613	70.586	2 170.520
Noviembre	1 928.025	83.227	2 559.223		2 757.968
Diciembre	1 961.850	77.449	2 381.556		2 770.883
E. Anual (kWh/Año)	26 053.337		29 568.928		27 149.680

Fuente: elaboración propia.

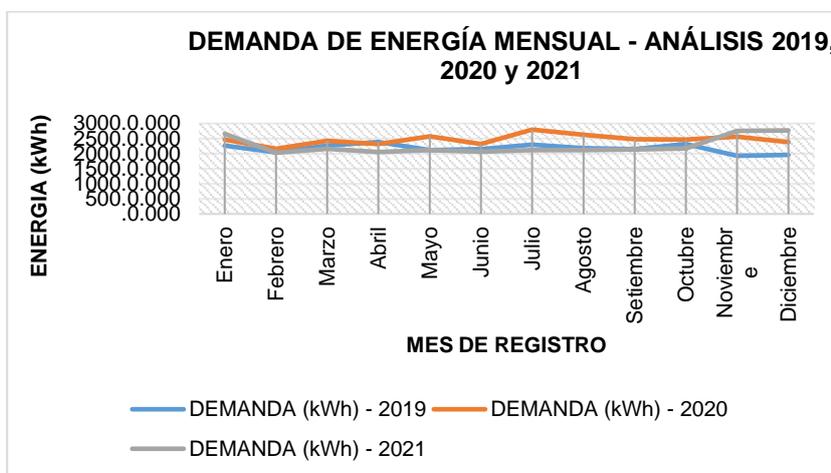


Figura 39. Gráfica de la demandada de energía mensual - análisis 2019, 2020 y 2021.

Fuente: elaboración propia.

4.1.2. Análisis del potencial hidroeléctrico

4.1.2.1. Medición de salto

- A) Salto bruto: para encontrar determinar el salto bruto de la fuente hídrica se realizó mediante el método del GPS y el método del ingeniero

Método del GPS:

Tabla 14. Registro de cotas GPS.

Fecha de registro	Cota - Cámara de carga	Cota - Casa de maquinas	Salto (m)
30/11/2021	2640	2630	10
11/12/2021	2635	2617	18

Fuente: elaboración propia.

La altura promedio fue de:

$$\text{Altura Promedio} = \frac{\text{Primera Lectura} + \text{Segunda Lectura}}{2}$$

$$\text{Altura Promedio} = \frac{10 + 18}{2} = 14 \text{ m}$$

Método del nivel de ingeniero:

- i. Primera medición: para determinar el salto o desnivel de la cámara de carga y la casa de máquinas, se tuvo que realizar mediante el método de nivelación geométrica, para lo cual se hizo uso del nivel de ingeniero. La primera medición inició en la cámara de carga y terminó en la casa de máquinas.

Tabla 15. Cálculo del salto mediante distancias verticales.

Estación	VAD	VAT	Hi = VAD-VAT
E1	2.824	1.752	1.072
E2	0.463	3.145	-2.682
E3	0.298	2.151	-1.853
E4	0.163	4.14	-3.977
E5	0.685	4.41	-3.725
H. Total (m)			-11.165

Fuente: elaboración propia.

- ii. Segunda medición: para determinar el salto o desnivel de la cámara de carga y la casa de máquinas, se tuvo que realizar mediante el método de nivelación geométrica para lo cual se hizo uso del nivel de

ingeniero. La segunda medición inició en la casa de máquinas y terminó en la cámara de carga. Para el análisis, se usó la cota inicial de 2 617 msnm UTM 18 L 585985 - 8547138, la cual fue ubicada con el instrumento GPS en el punto de ubicación de la casa de máquinas.

Tabla 16. *Cálculo del salto mediante cotas.*

Estación	+	Δ	-	Cota
C.M	4.416	2621.416		2617
P1	4.354	2625.09	0.68	2620.736
P2	2.49	2627.107	0.473	2624.617
P3	4.119	2630.821	0.405	2626.702
P4			2.865	2627.956
H. Total (m)				10.956

Fuente: elaboración propia.

Tabla 17. *Cálculo de la distancia horizontal cámara de carga - casa de máquinas.*

Hilo superior	Hilo inferior	Distancia (m)	Ángulo	Longitud (m)
4.54	4.33	21.00	156°	34.266
0.75	0.61	14.00		
4.416	4.289	12.70	102.5°	17.64
0.522	0.424	9.80		
2.61	2.365	24.50	138.2°	35.183
0.47	0.341	12.90		
4.207	4.027	18.00	134°	44.432
3.015	2.715	30.00		
Longitud horizontal (m)				131.521

Fuente: elaboración propia.

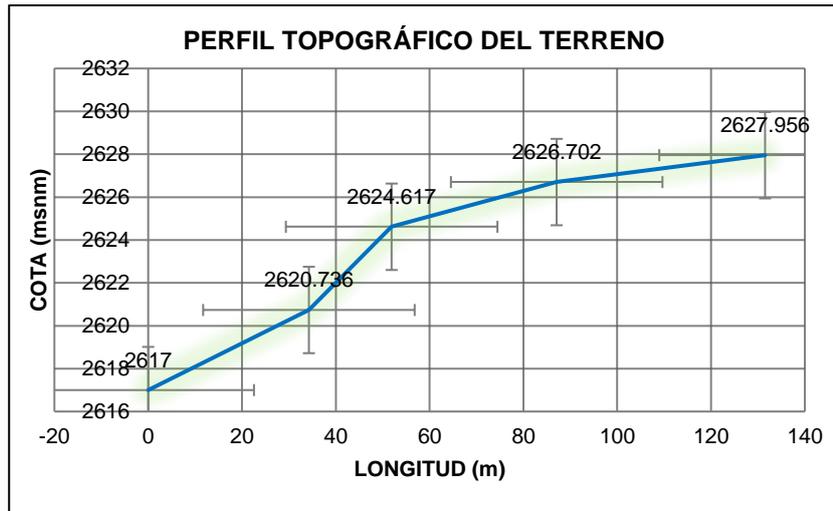


Figura 40. Perfil topográfico del terreno.

Fuente: elaboración propia.

La cota inicial estuvo a 2 617 msnm punto de ubicación de la casa de máquinas y la cota 2 627.956, se ubicó en el punto de ubicación de la cámara de carga.

B) Salto útil: teniendo ya el salto bruto debemos determinar el salto útil mediante la siguiente ecuación. Para ello debemos considerar las pérdidas debido a que la canalización del agua hasta la turbina el cual es hecha por canales y tuberías. En ambos casos se producen pérdidas, debido al rozamiento el cual se traduce en un salto menor para ello se deben dimensionar canales y tuberías que tengan pérdidas mínimas. Para ello debemos usar el valor de "H total" de la tabla 15, puesto que para el estudio se vio conveniente considerar el resultado de la segunda medición ya que esta solo difiere con la primera en 20.9 centímetros. El salto neto H_n se define como la diferencia entre el salto útil (H_u) y las pérdidas de carga (H_p) que se producen en las conducciones de agua. El salto útil es la diferencia entre el nivel de la lámina de agua en la cámara de carga y el nivel de desagüe de la turbina. El salto bruto (H_b) es la diferencia de altura entre la lámina de agua en la toma y el nivel del río en el punto donde se descarga el caudal turbinado.

$$\text{Salto útil} = \text{Salto bruto} - \text{Pérdidas}$$

$$\text{Salto útil} = 10.956 - 10.956 * 0.04$$

$$\text{Salto útil} = 10.518 \text{ m}$$

4.1.2.2. Medición del caudal

Para determinar el caudal, se tuvo que recurrir a solicitar la data de registro de la empresa SEDA Ayacucho, puesto que esta es la encargada de las operaciones de la planta de tratamiento de Huamanga. La empresa proporcionó el “cuadro de control de caudal afluente PTAR Huamanga” (tabla 18), el cual contenía data registrada desde el 2004 al 2021. Para el estudio solo se tomaron en cuenta los últimos tres años: 2019, 2020 y 2021.

A continuación, también se detalla un cuadro de control de caudal en el sistema internacional, para convertir estos valores de litros sobre segundos (l/s) a metros cúbicos sobre segundos (m^3/s), para lo cual se debe multiplicar a cada valor registrado por la siguiente relación: $1 \text{ l/s} = 0.001 \text{ m}^3/\text{s}$ (tabla 19).

Tabla 18. Cuadro de control de caudal medida (l/s) afluente PTAR-Huamanga.

Mes	Unidad	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Enero	[l/s]		241.000	267.000	271.000	296.000	285.000	292.000	299.000	284.000	307.000	351.300	370.100	392.100	369.000	362.200	380.700	388.700	405.000
Febrero	[l/s]		247.000	262.000	276.000	287.000	291.000	286.000	326.000	330.000	300.000	333.200	368.500	392.400	365.300	361.000	407.600	376.400	407.700
Marzo	[l/s]		253.000	263.000	277.000	283.000	274.000	277.000	270.000	313.000	319.000	335.400	360.400	360.400	359.310	371.800	409.800	372.800	405.600
Abril	[l/s]		239.000	244.000	291.000	272.000	272.000	278.000	272.000	300.000	279.300	301.000	345.100	345.200	359.700	368.900	385.100	340.100	373.700
Mayo	[l/s]		232.000	226.000	273.000	270.000	261.000	271.000	258.000	265.000	278.200	313.400	338.300	338.600	341.100	357.300	375.600	333.200	355.300
Junio	[l/s]	209.000	231.000	233.000	250.000	266.000	250.000	268.000	254.000	266.000	281.300	307.900	332.500	332.500	332.100	342.200	347.000	316.700	347.200
Julio	[l/s]	212.000	229.000	232.000	246.000	258.000	249.000	266.000	256.000	261.000	282.200	309.400	340.600	343.700	333.600	346.800	351.100	340.800	342.500
Agosto	[l/s]	222.000	233.000	238.000	252.000	260.000	252.000	261.000	246.000	263.000	294.462	310.500	347.200	346.900	341.800	347.500	343.200	345.600	346.400
Setiembre	[l/s]	220.000	234.000	241.000	265.000	264.000	258.000	267.000	267.000	254.500	292.500	330.300	342.300	342.200	343.600	351.100	335.500	351.300	357.400
Octubre	[l/s]	227.000	249.000	245.000	272.000	266.000	265.000	269.000	269.000	244.000	311.400	329.500	344.700	342.100	344.800	351.300	348.600	352.600	357.400
Noviembre	[l/s]	240.000	252.000	256.000	287.000	267.000	272.000	267.000	281.000	287.000	324.300	327.400	360.000	344.500	345.100	351.000	362.600	355.600	374.000
Diciembre	[l/s]	265.000	271.000	271.000	297.000	272.000	290.000	299.000	294.000	322.000	327.000	345.500	391.700	378.400	352.300	353.700	473.900	371.300	380.100

Fuente: registro histórico, SEDA Ayacucho.

Tabla 19. Cuadro de control de caudal medida (m³/s) Afluente PTAR-Huamanga.

Mes	Unidad	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Enero	[m ³ /s]		0.241	0.267	0.271	0.296	0.285	0.292	0.299	0.284	0.307	0.351	0.370	0.392	0.369	0.362	0.381	0.389	0.405
Febrero	[m ³ /s]		0.247	0.262	0.276	0.287	0.291	0.286	0.326	0.330	0.300	0.333	0.369	0.392	0.365	0.361	0.408	0.376	0.408
Marzo	[m ³ /s]		0.253	0.263	0.277	0.283	0.274	0.277	0.270	0.313	0.319	0.335	0.360	0.360	0.359	0.372	0.410	0.373	0.406
Abril	[m ³ /s]		0.239	0.244	0.291	0.272	0.272	0.278	0.272	0.300	0.279	0.301	0.345	0.345	0.360	0.369	0.385	0.340	0.374
Mayo	[m ³ /s]		0.232	0.226	0.273	0.270	0.261	0.271	0.258	0.265	0.278	0.313	0.338	0.339	0.341	0.357	0.376	0.333	0.355
Junio	[m ³ /s]	0.209	0.231	0.233	0.250	0.266	0.250	0.268	0.254	0.266	0.281	0.308	0.333	0.333	0.332	0.342	0.347	0.317	0.347
Julio	[m ³ /s]	0.212	0.229	0.232	0.246	0.258	0.249	0.266	0.256	0.261	0.282	0.309	0.341	0.344	0.334	0.347	0.351	0.341	0.343
Agosto	[m ³ /s]	0.222	0.233	0.238	0.252	0.260	0.252	0.261	0.246	0.263	0.294	0.311	0.347	0.347	0.342	0.348	0.343	0.346	0.346
Setiembre	[m ³ /s]	0.220	0.234	0.241	0.265	0.264	0.258	0.267	0.267	0.255	0.293	0.330	0.342	0.342	0.344	0.351	0.336	0.351	0.357
Octubre	[m ³ /s]	0.227	0.249	0.245	0.272	0.266	0.265	0.269	0.269	0.244	0.311	0.330	0.345	0.342	0.345	0.351	0.349	0.353	0.357
Noviembre	[m ³ /s]	0.240	0.252	0.256	0.287	0.267	0.272	0.267	0.281	0.287	0.324	0.327	0.360	0.345	0.345	0.351	0.363	0.356	0.374
Diciembre	[m ³ /s]	0.265	0.271	0.271	0.297	0.272	0.290	0.299	0.294	0.322	0.327	0.346	0.392	0.378	0.352	0.354	0.474	0.371	0.380
Promedio	[m ³ /s]	0.228	0.243	0.248	0.272	0.272	0.268	0.275	0.274	0.283	0.300	0.324	0.354	0.355	0.351	0.355	0.377	0.354	0.371

Fuente: registro histórico, SEDA Ayacucho.

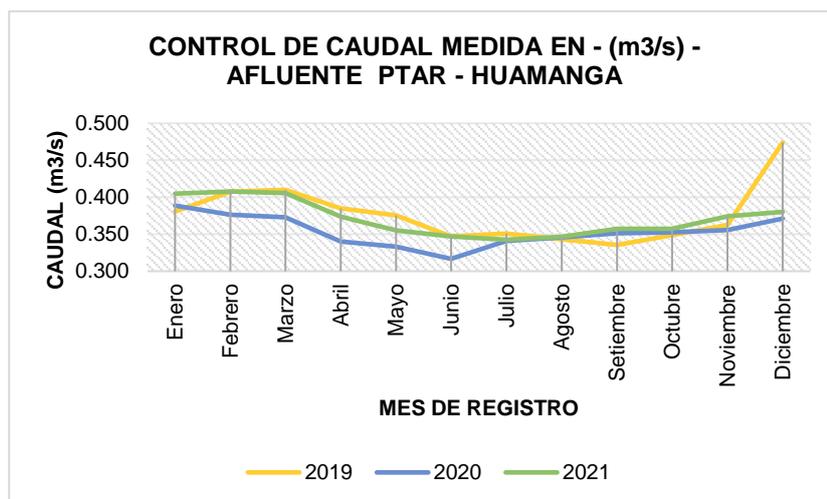


Figura 41. Gráfica de la curva de caudal mensual de los años 2004 a 2021.

Fuente: elaboración propia.

Crecimiento del caudal promedio anual de los últimos 17 años en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga.

Tabla 20. Caudal promedio anual registro 2004 - 2021.

AÑO	CAUDAL PROMEDIO (m ³ /s)
2004	0.228
2005	0.243
2006	0.248
2007	0.272
2008	0.272
2009	0.268
2010	0.275
2011	0.274
2012	0.283
2013	0.300
2014	0.324
2015	0.354
2016	0.355
2017	0.351
2018	0.355
2019	0.377
2020	0.354
2021	0.371

Fuente: elaboración propia.

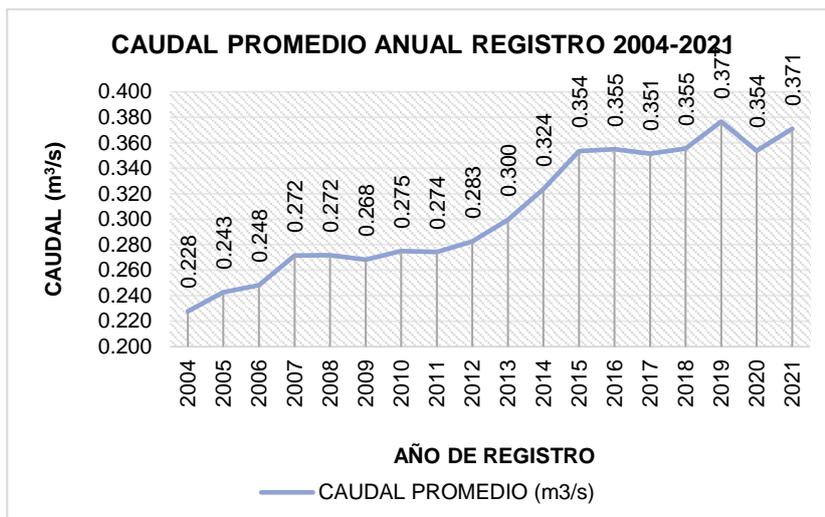


Figura 42. Caudal promedio anual registro 2004 - 2021.

Fuente: elaboración propia.

4.1.2.3. Cálculo del potencial teórico de generación

A) Potencia disponible: conocido el valor de salto útil y el caudal aprovechable mensual de los últimos tres años 2019, 2020 y 2021; así también, se conoce el rendimiento total del sistema el cual comprende (rendimiento de la obra civil, rendimiento de la tubería, rendimiento de la turbina, rendimiento del generador y rendimiento del transformador y rendimiento de la línea) se procede a determinar la potencia útil mensual de los últimos tres años en análisis.

Tabla 21. Potencia disponible mensual - análisis 2019, 2020 y 2021.

MES	PESO ESPECÍFICO DEL AGUA kN/m³	SALTO ÚTIL (m)	RENDIMIENTO TOTAL (%) - 2019	CAUDAL (m³/s) - 2019	CAUDAL (m³/s) - 2020	CAUDAL (m³/s) - 2021	POTENCIA ÚTIL (kW) - 2019	POTENCIA ÚTIL (kW) - 2020	POTENCIA ÚTIL (kW) - 2021
Enero	9.81	10.518	50.232 %	0.381	0.389	0.405	19.731	20.146	20.991
Febrero	9.81	10.518	50.232 %	0.408	0.376	0.408	21.125	19.508	21.131
Marzo	9.81	10.518	50.232 %	0.410	0.373	0.406	21.240	19.322	21.022
Abril	9.81	10.518	50.232 %	0.385	0.340	0.374	19.959	17.627	19.368
Mayo	9.81	10.518	50.232 %	0.376	0.333	0.355	19.467	17.269	18.415
Junio	9.81	10.518	50.232 %	0.347	0.317	0.347	17.985	16.414	17.995
Julio	9.81	10.518	50.232 %	0.351	0.341	0.343	18.197	17.663	17.751
Agosto	9.81	10.518	50.232 %	0.343	0.346	0.346	17.788	17.912	17.954

Setiembre	9.81	10.518	50.232 %	0.336	0.351	0.357	17.389	18.208	18.524
Octubre	9.81	10.518	50.232 %	0.349	0.353	0.357	18.068	18.275	18.524
Noviembre	9.81	10.518	50.232 %	0.363	0.356	0.374	18.793	18.430	19.384
Diciembre	9.81	10.518	50.232 %	0.474	0.371	0.380	24.562	19.244	19.700

Fuente: elaboración propia.

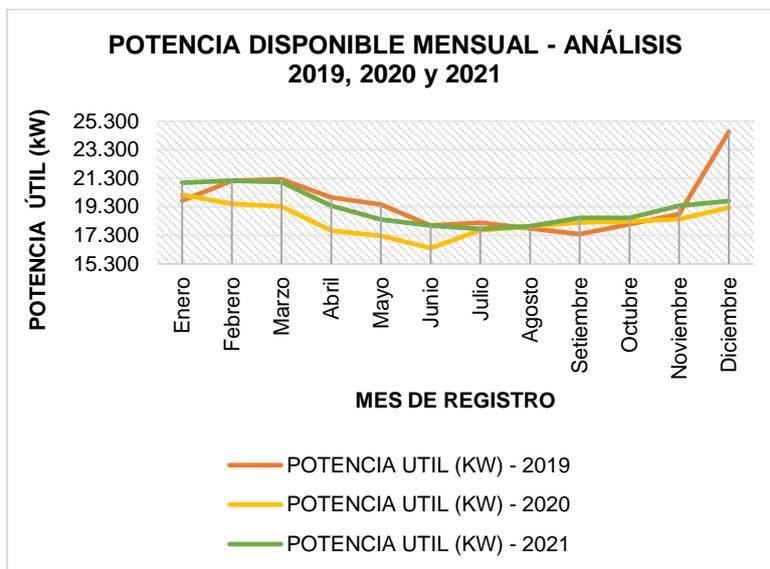


Figura 43. Gráfica de la potencia disponible mensual - análisis 2019, 2020 y 2021.

Fuente: elaboración propia.

- B) Energía disponible: del cálculo anterior se conoce potencia disponible mensual o potencia útil (kW), para evaluar la energía se tuvo que calcular el tiempo (T) el cual representa el tiempo de operación mensual de la planta, dicho dato se obtuvo multiplicando las horas del día por los días de un mes de operación.

Tabla 22. Energía disponible mensual - análisis 2019, 2020 y 2021.

MES	ENERGÍA (kWh) - 2019	ENERGÍA (kWh) - 2020	ENERGÍA (kWh) - 2021
Enero	14 680.08	14 988.57	15 617.11
Febrero	14 196.33	13 577.87	14 199.82
Marzo	15 802.20	14 375.45	15 640.25
Abril	14 370.73	12 691.47	13 945.31

Mayo	14 483.42	12 848.45	13 700.64
Junio	12 948.95	11 818.25	12 956.42
Julio	13 538.69	13 141.51	13 207.06
Agosto	13 234.06	13 326.60	13 357.45
Setiembre	12 519.81	13 109.42	13 337.05
Octubre	13 442.28	13 596.53	13 781.62
Noviembre	13 531.10	13 269.88	13 956.51
Diciembre	18 273.95	14 317.61	14 656.95
E. ANUAL (kWh/Año)	171 021.61	161 061.61	168 356.19

Fuente: elaboración propia.

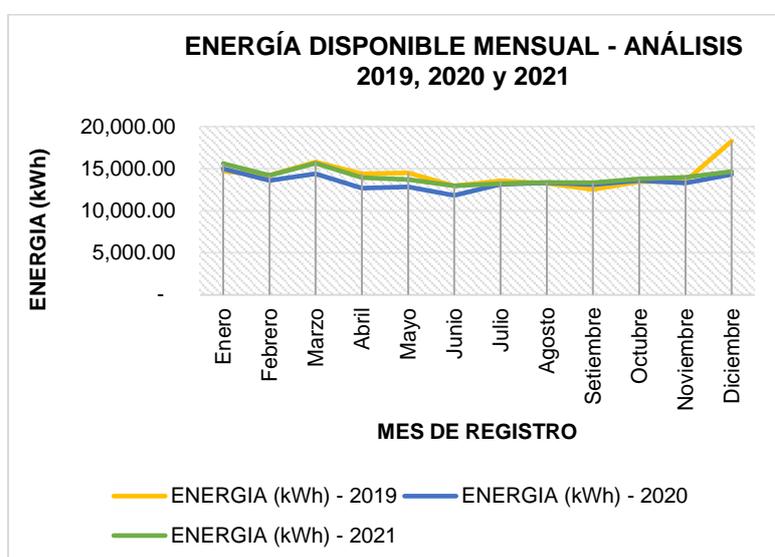


Figura 44. Energía disponible mensual - análisis 2019, 2020 y 2021.

Fuente: elaboración propia.

- C) Relación demanda y potencia disponible: en la siguiente tabla se detalla un cuadro comparativo entre demanda de la PTAR y la potencia disponible.

Tabla 23. Cuadro comparativo demanda y potencia útil - análisis 2019, 2020 y 2021.

MES	Demanda (kW) - 2019	Potencia útil (kW) - 2019	Demanda (KW) - 2020	Potencia útil (kW) - 2020	Demanda (kW) - 2021	Potencia útil (kW) - 2021
Enero	9.717	19.731	8.948	20.146	8.109	20.991
Febrero	9.717	21.125	6.796	19.508	6.602	21.131
Marzo	9.717	21.240	6.857	19.322	6.335	21.022
Abril	9.164	19.959	6.581	17.627	7.758	19.368

Mayo	6.704	19.467	6.719	17.269	7.066	18.415
Junio	9.071	17.985	6.553	16.414	6.787	17.995
Julio	9.225	18.197	8.868	17.663	7.036	17.751
Agosto	6.796	17.788	9.213	17.912	6.747	17.954
Setiembre	7.749	17.389	6.820	18.208	7.743	18.524
Octubre	8.795	18.068	9.053	18.275	7.651	18.524
Noviembre	9.317	18.793	10.452	18.430	9.686	19.384
Diciembre	8.426	24.562	6.593	19.244	8.026	19.700

Fuente: elaboración propia.

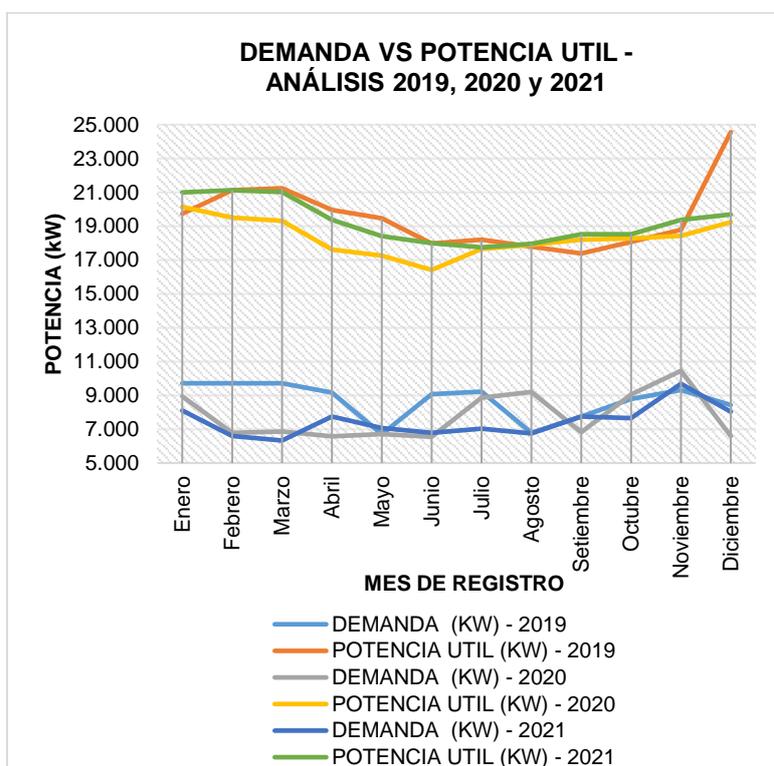


Figura 45. Demanda vs potencia útil - análisis 2019, 2020 y 2021.

Fuente: elaboración propia.

D) Relación demanda y energía disponible: en la siguiente tabla se detalla un cuadro comparativo entre demanda de energía de la PTAR y la energía disponible.

Tabla 24. Cuadro comparativo demanda y energía disponible - análisis 2019, 2020 y 2021.

MES	DEMANDA (kWh) - 2019	ENERGÍA (kWh) - 2019	DEMANDA (kWh) - 2020	ENERGÍA (kWh) - 2020	DEMANDA (kWh) - 2021	ENERGÍA (kWh) - 2021
Enero	2 264.65	14 680.08	2 463.08	14 988.57	2 653.11	15 617.11
Febrero	2 045.49	14 196.33	2 161.73	13 577.87	2 028.07	14 199.82
Marzo	2 264.65	15 802.20	2 423.10	14 375.45	2 161.37	15 640.25
Abril	2 384.63	14 370.73	2 321.63	12 691.47	2 054.29	13 945.31
Mayo	2 115.60	14 483.42	2 574.33	12 848.45	2 117.06	13 700.64
Junio	2 146.35	12 948.95	2 316.17	11 818.25	2 065.19	12 956.42
Julio	2 297.03	13 538.69	2 797.95	13 141.51	2 114.85	13 207.06
Agosto	2 183.25	13 234.06	2 627.78	13 326.60	2 113.10	13 357.45
Setiembre	2 146.35	12 519.81	2 476.79	13 109.42	2 143.27	13 337.05
Octubre	2 315.48	13 442.28	2 465.61	13 596.53	2 170.52	13 781.62
Noviembre	1 928.03	13 531.10	2 559.22	13 269.88	2 757.97	13 956.51
Diciembre	1 961.85	18 273.95	2 381.56	14 317.61	2 770.88	14 656.95
E. ANUAL (kWh/año)	26 053.34	171 021.61	29 568.93	161 061.61	27 149.68	168 356.19

Fuente: elaboración propia.

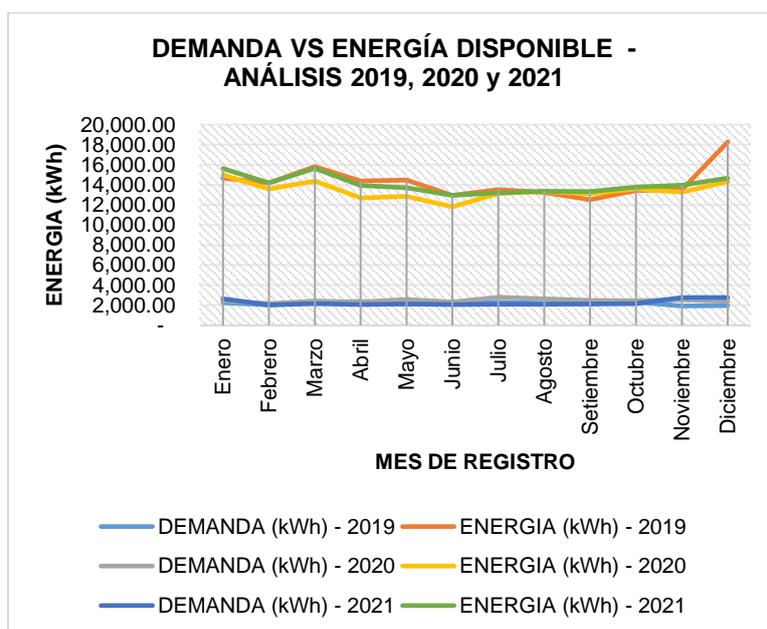


Figura 46. Demanda vs energía disponible - análisis 2019, 2020 y 2021.

Fuente: elaboración propia.

- E) Cálculo de factor de planta: para determinar el factor de planta, se debe conocer la energía anual que produce la planta y la energía que podría generar si trabajara a plena carga todo el año.

Resultados del análisis 2019:

Energía consumida = 26 053.337 kWh.

Pmax= 24.562 kW.

T = 8 760 h.

Remplazando los datos en la ecuación, se obtiene el siguiente resultado:

$$F_c = \frac{26053.337}{24.562 * 8760}$$
$$F_c = 0.121$$

Resultados del análisis 2020:

Energía consumida = 29 568.928 kWh.

Pmax= 24.562 kW.

T = 8 760 h

Remplazando los datos en la ecuación, se obtiene el siguiente resultado:

$$F_c = \frac{29568.337}{24.562 * 8760}$$
$$F_c = 0.137$$

Resultados del análisis 2021:

Energía consumida = 24 378.797 kWh (registro a noviembre de 2021).

Pmax= 24.562 kW.

T = 8 016 h.

Remplazando los datos en la ecuación, se obtiene el siguiente resultado:

$$F_c = \frac{24378.797}{24.562 * 8016}$$
$$F_c = 0.124$$

4.2. Prueba de hipótesis

4.2.1. Prueba de normalidad

En la estadística, contamos con dos test: el de Shapiro-Wilk y la prueba de Kolmogorov-Smirnov, los cuales son usados para contrastar la normalidad de los datos. Se usa Shapiro-Wilk cuando $n \leq 50$ y la prueba Kolmogorov-Smirnov cuando $n > 50$. Para el desarrollo de la investigación, solo se usó la prueba de significancia debido a que los datos a procesar vienen de un equipo de medición electrónico, añadido a ellos los mismos tienen una tendencia de crecimiento, por tanto, no tienen una distribución normal.

4.2.2. Hipótesis general

A continuación, se presenta el significado de las hipótesis.

Para el caso de la hipótesis nula, se planteó que el potencial hidroeléctrico no abastecerá la demanda de energía de la planta de tratamiento de aguas residuales. En este caso \bar{X} : representa el potencial hidroeléctrico estimado por el caudal, el salto bruto del agua y el tiempo mensual de generación de la energía hidrocínética. μ : significa la demanda de energía eléctrica estimada a través de la observación directa, por medio del medidor multifunción Elster A1800.

H_0 : el potencial hidroeléctrico no abastecerá la demanda de energía eléctrica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huamanga 2021.

$$H_0 = \bar{X} \leq \mu$$

Para la hipótesis alternativa, se planteó que el potencial hidroeléctrico abastecerá la demanda de energía de la planta de tratamiento de aguas residuales. En este caso \bar{X} : representa el potencial hidroeléctrico estimado por el caudal y el salto bruto del agua. μ : significa la demanda de energía eléctrica estimada a través de la observación directa, por medio del medidor multifunción Elster A1800.

H₁: el potencial hidroeléctrico abastecerá la demanda de energía eléctrica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huamanga 2021.

$$H_1 = \bar{X} \geq \mu$$

A continuación, se muestran los estadísticos descriptivos de la energía estimada disponible y la demanda de energía de la PTAR Huamanga.

Tabla 25. *Estadísticos descriptivos.*

Estadísticos descriptivos					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico
Energía disponible	36	11818.253	18273.948	13901.09450	1159.126916
Demanda	36	1928.025	2797.946	2299.22050	236.390922
N válido (según lista)	36				

Fuente: elaboración propia.

Se aprecia en la tabla 25, que la media de la demanda máxima de energía eléctrica de la PTAR Huamanga es de 2 797.946 kWh, este valor representa a μ , mientras que el valor 13 901.0945 kWh es la media de la energía estimada disponible (potencial hidroeléctrico de la PTAR Huamanga), además, se usaron los 36 datos del potencial hidroeléctrico mensual de los tres años para aplicar una prueba Z y responder a la hipótesis.

En la siguiente tabla, se muestran los valores ingresados en el paquete de software estadístico SPSS, el cual aporta en la determinación de la significancia de la prueba de hipótesis. Los datos ingresados a continuación, son las estimaciones de energía desde el mes de enero del año 2019 hasta el mes de diciembre del año 2021. Para corroborar estos datos obtenidos para la evaluación del potencial hidroeléctrico, se obtuvieron del caudalímetro electrónico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga y el salto de agua mediante la medición topográfica del lugar.

El registro de menor valor fue el del mes de junio del 2019, siendo de 11 818.253 kWh, sin embargo, el mayor registro de energía disponible estimada fue de 18 273.948 kWh, el cual se obtuvo en diciembre del 2019.

La energía estimada se puede apreciar en los siguientes gráficos, que son de mayor porcentaje en los meses de octubre a marzo; paralelamente, los meses donde se estima un potencial hidroeléctrico alto, también son los meses donde existe una demanda de energía eléctrica más alta.

Tabla 26. *Datos ingresados en el software SPSS 21.*

Energía Disponible					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	11 818.253	1	2.8	2.8	2.8
	12 519.810	1	2.8	2.8	5.6
	12 691.468	1	2.8	2.8	8.3
	12 848.448	1	2.8	2.8	11.1
	12 948.955	1	2.8	2.8	13.9
	12 956.418	1	2.8	2.8	16.7
	13 109.417	1	2.8	2.8	19.4
	13 141.510	1	2.8	2.8	22.2
	13 207.063	1	2.8	2.8	25.0
	13 234.055	1	2.8	2.8	27.8
	13 269.880	1	2.8	2.8	30.6
	13 326.601	1	2.8	2.8	33.3
	13 337.050	1	2.8	2.8	36.1
	13 357.450	1	2.8	2.8	38.9
	13 442.284	1	2.8	2.8	41.7
	13 531.098	1	2.8	2.8	44.4
	13 538.685	1	2.8	2.8	47.2
	13 577.868	1	2.8	2.8	50.0
	13 596.527	1	2.8	2.8	52.8
	13 700.641	1	2.8	2.8	55.6
	13 781.618	1	2.8	2.8	58.3
	13 945.315	1	2.8	2.8	61.1
	13 956.510	1	2.8	2.8	63.9
	14 196.333	1	2.8	2.8	66.7
	14 199.816	1	2.8	2.8	69.4
	14 317.613	1	2.8	2.8	72.2

14 370.727	1	2.8	2.8	75.0
14 375.454	1	2.8	2.8	77.8
14 483.424	1	2.8	2.8	80.6
14 656.948	1	2.8	2.8	83.3
14 680.084	1	2.8	2.8	86.1
14 988.570	1	2.8	2.8	88.9
15 617.111	1	2.8	2.8	91.7
15 640.247	1	2.8	2.8	94.4
15 802.203	1	2.8	2.8	97.2
18 273.948	1	2.8	2.8	100.0
Total	36	100.0	100.0	

Fuente: elaboración propia.

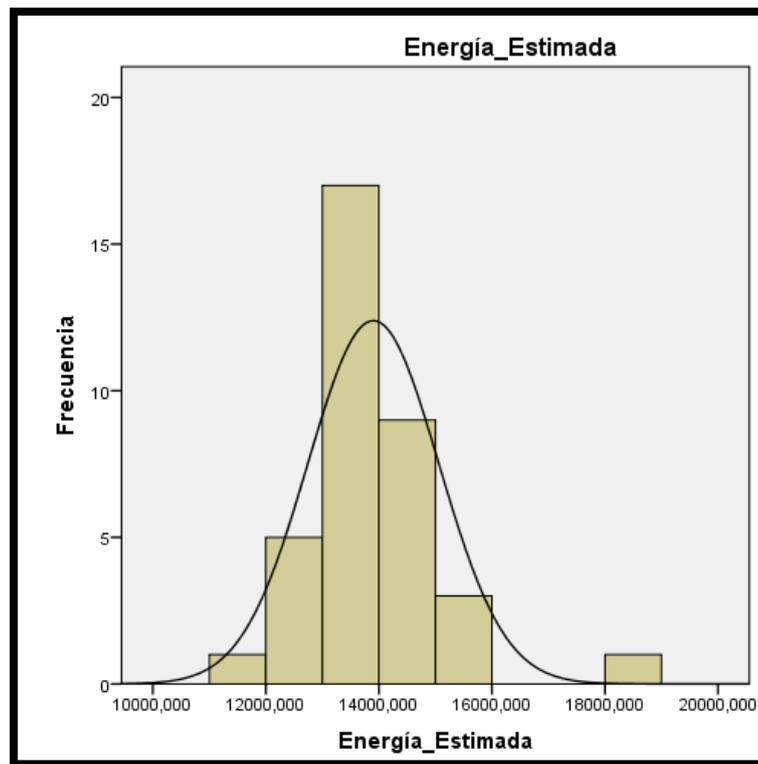


Figura 47. Histograma de la energía estimada.

Fuente: elaboración propia.

Se aprecia en la figura 47, la distribución normal de los datos. Desde un mínimo de 11 818.253 kWh y un máximo de 18 273.948 kWh.

En el software estadístico SPSS 21, se realizó la prueba de significancia para rechazar o aceptar la hipótesis, esto se estima con la significación

bilateral y el coeficiente de significancia (α). En la presente investigación, se estableció el valor de $\alpha=0.05$ (5 %) y el valor de prueba de 2 797.946 kWh, el cual represente a la demandada de energía requerida por la PTAR Huamanga.

Tabla 27. *Prueba de hipótesis general.*

Prueba para una muestra						
Valor de prueba = 2 797.946						
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95 % Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
Energía disponible	57.473	35	.000	11103.148500	10710.95638	11495.34062

Fuente: elaboración propia.

Para la prueba de hipótesis, se obtuvo que la sig. bilateral fue de $p = 0.000$, mientras que $\alpha = 0.05$ (5 %), se obtiene que:

$$\text{sig. Bilateral} < \alpha$$

Se plantea el criterio de decisión:

- Si $p < 0.05$, se acepta la H_1 y se rechaza la H_0 .
- Si $p > 0.05$, se rechaza la H_1 y se acepta la H_0 .

De los resultados de la prueba (Z), se tiene que $p = 0.000 < 0.05$, por lo que se acepta la hipótesis alternativa (H_1) y se rechaza la hipótesis nula (H_0).

H_1 : el potencial hidroeléctrico abastecerá la demanda de energía eléctrica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huamanga 2021.

4.2.3. Hipótesis específicas

A continuación, se precisa el significado de la hipótesis específica: evaluar el potencial hidroeléctrico para abastecer la máxima demanda eléctrica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huamanga 2021.

Para el caso de la hipótesis nula, se planteó que el potencial hidroeléctrico no abastecerá la demanda de energía de la planta de tratamiento. En este caso \bar{X} : representa el potencial hidroeléctrico estimado por el caudal y el salto bruto del agua; μ : significa la demanda eléctrica a través de la observación directa, por medio del medidor multifunción Elster A1800.

H_0 : el potencial hidroeléctrico no abastecerá la potencia máxima de demanda eléctrica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huamanga 2021.

$$H_0 = \bar{X} \leq \mu$$

Para la hipótesis alternativa, se planteó que el potencial hidroeléctrico abastecerá la demanda eléctrica de la planta de tratamiento de aguas residuales. En este caso \bar{X} : representa el potencial hidroeléctrico estimado por el caudal y el salto bruto del agua; μ : significa la demanda eléctrica estimada a través de la observación directa, por medio del medidor multifunción Elster A1800.

H_1 : el potencial hidroeléctrico no abastecerá la potencia máxima de demanda eléctrica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huamanga 2021.

$$H_1 = \bar{X} \geq \mu$$

A continuación, se muestran los estadísticos descriptivos de la potencia hidroeléctrica útil estimada y la potencia demanda de la PTAR Huamanga.

Tabla 28. *Estadísticos descriptivos para la hipótesis específica.*

Estadísticos descriptivos					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico
Demanda	36	6.335	10.452	7.98306	1.235043
Potencia útil	36	16.4140	24.5620	19.029472	1.5525831
N válido (según lista)	36				

Fuente: elaboración propia.

Se aprecia en la tabla 28 que la máxima potencia de la demanda de la PTAR Huamanga es de 10.452 kW, este valor representa a μ . Mientras que el valor 19.029 kW es la media de la potencia útil estimada disponible (potencial hidroeléctrico de la PTAR Huamanga). Además, se emplearon los 36 datos del potencial hidroeléctrico mensual de los tres años para aplicarle una prueba Z y responder a la hipótesis específica.

En la siguiente tabla se muestran los valores ingresados en el paquete de software estadístico SPSS, lo cual contribuyó a determinar la significancia de nuestra prueba de hipótesis. Los datos ingresados a continuación son las estimaciones de potencia desde el mes de enero del año 2019 hasta el mes de diciembre del año 2021; los datos obtenidos para la evaluación del potencial hidroeléctrico, se obtuvieron del caudalímetro electrónico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga y el salto de agua mediante la medición topográfica del lugar.

El dato de menor valor es del mes de abril del 2021, siendo de 6.335 kW, sin embargo, la mayor demanda de potencia estimada es de 10.452 kW que fue del mes de noviembre del 2020.

En el software estadístico SPSS 21, se realizó la prueba de significancia para rechazar o aceptar la hipótesis, esto se estimó con la significación bilateral y el coeficiente de significancia (α). En la presente investigación se estableció el valor de $\alpha = 0.05$ (5 %) y el valor de prueba de 6.335 kWh el cual represente a la potencia media requerida por la PTAR Huamanga.

Tabla 29. *Prueba de hipótesis de la hipótesis específica.*

Prueba para una muestra						
Valor de prueba = 10.452						
t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95 % Intervalo de confianza para la diferencia		
				Inferior	Superior	
Potencia útil	33.473	35	.000	8.578028	8.05280	9.10325

Fuente: elaboración propia.

Para la prueba de hipótesis, se obtuvo que la sig. bilateral fue de $p = 0.000$, mientras que $\alpha = 0.05$ (5 %), obteniendo que:

$$\text{sig. Bilateral} < \alpha$$

Se plantea el criterio de decisión:

- Si $p < 0.05$, se acepta la H_1 y se rechaza la H_0 .
- Si $p > 0.05$, se rechaza la H_1 y se acepta la H_0

De los resultados de la prueba Z, se tiene que $p = 0.000 < 0.05$, por lo que se acepta la hipótesis alternativa (H_1) y se rechaza la hipótesis nula (H_0).

H_1 : el potencial hidroeléctrico abastecerá la potencia máxima de demanda eléctrica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huamanga 2021.

4.3. Discusión e interpretación de resultados

4.3.1. Discusión de resultados

En primer lugar, según Criollo y Quezada (10) en su investigación titulada “Diseño de una mini central de energía hidroeléctrica en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cuenca”, se menciona que los pequeños proyectos hidroeléctricos tienen la capacidad de abastecer de energía eléctrica a sectores rurales. Además, la utilización de infraestructura dentro de zonas urbanas, reduce los costos de construcción de infraestructura nueva. En contraste con la investigación que se realizó, se observa que la PTAR puede aprovechar la infraestructura de hidráulica para realizar una micro central hidroeléctrica.

Además, según Arteaga (11) en su investigación titulada “Evaluación del potencial energético de la línea de conducción para agua potable Presa Chiquihurco - Planta de Tratamiento Apatug 2013. Diseño de un sistema para el aprovechamiento de la energía hidráulica”, se tuvo como propósito diseñar una pequeña central hidroeléctrica que también de aprovechar el caudal hídrico facilitada a la Compañía Pública - Compañía Municipal de

Agua Potable y Alcantarillado de Ambato (EP-EMAPA-A) y las particulares condiciones topográficas del lote por donde cruza la línea de conducción que lleva esa agua hacia la planta de procedimiento, asegurando la máxima generación viable de energía y la continuidad en el abasto de agua por gravedad hacia la planta de procedimiento. En comparación con la investigación que se realizó, se puede evidenciar que, para el diseño de la central hidráulica, se debe realizar un estudio topográfico para estimar el salto de agua útil. Se tuvo que realizar mediante el uso de GPS y nivel de ingeniero. Para asegurar la máxima demanda de energía de la PTAR, se evalúa la capacidad de generación del diseño.

A continuación, según Pulgarín y Hernández (12) en su investigación titulada “Estudio de la viabilidad para el aprovechamiento del potencial hidráulico del río barro blanco en la finca Zamaixira ubicada en Sylvania Cundinamarca”, se precisa que gracias a la alta variabilidad que se muestra en el río en las temporadas de lluvia y sequía se hace bastante complejo el aprovechamiento de la energía del río, puesto a que en temporada baja (sequía) las turbinas hidro cinéticas no alcanzan a surtir el sector. Concordando con el antecedente, se evidencia que el diseño de la central se debe evaluar con mediciones del caudal a través de los años; en la presente investigación se tuvo que realizar un análisis documental de los caudales desde el año 2019 hasta el año 2021. Esta data permitió evaluar la capacidad del afluente a lo largo de todo el año.

En cuarto lugar, según Gonzales (13) en su investigación titulada “Cálculo y selección de una micro central hidroeléctrica empleando como fluido de trabajo un sistema de riego”, se precisa que para aprovechar la energía presente en el entorno con la finalidad de generar energía eléctrica. Se tomaron valores recomendados de elevación de salto y una potencia aproximada generada a dicha elevación. La presente investigación concuerda con los hallazgos del investigador Gonzales, ya que los valores recomendados fueron el cálculo del salto de agua de la PTAR. Se realizó una evaluación aproximada a través de la capacidad del caudal.

Mientras que Narvéez (14) en su investigación titulada “Evaluación del potencial hidroeléctrico del río la gavia por variación espacio - temporal del caudal”, menciona que la evaluación del recurso natural es indispensable

para cualquier tipo de aprovechamiento con la finalidad de mantener un equilibrio, esto se logra a través de la aplicación de distintos métodos; para elegir de este modo el que mejor se adapte a las necesidades y objetivos del proyecto, sin embargo, en la presente investigación, se usó el método de medición directa para evaluar la capacidad de generación. De acuerdo al objetivo, tipo y nivel de investigación se debió determinar en un principio la capacidad de generación antes de realizar el diseño de la central.

Por otro lado, Torres (15) en su investigación titulada “Estudio del potencial hidroeléctrico en la Laguna el Sauce - Tarapoto para satisfacer el incremento de demanda eléctrica región San Martín”, menciona que se logró la proyección de la producción de la potencia de generación y la energía producida por la central hidroeléctrica para una época de 20 años, en funcionalidad a los niveles de agua en la laguna del sauce; relacionando el aporte de energía eléctrica de la mini central para la zona San Martín, sin embargo, el estudio del potencial hidro cinético de la PTAR Huamanga, fue realizada mediante una recolección de datos de fuente primaria.

Astocaza y Albuja (16) en su investigación titulada “Estudio de desarrollo de un proyecto de generación hidroeléctrica”, mencionan que su investigación se orientó al desarrollo de un Análisis de Prefactibilidad de un plan de Pequeña Central Hidroeléctrica (PCH) en la zona Pasco; al realizar una comparación de resultados, se evidenció que el diseño de la central hidráulica de la planta de tratamiento será en una futura investigación, sin embargo, se pudo determinar la capacidad del potencial hidráulica para el diseño.

En comparación con el octavo antecedente del marco teórico, Canchaya y Chero (17), con la investigación titulada “Estudio y diseño a nivel preliminar de una pequeña central hidroeléctrica en el distrito de Comas, provincia de Concepción perteneciente al departamento de Junín”, sustentan que para realizar un proyecto de pequeña escala de una central hidroeléctrica, se debe realizar un análisis de la demanda y del recurso hídrico. En la presente investigación se realizó un análisis de la viabilidad, debido a que no se conoce el potencial para realizar un diseño en la PTAR Huamanga.

Según Taica (18), con la investigación titulada “Estudio de factibilidad para la construcción de una mini central hidroeléctrica en Carhuaquero - Huacataz - Cajamarca 2018”, sustenta que en la actualidad el nivel de electrificación rural, queda insatisfecha por los diferentes problemas de logística, factibilidad de conexión a red y costos. Dentro de la importancia de realizar la presente investigación, se concuerda que es importante por los impactos positivos en el enfoque económico y social de la PTAR.

Mamani (19), con la investigación titulada “Estudio y diseño a nivel de perfil de una central hidroeléctrica en el río Blanco, distrito de San Gabán, provincia de Carabaya, departamento de Puno”, argumenta que se desarrolló una correlación con los datos de la cuenca San Gabán, generando de esta forma, un histórico de caudales del flujo de agua blanco y consecuentemente la persistencia del mismo. De acuerdo al investigador citado, en la presente investigación también se desarrolló una correlación de datos historia de los caudales de flujo hídrico del objeto de estudio. Se determinó además los meses con mayor capacidad de demanda y máximo potencial hidroeléctrico.

Finalmente, Zambrano (20), con la investigación titulada “Estudio de impacto ambiental y modelamiento de una pequeña central hidroeléctrica en la cuenca del río Tambo”, sustenta que la electrificación rural por medio de pequeñas hidroeléctricas, es una alternativa posible que conllevará al crecimiento de la extensión de la frontera eléctrica con energías renovables. La presente investigación concuerda con los hallazgos del investigador citado, al documentar que el diseño de una central hidroeléctrica de pequeña escala ayudará a incrementar el índice de electrificación rural en zonas sin acceso a la red eléctrica.

4.3.2. Interpretación de resultados

En la presente investigación, se encontraron suficientes evidencias, científicas y técnicas, para demostrar que el potencial hidroeléctrico de la PTAR de Huamanga, cuya media es de 13 901.095 kWh, que abastecerá la demanda de energía eléctrica que se estima en 2 299.221 kWh.

En la figura siguiente, se aprecia que la demanda de la PTAR tendrá un crecimiento lineal, por lo que no debería existir la negativa de establecer un microcentro hidroeléctrico en la planta. La figura 42, muestra el R^2 , que es el valor ajustado a la recta, lo cual se evidencia que se ajusta a la predicción.

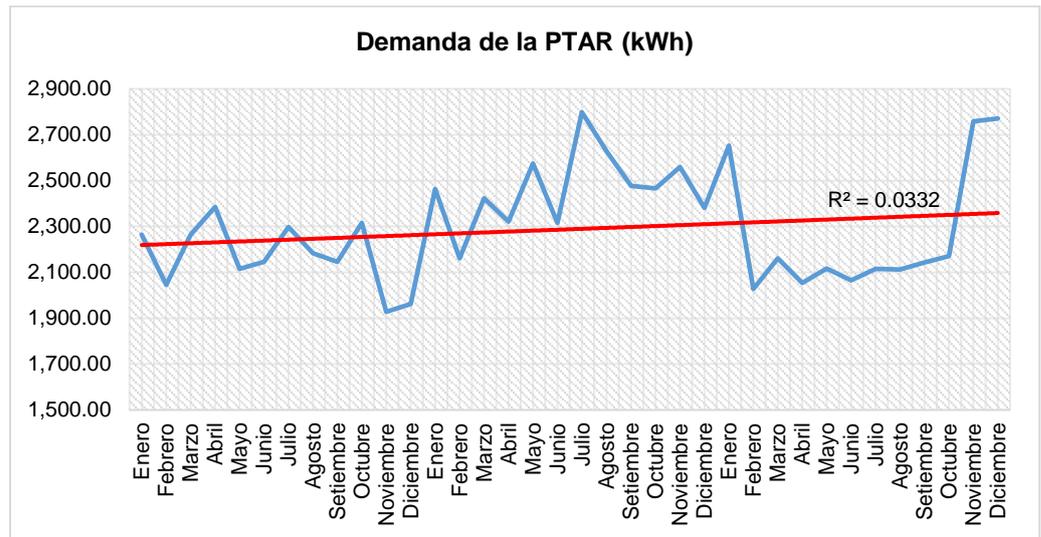


Figura 48. Demanda de la PTAR.

Fuente: elaboración propia.

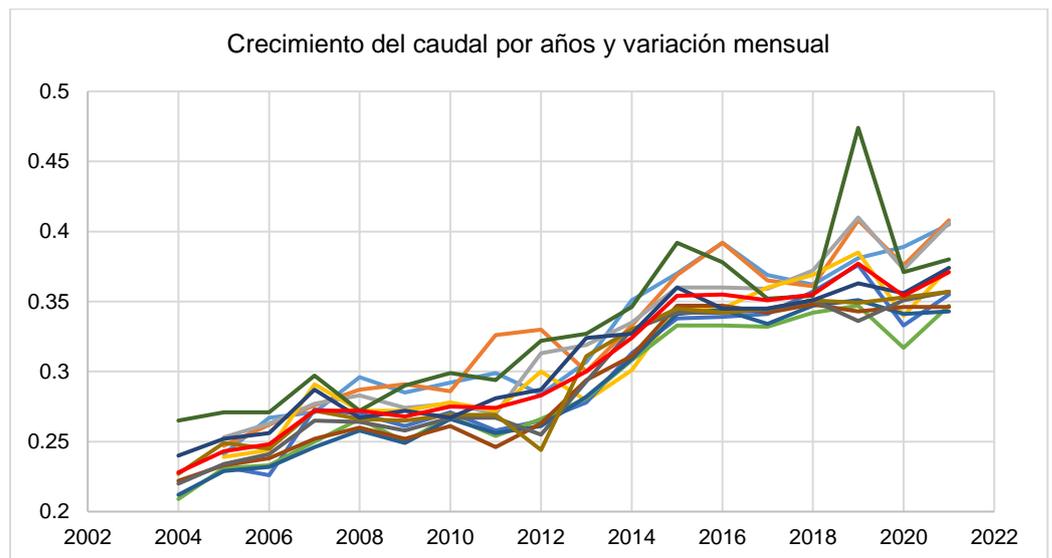


Figura 49. Crecimiento del caudal a través de los años.

Fuente: elaboración propia.

Se puede apreciar en la figura 49, que desde el año 2004 hasta el 2021 hubo un crecimiento lineal elevado del caudal; se establece entonces que la oferta de energía hidroeléctrica abastecerá, para los años venideros, una micro central hidroeléctrica, lo cual beneficiará a la planta de tratamiento para un plazo de 20 años mínimamente.

CONCLUSIONES

En la presente investigación se encontraron suficientes evidencias, científicas y técnicas, para demostrar que el potencial hidroeléctrico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga, cuya media es de 13 901.095 kWh, abastecerá la demanda de energía eléctrica de la PTAR que se estima en 2 797.946 kWh.

En la presente investigación se realizó la prueba de hipótesis descriptiva dentro de su condición específica, demostrando que el potencial hidroeléctrico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga, cuya media es de 19.029 kW, abastecerá la máxima demanda de potencia eléctrica de la PTAR que se estima en 10.452 kW, sustentando que la potencia útil de la próxima micro central hidroeléctrica de la PTAR Huamanga abastecerá la demanda eléctrica de la misma.

Los niveles de demanda de potencia de la PTAR Huamanga están en un valor máximo de 10.452 kW y un valor mínimo de 6.335 kW, mientras que la potencia útil de la planta de tratamiento tiene un mínimo de 16.414 kW y un máximo de 24.562 kW.

Los factores que explican la capacidad de potencial hidroeléctrico de la PTAR Huamanga, están determinados por el caudal hídrico de la vertiente y por el salto útil desde la zona de embalse hasta la casa de máquinas.

La evaluación de geología, permitió identificar que la zona del afluente de la PTAR Huamanga tiene un salto bruto de 10.956 m, un salto útil de 10.518 m y longitud horizontal de cámara de carga y casa de máquinas de 131.521 m.

La evaluación caudal de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga permitió determinar que el caudal mínimo es de $Q_{min} = 0.317 \text{ m}^3/\text{s}$, el caudal máximo es de $Q_{max} = 0.474 \text{ m}^3/\text{s}$ y un rango de $0.157 \text{ m}^3/\text{s}$, así como una media multianual de los últimos tres años de $Q = 0.362 \text{ m}^3/\text{s}$ con una desviación estándar de $S_x = 0.03097$.

La potencia disponible que se tendría al hacer realidad una micro central hidroeléctrica en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales sería: potencia máxima de $P_{max} = 24,562 \text{ kW}$ a un caudal de $0,474 \text{ m}^3/\text{s}$ al estar está al 100 % de su rendimiento y una potencia mínima $P_{min} = 16.414 \text{ kW}$ a un caudal de $0.330 \text{ m}^3/\text{s}$ al estar está al 68.6 % de su rendimiento. Su potencia media sería de 18.76 kW con una desviación estándar de $S_x = 1.605$.

El factor de planta puede llegar a ser de 1 unidad, ello quiere decir que la planta está trabajando a su máximo rendimiento; de los análisis anteriores podemos ver que nuestro factor de planta es de $F_{C2019} = 0.121$, $F_{C2020} = 0.137$ y $F_{C2021} = 0.124$, lo que hace suponer que la planta no suministraría más que una pequeña fracción de su capacidad máxima (P_{max}).

La potencia de generación media es de 18.760 kW con $S_x = 1.605$ y la media de la potencia demandada es de 7.983 kW con $S_x = 1.235$, teniendo un rango de 10.777 kW de margen de reserva de potencia útil que para lo sucesivo se podría realizar pequeñas ampliaciones en MT para abastecer de energía a pueblos jóvenes cercanas como Bq. Nadine Heredia Alarcón, ASC. Agroforestal Huarangales y Bq. Rumichaca.

RECOMENDACIONES

- Para una futura implementación de una micro central en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga, se recomienda usar la turbina Ossberger o también llamada de flujo cruzado, ello debido a la altura que se maneja y el caudal disponible.
- Para realizar estudios de perfil de carga, ya sea para investigaciones como la presente o para otro tipo de fines se recomienda tener conocimientos sobre la energía activa, energía reactiva, energía aparente, factor de potencia, factor de medición y costo de transformación.
- Para aprovechar mejor la infraestructura eléctrica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales se recomienda implementar una subestación elevadora de 220V O 440V a 22.9 KV y un sistema de transporte en media tensión de 22.9 kV que lleve la energía hacia la subestación de la PTAR Huamanga.
- Para futuros estudios de potencial hidroeléctrico en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales se recomienda usar como investigación previa la presente investigación, puesto que la misma cuenta con toda la teoría de estudio de centrales eléctricas aplicadas a Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Para realizar estudios de altimetría, se recomienda usar el nivel de ingeniero puesto que la precisión de la medición es alta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) MINISTERIO DEL AMBIENTE [en línea]. Estudio de desempeño ambiental 2003 – 2013, Sistema Nacional de Información Ambiental, 2015. Disponible en: https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/archivos/public/docs/esda_2003-2013.pdf
- (2) MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS [en línea]: Evaluación del potencial hidroeléctrico nacional, Sociedad Alemana de Cooperación Técnica, 1979. Disponible en: <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/1580?show=full>
- (3) MALAGÓN, E [en línea]. La hidroelectricidad, la mayor fuente de energía sostenible. ¡Aquí te decimos por qué!, Energía para el futuro, 2017. Disponible en: <https://blogs.iadb.org/energia/es/la-hidroelectricidad-la-mayor-fuente-de-energia-sostenible-aqui-te-decimos-por-que/>
- (4) FACTOR ENERGÍA [en línea]. La energía hidráulica, Transición Energética, 2021 [fecha de consulta: 4 de diciembre de 2021]. Disponible en: <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/energia-renovable-hidraulica/>
- (5) SEDA AYACUCHO [en línea]. Gracias al apoyo de GIZ, SEDA Ayacucho implementará en la PTAR de Totorá 4 agitadores eléctricos, 2021. Disponible en: <https://fb.watch/fziFgIsERN/>
- (6) WWF [en línea]. Mythbusters: Acabando con los mitos sobre las energías renovables, 2013. Disponible en: <https://www.wwf.org.pe/?232418/mythbustersacabandoconlosmitosobrelasenergia-srenovables>
- (7) LANCO, E [en línea]. Estimación de la potencia eléctrica teórica disponible en río Copinula, Jujutla, Ahuachapán, ING-Innovación, 2012. Disponible en: <http://www.redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/1971/1/2-estimacion-de-la-potencia-electrica-teorica-disponible-en-rio-copinula-jujutla-ahuachapan.pdf>
- (8) GESTIÓN.PE [en línea]. Macroconsult: Caudal de ríos y lagunas que abastecen a hidroeléctricas está por debajo del promedio, 2016. Disponible en: <https://gestion.pe/economia/macroconsult-caudal-rios-lagunas-abastecen-hidroelectricas-debajo-promedio-146084-noticia/>
- (9) HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ-COLLADO, C. y BAPTISTA, P. *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill, 2014. ISBN 978-1-4562-2396-0.

- (10) CRIOLLO, X. y QUEZADA, C. Diseño de una mini central de energía hidráulica en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Cuenca. Tesis (Título de Ingeniero Eléctrico). Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, 2011.
- (11) ARTEAGA, O. Evaluación del potencial energético de la línea de conducción para agua potable Presa Chiquihurco - Planta de Tratamiento Apatug 2013. Diseño de un Sistema para el aprovechamiento de la energía hidráulica. Tesis de maestría (Magíster en Gestión de Energías). Ecuador: Universidad Técnica de Cotopaxi, 2015.
- (12) PULGARÍN, N y HERNÁNDEZ, K. Estudio de la viabilidad para el aprovechamiento del potencial hidráulico del río Barro Blanco en la finca Zamaixira ubicada en Sylvania Cundinamarca. Proyecto de investigación (Título de Tecnólogo en Mecánica Industrial). Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2021.
- (13) GONZALES, D. Cálculo y selección de una micro central hidroeléctrica empleando como fluido de trabajo un sistema de riego. Tesis (Título de Ingeniero Electricista). México: Instituto Politécnico Nacional, 2014.
- (14) NARVÁEZ, M. Evaluación del potencial hidroeléctrico del río la gavia por variación espacio - temporal del caudal. Tesis (Título de Ingeniero en Sistemas Energéticos Sustentables). México: Universidad Autónoma del Estado de México, 2018.
- (15) TORRES, M. Estudio del potencial hidroeléctrico en la laguna el Sauce - Tarapoto para satisfacer el incremento de demanda eléctrica región San Martín. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico Electricista). Chiclayo: Universidad César Vallejo, 2020.
- (16) ASTOCAZA, H. y ALBUJÁR, D. Estudio de desarrollo de un proyecto de generación hidroeléctrica. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2019.
- (17) CANCHAYA, C. y CHERO, L. Estudio y diseño a nivel preliminar de una pequeña central hidroeléctrica en el distrito de Comas, provincia de Concepción perteneciente al departamento de Junín. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2014.
- (18) TAICA, H. Estudio de factibilidad para la construcción de una mini central hidroeléctrica en Carhuaquero - Huacataz - Cajamarca 2018. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico Electricista). Chiclayo: Universidad César Vallejo, 2018.
- (19) MAMANI, J. Estudio y diseño a nivel de perfil de una central hidroeléctrica en el río Blanco, distrito de San Gabán, provincia de Carabaya, departamento de Puno. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico Electricista). Puno: Universidad Nacional de Altiplano, 2017.

- (20) ZAMBRANO, B. Estudio de Impacto Ambiental y modelamiento de una pequeña central hidroeléctrica en la cuenca del río Tambo. Tesis (Título de Ingeniero Electricista). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2010.
- (21) CARTA, J., PERÉZ, R., COLMENAR, A. y CASTRO, M. *Centrales de energías renovables Generación eléctrica con energías renovables*. España, 2009. ISBN 978-84-832-2227-0.
- (22) DOLORES, J [en línea]. Centrales hidroeléctricas, 1992. Disponible en: http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/1821/Centrales_hidroelectricas_BAJO_Azcapotzalco.pdf;jsessionid=475D4EFB3748739578D32F327F92C63C?sequence=1
- (23) BAYOD, Á., SEBASTIÁN, F., ZABALZA, I. y SALLÁN, J. *Guía de las energías renovables aplicadas a las PYMES*. España: CEPYME-ARAGON, 2002.
- (24) DÁVILA, C., VILAR, D., VILLANUEVA, G. y QUIROZ, L. *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*. Lima: Soluciones Prácticas, 2010. ISBN 978-9972-47-210-5.
- (25) DOLORES, J. *Centrales hidroeléctricas*. México: Universidad Autónoma Metropolitana, 1992. ISBN 970-620-161-0.
- (26) COCA, J. Procedimiento de diseño de transformadores de intensidad de baja tensión con núcleo toroidal. Trabajo de diploma (Título de Ingeniero Electricista). Santa Clara: Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, 2017.
- (27) RODRÍGUEZ, M. *Máquinas Eléctricas II. Fundamentos de circuitos eléctricos de corriente alterna mono y trifásica*. España: Universidad de Cantabria, 2013.
- (28) COZ, F., SÁNCHEZ, T., VIANI, B., SEGURA, J., RODRÍGUEZ, L., MIRANDA, H., CASTROMONTE, E., GUERRA, J., QUIROZ, L., GAITÁN, J., MORENO, L. y MUÑOZ, I. *Manual de mini y microcentrales hidráulicas*. Lima: ITDG, 1996. ISBN 1-85339-278-2.
- (29) BAYOD, Á. y otros [en línea]. Guía de las energías renovables aplicadas a las PYMES, Confederación de la Pequeña y Mediana Empresa Aragonesa, 2002. Disponible en: https://www.voltimum.es/sites/www.voltimum.es/files/pdflibrary/guia_e_renovables.pdf
- (30) ALEXANDER, C. y SADIKU, M. *Fundamentos de circuitos eléctricos*. México: McGraw-Hill, 2013. ISBN 978-607-15-0948-2.
- (31) ZAMARRIPA, M. *Apuntes de topografía*. México: Facultad de Estudios Superiores Acatlán, 2010.

- (32) COURSE HERO [en línea]. Electrotecnia, 2021. Disponible en: <https://www.coursehero.com/file/105901130/Clase-5-Agosto-25-Potencia-electrica-electrotecnia-2021pptx/>
- (33) DAMMERT, A., MOLINELLI, F. y CARBAJAL, N. *Fundamentos técnicos y económicos del sector eléctrico peruano*. Lima: OSINERGMIN, 2011.
- (34) ESPINOZA, C. *Metodología de investigación tecnológica. Pensando en sistemas*. Huancayo: Soluciones Gráficas S.A.C., 2014. ISBN 978-612-00-1667-1.
- (35) ARIAS, F. *El proyecto de investigación Introducción a la metodología científica*. Venezuela: Editorial Episteme, 2012. ISBN 980-07-8529-9.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia.

Título: EVALUACIÓN DEL POTENCIAL HIDROELÉCTRICO, PARA ABASTECER LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES HUAMANGA 2021		
Autor: TOMAIRO VILLANUEVA, Keviss Yurjen.		
Planteamiento del problema	Marco teórico	Metodología
Formulación del problema general	Antecedentes	Variables:
¿Cómo evaluar el potencial hidroeléctrico para abastecer la demanda de energía eléctrica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huamanga 2021?	1. MORALES, y otros, 2014, "Etapas de desarrollo de un proyecto de pequeñas centrales hidroeléctricas". 2. SEVERICHE, 2013, "El agua y la generación de energía en entornos de sostenibilidad" 3. TAICA QUILICHE, 2018 "estudio de factibilidad para la construcción de una mini central hidroeléctrica en Carhuaquero - Huacataz - Cajamarca 2018" 4. LLAMO, 2016, "Diseño de una mini central hidroeléctrica, para suministrar energía al recreo turístico la Catarata - distrito, provincia - Jaén, departamento Cajamarca - 2016". 5. VALENCIA, y otros, 2013, "Criterios de diseño y montaje para una central hidroeléctrica con capacidad de generación de 20 MW". 6. MORALES, y otros, 2017, "Diseño de una pequeña central hidroeléctrica para el municipio de Pisba, Boyacá". 7. CAYO, 2017, "Diseño de pico Central Hidroeléctrica para la Comunidad de Tacopampa".	Variable independiente: POTENCIAL HIDROELÉCTRICO.
Formulación de los problemas específicos		Variable dependiente
<ul style="list-style-type: none"> ¿Cuál es el potencial hidroeléctrico para abastecer la potencia máxima de demanda de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huamanga 2021? ¿Cuál es la demanda máxima de energía eléctrica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga 2021? ¿Cuál es la potencia máxima de demanda de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga 2021? 		DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA.
Objetivo general	Teoría básica	Tipo de Investigación
<ul style="list-style-type: none"> Evaluar el potencial hidroeléctrico para abastecer la demanda de energía eléctrica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huamanga 2021. 	<p>Microhidrogeneración: los diseños de sistemas de energía hidráulica en pequeña escala son una pequeña contribución en el suministro a la red, particularmente en el rango de 300 KW a 10 MW.</p> <p>Plantas hidráulicas: es un conjunto de obras diseñadas para aprovechar la energía potencial del agua en la generación de energía eléctrica.</p> <p>Componentes de un sistema de microhidrogeneración: los componentes principales de un sistema de microhidrogeneración son: el azud desvía el caudal de agua a través de una abertura al costado del río (la abertura de "la toma") hacia un canal abierto. Para separar las partículas de arena del agua se usa un desarenador. El canal sigue los contornos del cerro con la finalidad de mantener la elevación del agua derivada. A continuación, el agua ingresa a un depósito ("cámara de carga") y luego pasa a una tubería cerrada ("tubería forzada"), la cual está conectada a una maquina hidráulica conocida como turbina. La rotación del eje del rodete puede usarse para mover un ("generador eléctrico").</p>	La investigación a desarrollar es del tipo científica básica.
Objetivos específicos		Nivel de Investigación
<ul style="list-style-type: none"> Evaluar el potencial hidroeléctrico para abastecer la potencia máxima de demanda de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huamanga 2021. 		Nivel de investigación descriptivo.
		Diseño de Investigación

<ul style="list-style-type: none"> • Determinar la demanda máxima de energía de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga 2021. • Determinar la potencia máxima de demanda de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga 2021. 	<p>La demanda: el análisis de demanda es un aspecto importante para el estudio de micro o minicentrales hidroeléctricas. Sus resultados deben aportar el consumo actual de la población o carga industrial a la que se desea suministrar energía y con estos, proyectar la demanda durante un periodo de tiempo según necesidad.</p> <p>Evaluación del recurso hidroenergético: Luego de haber hecho la estimación de la demanda, el siguiente paso consiste en hacer la evaluación del potencial de generación de energía en la zona, tratando de que la casa de fuerza se encuentre lo más próximo posible a la carga a alimentar.</p>	<p>El diseño elegido fue el descriptivo simple.</p>
Hipótesis		
Hipótesis general:		
<p>Hi: el potencial hidroeléctrico abastecerá la demanda de energía eléctrica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huamanga 2021.</p>	<p>Medición del salto: los mapas con curvas de nivel sirven para hacer una primera estimación del salto disponible y pueden utilizarse para estudios de prefactibilidad de microcentrales hidroeléctricas (MCH). En los estudios de factibilidad y en los definitivos se hace necesario realizar mediciones en el lugar a fin de obtener una mayor precisión. Por el general se requiere precisiones de 3 % a más.</p>	Población
<p>Ho: el potencial hidroeléctrico no abastecerá la demanda de energía eléctrica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huamanga 2021.</p>	<p>Medición del caudal: en razón de que el caudal de los ríos varía a lo largo del año realizar una medida del caudal instantáneo resulta un registro aislado cuya utilidad es relativamente pequeña. Cabe la posibilidad que algunas veces no exista información sobre el caudal del afluente, ante ello nos vemos en la necesidad de recolectar nuestros datos a partir de mediciones instantáneas del caudal.</p>	Técnicas e instrumentos de recolección de datos
Hipótesis específicas:		<p>Técnica documental y ficha de campo, ficha de trabajo y formato de extracción de perfil de carga.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • El potencial hidroeléctrico abastecerá la potencia máxima de demanda eléctrica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huamanga 2021. <ul style="list-style-type: none"> •Hi: el potencial hidroeléctrico abastecerá la potencia máxima de demanda eléctrica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huamanga 2021. •Ho: el potencial hidroeléctrico no abastecerá la potencia máxima de demanda eléctrica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huamanga 2021. • La demanda máxima de energía de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga podrá ser abastecida por el potencial hidroeléctrico de la PTAR 2021. • Determinar la potencia máxima de demanda de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huamanga podrá ser abastecida por el potencial hidroeléctrico de la PTAR 2021. 		Técnicas procesamiento de datos
Método deductivo.		

Anexo 2. Formato de extracción de perfil de carga - Demanda de energía eléctrica.

Suministro							
Medidor Nº							
Año	Mes	Día	Hora	Factor de Medición	Factor de Transformación	Energía Activa	Demanda (KW)
201_	xxxxx	xx	P. Fuera de punta	30			
201_	xxxxx	xx	P. Fuera de punta	30			
201_	xxxxx	xx	P. Fuera de punta	30			
201_	xxxxx	xx	P. Fuera de punta	30			
201_	xxxxx	xx	P. Fuera de punta	30			
201_	xxxxx	xx	P. Fuera de punta	30			
201_	xxxxx	xx	P. Fuera de punta	30			
201_	xxxxx	xx	P. Fuera de punta	30			
201_	xxxxx	xx	P. Fuera de punta	30			
201_	xxxxx	xx	P. Fuera de punta	30			
201_	xxxxx	xx	P. Fuera de punta	30			
201_	xxxxx	xx	P. Fuera de punta	30			
201_	xxxxx	xx	P. Fuera de punta	30			
201_	xxxxx	xx	P. Fuera de punta	30			
201_	xxxxx	xx	P. Fuera de punta	30			

Fuente: elaboración propia.

Anexo 3. Diario de campo - Instrumento de medición del salto.

Estación	+	Δ	-	Cota
C.M				
P1				
P2				
P3				
P4				
			H. Total (m)	

Fuente: elaboración propia.

Anexo 4. Formato de control de caudal.

Mes	Unidad	201_	201_	201_	201_	201_	201_	201_	201_	201_	201_	201_
Enero	[l/s]											
Febrero	[l/s]											
Marzo	[l/s]											
Abril	[l/s]											
Mayo	[l/s]											
Junio	[l/s]											
Julio	[l/s]											
Agosto	[l/s]											
Setiembre	[l/s]											
Octubre	[l/s]											
Noviembre	[l/s]											
Diciembre	[l/s]											

Fuente: elaboración propia.