



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

**“Estudio del potencial hidroeléctrico en la Laguna el Sauce –  
Tarapoto para satisfacer el incremento de demanda eléctrica  
región San Martín”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

**AUTOR:**

Torres Saavedra, Manuel (ORCID: 0000-0003-4289-5925)

**ASESOR:**

Dr. Carranza Montenegro, Daniel (ORCID: 0000-0001-6743-6915)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Generación, Transmisión y Distribución

CHICLAYO - PERÚ

2020

## **Dedicatoria**

Dedico esta Tesis a toda mi familia.

Para mis padres Praxedes y Marina, por su comprensión y ayuda en momentos malos y difíciles, me han enseñado a encarar las adversidades sin perder nunca la decencia ni desmayar en el intento, me han dado valores, principios, perseverancia y mi anhelo y todo ello con una gran cantidad de amor y sabiduría.

Para mis hijos, Shahid Azariel y Mathewn Emmanuel, Su nacimiento me han dado fuerzas para batallar y superarme, es lo mejor que me ha pasado, es sin duda mi antecedente para el presente y el futuro.

A mi compañera Ana Rocio que el día a día sabe las dificultades que se puede pasar en el camino y lograr con éxito cada objetivo trazado.

A todos ellos, mi gratitud de todo sentimiento.

**Manuel Torres Saavedra**

## **Agradecimiento**

A Dios Padre por encaminarme por el sendero de la felicidad y siga siendo mi guía en el futuro.

Reconocer el apoyo brindado por parte de toda mi familia, a mis padres, hermanos y compañera.

Quiero aprovechar estas líneas para agradecer a todas las personas que me han socorrido y me han considerado a lo extenso de estos años de duro desplazamiento por la Escuela de formación de la Universidad Cesar Vallejo y han hecho que madurara y hallar amigos.

Mi gratitud a todos los maestros que he tenido durante mi vida académica, desde pequeño y también en esta Escuela, porque entre todos han formado este cimiento.

Quiero tener un recuerdo especial con mi hermano Yvan, porque él más que nadie se sentía orgulloso de mi.

Por todo esto quiero dar mi gratitud.

**El autor**

## Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	vi
Índice de gráficos y figuras.....	vii
Índice de abreviaturas .....	viii
Resumen.....	ix
Abstract .....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	5
III. METODOLOGÍA.....	14
3.1. Tipo y Diseño de Investigación.....	14
3.2. Variables y operacionalización:.....	14
3.3. Población, Muestra y muestreo.....	15
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	16
3.5. Procedimientos .....	16
3.6. Método de análisis de datos.....	16
3.7. Aspectos éticos .....	17
IV. RESULTADOS.....	17
4.1. Realizar un estudio hidrológico de la Laguna el Sauce, con información histórica de caudales y capacidad de almacenamiento.....	17
4.2. Hacer un estudio del incremento de la demanda del sector eléctrico en la Región San Martín.....	28
4.3. Determinar la potencia instalada y la generación de energía eléctrica en función a la data de caudal y de la geografía donde se ubica la casa de máquinas de la minicentral.....	40
4.4. Analizar la proyección de producción de energía eléctrica de la minicentral Hidroeléctrica con el incremento de la demanda eléctrica en la Región San Martín.....	46

4.5. Realizar una evaluación económica del proyecto, utilizando indicadores tales como VAN y TIR. ....	53
V. DISCUSIÓN.....	58
VI. CONCLUSIONES.....	61
VII. RECOMENDACIONES.....	62
REFERENCIAS.....	63
ANEXOS .....	65
Anexo 1: Declaratoria de autenticidad (Autores).	
Anexo 2: Declaratoria de autenticidad (Asesor).	
Anexo 3: Matriz de operacionalización de variables.	
Anexo 4: Instrumento de recolección de datos.	
Anexo 5: Visita a In situ Laguna El Sauce-Tarapoto.	

## Índice de tablas

Tabla 1. Centrales Hidroeléctricas Más grandes del Mundo. ....	3
Tabla 2. Altura de trabajo de las turbinas. ....	8
Tabla 3. Relaciones Numéricas entre parámetros en turbina Kaplan. ....	13
Tabla 4. Registros de condiciones climáticas, Laguna El Sauce. ....	19
Tabla 5. Registros de Niveles de laguna el sauce, 2017 – 2019. ....	22
Tabla 6. Valores mínimos y Máximos. ....	25
Tabla 7. Medidas estadísticas de niveles de laguna el sauce. ....	26
Tabla 8. Máxima demanda En Región San Martín. ....	28
Tabla 9. Consumo de energía eléctrica Región San Martín. ....	31
Tabla 10. Factor de carga anual. ....	33
Tabla 11. Potencia Instalada de generación en Región San Martín. ....	34
Tabla 12. Nuevos Proyectos de generación Hidroeléctrica. ....	35
Tabla 13. Proyección de Máxima demanda por regresión polinómica. ....	37
Tabla 14. Proyección de Consumo de energía por regresión polinómica. ....	39
Tabla 15. Tipo de Turbina por caudal y caída. ....	40
Tabla 16. Proyección de potencia de generación MW. ....	46
Tabla 10. Proyección de energía generada MW - H. ....	48
Tabla 18. Proyección de Porcentaje de Aporte de energía eléctrica de la mincentral a Región San Martín. ....	49
Tabla 19. Proyección de Porcentaje de Aporte de Potencia Generada de la mincentral a Región San Martín. ....	51
Tabla 20. Proyección de Ingresos por venta de energía eléctrica. ....	53
Tabla 21. Egresos de Minicentral Hidroeléctrica. ....	54
Tabla 22. Flujo de caja de Minicentral Hidroeléctrica El Sauce. ....	55
Tabla 23. Valor Actual Neto. ....	57
Tabla 24. Tasa Interna de Retorno. ....	57

## Índice de gráficos y figuras

Figura 1. Sistema Interconectado Regional de San Martín.....	1
Figura 2. Perfil de velocidades en turbina Kaplan. ....	13
Figura 3. Mapa Geológico Laguna el Sauce - Tarapoto.....	18
Figura 4. Evolución de la Temperatura Máxima y Mínima en Estación El Sauce.....	20
Figura 5. Evolución de la Humedad relativa, laguna el sauce. ....	20
Figura 6. Evolución de los registros de precipitación en laguna el sauce. ....	21
Figura 7. Registros de niveles de laguna el sauce, 2019. ....	23
Figura 8. Registros de niveles de laguna el sauce, 2018. ....	24
Figura 9. Registros de niveles de laguna el sauce, 2017. ....	24
Figura 10. Evolución de máxima demanda eléctrica, Región San Martín 2007 –2019. .....	29
Figura 11. Tendencia de Incrementos en % de Máxima demanda. ....	30
Figura 12. Evolución del consumo de energía eléctrica, Región San Martín 2007 – 2019. ....	31
Figura 13. Tendencia de Incrementos en % de Máxima demanda. ....	32
Figura 14. Factor de carga anual. ....	33
Figura 15. Potencia Instalada de generación Región San Martín. ....	34
Figura 16. Corte Transversal de Central Hidroeléctrica – Turbina Kaplan. ....	41
Figura 17. Diámetros en turbina Kaplan. ....	43
Figura 18. Corte Transversal de Turbina Kaplan.....	44
Figura 19. Rodete Turbina Kaplan. ....	44
Figura 20. Proyección de Potencia de generación. ....	47
Figura 21. Proyección de Energía generada mensual. ....	48
Figura 22. Proyección de Porcentaje de Aporte de energía eléctrica de minicentral a Región San Martín. ....	50
Figura 23. Proyección de Porcentaje de Aporte de Potencia Generada de minicentral a Región San Martín. ....	52

## Índice de abreviaturas

**SET:** Subestación de Transformación.

**VAN:** Valor Actual Neto.

**TIR:** Tasa Interna de Retorno.

**MW:** Megavatios.

**OSINERMIN:** Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y minería.

**IDH:** Índice de Desarrollo humano.

**SCADA:** Sistemas de Control y Administración de Datos.

**SEIN:** Sistema Eléctrico Interconectado Nacional.

**MEM:** Ministerio de Energía y Minas.

**PSE:** Pequeños Sistemas de Electrificación.

**IDEA:** Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

**PBI:** Producto Bruto Interno.

**SENAHMI:** Servicio de Hidrología y Meteorología del Perú.

## Resumen

En la presente investigación denominado: **“ESTUDIO DEL POTENCIAL HIDROELÉCTRICO EN LA LAGUNA EL SAUCE – TARAPOTO PARA SATISFACER EL INCREMENTO DE DEMANDA ELÉCTRICA REGIÓN SAN MARTÍN”**, está enmarcado 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.

Se inició la investigación con la realización de un estudio hidrológico de la Laguna el Sauce, con información histórica de caudales y capacidad de almacenamiento. Dicha información se obtuvo de la Estación Meteorológica el Sauce, el cual es administrada por el SENAMHI, determinándose los niveles de altura de agua que alcanza la laguna el sauce durante los meses del año, así mismo se hizo la proyección del sector eléctrico en la Región San Martín. Luego se determinó la potencia hidráulica utilizable, el cual fue de 6.19 MW, con turbina Kaplan debido al gran caudal y poca caída existente.

Se hizo la proyección de la producción de la potencia de generación y la energía producida por la central hidroeléctrica para un periodo de 20 años, en función a los niveles de agua en la laguna el sauce; relacionando el aporte de energía eléctrica de la mini central para la región San Martín, tanto en máxima demanda y energía eléctrica consumida.

Finalmente utilizando indicadores económicos, se estableció la factibilidad de la inversión, teniendo en cuenta que es a largo plazo, con tasas de intereses en el cual el estado incentiva el incremento de la generación de energía eléctrica renovable convencional.

**Palabras Clave:** Laguna el Sauce, Potencia Instalada, Turbina Kaplan.

## **Abstract**

In the present investigation called: “STUDY OF THE HYDROELECTRIC POTENTIAL IN LAGUNA EL SAUCE-TARAPOTO TO SATISFY THE INCREASE IN ELECTRICAL DEMAND SAN MARTIN REGION”, is framed within the energy development plan of Peru for the coming years, in which it stipulates the relationship between the growth of the electricity market, both in consumption and electricity generation.

The investigation began with the completion of a hydrological study of the Laguna el Sauce, with historical information on flows and storage capacity. This information was obtained from the El Sauce Meteorological Station, which is administered by SENAMHI, determining the height levels of water that the willow lagoon reaches during the months of the year, as well as the projection of the electricity sector in the Region. San Martin. Then the usable hydraulic power was determined, which was 6.19 MW, with a Kaplan turbine due to the large flow and little existing drop.

The projection of the production of the generation power and energy produced by the hydroelectric power station for a period of 20 years was made, based on the water levels in the El sauce lagoon; relating the contribution of electrical energy from the midcentral to the San Martin region, both in maximum demand and consumed electrical energy.

Finally, using economic indicators, the feasibility of the investment was established, taking into account that it is long-term, with interest rates in which the state encourages the increase in conventional renewable electricity generation.

**Keywords:** Laguna el Sauce. Installed Power, Kaplan Turbine

## I. INTRODUCCIÓN

En la región de la Selva del Perú, específicamente en el Departamento de San Martín, se encuentra la Laguna El Sauce, en un trayecto de 52 km. de la localidad de Tarapoto, en el límite izquierdo de la vía Tarapoto - Juanjuí, atravesando el río Huallaga al nivel de Puerto López, sus peculiaridades son: extensión de 430.8 Hectáreas, Longitud máxima: 5,000 m. Profundidad: 37.5 m., Volumen Total: 79?806,147 m<sup>3</sup> y ubicado a una altitud de 700 m.s.n.m, con mucha actividad turística, visitada durante casi todo el año por turistas nacionales e Internacionales. (Ministerio de Turismo, 2019, p.11).

La ampliación del sector eléctrico en San Martín, contempla el ingreso de nuevos proyectos de generación eléctrica. En el análisis del diagrama unifilar del sistema interconectado Regional de San Martín, en ella se puede apreciar que la sub estación SET Tarapoto, ubicada en la localidad de Tarapoto, dista de 54 Km de la laguna el Sauce, lo cual determina que sea factible la conexión hacia la minicentral que se proyecta. (ELECTRO ORIENTE, 2017, p.12).



Figura 1. Sistema Interconectado Regional de San Martín.

Fuente: ELECTRO ORIENTE, 2017

Según las proyecciones de requerimiento de energía, y para el año 2025, la Región San Martín requerirá de 96.98 MW de potencia eléctrica para atender el crecimiento del mercado eléctrico; el crecimiento del sector eléctrico tiene relación directa con el crecimiento económico, siendo una de las actividades económicas a impulsar la agroindustria. (OSINERGMIN, 2019, p.20)

El Perú es un país con un alto potencial de desarrollo hidro energético, debido a la geografía e hidrografía que presenta en su territorio, en el cual tiene características diversas, en la actualidad solo se utiliza el 5% de dicho potencial, es decir de los casi 4000 MW que se genera, el potencial de generación eléctrica de origen hidráulico es de 80000 MW, en todas las cuencas hidrográficas. (OSINERGMIN, 2019, p.4).

La producción de energía eléctrica en el Perú, para el sector eléctrico, con fuente hidráulica, ha ido descendiendo; en el año 1993, la producción de energía hidroeléctrica era del 91%, en el año 2004, se tuvo una producción del 76.2% de energía hidroeléctrica, y en el año 2015, fue de casi el 50%, es decir que el ingreso del gas natural, fue la causa del menor porcentaje de participación de éste tipo de energía. (OSINERGMIN, 2016).

Actualmente, en el mundo la generación hidroeléctrica, no supera la generación térmica, a pesar de que se tiene el potencial hidro energético, así como también existe en diferentes zonas del mundo, lugares sin acceso a la electricidad, que mejore la condición de vida del ser humano. Países del África con índice de crecimiento (IDH) muy bajo (IDH menos al 40%), Entre las diez centrales hidroeléctricas más grandes del mundo, la de mayor potencia instalada supera los 22 mil de MW, y la décima tiene una potencia instalada de 5400 MW, así como también se puede encontrar micro centrales hidroeléctricas con Potencias instaladas inferior a 1MW. (Ministerio de Energía y Minería, Argentina, 2017).

Tabla 1. Centrales Hidroeléctricas Más grandes del Mundo.

<b>Nombre de la Central Hidroeléctrica</b>	<b>País</b>	<b>Potencia (miles de MW)</b>
Three Gorges	China	22.50
Itaipú	Brasil/Paraguay	14.00
Gurí	Venezuela	10.20
Tucuruí	Brasil	8.40
Grand Coulee	USA	6.80
S. Shushenkaya	Rusia	6.40
Longtan	China	6.30
Krasnoyarskaya	Rusia	6.00
Robert-Bourassa	Canadá	5.60
Chuchill Falls	Canadá	5.40

Fuente: Ministerio de Energía y Minería, Argentina, 2017.

**Formulación del problema** Para la presente investigación será el siguiente: ¿Cómo satisfacer el crecimiento de requerimiento eléctrico en la Región San Martín, si se realiza el estudio del potencial hidroeléctrico de la laguna el Sauce – Tarapoto?

**Justificación del estudio** para el presente informe de investigación se consideraron las siguientes justificaciones

**Justificación tecnológicamente.** porque se puede aprovechar el potencial hidroenergético, al tener registros de caudales de agua que salen de la laguna durante todos los meses del año, además de presentar una geografía, propicia para el diseño de una minicentral hidroeléctrica, así como también el incremento de el requerimiento de la región San Martín. Los registros de caudales y las variaciones geodésicas, determinan la cantidad de energía que se puede aprovechar en un

modelo de turbina para la generación eléctrica, siendo ésta de características de alto caudal y pequeña caída.

**Se justifica económicamente.** porque el estudio plantea satisfacer el crecimiento de requerimiento de energía eléctrica, con lo cual se incrementa las expectativas del sector empresarial en invertir en instalaciones de manufactura y de procesamiento de la materia prima, que repercute en el aspecto económico de la región San Martín. En el ámbito ambiental, si se compara con la generación térmica, se tiene gran ahorro de emisión de gases de la combustión, así como también con el diseño de las instalaciones civiles y electromecánicas, se debe garantizar la mitigación del impacto al medio ambiente.

**El objetivo general.** es realizar el estudio del potencial hidroeléctrico en la laguna el sauce – Tarapoto para satisfacer el incremento de demanda eléctrica región san Martin y se plantearon los siguientes Objetivos específicos:

- Realizar un estudio hidrológico de la Laguna el Sauce, con información histórica de caudales y capacidad de almacenamiento.
- Hacer un estudio del incremento del requerimiento del sector eléctrico en la Región San Martín.
- Determinar la potencia instalada y la generación de energía eléctrica en función a la data de caudal y de la geografía donde se ubica la casa de máquinas de la minicentral
- Analizar la proyección de producción de energía eléctrica de la minicentral Hidroeléctrica con el crecimiento del requerimiento eléctrico en la Región San Martín.
- Realizar un diagnóstico económico del proyecto, usando indicadores tales como VAN y TIR.

**La Hipótesis formulada.** de la investigación es el estudio del potencial hidroeléctrico en la laguna el Sauce – Tarapoto que determinaría la satisfacción del incremento de demanda eléctrica región San Martin.

## II. MARCO TEÓRICO

Los diversos estudios realizados en la implementación de una minicentral hidroeléctrica en lagos y lagunas en el Perú y en el Mundo, tienen como objeto el análisis de la variabilidad del recurso del agua en diferentes épocas; es decir con caudales elevados que se manejan en las lagunas, las instalaciones son con turbina Kaplan de bajo salto; entre los estudios se tiene:

(CALMET, 2014), en su tesis de grado denominado: PLANIFICACIÓN Y DISEÑO DE UNA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA, presentado a la Universidad San Martín de Porres, Lima Perú, concluye que el abastecimiento para el sistema de automatización de planta, debe ser proyectado, además prosiguiendo la demanda de operación que son requeridos por los administradores y/o dueños del proyecto. El contratista y/o encargado del diseño determinará la opción de los equipos a usar, y su distribución en la estructura de la planta proyectada. En las micros centrales hidroeléctricas, Los sistemas de control y administración de datos SCADA son adaptables y pueden ser empleados en toda clase de desarrollo industrial actual: Producción, gestión de servicios, generación de energía, organización, etc. Siendo los sistemas SCADA el resultado en donde la precisión y los volúmenes de variables a controlar son el factor que define su óptimo trabajo en el desarrollo de operación y/o servicio que ofrecen.

(CASTILLO, 2014), en su tesis de grado denominado “PRE-FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE INSTALAR UNA MICRO-CENTRAL HIDROELÉCTRICA EN EL FUNDO “LOS PINOS”, presentado a la Universidad Austral de Chile, concluye que se tiene un buen potencial hidroeléctrico que permite su explotación mediante la implementación de una micro central hidroeléctrica, especialmente la cuenca primordial de la propiedad cuyo flujo hídrico ha sido monitoreado por varios años, proporcionando valiosa información que ha permitido determinar la localización óptima para la captación de las aguas

del efluente de la cuenca, la que otorga una altura bruta de salto de 94 metros y un flujo que varía considerablemente en todo el año, desde caudales casi nulos hasta caudales superiores a 350 [l/s]. Sin embargo, se ha determinado que la construcción de una micro central diseñada para operar con un caudal de 110 [l/s] que se aprovecharía un 93,2% de la energía hidráulica disponible en el punto de captación.

(MAMANI, 2017), en su tesis de grado denominado: “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”, presentado a la Universidad Nacional del Altiplano, determina que la Central Hidroeléctrica Yuraq inyectará al SEIN, una potencia de 19.8 MW y su energía asociada, que es de 125,592 MW-h., garantizando parcialmente la continuidad del desarrollo sostenible.

Sin embargo, el SEIN debe avalar un límite de reserva de 38.9% (Fijado por el MEM), por lo que el requerimiento sería cubierto hasta el año 2024, en un escenario pesimista y hasta el año 2023, en un escenario conservador y hasta el año 2021, en un escenario optimista.

(Palma, 2018), en su tesis de grado denominado: “DISEÑO DE UNA TURBINA TIPO KAPLAN PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA HIDRÁULICA”, presentada a la Universidad Católica de Colombia, realizó un estudio minucioso para seleccionar el modelo de turbina de acuerdo a la necesidad presentada para el proyecto, se identificó que la turbina modelo Kaplan es la más apropiada ya que su campo de acción es amplio y variable, ya que en condiciones de caudales y alturas bajas se puede aprovechar de manera óptima la generación de energía, ya que sus alabes son móviles, se adaptan para la mejor eficiencia en toda condición, esta turbina en comparación con el modelo Pelton o Michel Banki se limitan ya que para estas es necesario tener una salto de flujo alto para su buen funcionamiento, además su sistema de choque con el agua difiere en la necesidad

El análisis del mercado eléctrico se realiza en función del número de pobladores, número de casas, tarifa eléctrica, aforo de pago, entre otros. Predomina el sector rural en dicha Región y como referencia de proyectos de electrificación de sectores agrestes a través de Pequeños Sistemas de Electrificación (PSE) que realiza el Ministerio de Energía y Minas o mediante Procedimientos Aislados, que la tarifa promedio mensual para zonas agrestes que recién se están electrificando es de 30 KWh, que el factor de carga es de 0.28 para un gasto de 24 horas al día por 30 días que tiene el mes. (Ministerio de Energía y Minas, 2017, p.34).

El diseño de las centrales hidroeléctricas, tiene dos aspectos, las obras civiles y las obras electromecánicas, para lo cual es necesario conocer el registro de las escalas de agua en la laguna; y con la determinación de un lugar apropiado, se evalúa los saltos hidráulicos.

La caída es la otra magnitud esencial para el esbozo de una minicentral hidroeléctrica. Deberá ser el máximo permitido por la topografía de la superficie, teniendo en cuenta los márgenes que señalan la alteración del hábitat y la viabilidad económica de la financiación. (Ortiz, 2016, p.3).

- Caída bruta: Altura existente entre el punto de la toma de agua del azud y el punto de descarga del caudal turbinado al río.
- Caída útil: Desnivel existente entre la superficie libre del agua en la cámara de carga y el nivel de desagüe en la turbina.
- Caída neta: Es la diferencia entre el salto útil y las pérdidas de carga producidas a lo largo de todas las conducciones. Representa la máxima energía que se podrá transformar en trabajo en el eje de la turbina.
- Pérdidas de carga: Son las pérdidas por fricción del agua contra las paredes del canal y sobre todo en la tubería forzada, más las pérdidas ocasionadas por turbulencia, al cambiar de dirección el flujo, al pasar a través de una rejilla o de una válvula, etc. Se miden como pérdidas de

presión (o altura de salto) y se calculan mediante fórmulas derivadas de la dinámica de fluidos.

La determinación de la potencia eléctrica y de la cantidad de energía que se puede producir en una minicentral, ésta se proyecta en función del caudal de agua disponible para ser turbinado y la caída existente en cada instante. Según el tipo de equipo y el fabricante, el rendimiento de la maquinaria varía, pero a efectos de una primera aproximación, se puede tomar como factor de eficiencia para turbo generador moderno el valor de 0,80. (Arévalo, 2017, p.18).

Para la simulación del cálculo de la producción se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- Como el caudal es variable en función del tiempo, la energía se calculará en períodos de tiempo en los que el caudal pueda considerarse constante. Respecto a la caída, se podrá considerar constante en centrales fluyentes y será variable en centrales de pie de presa (curva Q-H del embalse)

Se considera la altura de salto neto como la distancia vertical medida entre la lámina de agua de la toma de agua y la del canal de descarga, de acuerdo con esto y a las características de cada turbina se ha obtenido la siguiente tabla:

Tabla 2. *Altura de trabajo de las turbinas.*

<b>Tipo de turbina</b>	<b>Horquillas de salto en metros</b>
Kaplan y hélice	$2 < H < 20$
Francis	$10 < H < 350$
Pelton	$50 < H < 1300$
Michel-banki	$3 < H < 200$
Turgo	$50 < H < 250$

Fuente: ORTIZ, 2016.

Con la referencia del caudal y caída geodésico tomados de la investigación de pre factibilidad procedemos a dimensionar la central en todos sus componentes con la finalidad de garantizar el funcionamiento y la durabilidad del sistema entre los componentes a dimensionar. (IDAE – Minicentrales Hidroeléctricas, 2016, p.14).

La altitud utilizable es la caída vertical entre la cámara de carga y la casa de máquinas es esencial para iniciar con los cálculos de los componentes de la mini central debido a que esto nos proporciona la potencia a adquirir para nuestra investigación.

El salto neto es la altura de la caída utilizable por la turbina, es igual a la caída útil menos las pérdidas de carga que tiene lugar a lo largo de la conducción forzada, reducciones, válvulas, etc.

Los Criterios para la elección del modelo de turbina deben ser seleccionadas en base a los siguientes parámetros:

- El salto de agua (caída geodésica).
- El caudal.
- Velocidad de rotación

Los Parámetros significativos a tener a consideración para escoger la turbina: (Mataix, 2013, p.212).

- Para escoger el tipo de turbina no existe un modelo bien definido a usar esto debe ser estudiado en particular dadas las especificaciones según el fabricante.
- La turbina modelo Banki o también llamada de flujo cruzado esta especificada en la misma gama de operación de la turbina Francis.
- Tiene un beneficio del 70% menor que la Francis y se puede usar en un sector de saltos y con caudal bastante amplio.

- La utilización de las bombas en plena marcha como turbinas, es en realidad la adaptación de una bomba de agua normal que es adaptada como turbina.
- Se puede considerar la media del beneficio entre una bomba y un generador con un valor de un 65%.

Las obras civiles de una minicentral, contemplan, los trabajos de captación del agua son las que están relacionadas con la desviación del caudal de agua hacia la mini central, asegurando la confiabilidad del servicio y de la calidad del agua. Consiste en el diseño de Bocatomas, Presa de derivación, Canales de conducción, Aliviadero, Desarenadores, Tanque de presión, Tubería de presión

La potencia eléctrica se determina a partir de la ecuación de la conservación de la energía: (Mataix, 2013, p.128).

$$P = Q * H_g * \gamma$$

P: Es la potencia, en KW. pérdida por el agua;

Q: El caudal medido en m<sup>3</sup> /s,

Hg: La caída bruta en m

$\gamma$ : El peso del agua (9,81 KN/m<sup>3</sup>).

Para diagnosticar el diámetro interior de la tubería de presión empleamos la siguiente ecuación

$$D_i = \sqrt[7]{0.052 * Q^3} = \text{Caudal medido } D_i = \text{Diámetro interior}$$

La cantidad de Reynolds es un parámetro a dimensional con predominio de la viscosidad por lo que cuanto mayor es el número de Reynolds menor es la importancia de la viscosidad y viceversa, y se determina por medio de la ecuación.

$$Re = \gamma * D * \frac{V}{\nu};$$

Re = Número de reynolds

$\gamma$  = Viscosidad cinemática del agua (m<sup>2</sup>/s)

D<sub>i</sub> = Diámetro interior

Las pérdidas primarias son las pérdidas de superficie en el contacto del fluido con la tubería, generalmente para tramos de tubería de sección constante y flujo uniforme, para lo cual utilizamos la ecuación general de DARCY-WEISBACH.

$$H_{rp} = f * \frac{L * V^2}{2 * g * D_i}$$

H<sub>rp</sub> = Perdidas primarias (m)

L = 3 metros, Longitud de la tubería de presión

g = 9.81 m/s<sup>2</sup> aceleración de la gravedad

V = Velocidad de fluido = 4,6 m/s

El espesor de tubería se determina con base en el golpe de ariete para lo cual realizamos el cálculo de los siguientes parámetros: La caída total en la tubería cuando ocurren golpes de ariete se determina con la ecuación:

$$h_t = \Delta h + h_b$$

h<sub>t</sub> = Caída total en la tubería (m)

$\Delta h$  = Presión transitoria (m)

h<sub>b</sub> = Altura bruta (m)

Velocidad Específica de Caudal o Número de Brauer (N<sub>q</sub>)

$$N_q = \frac{N\sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

Velocidad Específica de Potencia o Número de Camerer (Ns)

$$N_q = \frac{N\sqrt{P}}{H^{5/4}}$$

Diámetro Interior del Rodete (Di)

$$D_i = \left(0.25 + \frac{0.0951}{K_u}\right) \times D_e$$

Dónde:

Di: Diámetro Interior.

De: Diámetro exterior.

Ku. Coeficiente Schweiger y Gregory

Velocidad Axial Promedio del Fluido en el Rodete (Cm)

$$C_m = \frac{4Q}{\pi(D_e^2 - D_i^2)}$$

Coeficiente Cavitación

$$\sigma_c = 1.5241 * K_u^{1.46} + \frac{C_4^2}{2 \times g \times H_n}$$

Altura Máxima de Aspiración

$$H_s = \frac{P_{atm} - P_{vapor}}{\rho g} + \frac{C_4^2}{2g} - 0.3931 \times H_n$$

En la figura 2, se tiene el perfil de velocidades del fluido y de la turbina al ingreso y salida del álabe; la ecuación de Euler, determina la conversión de la energía cinética del agua en energía mecánica en la turbina.

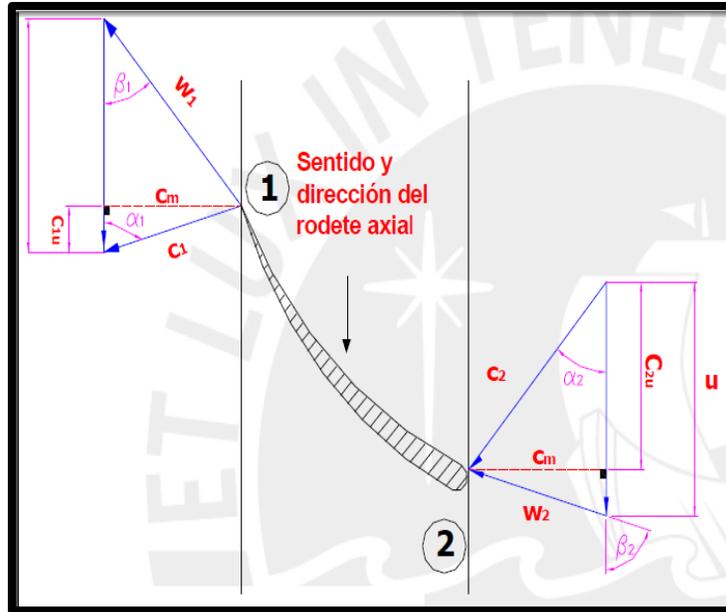


Figura 2. Perfil de velocidades en turbina Kaplan.

Fuente: Turbomáquinas, Polo Encinas, 2014

Tabla 3. Relaciones Numéricas entre parámetros en turbina Kaplan.

U	$U = \frac{\pi ND}{60}$
$C_{2u}$	$C_{2u} = \frac{g \times H_n}{U}$
$W_\infty$	$W_\infty = \sqrt{C_m^2 + \left(u - \frac{C_{2u}}{2}\right)^2}$
$\text{Tan}(\beta_\infty)$	$\text{Tan}(\beta_\infty) = \frac{C_m}{\left(u - \frac{C_{2u}}{2}\right)}$
R	$R = \frac{W_\infty \cos \beta_\infty}{U}$
$W_2$	$W_2 = \sqrt{C_m^2 + \left(W_\infty \cos - \frac{C_{2u}}{2}\right)^2}$
$W_1$	$W_1 = \sqrt{C_m^2 + \left(W_\infty \cos + \frac{C_{2u}}{2}\right)^2}$
$C_2$	$C_2 = \sqrt{C_m^2 + C_{2u}^2}$

$C_1$	$C_2 = \sqrt{C_m^2 + C_{1u}^2}$
-------	---------------------------------

Fuente: Turbomáquinas, Polo Encinas, 2014

### III. METODOLOGÍA.

#### 3.1. Tipo y Diseño de Investigación.

**Tipo de Investigación:** Aplicada

Porque busca la solución al problema o planteamiento específico, guiándome en la búsqueda y consolidación del conocimiento para su aplicación y, por ende, para el enriquecimiento del desarrollo científico.

**Diseño de la Investigación:** Diseño No experimental.

Investigación no experimental: es aquella que se realiza sin tergiversar deliberadamente variables. Se basa fundamentalmente en la acotación de los valores de niveles de altitud de la laguna el Sauce, registrado por SENAMHI

#### 3.2. Variables y operacionalización:

##### 3.2.1. Variable independiente: **ESTUDIO DEL POTENCIAL HIDROELÉCTRICO EN LA LAGUNA EL SAUCE – TARAPOTO.**

**Definición Conceptual:** Es la evaluación de los parámetros y variables de índole hidro energético, a fin de determinar la factibilidad de la instalación de una central hidroeléctrica, con una capacidad de generar energía eléctrica sustentable en el tiempo, con efectos no negativos hacia el medio ambiente.

**Definición Operacional:** Se determina con el registro histórico de caudales, así como del análisis topográfico, con lo cual se determina la ubicación de la central

hidroeléctrica, además de la proyección de la energía que genera en función a la demanda eléctrica de la zona de influencia del proyecto.

**Indicadores:** Caudal, Salto, Volumen almacenado de agua., Energía Potencial.

**Escala de medición:** Nominal.

### 3.2.2. Variable Dependiente: **INCREMENTO DE DEMANDA ELÉCTRICA REGION SAN MARTÍN.**

**Definición Conceptual:** Es la variación de la cantidad de energía eléctrica y de la máxima demanda con una proyección de 20 años, teniendo en cuenta el crecimiento económico y energético de la región.

**Definición Operacional:** Las proyecciones de generación eléctrica, se realiza utilizando la tasa de crecimiento demográfico, el PBI, crecimiento de la actividad industrial y la eficiencia energética de los consumidores de energía.

**Indicadores:** Energía Eléctrica Generada, Máxima Demanda, Tasa de crecimiento demográfico, Eficiencia energética.

**Escala de medición:** Nominal.

### 3.3. Población, Muestra y muestreo.

**Población:** Recursos hidro energéticos en la Región San Martín.

**Muestra:** Volúmenes de agua y saltos en laguna el Sauce – Tarapoto.

**Muestreo:** Registro Histórico de niveles de volúmenes de agua laguna el Sauce – Tarapoto.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.**

En esta investigación se aplicaron las técnicas de recolección de datos: Guía de observación, análisis documental.

Guías de observación: Registros de niveles de volúmenes de agua almacenada en laguna el sauce –Tarapoto.

Análisis Documental. Mecánica de Los Fluidos. Centrales de generación hidráulica. Proyección del mercado eléctrico.

#### **Instrumentos de Recolección de Datos:**

Guía de observación 1: - Registro Históricos de niveles de altura de agua en laguna el sauce.

GUIA DE OBSERVACION 2. Registro de máxima demanda y gasto de energía eléctrica en región san Martín.

### **3.5. Procedimientos**

El procedimiento de recolección de referencias, se hizo de los registros históricos de niveles de altura de la laguna el sauce, y mediante la estadística inferencial se determinó la variación de los valores en los diferentes meses del año.

### **3.6. Método de análisis de datos.**

Los datos se analizaron entre los registros de volúmenes de agua almacenada en la laguna el sauce, como también la proyección de demanda y consumo de energía, utilizando método de proyección según el grado de correlación de las variables, se utilizó el Microsoft Excel para el análisis numérico.

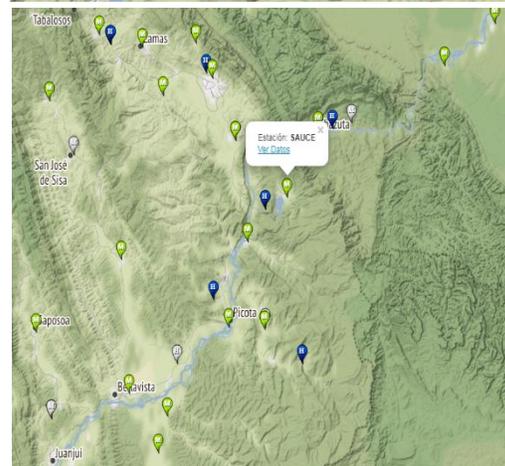
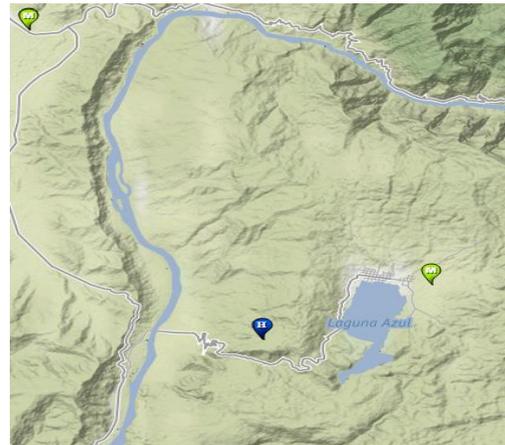
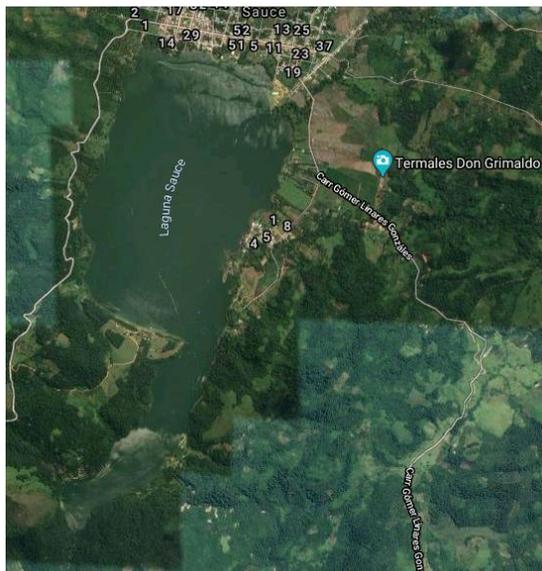
### 3.7. Aspectos éticos

El presente proyecto de investigación se proyectará manteniendo la confidencialidad de los precedentes, datos y documentos con cual se realiza el análisis a fin de evitar cualquier situación que se pueda imaginar o llegar a ocasionar un conflicto entre intereses.

## IV. RESULTADOS.

### 4.1. Realizar un estudio hidrológico de la Laguna el Sauce, con información histórica de caudales y capacidad de almacenamiento.

**4.1.1. Ubicación.** La laguna el Sauce está ubicada en el Departamento de San Martín, Provincia de San Martín, Distrito del Sauce, a una altitud de 614 m. s.n.m. latitud sur  $6^{\circ} 41' 39.54''$ , y longitud oeste  $76^{\circ} 12' 3.58''$ .



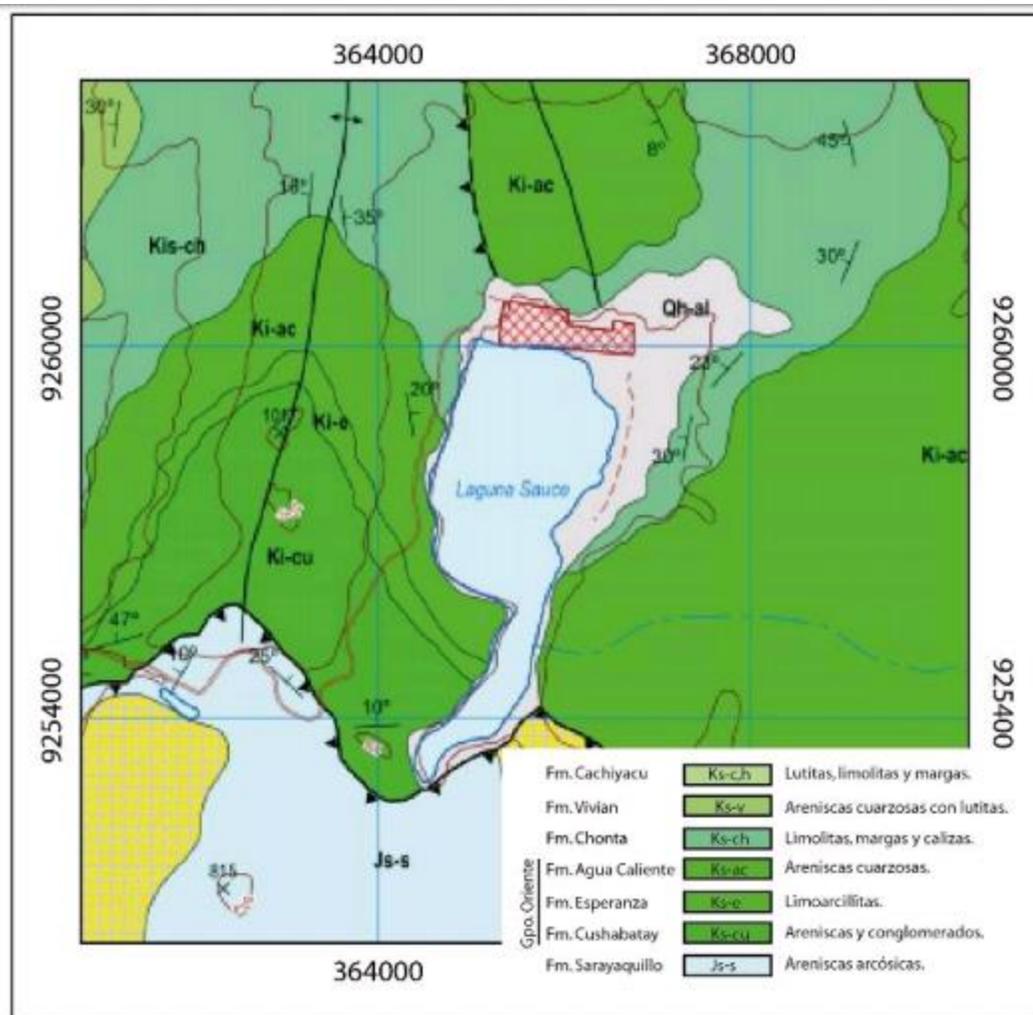


Figura 3. Mapa Geológico Laguna el Sauce - Tarapoto.

Fuente: Mapa Físico de San Martín, 2012.

#### 4.1.2. Registro de las condiciones ambientales en la Laguna El Sauce

La estación El Sauce registra información del clima, como son la temperatura mínima, máxima, y la humedad, en la tabla 3, se muestra el registro de la información en el mes de marzo del 2020.

Tabla 4. Registros de condiciones climáticas, Laguna El Sauce.

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
01/01/2020	33	22	85.1	0
02/01/2020	28.4	20	91.2	14.5
03/01/2020	30	18.2	83.8	0
04/01/2020	33	21.2	75.7	0
05/01/2020	30.4	22	87.9	0
06/01/2020	32.4	20	82.9	0
07/01/2020	29.6	22	80.4	0
08/01/2020	33.4	18.6	79.5	0
09/01/2020	34	17	82.2	0
10/01/2020	34	20.4	81.7	0
11/01/2020	31	21	78.9	0
12/01/2020	30	18.4	84.4	0
13/01/2020	29	20	82.6	0
14/01/2020	29.4	16.4	77.7	0
15/01/2020	30.2	17.6	84.6	0
16/01/2020	29	19.2	88.8	3.5
17/01/2020	32.2	16	78	2.7
18/01/2020	27	16	92.1	5.7
19/01/2020	27	18	89.7	0
20/01/2020	30	18	88.3	0
21/01/2020	32	19	76.9	0.3
22/01/2020	29	19.4	93.6	29.6
23/01/2020	27.4	19.2	91.5	0
24/01/2020	31.2	20.4	84.5	2.5
25/01/2020	29.2	19	88.7	5.6
26/01/2020	31.4	18.4	80.3	0
27/01/2020	32	16.4	86.5	0
28/01/2020	32.4	17.6	79.4	15.7
29/01/2020	26.2	21	95.1	63.5
30/01/2020	30	18	88.4	0
31/01/2020	28.6	18.2	91.3	14

Fuente: SENAMHI, 2020

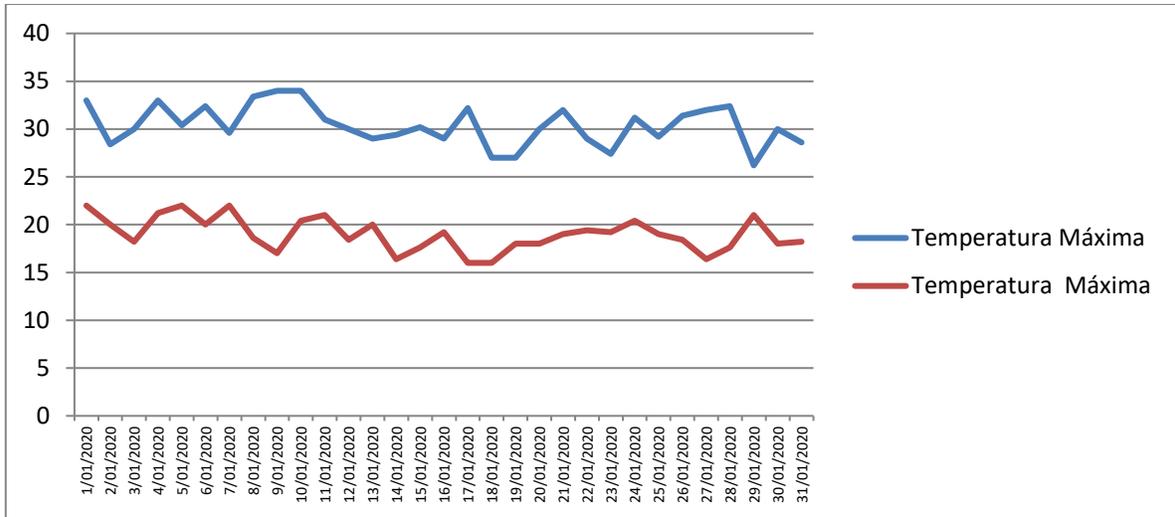


Figura 4. Evolución de la Temperatura Máxima y Mínima en Estación El Sauce.

Fuente: SENAMHI, 2020.

En la figura 4, se muestra que la temperatura máxima que se alcanzó en el mes de enero del 2020 fue de 33.4° centígrados y la temperatura mínima fue de 16° Centígrados, es decir que existe una diferencia de 17.4° centígrados entre el valor máximo y mínimo en el mes de enero, el cual influye en los niveles de precipitación en la zona.

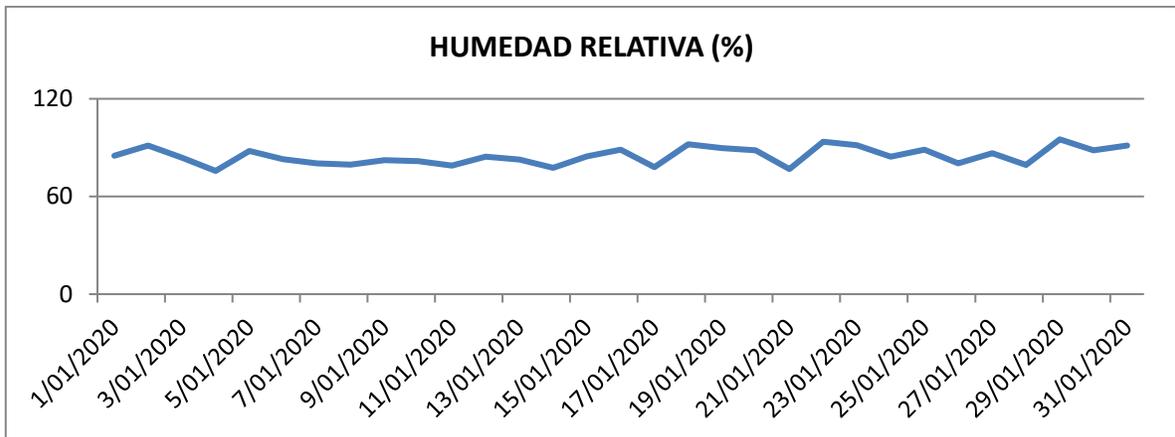


Figura 5. Evolución de la Humedad relativa, laguna el sauce.

Fuente: SENAMHI, 2020.

En la figura 5, se muestra la evolución de la humedad relativa registrada en la estación meteorológica el sauce, en el cual el menor valor de humedad relativa es de 75.7% y el valor máximo de 95.1%.

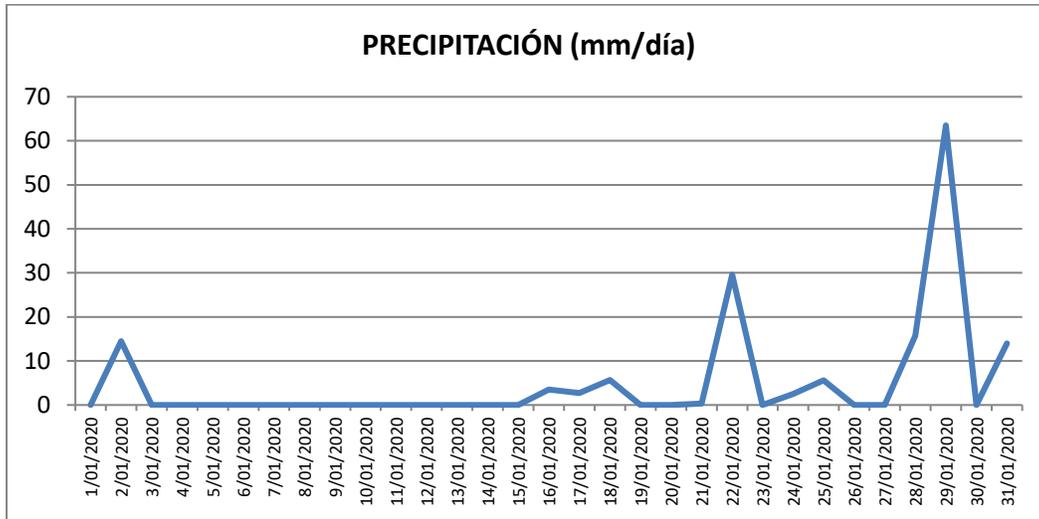


Figura 6. Evolución de los registros de precipitación en laguna el sauce.

Fuente: SENAMHI, 2020.

En la figura 6, se muestra que, en el mes de enero del 2020, el mayor nivel de precipitación fue de 63.5mm/mm<sup>2</sup>, observando que en dicho mes, existe cuatro días en el cual presentó precipitación superior a 10 mm/mm<sup>2</sup>, esto es importante conocer, debido a que los niveles de precipitación incrementan los niveles de agua en la laguna el sauce.

#### 4.1.3. Registros de Niveles de Laguna El Sauce.

El Servicio de Hidrología y Meteorología del Perú, SENAMHI, registra los niveles de altura de la laguna el sauce, en la tabla 4, se muestra la información de los años 2017, 2018 y 2019.

Tabla 5. Registros de Niveles de laguna el sauce, 2017 – 2019.

Año	Nivel de la laguna azul (metros)				
	Mes	06:00:00 a.m.	10:00:00 a.m.	02:00:00 p.m.	06:00:00 p.m.
2019	Enero	37.90	37.80	37.81	37.86
	Febrero	37.91	37.92	37.91	37.90
	Marzo	37.53	37.50	37.40	37.51
	Abril	37.71	37.71	37.62	37.60
	Mayo	37.63	37.53	37.60	37.60
	Junio	37.50	37.43	37.52	37.50
	Julio	37.50	37.40	37.50	37.50
	Agosto	37.41	37.45	37.40	37.45
	Septiembre	37.45	37.40	37.45	37.40
	Octubre	37.51	37.40	37.46	37.48
	Noviembre	37.42	37.40	37.42	37.44
	Diciembre	37.21	37.23	37.45	37.39
2018	Enero	37.77	37.65	37.42	37.76
	Febrero	37.87	37.67	37.65	37.42
	Marzo	37.78	37.89	37.86	37.51
	Abril	37.42	37.42	37.70	37.70
	Mayo	37.71	37.72	37.75	37.70
	Junio	37.75	37.45	37.75	37.47
	Julio	37.47	37.30	37.33	37.43
	Agosto	37.32	37.34	37.45	37.45
	Septiembre	37.45	37.45	37.44	37.41
	Octubre	37.53	37.53	37.51	37.48
	Noviembre	37.40	37.35	37.35	37.43
	Diciembre	37.15	37.35	37.15	37.35
2017	Enero	37.78	37.88	37.62	37.76
	Febrero	37.72	37.81	37.67	37.70
	Marzo	37.71	37.88	37.61	37.71
	Abril	37.61	37.59	37.45	37.59
	Mayo	37.55	37.45	37.56	37.45
	Junio	37.57	37.46	37.53	37.46

	Julio	37.35	37.45	37.36	37.37
	Agosto	37.45	37.60	37.45	37.61
	Septiembre	37.60	37.50	37.52	37.51
	Octubre	37.40	37.50	37.40	37.43
	Noviembre	37.40	37.40	37.45	37.45
	Diciembre	37.35	37.45	37.45	37.35

Fuente: SENHAMI.

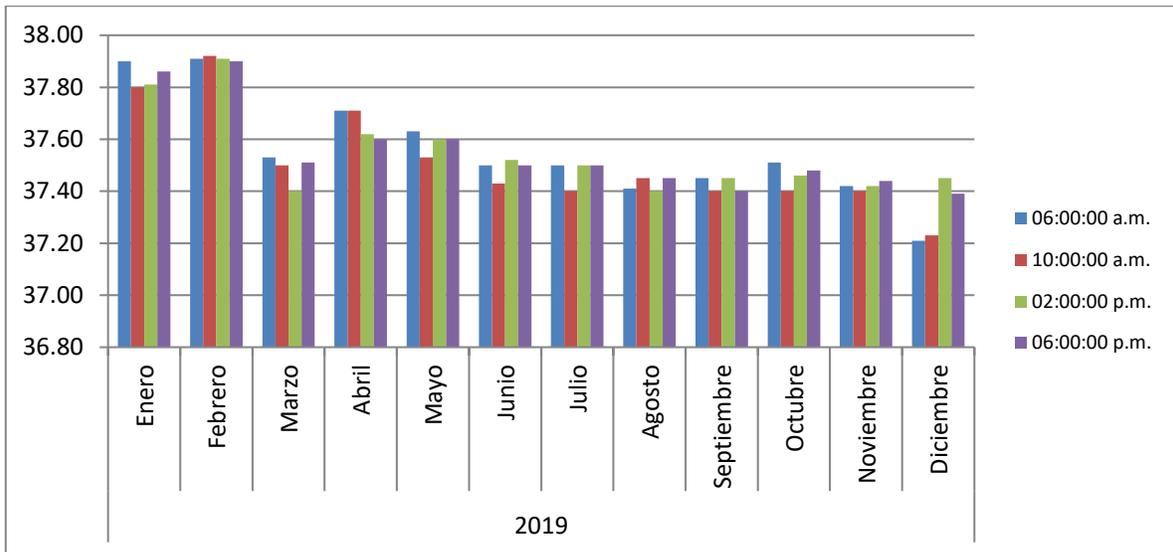


Figura 7. Registros de niveles de laguna el sauce, 2019.

Fuente: SENAMHI, 2020.

En la figura 7, se muestra que, en los tres primeros meses del año, se tiene los mayores valores de registro de niveles de altura en la laguna el sauce, esto es influenciado por el nivel de precipitaciones que ocurre en la zona, y se observa la misma tendencia en el resto de los meses del año.

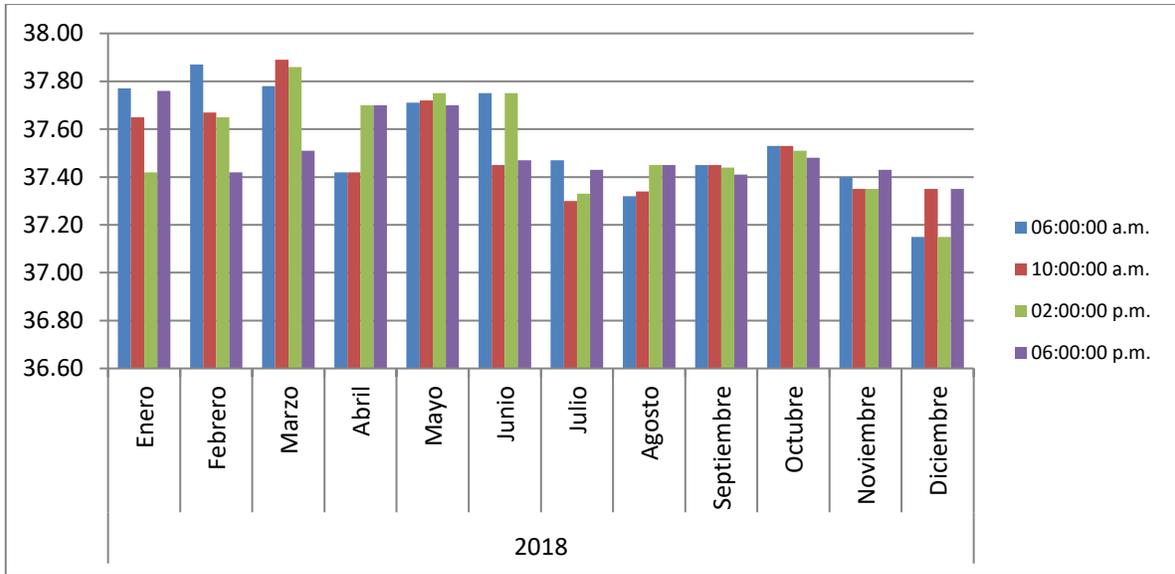


Figura 8. Registros de niveles de laguna el sauce, 2018.

Fuente: SENAMHI, 2020.

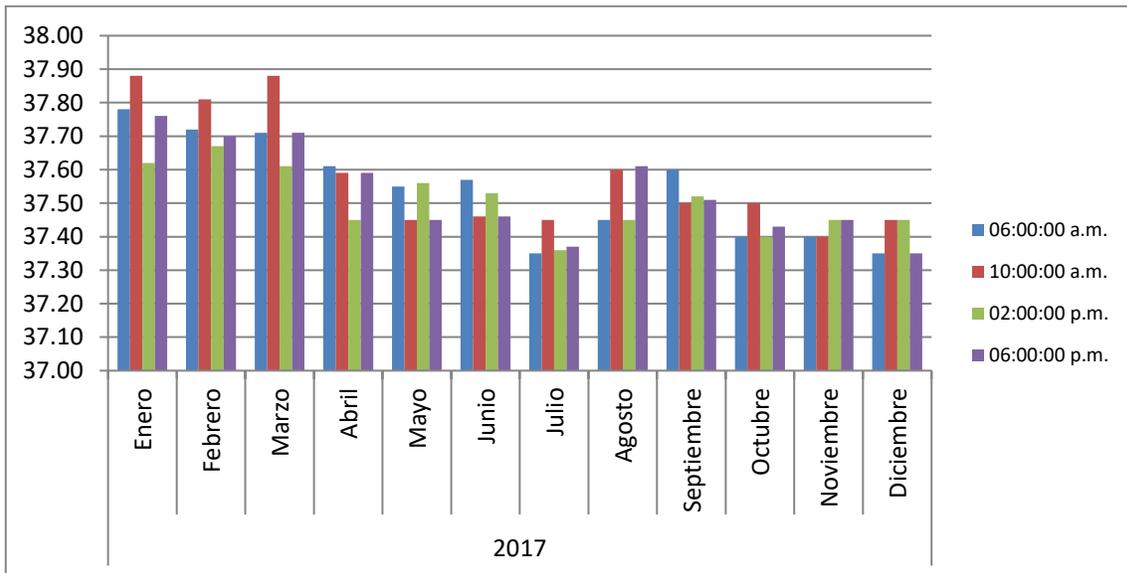


Figura 9. Registros de niveles de laguna el sauce, 2017.

Fuente: SENAMHI, 2020.

#### 4.1.4. Análisis estadístico de información de niveles.

El análisis estadístico de la información de niveles registrada, permite determinar la tendencia de los valores a lo largo del tiempo de los niveles de la laguna el sauce, y con ello evaluar la cantidad de agua disponible, que finalmente es un componente de la potencia hidro energética que es motivo de la investigación.

Al observar los registros de niveles, se puede dividir dicha información en meses de mayor niveles y meses de menores niveles, siendo los meses de enero, febrero y marzo los de mayor nivel, y los meses restantes del año los de menor nivel.

En los tres años de información, los meses de mayor nivel, tienen el valor máximo y mínimo, así como también los meses de menor nivel; en la tabla 5, se muestra dichos valores.

Tabla 6. Valores mínimos y Máximos.

<b>Meses</b>	<b>Nivel Mínimo (m)</b>	<b>Nivel Máximo (m)</b>
Enero - Marzo	37.4	37.92
Abril - Diciembre	37.15	37.75

Fuente: Elaboración Propia.

Así mismo se analiza los valores de la moda, varianza y desviación estándar, para los meses de mayores niveles y los meses de menores valores respectivamente.

La moda es el valor más repetido del conjunto de datos, es decir, el valor cuya frecuencia relativa es mayor. En un conjunto puede haber más de una moda.

La varianza de un conjunto de valores, es la sumatoria de las desviaciones al cuadrado con respecto al promedio o a la media, todo esto dividido entre el número total de observaciones menos 1.

La desviación estándar o desviación típica es una medida que ofrece información sobre la dispersión media de una variable. La desviación estándar es siempre mayor o igual que cero.

Varianza	Desviación Estándar
$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N x_i^2}{N} - \mu^2$	$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N x_i^2}{N} - \mu^2}$

Dónde  $\mu$ , es el valor de la media del conjunto de datos, N el número de datos.

Utilizando Microsoft Excel, se determina los valores de la moda, desviación estándar y varianza para los meses de mayor y menos nivel respectivamente.

Tabla 7. Medidas estadísticas de niveles de laguna el sauce.

Meses	Moda	Desviación estándar	Varianza
Enero - Marzo	37.42	0.15	0.024
Abril - Diciembre	37.45	0.11	0.014

Fuente: Autoría Propia.

Con el valor de la moda, nos permite conocer que, en los meses de mayor nivel, se tiene el valor de 37.42 m y en los meses de menor nivel, se tiene un valor de 37.45m, valores de tendencia que nos permite conocer el conjunto de datos que más se repite.

En cuanto a los valores de dispersión, se observa que éstos tienen indicadores muy cercanos a cero, es decir que existe una estabilidad de los datos, y que no es marcada la diferencia de los niveles de la laguna el sauce, inclusive en los meses de mayor nivel.

El área de la laguna es de 430 Hectáreas, es decir  $430 \times 10000 \text{ m}^2 = 4300000 \text{ m}^2$ , y el incremento de la altura del nivel de la laguna, según los datos históricos de altura de los niveles de la laguna, para los meses de menor nivel: 37.75 m y 37.15m. El nivel técnico mínimo de agua en la laguna, es de 35.70 m, es decir que la altura de agua a utilizar para generación hidroeléctrica es 1.45m

El volumen total de agua a utilizar en la minicentral es:

$$Vol = 1.45 \times 4300000 = 6235000 \text{ m}^3$$

El caudal de diseño se determinó con la expresión:

$$Q = \frac{Vol}{t}$$

Q: Caudal de diseño, en  $\text{m}^3/\text{s}$ .

Vol.: Volumen disponible de agua, en metros cúbicos.

t: Tiempo de funcionamiento en segundos, en el periodo de un día ( $24 \times 3600 = 86400$  segundos)

Reemplazando valores, se tiene:

$$Q = \frac{6235000}{86400} = 72.16 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Valor que representa el caudal de diseño para el estudio de la minicentral hidroeléctrica.

## 4.2. Hacer un estudio del incremento de la demanda del sector eléctrico en la Región San Martín.

### 4.2.1. Máxima Demanda Eléctrica en la Región San Martín.

Según los reportes de ELECTRORIENTE al Ministerio de Energía y Minas, se tiene la información de la máxima demanda eléctrica en la región San Martín, desde el año 2007 hasta el año 2019, en el cual se observa que se ha incrementado desde 29.4 hasta 66.97 MW, es decir que, en términos porcentuales, el incremento en 13 años es de:

$$\% MD = 100 * \frac{66.97 - 29.4}{29.4} = 127.7\%$$

El incremento de la máxima demanda es del 127.7% en los 13 años de análisis, éste incremento es influenciado por el incremento del sector residencial, comercial e industrial. En la tabla 7, se muestra el incremento de la máxima demanda en la región San Martín.

Tabla 8. Máxima demanda En Región San Martín.

Año	Máxima Demanda MW	% Incremento
2007	29.4	
2008	33.4	13.61
2009	34.4	2.99
2010	38.57	12.12
2011	41.08	6.51
2012	42.3	2.97
2013	46.29	9.43
2014	49.17	6.22

2015	53.2	8.20
2016	55.55	4.42
2017	61.02	9.85
2018	64.3	5.38
2019	66.97	4.15

Fuente: MINEM, 2020

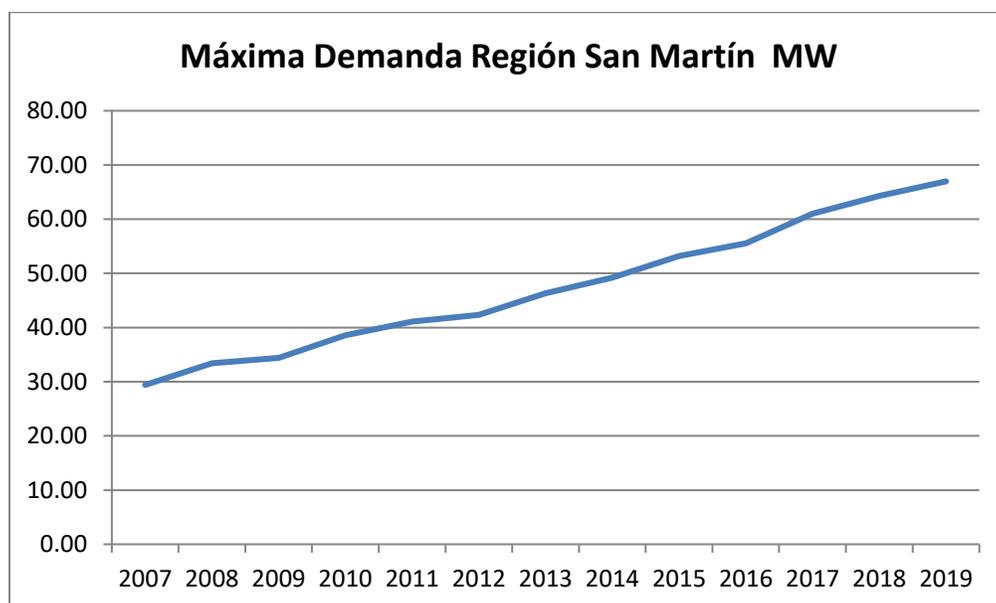


Figura 10. Evolución de máxima demanda eléctrica, Región San Martín 2007 –2019.

Fuente: MINEM, 2020

Si se analiza el incremento de la máxima demanda en comparación al año anterior, en la figura 11, se muestra la tendencia de crecimiento en términos porcentuales.

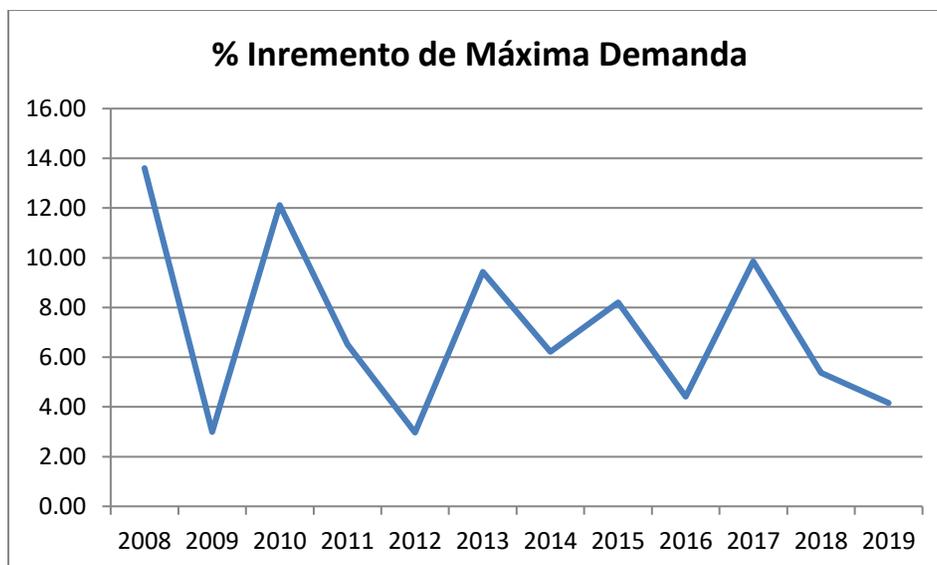


Figura 11. Tendencia de Incrementos en % de Máxima demanda.

Fuente: MINEM, 2020

#### 4.2.2. Energía Eléctrica Consumida en la Región San Martín.

Según los reportes de ELECTRORIENTE al Ministerio de Energía y Minas, se tiene la información del consumo de energía eléctrica en la región San Martín, desde el año 2007 hasta el año 2019, en el cual se observa que se ha incrementado desde 88053 hasta 230872 MW, es decir que, en términos porcentuales, el incremento en 13 años es de:

$$\% MD = 100 * \frac{230872 - 88053}{88053} = 162.1\%$$

El incremento del consumo de energía es del 162.1% en los 13 años de análisis, éste incremento es influenciado por el incremento del sector residencial, comercial e industrial, así como también del incremento del número de horas del uso de la energía. En la tabla 9, se muestra el incremento de la máxima demanda en la región San Martín.

Tabla 9. Consumo de energía eléctrica Región San Martín.

Año	Energía Consumida (MW-H)	% Incremento
2007	88053	
2008	99147	12.60
2009	117334	18.34
2010	128327	9.37
2011	140422	9.43
2012	148629	5.84
2013	157696	6.10
2014	167000	5.90
2015	177928	6.54
2016	188781	6.10
2017	199919	5.90
2018	213001	11.20
2019	230872	8.39

Fuente: MINEM, 2020

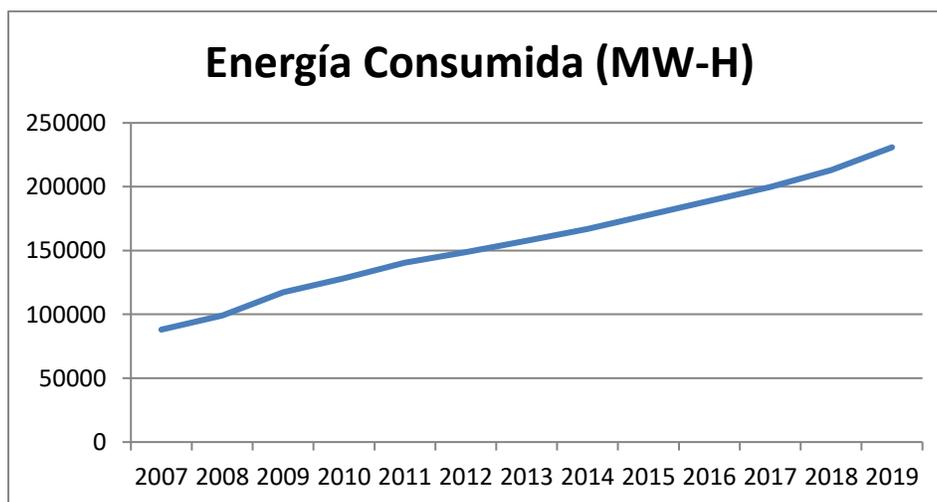


Figura 12. Evolución del consumo de energía eléctrica, Región San Martín 2007 –2019.

Fuente: MINEM, 2020

Si se analiza el incremento del consumo de energía en comparación al año anterior, en la figura 13, se muestra la tendencia de crecimiento en términos porcentuales.

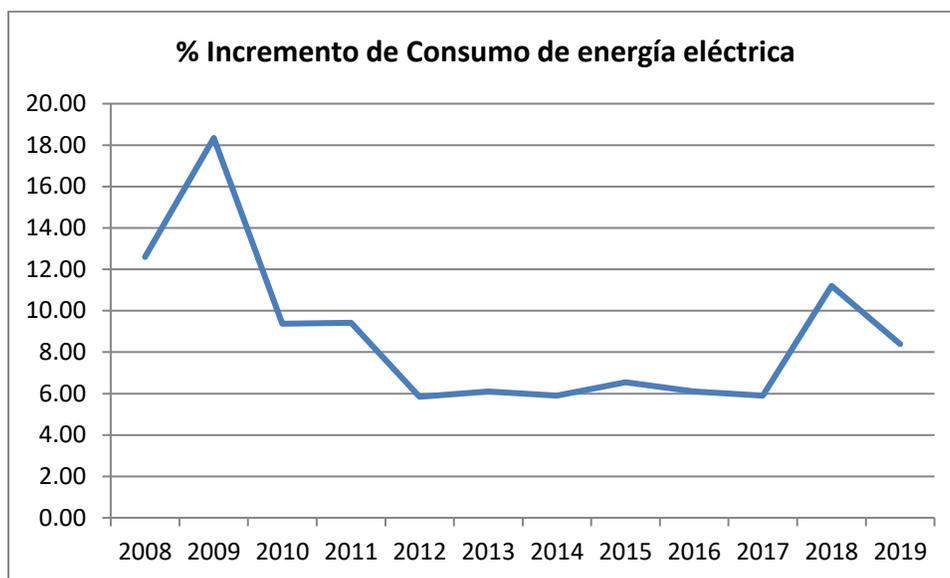


Figura 13. Tendencia de Incrementos en % de Máxima demanda.

Fuente: MINEM, 2020

#### 4.2.3. Evolución del factor de carga en la Región San Martín.

El factor de carga anual, es la relación entre la máxima demanda que ocurre dentro del periodo de un día y la cantidad de energía que se utilizó durante ese año, es decir en las 8640 horas del año, se calcula con la expresión:

$$FC = \frac{E}{MD * 8640}$$

Dónde:

FC: Factor de carga anual.

E: Energía consumida en un año, en MW-H

MD: Máxima demanda en el periodo de un año, en MW

En la tabla 10, se muestra la evolución del factor de carga anual, entre los años 2007 y 2019, en el cual se evidencia que tiene valores inferiores al 40%, es decir que el ritmo de utilización de energía es acentuado en horas punta, y que las actividades industriales se realizan en horario fuera de horas punta.

Tabla 10. Factor de carga anual.

<b>Año</b>	<b>Máxima Demanda MW</b>	<b>Energía Consumida (MW-H)</b>	<b>Factor de carga</b>
2007	29.40	88053.33	0.347
2008	33.40	99147.00	0.344
2009	34.40	117333.67	0.395
2010	38.57	128327.00	0.385
2011	41.08	140422.00	0.396
2012	42.30	148629.39	0.407
2013	46.29	157695.78	0.394
2014	49.17	166999.83	0.393
2015	53.20	177927.63	0.387
2016	55.55	188781.22	0.393
2017	61.02	199919.31	0.379
2018	64.30	213001.23	0.383
2019	66.97	230871.79	0.399

Fuente: MINEM, 2020

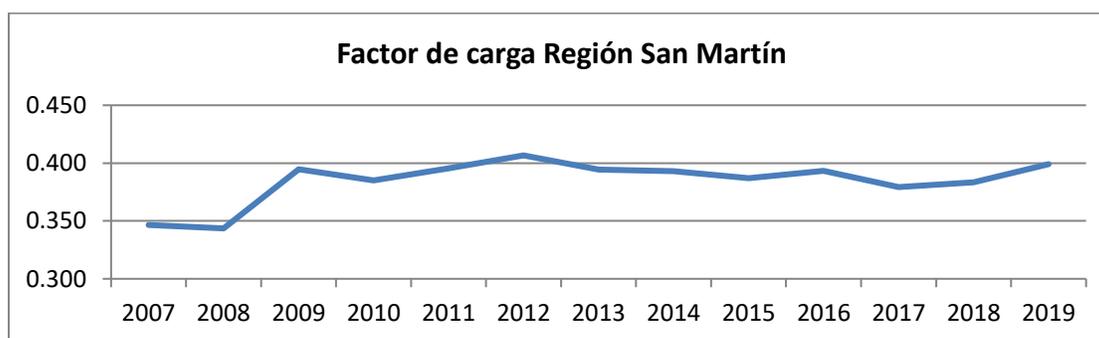


Figura 14. Factor de carga anual.

Fuente: MINEM, 2020

#### 4.2.4. Potencia Instalada en Generación Eléctrica en la Región San Martín.

La potencia instalada en la Región San Martín, es de dos fuentes: Hidráulica y Térmica, siendo la composición:

Tabla 11. Potencia Instalada de generación en Región San Martín.

Potencia Instalada por tipo de generación MW				
	2009	2013	2016	2019
Hidráulica	9.33	9.33	14.55	18.23
Térmica	41.33	54.23	54.23	61.2
Total	50.66	63.56	68.78	79.43

Fuente: OSINEGRMIN, 2019

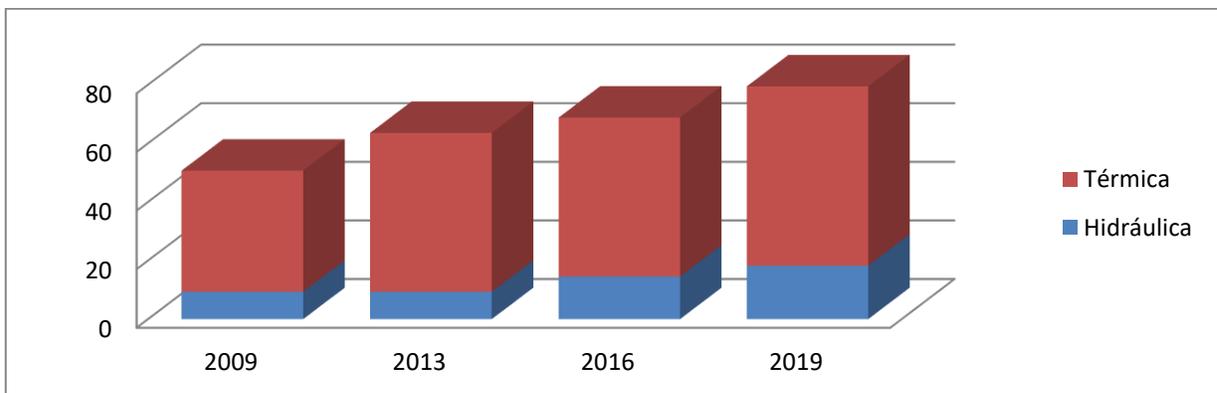


Figura 15. Potencia Instalada de generación Región San Martín.

Fuente: OSINEGRMIN, 2019

#### 4.2.5. Nuevos Proyectos Generación Eléctrica.

En la región San Martín, se tiene varios proyectos de generación de energía eléctrica, tanto de índole hidráulica, como de índole térmico. Los nuevos proyectos de generación hidráulica, contempla varias centrales y minicentrales hidroeléctricas, teniendo a la central hidroeléctrica de Pongo de Aguirre, como la de mayor potencia instalada con 720 MW, el cual se encuentra a nivel de idea, es

decir aún no se han realizado los estudios para su viabilidad, pero el gobierno regional, tiene intención de realizar los estudios respectivos. La central el sauce en la laguna el sauce, se encuentra en estado de estudio, pero aún definitivos. Existe proyectos como la central de naranjos y shima, en plena ejecución, ambos tienen 14.8 MW de potencia instalada, que ingresarán al sistema interconectado nacional. (Dirección Regional de Energía y Minas de San Martín, 2019).

En la tabla 11 se muestra en detalles las centrales hidroeléctricas, su potencia estimada y su estado actual.

Tabla 12. Nuevos Proyectos de generación Hidroeléctrica.

Proyectos de Centrales Hidroeléctricas Región San Martín		
Central	Potencia (MW)	Estado
CH NARANJOS	5.8	EJECUCION
SHIMA	9	EJECUCION
LAS ORIQUIDEAS	16.2	PERFIL
CHAMBIRA	9	CONF BAS
SHUNTE	8	PERFIL
MAYO I	120	EST. PREL
MAYO II	110	EST. PREL
PONGO DE AGUIRRE	750	IDEA
EL VALLE	720	IDEA
CAYUMBA	460	IDEA
SAUCE	21	ESTUDIO
MACEDA	6	IDEA

Fuente: DRSM- MINEM, 2019

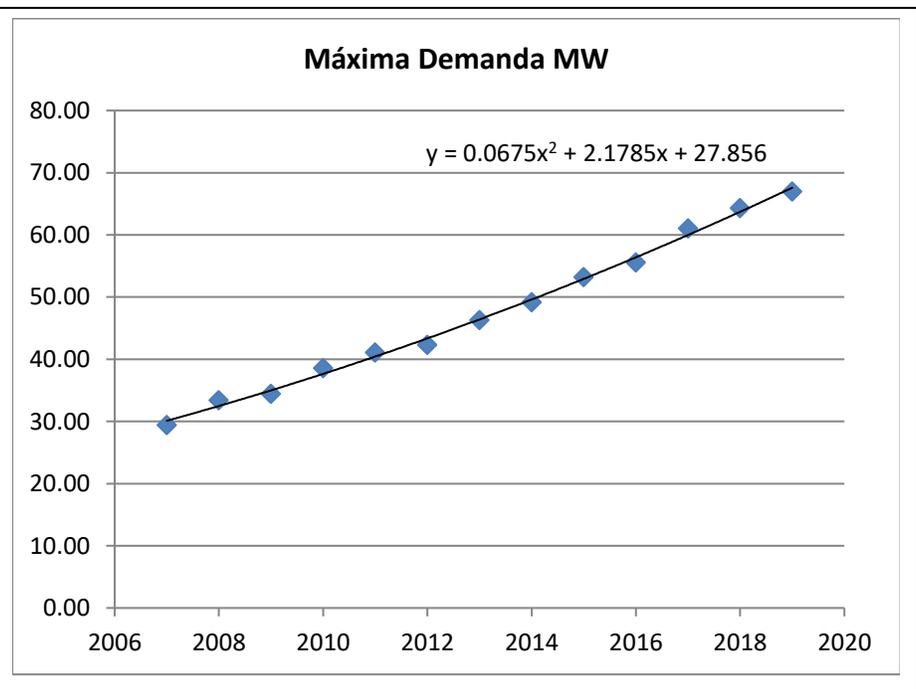
## 4.2.6. Proyección de la máxima demanda y consumo de energía.

### 4.2.6.1. Proyección de Máxima Demanda.

Se realizó la proyección de la máxima demanda utilizando la regresión polinómica. En estadística, la regresión polinomial es una forma de regresión lineal en la que la relación entre la variable independiente  $x$  y la variable dependiente  $y$  es modelada como un polinomio de grado  $n$  en  $x$ . La regresión polinomial se ajusta a una relación no lineal entre el valor de  $x$  y la correspondiente media condicional de  $y$ , denotada  $E(y | x)$ , y se ha utilizado para describir fenómenos no lineales

Se utilizó el Microsoft Excel para el desarrollo numérico de la proyección con regresión polinómica.

Año	Máxima Demanda MW
2007	29.40
2008	33.40
2009	34.40
2010	38.57
2011	41.08
2012	42.30
2013	46.29
2014	49.17
2015	53.20
2016	55.55
2017	61.02
2018	64.30
2019	66.97



Según la data de los 13 años de máxima demanda, según el análisis de regresión polinómica, tiene una ecuación  $Y = 0.0675X^2 + 2.1785X + 27.856$ , con dicha ecuación se hizo la proyección para los próximos 20 años, el cual se muestra en la tabla 13.

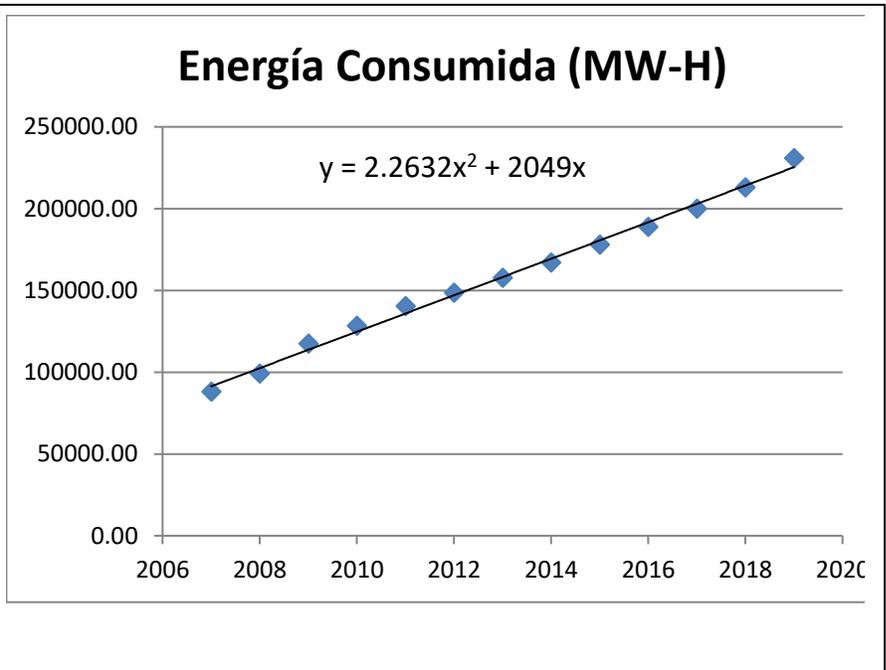
Tabla 13. Proyección de Máxima demanda por regresión polinómica.

Año de Proyección	$y = 0.0675x^2 + 2.1785x + 27.856$	
	X	Y = Máxima Demanda Proyectada (MW)
2020	14	71.59
2021	15	75.72
2022	16	79.99
2023	17	84.40
2024	18	88.94
2025	19	93.62
2026	20	98.43
2027	21	103.37
2028	22	108.45
2029	23	113.67
2030	24	119.02
2031	25	124.51
2032	26	130.13
2033	27	135.88
2034	28	141.77
2035	29	147.80
2036	30	153.96
2037	31	160.26
2038	32	166.69
2039	33	173.25

#### 4.2.6.2. Proyección de consumo de energía eléctrica.

Se realizó la proyección del consumo de energía utilizando la regresión polinómica.

Año	Energía Consumida (MW-H)
2007	88053.33
2008	99147.00
2009	117333.67
2010	128327.00
2011	140422.00
2012	148629.39
2013	157695.78
2014	166999.83
2015	177927.63
2016	188781.22
2017	199919.31
2018	213001.23
2019	230871.79



Según la data de los 13 años de consumo de energía eléctrica, según el análisis de regresión polinómica, tiene una ecuación  $Y = 2.2632X^2 + 2049X$ , con dicha ecuación se hizo la proyección para los próximos 20 años, el cual se muestra en la tabla 14.

Tabla 14. *Proyección de Consumo de energía por regresión polinómica.*

Año de Proyección	$y = 2.2632x^2 + 11129x + 80193$	
	X	Y = Consumo de energía (MW -H)
2020	14	236442.6
2021	15	247637.2
2022	16	258836.4
2023	17	270040.1
2024	18	281248.3
2025	19	292461.0
2026	20	303678.3
2027	21	314900.1
2028	22	326126.4
2029	23	337357.2
2030	24	348592.6
2031	25	359832.5
2032	26	371076.9
2033	27	382325.9
2034	28	393579.3
2035	29	404837.4
2036	30	416099.9
2037	31	427366.9
2038	32	438638.5
2039	33	449914.6

Fuente: Autoría Propia

**4.3. Determinar la potencia instalada y la generación de energía eléctrica en función a la data de caudal y de la geografía donde se ubica la casa de máquinas de la minicentral.**

La determinación de la potencia instalada en la central hidroeléctrica, se realiza en función a los datos de caudal y caída. De acuerdo a ello, se determinó la potencia a instalarse en la Minicentral Hidroeléctrica el Sauce.

En la tabla 15, se muestra la selección de tipo de turbina en función a los caudales y caídas de agua, en el cual, para turbinas con poca caída, menores a 100m y caudales entre 10 y 50 m/s, la turbina seleccionada es la Turbina Kaplan, el cual tiene una velocidad de giro entre 75 y 300 RPM.

Tabla 15. Tipo de Turbina por caudal y caída.

TURBINA	Potencia unitaria	Q (m/seg.)	N (r.p.m.)	H(ALTURA)
Pelton	1 – 10	1 – 10	1500 – 600	>400
Francis	1 – 1000	10 – 100	300 – 75	50 – 400
Kaplan	1 – 800	< 50	300 – 75	25 – 100
Hélice	1 – 100	10 – 50	300 – 150	25 – 100
Diagonal	1 – 100	10 – 50	300 – 150	<20
Generador periférico (Straflo)	5 – 20	1 – 20	75 – 45	<20
Bulbo	5 – 20	1 – 20	75 – 45	<20

Fuente: Mataix, 2015.

Las turbinas Kaplan son de hélice con alabes ajustables para que el agua en el borde de ataque del alabe pueda producirse en la forma de máxima acción cuales quiera que sean los requisitos del caudal o de la carga, así se logra mantener una velocidad especifica alta, un rendimiento elevado a diferentes valores de la potencia característica, importantísima para una turbina o rotor de hélice, y son utilizadas para manejar cargas de hasta 60m o menos y caudales medios y grandes alrededor de 15m<sup>3</sup> /s en adelante, siendo menos voluminosas que las turbinas Francis

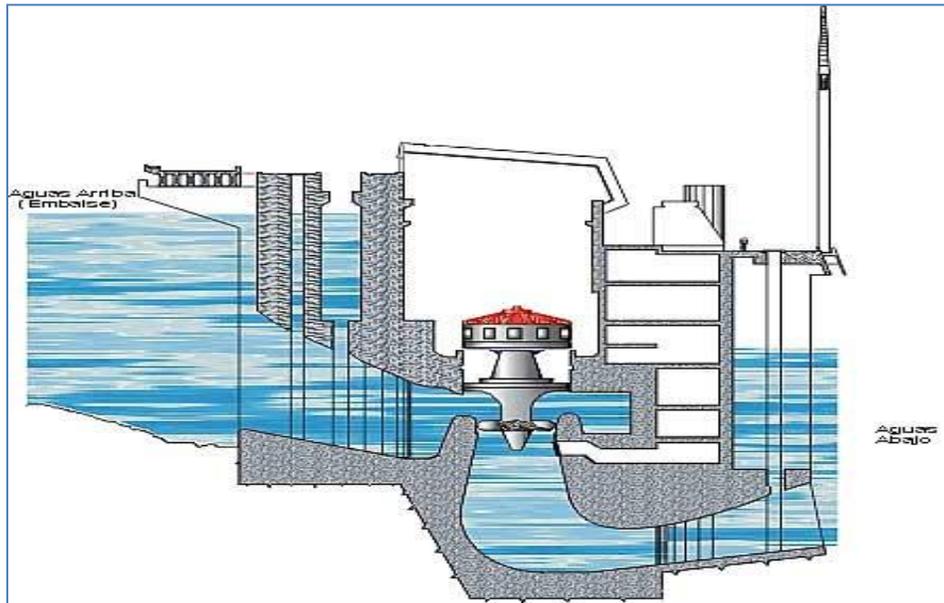


Figura 16. Corte Transversal de Central Hidroeléctrica – Turbina Kaplan.

Fuente: Mataix, 2015.

**Velocidad Específica de Caudal o Número de Brauer ( $N_q$ ).** Se determina por la expresión:

$$N_q = \frac{N\sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

Dónde:

$N_q$ : Velocidad Específica.

$N$ : rpm de giro de la turbina. 200 rpm (Se selecciona turbina Francis de 200 rpm)

$Q$ : Caudal de diseño, en m<sup>3</sup>/s. 72.16 m<sup>3</sup>/s

$H$ : Caída de agua, en Metros. 12 m

$$N_q = \frac{200 \text{ RPM} \sqrt{72.16 \text{ m}^3/\text{s}}}{(12\text{m})^{3/4}} = 263.8 \text{ rpm}$$

**Velocidad Específica de Potencia o Número de Camerer ( $N_s$ ).**

$$N_s = \frac{N\sqrt{P}}{H^{5/4}}$$

Dónde:

$N_q$ : Velocidad Específica.

$N$ : rpm de giro de la turbina. 200 rpm (Se selecciona turbina Francis de 200 rpm)

$P_h$ : Potencia Hidráulica disponible, en Watt.

$H$ : Caída de agua, en Metros. 12 m

La potencia hidráulica total, se determina con la expresión:

$$P_h = \gamma * Q * H * \varepsilon$$

Dónde:

$\gamma$ : Peso específico del agua a temperatura ambiente. 9810 N/m<sup>3</sup>.

$P_h$ : Potencia Hidráulica disponible, en Watt.

$Q$ : Caudal de diseño, en m<sup>3</sup>/s. 72.16 m<sup>3</sup>/s

$H$ : Caída de agua, en Metros. 12 m

$\varepsilon$ : Eficiencia global, para central hidroeléctrica Kaplan, 0.8

$$P_h = 9810 * 72.16 * 12 * 0.8 = 6795 \text{ KW}$$

Es decir que la potencia hidráulica disponible en la mini central hidroeléctrica el Sauce es de 6795 kW (6.795 MW)

Luego, se determina la velocidad específica de potencia:

$$N_q = \frac{N\sqrt{P}}{H^{5/4}} = \frac{200 \text{ RPM} \sqrt{6795 \text{ KW}}}{(12 \text{ m})^{5/4}} = 738.3 \text{ rpm}$$

**Diámetro Exterior del Rodete ( $D_e$ ).**

$$D_e = 84.5 K_u \times \frac{\sqrt{H}}{N}$$

Dónde:

De: Diámetro exterior del rodete, en metros,

Ku: Coeficiente de Bohl 1.8.

H: Caída de agua, en metros

N: Velocidad De giro, 200 RPM

Reemplazando:

$$D_e = \frac{84.5 \times 1.8 \times \sqrt{12 \text{ m}}}{200 \text{ RPM}} = 2.63 \text{ m}$$

El diámetro exterior de la turbina Kaplan de la mini central hidroeléctrica es de 1.90m.

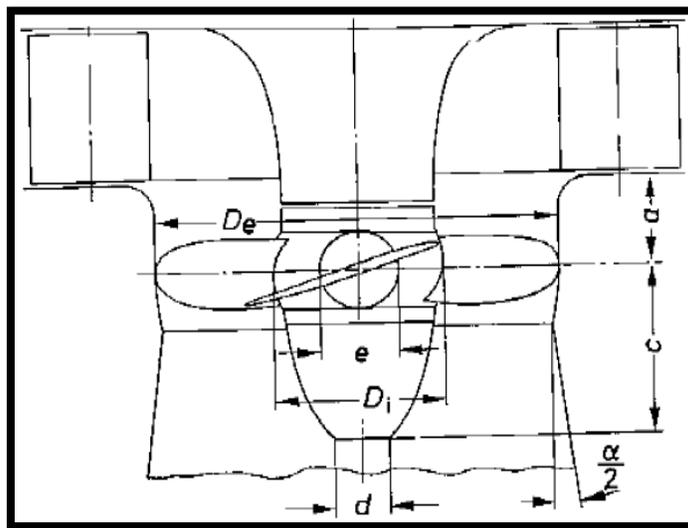


Figura 17. Diámetros en turbina Kaplan.

Fuente: Mataix, 2015.

### Diámetro Interior del Rodete (Di).

$$D_i = \left( 0.25 + \frac{0.0951}{K_u} \right) \times D_e$$

Dónde:

Di: Diámetro interior del rodete, en metros,

De: Diámetro exterior del rodete, en metros,

Ku: Coeficiente de Bohl 1.3.

H: Caída de agua, en metros

N: Velocidad De giro, 200 RPM

$$Di = \left(0.25 + \frac{0.0951}{1.3}\right) \times 2.63 = 0.85 \text{ m}$$

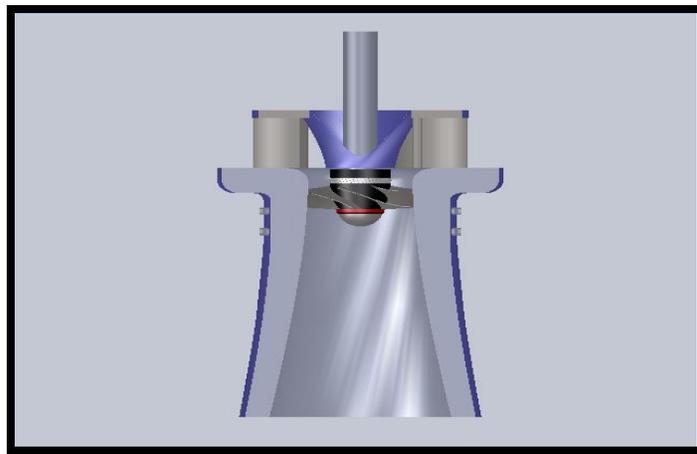


Figura 18. Corte Transversal de Turbina Kaplan.

Fuente: Mataix, 2015.

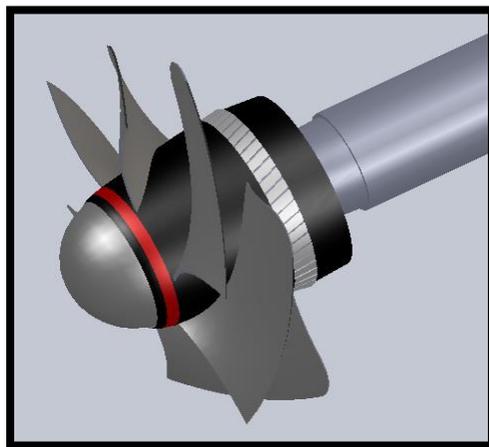


Figura 19. Rodete Turbina Kaplan.

Fuente: Mataix, 2015.

Velocidad Axial Promedio del Fluido en el Rodete (Cm).

$$C_m = \frac{4Q}{\pi(D_e^2 - D_i^2)} = \frac{4 \times 72.12 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi((1.90 \text{ m})^2 - (0.61 \text{ m})^2)} = 8.60 \text{ m/s}$$

El generador eléctrico está ubicado en la parte superior de la turbina y es de eje vertical, gira a la misma velocidad que la turbina Kaplan, es decir a 200 RPM, por lo cual el número de polos, se determinó con la expresión:

$$n = \frac{60f}{P}$$

Dónde:

n: Velocidad de giro del generador, 200 rpm

F: Frecuencia eléctrica. 60 Hertz.

P: Número de par de polos.

Despejando, se obtiene:

$$P = \frac{60 * 60}{200} = \frac{3600}{200} = 18$$

Es decir que el generador eléctrico, es de 18 par de polos, asíncrono de velocidad de giro 200 RPM, y de 10 kV de tensión de generación, y de potencia eléctrica 6795 kW.

#### 4.4. Analizar la proyección de producción de energía eléctrica de la minicentral Hidroeléctrica con el incremento de la demanda eléctrica en la Región San Martín.

##### 4.4.1. Producción de energía eléctrica.

La energía eléctrica que se generará en la Minicentral hidroeléctrica El Sauce, depende de factores como la Demanda de energía eléctrica y los Niveles de agua en Laguna el Sauce.

En el estudio de los niveles, se estableció un nivel de altura de agua de 1.45m de la laguna el sauce, que se utilizará en minicentral, es decir es el caudal de diseño máximo, sin embargo, la minicentral generará a diferentes porcentajes de plena carga, siendo el del mayor valor 0.9 y el de menor valor 0.45. Se proyecta la generación en los meses de mayores niveles de agua un 90% de plena carga de generación eléctrica, y en los meses de menores niveles 45% de plena carga.

En la tabla 16, se muestra las proyecciones de generación de potencia y energía eléctrica. En el cual los tres primeros meses se proyecta un porcentaje de plena carga del 90%, en los cinco siguientes meses un porcentaje de plena carga del 70% y en los últimos cuatro meses del año un 45% de plena carga.

Tabla 16. Proyección de potencia de generación MW.

Mes	Porcentaje de Plena carga	Potencia de Generación MW
Enero	0.9	6.1155
Febrero	0.9	6.1155
Marzo	0.9	6.1155
Abril	0.7	4.7565
Mayo	0.7	4.7565
Junio	0.7	4.7565

Julio	0.7	4.7565
Agosto	0.7	4.7565
Septiembre	0.45	3.05775
Octubre	0.45	3.05775
Noviembre	0.45	3.05775
Diciembre	0.45	3.05775

Fuente: Autoría Propia.

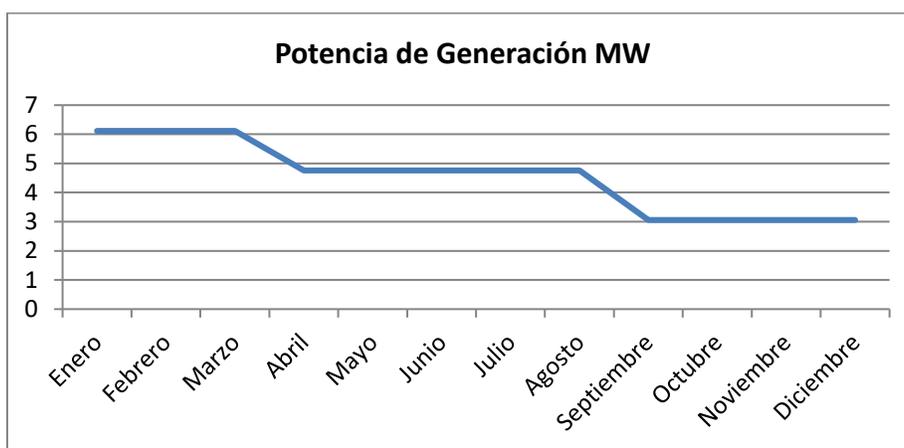


Figura 20. Proyección de Potencia de generación.

Fuente: Autoría Propia.

La energía generada mensual se determinó a partir de la expresión:

$$Eg = 720 * Pg * FC$$

Dónde:

Eg: Energía generada al mes.

PPC: Porcentaje de plena carga.

Pg.: Potencia Generada.

FC.: Factor de carga. 0.399

Tabla 17. Proyección de energía generada MW - H.

Mes	Porcentaje de Plena carga	Potencia de Generación MW	Energía Generada Mensual (MW-H)
Enero	0.9	6.1155	1756.9
Febrero	0.9	6.1155	1756.9
Marzo	0.9	6.1155	1756.9
Abril	0.7	4.7565	1366.4
Mayo	0.7	4.7565	1366.4
Junio	0.7	4.7565	1366.4
Julio	0.7	4.7565	1366.4
Agosto	0.7	4.7565	1366.4
Septiembre	0.45	3.05775	878.4
Octubre	0.45	3.05775	878.4
Noviembre	0.45	3.05775	878.4
Diciembre	0.45	3.05775	878.4
Total			15616.5

Fuente: Autoría Propia.

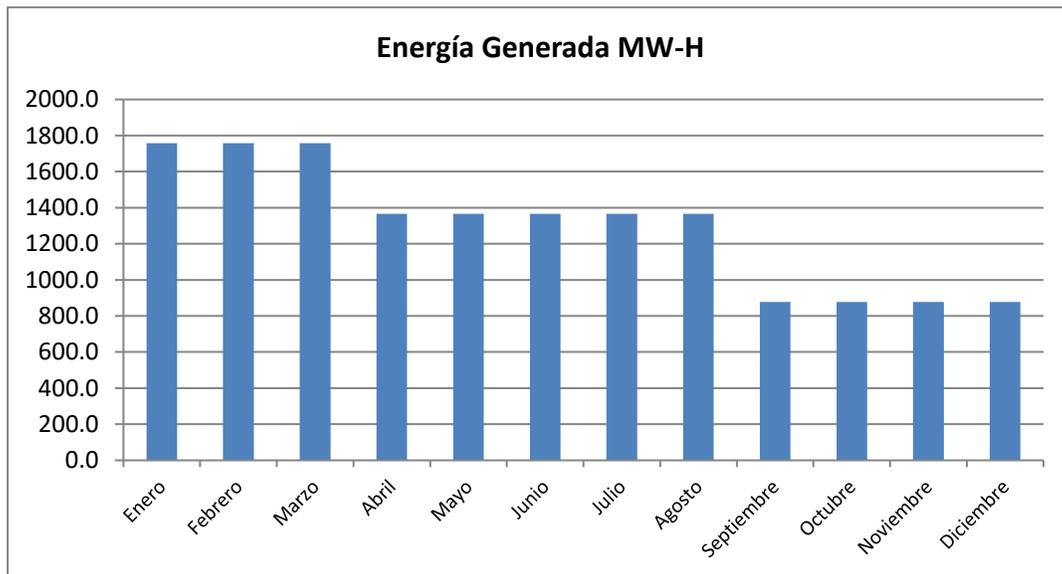


Figura 21. Proyección de Energía generada mensual.

Fuente: Autoría Propia.

En la tabla 10, se calculó que la energía eléctrica anual que genera la minicentral hidroeléctrica fue de 15616.5 MW-H.

#### 4.4.2. Relación entre energía generada con crecimiento de la demanda de energía eléctrica en la Región San Martín.

Se estableció la relación entre la energía que generará la minicentral hidroeléctrica y el consumo de energía eléctrica en la región San Martín, a fin de determinar el porcentaje de aporte en energía eléctrica de la minicentral hidroeléctrica a la Región San Martín en los 20 años de proyección.

Tabla 18. *Proyección de Porcentaje de Aporte de energía eléctrica de la mini central a Región San Martín.*

Año de Proyección	Proyección de consumo de energía eléctrica Región San Martín (MW-H)	Oferta de Energía Mini central Hidroeléctrica (MW-H)	Proyección de Porcentaje de Aporte de energía eléctrica
2020	236442.6	15616.54	6.605
2021	247637.2	15616.54	6.306
2022	258836.4	15616.54	6.033
2023	270040.1	15616.54	5.783
2024	281248.3	15616.54	5.553
2025	292461	15616.54	5.340
2026	303678.3	15616.54	5.142
2027	314900.1	15616.54	4.959
2028	326126.4	15616.54	4.788
2029	337357.2	15616.54	4.629
2030	348592.6	15616.54	4.480
2031	359832.5	15616.54	4.340
2032	371076.9	15616.54	4.208
2033	382325.9	15616.54	4.085

2034	393579.3	15616.54	3.968
2035	404837.4	15616.54	3.857
2036	416099.9	15616.54	3.753
2037	427366.9	15616.54	3.654
2038	438638.5	15616.54	3.560
2039	449914.6	15616.54	3.471

Fuente: Autoría Propia.

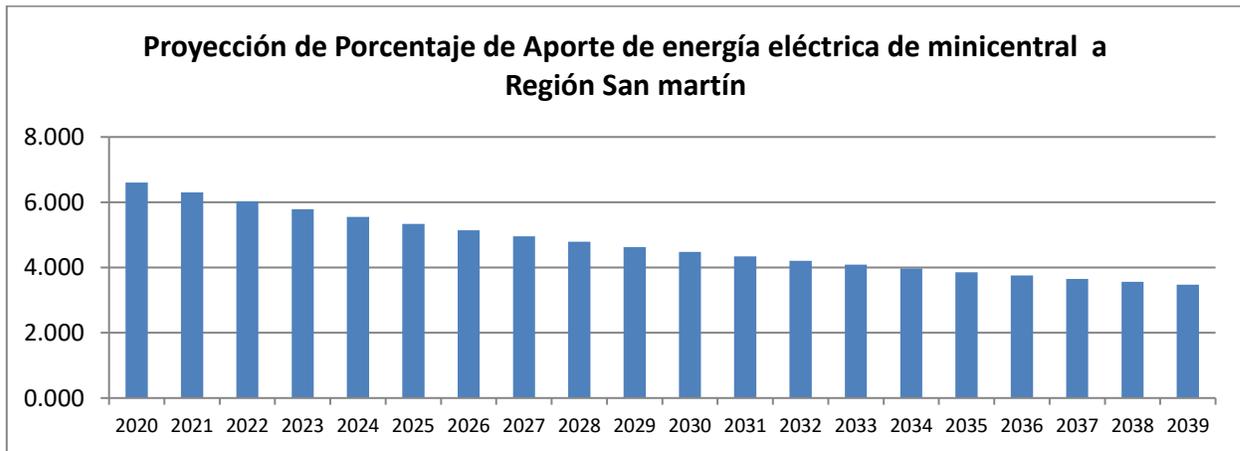


Figura 22. Proyección de Porcentaje de Aporte de energía eléctrica de minicentral a Región San Martín.

Fuente: Autoría Propia.

En la figura 22, se determinó que, en el primer año de proyección, la energía eléctrica que generará la minicentral hidroeléctrica para satisfacer el 6.605% del consumo de energía eléctrica que requiere la Región San Martín, y para el año 20 de proyección debido al crecimiento del consumo de energía, el aporte de energía de la minicentral hidroeléctrica el sauce para satisfacer en un 3.47% del consumo de energía eléctrica en la Región San Martín.

#### 4.4.3. Relación entre la Potencia generada con crecimiento de la Máxima demanda de energía eléctrica en la Región San Martín.

Se estableció la relación entre la Potencia de Generación de la minicentral hidroeléctrica y la máxima demanda de energía eléctrica en la región San Martín, a fin de determinar el porcentaje de aporte en energía eléctrica de la minicentral hidroeléctrica a la Región San Martín en los 20 años de proyección.

Tabla 19. *Proyección de Porcentaje de Aporte de Potencia Generada de la mini central a Región San Martín.*

Año de Proyección	Proyección Máxima Demanda Proyectada (MW)	Oferta de Máxima Potencia de generación Mini central Hidroeléctrica (MW)	Proyección de Porcentaje de Aporte de Potencia generada de minicentral a Región San Martín
2020	71.59	6.116	8.54
2021	75.72	6.116	8.08
2022	79.99	6.116	7.65
2023	84.4	6.116	7.25
2024	88.94	6.116	6.88
2025	93.62	6.116	6.53
2026	98.43	6.116	6.21
2027	103.37	6.116	5.92
2028	108.45	6.116	5.64
2029	113.67	6.116	5.38
2030	119.02	6.116	5.14
2031	124.51	6.116	4.91
2032	130.13	6.116	4.70
2033	135.88	6.116	4.50
2034	141.77	6.116	4.31
2035	147.8	6.116	4.14
2036	153.96	6.116	3.97

2037	160.26	6.116	3.82
2038	166.69	6.116	3.67
2039	173.25	6.116	3.53

Fuente: Autoría Propia.

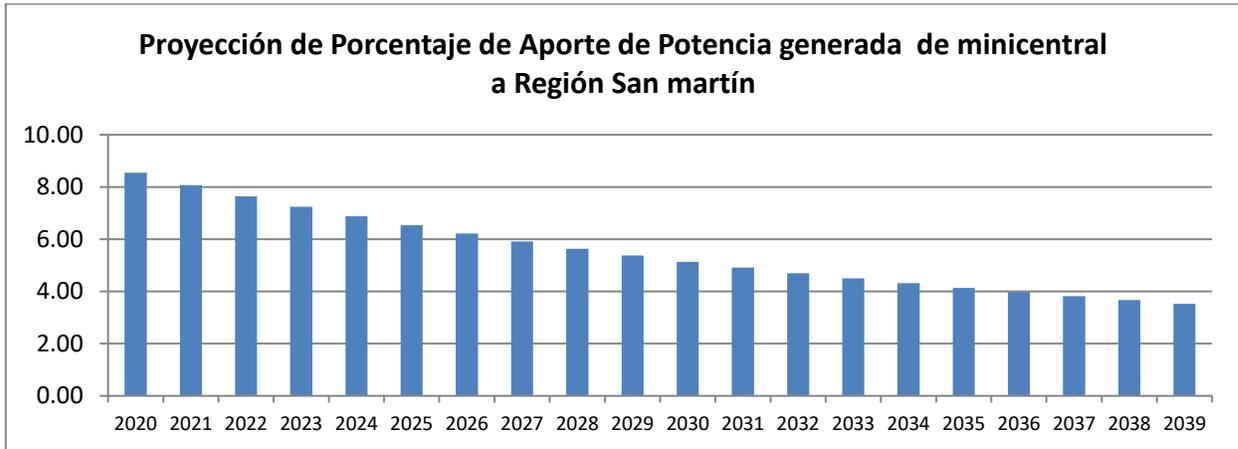


Figura 23. Proyección de Porcentaje de Aporte de Potencia Generada de minicentral a Región San Martín.

Fuente: Autoría Propia.

En la figura 23, se determinó que, en el primer año de proyección, la Potencia eléctrica que generará la minicentral hidroeléctrica para satisfacer el 8.54% de la máxima demanda que requiere la Región San Martín, y para el año 20 de proyección debido al crecimiento de la máxima demanda, el aporte de potencia generada de la minicentral hidroeléctrica el sauce para satisfacer en un 3.53% de la máxima demanda de energía eléctrica en la Región San Martín.

#### 4.5. Realizar una evaluación económica del proyecto, utilizando indicadores tales como VAN y TIR.

##### 4.5.1. Inversión Inicial.

La Mini central Hidroeléctrica con turbina Kaplan, tiene un costo unitario actual de 1200 Dólares por KW de potencia instalada, el cual incluye el costo de las obras civiles, casa de máquinas y patio de llaves. Es decir que para 6795 KW, el costo total de inversión es de  $1200 \times 6795 = 8154000$  Dólares Americanos, equivalente a 27152820 Soles.

##### 4.5.2. Ingresos por venta de energía.

Los ingresos de la central están dados por el ingreso por potencia de generación y la venta de energía eléctrica. El valor de potencia de generación es de 18.21 Soles por KW, y el valor de la venta de energía es de 20.08 Cent. S/. por cada KW-hora. En la Tabla 20, se tiene los ingresos proyectados para 20años.

Tabla 20. Proyección de Ingresos por venta de energía eléctrica.

Año de Proyección	Ingresos por venta de energía S/.	Ingresos por Potencia de generación S/.	Total, Ingresos S/
2020	3135801.39	111363.255	3247164.65
2021	3135801.39	111363.255	3247164.65
2022	3135801.39	111363.255	3247164.65
2023	3135801.39	111363.255	3247164.65
2024	3135801.39	111363.255	3247164.65
2025	3135801.39	111363.255	3247164.65
2026	3135801.39	111363.255	3247164.65
2027	3135801.39	111363.255	3247164.65

2028	3135801.39	111363.255	3247164.65
2029	3135801.39	111363.255	3247164.65
2030	3135801.39	111363.255	3247164.65
2031	3135801.39	111363.255	3247164.65
2032	3135801.39	111363.255	3247164.65
2033	3135801.39	111363.255	3247164.65
2034	3135801.39	111363.255	3247164.65
2035	3135801.39	111363.255	3247164.65
2036	3135801.39	111363.255	3247164.65
2037	3135801.39	111363.255	3247164.65
2038	3135801.39	111363.255	3247164.65
2039	3135801.39	111363.255	3247164.65

Fuente: Autoría Propia.

#### 4.5.3. Egresos.

Los egresos de operación de la minicentral hidroeléctrica, se muestran en la tabla 21.

Tabla 21. Egresos de Minicentral Hidroeléctrica.

Año de Proyección	Ingeniero Supervisor (S/.)	Operadores de Minicentral (2) (S/.)	Administrador (S/.)	Personal Limpieza (S/.)	Uso de agua	Gastos Administrativos	Costo de mantenimiento	Total (S/.)
1	54000	36000	25200	10800	8400	12000	7200	153600
2	54000	36000	25200	10800	8400	12000	7200	153600
3	54000	36000	25200	10800	8400	12000	7200	153600
4	54000	36000	25200	10800	8400	12000	7200	153600
5	54000	36000	25200	10800	8400	12000	7200	153600
6	54000	36000	25200	10800	8400	12000	7200	153600
7	54000	36000	25200	10800	8400	12000	7200	153600

8	54000	36000	25200	10800	8400	12000	7200	153600
9	54000	36000	25200	10800	8400	12000	7200	153600
10	54000	36000	25200	10800	8400	12000	7200	153600
11	54000	36000	25200	10800	8400	12000	7200	153600
12	54000	36000	25200	10800	8400	12000	7200	153600
13	54000	36000	25200	10800	8400	12000	7200	153600
14	54000	36000	25200	10800	8400	12000	7200	153600
15	54000	36000	25200	10800	8400	12000	7200	153600
16	54000	36000	25200	10800	8400	12000	7200	153600
17	54000	36000	25200	10800	8400	12000	7200	153600
18	54000	36000	25200	10800	8400	12000	7200	153600
19	54000	36000	25200	10800	8400	12000	7200	153600
20	54000	36000	25200	10800	8400	12000	7200	153600

Fuente: Autoría Propia.

#### 4.5.4. Flujo de Caja.

Tabla 22. Flujo de caja de Minicentral Hidroeléctrica El Sauce.

Año	Ingresos (S/.)	Egresos (S/.)	Utilidad (S/.)	Inversión (S/.)
0	3247165	153600	3093565	27152820
1	3247165	153600	3093565	
2	3247165	153600	3093565	
3	3247165	153600	3093565	
4	3247165	153600	3093565	
5	3247165	153600	3093565	
6	3247165	153600	3093565	
7	3247165	153600	3093565	
8	3247165	153600	3093565	
9	3247165	153600	3093565	

10	3247165	153600	3093565	
11	3247165	153600	3093565	
12	3247165	153600	3093565	
13	3247165	153600	3093565	
14	3247165	153600	3093565	
15	3247165	153600	3093565	
16	3247165	153600	3093565	
17	3247165	153600	3093565	
18	3247165	153600	3093565	
19	3247165	153600	3093565	
20	3247165	153600	3093565	

Fuente: Autoría Propia.

#### 4.5.5. Análisis con Indicadores Económicos.

##### Valor Actual Neto

Los valores de los ingresos anuales llevándolas al año cero, donde se inicial el proyecto, con una tasa de interés del 7 % Anual.

Ingresos actualizados al tiempo 0:

$$Ia = \frac{Ra * [(1 + i)^n - 1]}{[i * (1 + i)^n]}$$

Utilizando el comando VNA de Microsoft Excel, el cual suma todos los valores futuros al tiempo cero.

Tabla 23. Valor Actual Neto.

Año	0	1	2	3	4	16	17	18	19	20	
Inversión (S/.)	27152820										
Ingresos (S/.)		3247165	3247165	3247165	3247165	3247165	3247165	3247165	3247165	3247165	
Egresos (S/.)		153600	153600	153600	153600	153600	153600	153600	153600	153600	
Utilidad (S/.)		3093565	3093565	3093565	3093565	3093565	3093565	3093565	3093565	3093565	S/. 32,773,267.95
											VNA(0.07,E8:X8)

Fuente: Autoría Propia.

El valor actualizado neto del proyecto es la diferencia entre los ingresos actualizados netos y la inversión realizada, es decir  $32773267.95 - 27152820 =$ , 5620447.95 Soles.

### Tasa Interna de Retorno.

Para calcular la tasa interna de retorno, se determina haciendo que los ingresos actualizados con una tasa de interés a determinar son igual a la inversión inicial del proyecto.

$$Inv = \frac{Ra * \left[ \frac{1 - (1 + TIR)^{-n}}{TIR} \right]}{[TIR * (1 + TIR)^n]}$$

Tabla 24. Tasa Interna de Retorno.

Año	0	1	2	3	4	16	17	18	19	20	
Inversión (S/.)	27152820										
Ingresos (S/.)		3247165	3247165	3247165	3247165	3247165	3247165	3247165	3247165	3247165	
Egresos (S/.)		153600	153600	153600	153600	153600	153600	153600	153600	153600	
Utilidad (S/.)	-27152820	3093565	3093565	3093565	3093565	3093565	3093565	3093565	3093565	3093565	9.56%
											TIR(D8:X8)

Fuente: Autoría Propia.

Reemplazando valores, y mediante una metodología de aproximaciones o utilizando el software Microsoft Excel, se calcula el valor del TIR, siendo este igual a 9,56% Anual.

### **Relación Beneficio Costo**

La relación beneficio / costo es de 32773267.95 / 27152820, es de 1.20

## **V. DISCUSIÓN.**

Los estudios que se han realizado en el Perú, determinaron que tiene un potencial hidroeléctrico superior a los 58000 MW, siendo la potencia instalada actual alrededor de 3500 MW, es decir que solo se está aprovechando el 4% del potencial hidroeléctrico; este cálculo es debido a la geografía e hidrografía que tiene el Perú en todas sus regiones.

En todas las regiones, se tiene estudios de posibles instalaciones de centrales hidroeléctricas, y en la Región San Martín, que es una región ubicada en la Selva norte y central del Perú, las posibilidades de implementación de centrales hidroeléctricas están contemplado en el Plan referencial de energía hacia el año 2041, elaborado por el Ministerio de Energía y Minas.

En la selva del Perú, los estudios han determinado que la turbina a utilizar es la turbina Kaplan, debido a los grandes caudales y pocas caídas existentes, sin embargo, se requiere de realizar obras civiles de gran envergadura a fin de acondicionar la construcción de la casa de máquina en donde se transforma la energía potencial del agua.

En el análisis del balance nacional de energía, del año 2018 realizado por el Ministerio de energía y minas, la energía eléctrica por generación hidráulica, tiene

un aporte muy significativo. El sector eléctrico, tiene una capacidad instalada de 15 173,9 MW, donde el 90% son centrales del mercado eléctrico, y 10,0% de uso propio. De esta capacidad, las tecnologías con mayor participación son las térmicas (termoeléctricas) y luego las hidroeléctricas, con 60,3% y 35,3%, respectivamente. En caso de las centrales renovables convencionales, la mayor participación es de las eólicas y solares, con el 2,5% y 1,9% respectivamente.

El consumo final se orienta a satisfacer la demanda de energía eléctrica de los sectores: residencial, comercial, público, industrial, transporte, minero metalúrgico, agropecuario, agroindustrial y finalmente pesquería. Al respecto, en el 2018, el sector predominante es el minero metalúrgico y el industrial, es decir son las actividades productivas los mayores demandantes, por lo que, el crecimiento de estos sectores no solo impacta en el crecimiento del PBI, sino en la ampliación y reforzamiento de la oferta de energía eléctrica a través de fuentes energéticas eficientes.

La posibilidad de que la energía que se produzca en la laguna el sauce, pueda ser ofrecido al mercado internacional, es a Ecuador. A la fecha, el único intercambio internacional de energía eléctrica que cuenta el Perú es con Ecuador, el cual busca optimizar los recursos energéticos de ambos países, sobre todo de los recursos hídricos dada su complementariedad, puesto que, cuando se produce la temporada de avenida en nuestro país, en Ecuador se encuentran en época de estiaje y viceversa.

El estudio del Potencial hidroeléctrico de la Laguna el sauce, armoniza el desarrollo energético y el desarrollo turístico de la zona, es decir ambos sectores no se ven afectados por la convivencia de ambos, para lo cual en ambos sectores la comunicación, el seguimiento de las variables que causan algún impacto, así como también el beneficio de la población aledaña a la zona, en el cual el uso de su recursos naturales no se afectan, además de recibir beneficios en el aspecto laboral, social, de medios de comunicación, entre otros.

En el Perú, en los últimos años, los pobladores que residen en las zonas de influencia de los proyectos hidro energético, no tienen ningún beneficio, debido a que solo son considerados para el inicio de la aceptación del proyecto, luego no se les toma en cuenta, es decir el licenciamiento social solo se hace efectivo el inicio del proyecto, luego del cual, las empresas a cargo de la administración de la generación eléctrica, se benefician en su totalidad.

En caso del año 2018, la producción de electricidad mediante el uso de la hidroenergía fue de 30 737 GWh, que fue 5,7% mayor respecto al año anterior. De este total, el 98% se generó para el mercado eléctrico y el resto para uso propio; para el año en análisis, en el mercado eléctrico se registró una producción de 29 989 GWh y para uso propio la producción fue de 748 GWh. En relación a la participación energética al 2018, los sectores más intensivos en consumo lo constituyen; el sector residencial (20,6%), comercial y público (18,4%), industrial (24,8%), y el minero metalúrgico (32,8%). Estos sectores acumulan aproximadamente el 96,6% del consumo total de energía eléctrica del país

La laguna El Sauce, tiene un potencial turístico, el cual está generando ingresos al PBI de la zona, además de puestos de trabajo, sin embargo la laguna presenta un potencial hidro energético no aprovechado, que con tecnología y acondicionamiento con obras civiles, se obtiene un potencial hidro energético de 6.19 MW, el cual se planteó que se interconecte a la Red del sistema eléctrico de San Martín, que es una región con desarrollo en el sector agroindustrial, especialmente en el arroz y café, además de la actividad maderera.

El análisis estadístico de la información de niveles registrada, permitió determinar la tendencia de los valores a lo largo del tiempo de los niveles de la laguna el sauce, y con ello evaluar la cantidad de agua disponible, que finalmente es un componente de la potencia hidro energético que es motivo de la investigación.

Se hizo el análisis en meses de mayor y menor niveles, siendo los meses de enero, febrero y marzo los de mayor nivel, y los meses restantes del año los de menor nivel.

La determinación del caudal de diseño de la turbina, determinó que el tipo de turbina es la Kaplan. El área de la laguna es de 430 Hectáreas, es decir  $430 \times 10000\text{m}^2 = 4300000 \text{ m}^2$ , y el incremento de la altura del nivel de la laguna, según los datos históricos de altura de los niveles de la laguna, para los meses de menor nivel: 37.75 m y 37.15m. El nivel técnico mínimo de agua en la laguna, es de 35.70 m, es decir que la altura de agua a utilizar para generación hidroeléctrica es 1.45m. Con lo cual se determinó que el caudal de diseño fue de 72.16 m<sup>3</sup>/s.

El valor del caudal de diseño, es un valor para el dimensionamiento de los equipos electromecánicos, así como de las obras civiles, pero también determinaría la producción de energía eléctrica, es decir que el caudal de diseño es para una operación al 100% de plena carga, sin embargo, se planteó que el porcentaje de plena carga se realice de manera sistemática, en función a los niveles de agua que alcanza la laguna el sauce.

## **VI. CONCLUSIONES.**

- Se realizó el estudio hidrológico, con información histórica de niveles de altura de agua de la laguna el sauce, en el cual se determinó que la altura de 1.45m de agua, es la disponible para su utilización en la mini central hidroeléctrica.
- Se hizo el análisis de la proyección del incremento de la máxima demanda y de la energía eléctrica consumida, utilizando proyecciones en función a los registros históricos de máxima demanda y energía consumida en la región San Martín. El modelo de proyección es polinómico de grado 2.

- Se determinó que la potencia hidráulica aprovechable es de 6.19MW, con un caudal de diseño de 72.16 m<sup>3</sup>/s y un salto de 12 metros, con turbina Kaplan de 200 RPM, y generador eléctrico de 18 pares de polos, tensión de generación 10 KV.
- Se hizo la proyección del aporte de potencia de generación y de energía generada de la minicentral y su comparación con las proyecciones de máxima demanda y energía consumida de la región San Martín. En el primer año de proyección, la energía eléctrica que generará la minicentral hidroeléctrica para satisfacer el 6.605% del consumo de energía eléctrica que requiere la Región San Martín, y para el año 20 de proyección debido al crecimiento del consumo de energía, el aporte de energía de la minicentral hidroeléctrica el sauce para satisfacer en un 3.47% del consumo de energía eléctrica en la Región San Martín.

En cuanto a la Potencia eléctrica que generará la minicentral hidroeléctrica para satisfacer el 8.54% de la máxima demanda que requiere la Región San Martín, y para el año 20 de proyección debido al crecimiento de la máxima demanda, el aporte de potencia generada de la minicentral hidroeléctrica el sauce para satisfacer en un 3.53% de la máxima demanda de energía eléctrica en la Región San Martín.

- La evaluación económica, tuvo con resultado un valor actual neto de 5620447.95 Soles. Una tasa interna de retorno del 9,56% Anual. La relación beneficio / costo es de 1.20, indicadores que hacen factible la ejecución del proyecto, enmarcado como de largo plazo.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- Realizar el estudio del impacto ambiental, es decir como mitigar el efecto a la flora y fauna del lugar.

- El diseño de la minicentral debe contemplar un diseño armonioso con el paisaje natural de la laguna, es decir con impacto visual mínimo.
- Realizar el ajuste de los ingresos económicos en escenarios económicos alentadores y moderados, a fin de determinar con mayor exactitud los ingresos y egresos económicos.

## REFERENCIAS

- AEI. Agencia Internacional de la Energía. Perspectivas del sector eléctrico en el siglo XXI. 2016, 43pp.
- SATURNO, D. Potencial Hidro energético en Venezuela. Venezuela, 2017, 41pp.
- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA DE ARGENTINA. Centrales Hidroeléctricas en la República de Argentina, 2017, 33pp.
- OSINERGMIN. Boletín Anual del subsector de electricidad. Lima, Perú, 2016, 67pp.
- CALMET,
- M. planificación y diseño de una pequeña central hidroeléctrica, Universidad San Martín de Porres, Lima Perú, 2014, 89PP.
- CASTILLO C. prefactibilidad técnico-económica de instalar una micro central hidroeléctrica en el fundo los pinos, Universidad Austral de Chile. Santiago de Chile, 2014, 101pp,
- MAMANI, R. 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, Universidad Nacional del Altiplano. Puno, 2017, 93pp.
- PALMA, G. DISEÑO DE UNA TURBINA TIPO KAPLAN PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA HIDRÁULICA, Universidad Católica de Colombia, 2018, 67pp

- ORTIZ R., Turbinas para centrales hidroeléctricas, México, 2001, MC GRAW HILL, 112pp.
- POLO ENCINAS Turbomáquinas, México, 2014, 88pp.
- B, JABIER ALMANDOZ. 2007. Apuntes de máquinas hidráulicas. s.n., 2007. págs. [http://es.slideshare.net/fbancoff\\_01/apuntes-maquinas-hidraulicas](http://es.slideshare.net/fbancoff_01/apuntes-maquinas-hidraulicas).
- CASCI, CORRADO. 1979. Criteri di progettazione ed applicazioni numeriche. Milano : Dimensionamiento di massima della turbina Kaplan, 1979.
- J, CARLOS RENEDO. 2013. Turbinas hidráulicas.: s.n., 2013. pág. <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://personal.es.unican.es/renedoc/Trasperecias%2520WEB/Trasp%2520Sist%2520Ener/03%2520T%2520HIDRAU+LICAS.pdf>.
- MOTT, ROBERT. 2006. Mecánica de fluidos. [En línea]: s.n., 2006. págs. <http://es.slideshare.net/alexsuarezlastra/mecanicadefluidosrobertmott6ta> edición.
- NKS, CATALOGO DE RODAMIENTOS. 2009. Rodamiento de bolas rígidas:s.n.,2009.pág.[http://www.nskamericas.com/cps/rde/dtr/na\\_es/Rodamientos.LR.pdf](http://www.nskamericas.com/cps/rde/dtr/na_es/Rodamientos.LR.pdf).

Anexo 3: Matriz de operacionalización de variables.

Variables de estudio	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Escala de Medición
Variable Independiente ESTUDIO DEL POTENCIAL HIDROELECTRICO EN LA LAGUNA EL SAUCE – TARAPOTO	Es la evaluación de los parámetros y variables de índole hidro energético, a fin de determinar la factibilidad de la instalación de una central hidroeléctrica, con una capacidad de generar energía eléctrica sustentable en el tiempo, con efectos no negativos hacia el medio ambiente.	Se determina con el registro histórico de caudales, así como del análisis topográfico, con lo cual se determina la ubicación de la central hidroeléctrica, además de la proyección de la energía que genera en función a la demanda eléctrica de la zona de influencia del proyecto.	Caudal, Salto, Volumen almacenado de agua., Energía Potencial.	m3/s Metros m3 KW-H
Variable Dependiente: INCREMENTO DE DEMANDA ELECTRICA REGION SAN MARTIN	Es la variación de la cantidad de energía eléctrica y de la máxima demanda con una proyección de 20 años, teniendo en cuenta el crecimiento económico y energético de la región.	Las proyecciones de generación eléctrica, se realiza utilizando la tasa de crecimiento demográfico, el PBI, crecimiento de la actividad industrial y la eficiencia energética de los consumidores de energía.	Energía Eléctrica Generada, Máxima Demanda Factor de carga	KW-H KW %

Anexo 4: Instrumento de recolección de datos.

GUÍA DE OBSERVACIÓN 1

REGISTRO DE NIVEL DE AGUA LAGUNA EL SAUCE

Instrucciones: Realice el registro de los datos del nivel de agua en laguna el sauce, según SENAMHI, en la estación meteorológica EL SAUCE

Año	Nivel de la laguna azul (metros)				
	Mes	06:00:00 a.m.	10:00:00 a.m.	02:00:00 p.m.	06:00:00 p.m.
2019	Enero	37.90	37.80	37.81	37.86
	Febrero	37.91	37.92	37.91	37.90
	Marzo	37.53	37.50	37.40	37.51
	Abril	37.71	37.71	37.62	37.60
	Mayo	37.63	37.53	37.60	37.60
	Junio	37.50	37.43	37.52	37.50
	Julio	37.50	37.40	37.50	37.50
	Agosto	37.41	37.45	37.40	37.45
	Septiembre	37.45	37.40	37.45	37.40
	Octubre	37.51	37.40	37.46	37.48
	Noviembre	37.42	37.40	37.42	37.44
	Diciembre	37.21	37.23	37.45	37.39
2018	Enero	37.77	37.65	37.42	37.76
	Febrero	37.87	37.67	37.65	37.42
	Marzo	37.78	37.89	37.86	37.51
	Abril	37.42	37.42	37.70	37.70
	Mayo	37.71	37.72	37.75	37.70
	Junio	37.75	37.45	37.75	37.47
	Julio	37.47	37.30	37.33	37.43
	Agosto	37.32	37.34	37.45	37.45
	Septiembre	37.45	37.45	37.44	37.41
	Octubre	37.53	37.53	37.51	37.48
	Noviembre	37.40	37.35	37.35	37.43
	Diciembre	37.15	37.35	37.15	37.35
2017	Enero	37.78	37.88	37.62	37.76
	Febrero	37.72	37.81	37.67	37.70

	Marzo	37.71	37.88	37.61	37.71
	Abril	37.61	37.59	37.45	37.59
	Mayo	37.55	37.45	37.56	37.45
	Junio	37.57	37.46	37.53	37.46
	Julio	37.35	37.45	37.36	37.37
	Agosto	37.45	37.60	37.45	37.61
	Septiembre	37.60	37.50	37.52	37.51
	Octubre	37.40	37.50	37.40	37.43
	Noviembre	37.40	37.40	37.45	37.45
	Diciembre	37.35	37.45	37.45	37.35

### GUÍA DE OBSERVACIÓN 2

## REGISTRO DE MÁXIMA DEMANDA Y CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN REGIÓN SAN MARTÍN

Instrucciones: Realice el registro de los datos de Máxima Demanda y Consumo de Energía Eléctrica EN REGIÓN SAN MARTÍN, de las empresas de distribución de energía eléctrica

Año	Máxima Demanda MW	Energía Consumida (MW-H)
2007	29.4	88053
2008	33.4	99147
2009	34.4	117334
2010	38.57	128327
2011	41.08	140422
2012	42.3	148629
2013	46.29	157696
2014	49.17	167000
2015	53.2	177928
2016	55.55	188781
2017	61.02	199919
2018	64.3	213001
2019	66.97	230872

## ANEXO 5: Visita a In situ Laguna El Sauce-Tarapoto.

Visita a In situ en la laguna El Sauce Tarapoto para determinar el estudio del proyecto de investigación cuidando su habitat.





Salida de agua, Laguna El Sauce-Tarapoto-San Martín notándose la caída a desnivel



Vista previa desde la laguna (desemboque de la laguna llegando sus aguas al Río Huallaga)