



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA MECÁNICA**  
**ELÉCTRICA**



**TESIS**

**SOSTENIBILIDAD DE MINICENTRALES HIDROELÉCTRICAS DE LA  
PROVINCIA DE CARABAYA DEL DEPARTAMENTO DE PUNO**

**PRESENTADA POR:**

**LEONEL MARINO CASTILLO ENRÍQUEZ**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**MAGISTER SCIENTIAE EN INGENIERIA MECÁNICA ELÉCTRICA CON  
MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL DE LA ENERGÍA**

**PUNO, PERÚ**

**2019**

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**SOSTENIBILIDAD DE MINICENTRALES HIDROELÉCTRICAS DE LA PROVINCIA DE CARABAYA DEL DEPARTAMENTO DE PUNO**

AUTOR

**LEONEL MARINO CASTILLO ENRIQUEZ**

RECUENTO DE PALABRAS

**23876 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**125648 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**138 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**6.6MB**

FECHA DE ENTREGA

**May 24, 2023 10:26 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**May 24, 2023 10:28 AM GMT-5**

● **8% de similitud general**

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

- 7% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)



*Dr. Midwar Elias Valencia Vilca*  
**Dr. Midwar Elias Valencia Vilca**  
DIRECTOR  
UNIDAD DE POSGRADO FIMEES  
UNA - PUNO

*A. Mario Hurtado Chavez*  
  
**A. Mario Hurtado Chavez**  
INGENIERO ELECTRICISTA  
CIP 72724

Resumen



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

## ESCUELA DE POSGRADO

### MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

#### TESIS

#### SOSTENIBILIDAD DE MINICENTRALES HIDROELÉCTRICAS DE LA PROVINCIA DE CARABAYA DEL DEPARTAMENTO DE PUNO



#### PRESENTADA POR:

**LEONEL MARINO CASTILLO ENRÍQUEZ**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**MAGISTER SCIENTIAE EN INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

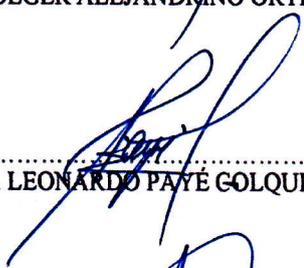
**CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL DE LA ENERGÍA**

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:

**PRESIDENTE**

  
.....  
Mg. OLGÉR ALEJANDRINO ORTEGA ACHATA

**PRIMER MIEMBRO**

  
.....  
M.Sc. LEONARDO PAYÉ GOLQUEHUANCA

**SEGUNDO MIEMBRO**

  
.....  
M.Sc. ARMANDO TITO CRUZ CABRERA

**ASESOR DE TESIS**

  
.....  
M.Sc. ÁNGEL MARIO HURTADO CHÁVEZ

Puno, 24 de diciembre de 2019

**ÁREA:** Ciencias de la ingeniería mecánica eléctrica.

**TEMA:** Sostenibilidad de minicentrales hidroeléctricas de la provincia de Carabaya del departamento de Puno.

**LÍNEA:** Planificación de la energía



## DEDICATORIA

Dedico este trabajo, a la memoria de la Arquitecta SONIA RENÉ MOLINA CABALA, con gratitud, por los buenos consejos que me supo dar, por el cariño y compañía que me brindó y por la linda herencia que me dejó: grandes y valiosos amigos y amigas que hacen más fácil y feliz la vida.



## AGRADECIMIENTOS

- A las diversas personas que colaboraron para que este trabajo pudiera ser realizado y culminado de la mejor manera posible: En el pueblo de Ollachea, al Sr. Alcalde de la municipalidad distrital, Dr. Carlos Nina Alferez; al Sr. Michael Urbiola Zeballos, encargado de los Bienes Patrimoniales; al Sr. Moisés Huanca Huanbo, encargado de las antenas y cuidante de las minicentrales; a los habitantes, personas mayores que de buen ánimo proporcionaron, de forma verbal, la información que se les solicitó.
- En el pueblo de San Gabán: Al señor alcalde de la Municipalidad Distrital, profesor Roger Larico Quispe; a la Past Alcaldesa del distrito, Sra. Adolia Tejada Castellanos; demás personas, mayores de edad, que buenamente suministraron información verbal importante para la ejecución de este trabajo.
- En el pueblo de Macusani: Al señor Alcalde de la Provincia de Carabaya, profesor Fabio Vargas Huamantuco; a la Past alcaldesa de Carabaya, Prof. Nancy Rossel Angles; al personal del SEMA, Servicios Eléctricos de Macusani, operadores de la minicentral Tocca; a los pobladores, mayores de edad, que con buena voluntad absolvieron mis interrogantes.
- En el pueblo de Ayapata: al Sr. Pedro Chambi Fuentes, administrador de la Coop. Servicios Múltiples “San Salvador de Ayapata”, propietaria de la minicentral; al Sr. Técnico, Honorato Pedro Ordóñez, operador de la minicentral y de las redes primarias y secundarias del pueblo de Ayapata; al Sr. Rufino Cáceres Quispe, socio de la Cooperativa; a vecinos del pueblo, personas mayores que muy buenamente colaboraron en la absolución de las consultas y suministraron la mejor información para desarrollar esta investigación.
- A mi asesor de tesis, el magister Ángel Mario Hurtado Chávez, por su constante aliento y consejos.
- A los miembros del Jurado Dictaminador, integrado por: Mg. Olger Alejandrino Ortega Achata, M.Sc. Leonardo Payé Colquehuanca, M.Sc. Armando Tito Cruz Cabrera.
- Al Consejo de Administración de Recursos para la Capacitación en Electricidad, “CARELEC”, por la beca que me concedió para estudiar esta Maestría.



## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	1

### CAPÍTULO I

#### REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco teórico	3
1.1.1 Central hidroeléctrica	3
1.1.2 Equipamiento electromecánico	12
1.1.3 Minicentral hidroeléctrica	21
1.1.4 Obras civiles	24
1.1.5 Sostenibilidad	25
1.2 Antecedentes	27

### CAPÍTULO II

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Identificación del problema	38
2.2 Enunciado del problema	38
2.2.1 Enunciado general	38
2.2.2 Enunciados específicos	39
2.3 Justificación	39
2.4 Objetivos	39
2.4.1 Objetivo general	39
2.4.2 Objetivos específicos	39
2.5 Hipótesis	39
2.5.1 Hipótesis general	39
2.5.2 Hipótesis específicas	40



### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1 Lugar de estudio	41
3.2 Población	41
3.3 Muestra	41
3.4 Método de investigación	41
3.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	42
3.5.1 Técnicas de recolección de datos	42
3.5.2 Instrumentos	43

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1 Resultados	45
4.1.1 Minicentral Ollachea I, 75 kW, 1984	45
4.1.2 Minicentral Ollachea II, 150 kW, 1998	48
4.1.3 Minicentral Hidroeléctrica San Gabán, 75 kW, 1994	51
4.1.4 Minicentral Hidroeléctrica Tocca - Macusani, 190 kW, 1995	54
4.1.5 Minicentral Ayapata, 100 kW, 1995	58
4.1.6 Rentabilidad de Minicentrales Tocca y Ayapata	61
CONCLUSIONES	65
RECOMENDACIONES	66
BIBLIOGRAFÍA	68
ANEXOS	74



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1. Ventajas y desventajas de las turbinas de Reacción	15
2. Ventajas y desventajas de las turbinas de Impulso o de Acción	15
3. Clasificación de las pequeñas centrales hidroeléctricas según OLADE	23
4. Costos de construcción de minicentrales hidroeléctricas	23
5. Distribución porcentual de costos de construcción de pequeñas centrales hidroeléctricas	23
6. Resumen final de costos, pequeña central hidroeléctrica de Monzón	32
7. Datos de la MCH Tocca – Macusani	61
8. Egresos de la MCH Tocca – Macusani	62
9. Ingresos de la MCH Tocca – Macusani (caso 1)	62
10. Rentabilidad de la MCH Tocca – Macusani (caso 1)	62
11. Ingresos de la MCH Tocca – Macusani (caso 2)	62
12. Rentabilidad de la MCH Tocca – Macusani (caso 2)	63
13. Datos de la MCH Ayapata	63
14. Egresos de la MCH Ayapata	63
15. Ingresos de la MCH Ayapata	64
16. Rentabilidad de la MCH Ayapata	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1. Microcentral hidráulica de derivación	11
2. Central hidroeléctrica de embalse	12
3. Zonas de utilización de los tipos de turbinas	16
4. Curvas de rendimiento total para distintos tipos de turbinas en función del caudal relativo y del número específico de vueltas	17
5. Turbinas hidráulicas	17
6. Rango de utilización de los diferentes tipos de turbinas	18
7. Selección del tipo de turbina en función del gasto y la carga de diseño Qd y Hd (Referencia 1)	19
8. Eficiencia de los diferentes tipos de turbina, según el porcentaje de carga a la que estén trabajando	21
9. Aprovechamiento con Derivación	25
10. Irrigaciones existentes y en construcción	26
11. Gráfico simbólico del distrito de Ollachea.	75
12. Principal arteria de Ollachea. Al fondo, el cerro en que se emplazan dos minicentrales.	75
13. Vista parcial del Pueblo de Ollachea, capital del distrito del mismo nombre.	76
14. Vista del río Chillichaca, afluente del San Gabán, al oeste de Ollachea.	76
15. Captación de Agua en el río Chillichaca. Al medio, lado izquierdo, el canal completamente lleno de piedras arena y tierra.	77
16. El río Chillichaca en los meses de estiaje. Fuente: Leonel Castillo (2018).	77
17. Panorámica parcial del trayecto del canal, al costado derecho de la carretera.	78
18. Detalle del regular estado de la pared izquierda del canal.	78
19. Llegada del canal hasta la compuerta de regulación e ingreso al desarenador.	79
20. En el costado derecho, otro tramo del canal bien conservado, pero sucio, colmatado y con vegetación.	79
21. Vista del desarenador. En la parte superior derecha, continuación del canal, obra ejecutada para abastecer a la minicentral “Ollachea II” (1998).	80
22. Tramo de la tubería metálica de 16'Ø, en aparente regular estado.	80
23. Vista de las caras frontal y lateral de la casa de máquinas, en buen estado.	81
24. Casa de máquinas y poste de arranque de la línea trifásica de media tensión que	



conducía la energía hasta el pueblo, (2300 V).	81
<b>25.</b> Conjunto de turbina tipo Francis conectada a generador marca ALGESA de 93,75 kVA (75 kW), trifásico, 220 voltios, en buenas condiciones. (Fabricado en 1984).	82
<b>26.</b> El tesista en la casa de máquinas, detrás de él, el transformador.	82
<b>27.</b> Conjunto: tablero de control, transformador de 80 kVA, Brown Boverly.	83
<b>28.</b> Interruptores.	83
<b>29.</b> Placa del generador ALGESA (Callao – Perú), de 75 kW.	84
<b>30.</b> Regulador de velocidad, incompleto.	84
<b>31.</b> Captación para la minicentral Ollachea II, en el río Chillichaca.	85
<b>32.</b> Se aumentó la capacidad de conducción del canal que ya existía en 40%, elevando la altura de sus paredes laterales.	85
<b>33.</b> A partir del desarenador de la minicentral Ollachea I, se agregó un tramo nuevo, adicional, a fin de lograr una mayor altura bruta de caída para la nueva minicentral.	86
<b>34.</b> Nuevo desarenador y su cámara de carga.	86
<b>35.</b> Inicio de la tubería de presión, de acero, 19”Ø.	87
<b>36.</b> Tramos de la tubería de presión, algunos fueron retirados de su posición original	87
<b>37.</b> Vista que muestra la tubería abandonada, parcialmente deteriorada	88
<b>38.</b> Panorámica de la minicentral: Desarenador, tubería, casa de máquinas	88
<b>39.</b> Casa de máquinas y poste de arranque de la línea de media tensión (22900 voltios).	89
<b>40.</b> Lado posterior de la casa de máquinas. Se aprecia el canal de descarga del agua con pequeñas cascadas artificiales, construidas para amortiguar la veloz salida del agua.	89
<b>41.</b> Habitación relativamente amplia, donde aún están los dos catres que utilizaron los operadores de la minicentral.	90
<b>42.</b> Depósito de herramientas, lubricantes, etc., contiguo al dormitorio de operadores	90
<b>43.</b> Vista general del equipamiento electromecánico, con muchos elementos faltantes.	91
<b>44.</b> Conjunto de turbina tipo Francis y generador trifásico ALGESA de 150kW (fabricado en 1998).	91



45. El tesista en la sala de máquinas. Se aprecia al generador parcialmente desmantelado. 92
46. Regulador de velocidad, también desmantelado. 92
47. Tablero de control y transformador trifásico ELKO de 250 kVA, 400/22900 V 93
48. Vista parcial del interior del tablero. 93
49. Gráfico simbólico del distrito de San Gabán. 94
50. Vista panorámica de la carretera interoceánica, principal arteria del pueblo de San Gabán. 94
51. Local nuevo del Municipio Distrital de San Gabán (año 2015). Nótese la amplitud y modernidad. 95
52. Río Loromayo, que discurre por el lado oeste del pueblo de San Gabán, desde el cual se derivaba el agua hacia la minicentral. 95
53. Rústico canal de derivación, actualmente por debajo de la carretera transoceánica (ingreso al pueblo de San Gabán), rumbo a la minicentral y al río San Gabán. 96
54. Existió un canal construido de concreto (aprox. 370 metros) que atravesaba territorio descubierto. Hace ya unos 10 años que fue completamente cubierto por tierra. 96
55. Postes de la línea de media tensión que llevaban la energía hasta el pueblo, (a una única sub estación). El canal de concreto quedó totalmente cubierto de piedras y tierra. 97
56. Hoy, en medio de la frondosa selva, discurren las aguas por un rústico canal (últimos 100 metros) y con fines de regadío. 97
57. Tramo de la tubería de presión (12"Ø) que descansaba sobre una viga de concreto armado. Ya todo se vino abajo. 98
58. Existió también esta cámara de carga. Al desmoronarse el piso que la sostenía, desapareció por completo. 98
59. Ya hace unos 2 años que la viga se vino abajo. Gran parte del terreno se deslizó; se ve parte del desarenador fuera de su lugar original y un tramo de la tubería "al aire". 99
60. Hubo esta subestación trifásica biposte (hasta el 2017). Se cayó por desmoronamiento del terreno, (foto de archivo personal del tesista). 99
61. Hacia finales de 1996, los equipos ya estaban fuera de servicio por ausencia del operador, pero se hallaban en aceptables condiciones. 100
62. En 1997 todavía se hacía limpieza a los equipos, aunque ya no operaban.

(fotos de archivo personal del tesista).	100
<b>63.</b> En el 2018, el techo de la casa de máquinas se ha derrumbado, y con material adicional encima de él, aplasta al equipamiento electromecánico.	101
<b>64.</b> La turbina Francis marca VRM, de 75 kW, también yace aplastada por el techo y en franco proceso de deterioro.	101
<b>65.</b> La casa de máquinas era muy estrecha, ajustada apenas al tamaño de los equipos, no daba comodidad alguna para trabajar en ella.	102
<b>66.</b> El generador trifásico (75 kW – 400 V) también en proceso de deterioro.	102
<b>67.</b> Otra vista de la situación calamitosa del equipamiento electromecánico (2018).	103
<b>68.</b> Se aprecia que el desastre es total.	103
<b>69.</b> Uno de los tableros, por los suelos y totalmente desmantelado.	104
<b>70.</b> Otro tablero de control, sosteniendo una parte del techo caído.	104
<b>71.</b> Gráfico simbólico del distrito de Macusani	105
<b>72.</b> Vista parcial del pueblo de Macusani, zona central, (4315 m.s.n.m.)	105
<b>73.</b> La más cercana de las tres lagunas que se usan como reservorio de las aguas provenientes del nevado Chichi Kapac. Esas aguas se usaban para la minicentral de Tocca (Macusani) y más abajo se usan en la gran central San Gabán II.	106
<b>74.</b> Compuerta de regulación en la última laguna para derivar el agua hacia Tocca y hacia San Gabán II.	106
<b>75.</b> Parte final del canal de concreto que conduce el agua hacia la minicentral Tocca. También se ve el desarenador.	107
<b>76.</b> Desarenador, cámara de carga y rebose (hacia la izquierda), de la minicentral hidroeléctrica Tocca. Al frente, la carretera interoceánica.	107
<b>77.</b> Vista panorámica de la minicentral hidroeléctrica Tocca, ubicada en el cañón del mismo nombre y en la margen derecha del río Macusani.	108
<b>78.</b> Tubería de presión (20" Ø) y casas de máquinas antigua (la de arriba) y la actual (la inferior, la más cercana al río).	108
<b>79.</b> Vista detallada de las dos casas de máquinas, emplazadas dentro del pintoresco cañón de Tocca. La izquierda es la actualmente operativa, la otra ya fue desmantelada.	109
<b>80.</b> Conjunto de la turbina Michell- Banki y generador (190 kW), en buenas condiciones, totalmente operativos, pero que han dejado de prestar servicio merced a un convenio con la empresa generadora San Gabán.	109
<b>81.</b> Gráfico simbólico del distrito de Ayapata.	110



<b>82.</b> En la plaza de Ayapata un centenario ciprés, bautizado como “la chascosa”	110
<b>83.</b> Un tramo corto de la tubería de presión y vista panorámica del pueblo de Ayapata	111
<b>84.</b> Un tramo del canal rústico de 5 Km, que trae el agua hacia la minicentral desde la laguna Itherqota, construido por los pobladores de Ayapata (1989)	111
<b>85.</b> En su parte final, dicho canal ya está revestido de concreto	112
<b>86.</b> Llegada del agua al desarenador y cámara de carga	112
<b>87.</b> Aliviadero, rebose de las aguas sobrantes	113
<b>88.</b> Arranque de la tubería de presión, de acero, (12”Ø)	113
<b>89.</b> Vista panorámica de la extensa tubería de presión instalada en las faldas del cerro, aproximadamente 190 metros de longitud.	114
<b>90.</b> Desarenador y rejilla que permiten el ingreso de agua limpia a la cámara de carga	114
<b>91.</b> Casa de máquinas (pintada de verde). A su izquierda ingresa la tuberíade presión, a la derecha se aprecia la vivienda del operador.	115
<b>92.</b> Turbina Pelton (izquierda), marca SATUR, accionando al generador de 100 kW (derecha).	115
<b>93.</b> El único inyector de la turbina Pelton.	116
<b>94.</b> Generador Hidrosatur de 125 kVA, 100 kW, trifásico, 380 V , en plenoservicio.	116
<b>95.</b> El tesista en la casa de máquinas de la minicentral hidroeléctricaAyapata	117
<b>96.</b> Tablero de control	117
<b>97.</b> Conjunto de resistencias disipadoras de energía.	118
<b>98.</b> Transformador trifásico ABB, de 160 kVA, instalado en el exterior,sobre una loza de concreto y dentro de un enmallado.	118
<b>99.</b> Arranque de las líneas de media tensión (22 900 voltios).	119
<b>100.</b> Caballete, equipado con tecele, para ser usado en tareas demantenimiento	119



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
1. Panel fotográfico	75
2. Anexos de documentos	120

## RESUMEN

Con este trabajo de investigación, titulado: “Sostenibilidad de minicentrales hidroeléctricas de la provincia de Carabaya del departamento de Puno”, se pretende dar respuesta a las siguientes interrogantes: ¿Qué ocurrió con las minicentrales hidroeléctricas construidas en el departamento de Puno, provincia de Carabaya, en los últimos 20 años del pasado siglo XX?, ¿en qué condiciones están?, ¿Se justificaron los esfuerzos e inversiones realizados en cada caso?, es decir, ¿fueron proyectos útiles?, ¿Fueron proyectos rentables, sostenibles económicamente?. La metodología de trabajo considera: búsqueda de antecedentes, acopio y selección del marco teórico alusivo al tema, visitas a las minicentrales seleccionadas por parte del tesista y un ayudante entendido en electricidad, inspección detallada de cada minicentral en sus dos componentes más visibles: obras civiles y equipamiento electromecánico, toma de datos y obtención de registro fotográfico, entrevistas con el personal en las minicentrales y autoridades locales, indagación histórica con personas adultas en cada localidad involucrada acerca del desempeño que tuvo y/o tiene cada minicentral. Se ha hecho una selección de cinco minicentrales, ubicadas en el ámbito de cuatro distritos de la provincia de Carabaya que son: Minicentral Ollachea I; Minicentral Ollachea II; Minicentral San Gabán; Minicentral Tocca – Macusani; Minicentral Ayapata. También se pretende dar información general de cada minicentral y para el caso de futuros proyectos que pretendan implementarse, qué aspectos no deben descuidarse a fin de que una incursión en este tipo de inversión sea exitosa en lo técnico, en lo social y en lo económico.

**Palabras clave:** Central hidroeléctrica, equipamiento electromecánico, minicentrales, obras civiles, sostenibilidad.

## ABSTRACT

With this research work, entitled: “Sustainability of hydroelectric mini-power stations in the province of Carabaya of the department of Puno”, it is intended to answer the following questions: What happened to the hydroelectric mini-power plants built in the province of Carabaya of the department of Puno in the last two decades of the last century? What conditions are they in? Were the efforts and investments made in each case justified? That is, Were they useful projects? Were they profitable, economically sustainable projects? The work methodology considers: background search, collection and selection of the theoretical framework alluding to the subject, visits to the selected mini-stations by the thesis and an assistant understood in electricity, detailed inspection of each mini-plant in its two most visible components: civil works and electromechanical equipment, data collection and obtaining photographic records, interviews with personnel in the mini-plant and local authorities, historical inquiry with adults in each locality involved with the performance that each mini-plant had and / or has. A selection of five mini-plants has been made, located in the area of four districts of the province of Carabaya that are: Mini-plant Ollachea I; Mini-plant Ollachea II; San Gabán Mini-plant; Tocca - Macusani Mini-plant; Ayapata Mini-plant. It is also intended to give general information on each mini-plant and in the case of future projects that are intended to be implemented, which aspects should not be neglected so that an incursion in this type of investment will be successful in technical, social and economic matters.

**Keywords:** Hydroelectric power station, electromechanical equipment, mini-plants, civil works, sustainability.



Dr. Edmundo G. Moreno Terrazas  
PROFESOR PRINCIPAL  
UNA - PUNO

## INTRODUCCIÓN

Sabido es que la energía eléctrica se ha constituido en un motor primordial para el desarrollo poblacional, incide muy directamente en todas las manifestaciones socioeconómicas de la sociedad. Es un aspecto que no puede ser descuidado por el gobierno central de ningún país.

En el Perú, durante las tres últimas décadas, se le está dando bastante énfasis a los proyectos de generación energética y también líneas y redes de transmisión complementarias. Todos estos aspectos están detallados en el Plan Energético Nacional, resumen ejecutivo, del MINEM.

Actualmente, se cuenta con líneas de transmisión de alta y media tensión en gran parte del territorio nacional del Perú; pero esto estaba en una situación muy diferente hace 50, 40 o incluso, 30 años. Por ello, ante esa cruda realidad, los poblados que deseaban contar con un servicio de suministro eléctrico, toda vez, se vieron ante la disyuntiva de optar por una de estas dos alternativas: adquirir y operar un grupo electrógeno de pequeño o regular tamaño, o financiar y construir una central hidroeléctrica, aunque esto último estaba supeditado a cómo eran las condiciones geográficas de la zona y si allí se contaba con los recursos hidráulicos necesarios.

La primera opción, relacionada con la adquisición y uso de un grupo electrógeno, queda descartada para una población que cuente con favorables condiciones de recursos de agua y configuración geográfica. Si bien, el costo de adquisición y el tiempo de puesta en operación de un grupo electrógeno resultan menores al costo de creación y arranque de una central hidroeléctrica de potencia equivalente, la gran diferencia viene en el costo de operación. Un grupo electrógeno demanda un operador más calificado y entrenado, gastos permanentes en combustible, lubricantes, repuestos y transporte de todos estos elementos, también las tareas de mantenimiento deberán ser cotidianas y algunas veces realizadas por personal especializado con la debida capacitación y experiencia.

Ello no ocurre con las centrales hidroeléctricas. Si bien se tendrán costos de inversión inicial más elevados, los costos de operación serán muy inferiores. Por ello es que existen muchas centrales hidroeléctricas, de todo tamaño, que prestan servicio incluso durante las 24 horas del día; esto resulta casi imposible de ser ofrecido por un



grupo electrógeno emplazado en una localidad aislada y remota.

Tanto la provincia de Carabaya y Sandia, están ubicadas al norte del departamento puneño. Ambas están atravesadas por la ramificación oriental de nuestra Cordillera de los Andes. Por ello cuentan con buenos recursos de agua prácticamente durante todo el año; además, ese hecho ocasiona también de que ambas provincias incluyan zonas geográficas relativamente accidentadas lo cual resulta muy favorable para la creación de hidro centrales eléctricas en dichas áreas.

De estas favorables condiciones fue que algunos municipios distritales aprovecharon y por ello financiaron y construyeron minicentrales hidroeléctricas con el fin de dotar del servicio de electricidad a sus principales pueblos. Esto ocurrió a finales del finalizado siglo XX.

Sin embargo, no todos los aspectos relacionados a este tipo de proyectos fueron tomados en cuenta en todas las localidades involucradas. Este hecho, con el transcurrir de los años de servicio de estas minicentrales devino en que surgieran problemas de uno u otro tipo.

Esto es lo que se propuso averiguar, en detalle, la presente investigación, para cada una de cinco minicentrales construidas por aquellos años dentro del ámbito de la provincia de Carabaya.

Luego de efectuadas en los respectivos lugares, las averiguaciones e inspecciones correspondientes, se alcanzaron importantes y concluyentes resultados. El trabajo se justificó plenamente.

## CAPÍTULO I

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 1.1 Marco teórico

Sabido es que la construcción de una central hidroeléctrica demanda elevados esfuerzos técnicos y económicos; por lo tanto, antes de decidir llevar a cabo un nuevo proyecto de este tipo hay que efectuar los estudios suficientes que garanticen la sostenibilidad del proyecto para que la inversión no caiga en saco roto y no se tengan a corto plazo elefantes blancos.

##### 1.1.1 Central hidroeléctrica

Castro (2006), afirma: La potencia de salida de una planta hidroeléctrica es directamente proporcional al cabezal y al caudal, por ende, es importante determinar adecuadamente esas variables para el diseño de la planta y la selección del equipo.

Se debe elegir un proceso de diseño adecuado para definir los equipos a instalar para generar la máxima energía posible según la hidrología. Por lo tanto, manejar los datos del régimen de flujo en el área cercana a la entrada es fundamental para determinar caudal de diseño a utilizar.

En sus estaciones de aforo se mide el caudal de agua, se determina también el caudal instantáneo de agua por la parte del arroyo donde se ubica la estación, de donde se determina el caudal diario (mínimo, medio y máximo) para los múltiples años de medición, que nos permite agrupar varias series temporales según el año hidrológico.

### 1.1.1.1 Ventajas y desventajas de las Centrales Hidroeléctricas

#### a) Ventajas desde el punto de vista técnico.

Bernhard (2006), el estudio de un aprovechamiento constituye un proceso complejo e iterativo, durante el cual, se comparan desde una óptica económica, pero sin perder de vista su impacto ambiental, los diferentes esquemas tecnológicos posibles, para terminar escogiendo el que más ventajas ofrece. Además de los factores mencionados anteriormente, algunas soluciones técnicas dependen de la topografía terrenal y la sensibilidad ambiental del área. Aunque es complicado diseñar guías de metodología para la evaluación de la usabilidad, es posible señalar los pasos básicos que se deben seguir antes de realizar o no un estudio de factibilidad detallado. Esta secuencia forma la estructura de esta guía y se define como:

- Identificación topográfica del sitio, incluida la accesibilidad total.
- Evaluar los recursos hídricos, para determinar la generación de energía.
- Definición de la aplicación y estimación del coste inicial.
- Turbinas hidráulicas, generadores y equipamiento de control.
- Examen previo de impacto ambiental y análisis de tipos de corrección.
- Estudios económicos de solicitudes y modalidades de financiamiento.
- Comprender los requerimientos y procedimientos administrativos para su aprobación.

El ciclo del agua que fluye por cauces naturales, llenando aliviaderos, circulando a presión por distintas tuberías y canales, en su camino acciona las turbinas, operando según las leyes hidráulicas y además basada en mecánica de fluidos respaldada por siglos de experiencia.

## b) Ventajas desde el punto de vista económico

Desde una visión económica, las características más favorables de la energía hidráulica son:

EVE (1995), Para una pequeña central eléctrica, la rentabilidad se puede evaluar de forma simple, utilizando los siguientes criterios (datos aproximados):

(PR) Período de Retorno: Definido como el tiempo en que se recupera una inversión inicial:

$$PR = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ingresos anuales}} = \frac{\text{Inversión (PTA)}}{(\text{Ingresos} - \text{Gastos})\text{PTA/Año}}$$

(IE) Índice de energía: Es el precio del kWh que se genera:

$$IE = \frac{\text{Inversión (PTA)}}{\text{Energía salida trafo (kWh)}}$$

(IP) Índice de potencia: Es el precio del kW que se instala:

$$IP = \frac{\text{Inversión (PTA)}}{\text{Potencia instalada (kW)}}$$

Normalmente se considera como rentable las utilidades que poseen valores cercanos a:

PTA: Pesetas españolas

PR: 4 - 5 años

IR: 50 (PTA/kW h).

IP: 100 000 – 110 000 (PTA/kW)

Las utilidades rentables pueden ser:

- Para ríos con mucha pendiente, saltos altos, con obra nueva.
- Para ríos controlados con embalse, saltos nuevos.
- Con existencia de saltos con obra civil eficiente que necesite

reparaciones o cambios menores.

- En los que ya existan y requieran sólo arreglo de turbina y equipamiento de control automático.
- Que la mayoría de la energía generada fuera utilizable para el dueño.

Por el contrario, las utilidades dudosas son:

- Para ríos de pendiente baja y media, saltos bajos, con obra nueva.
- Para ríos no controlados con embalse, saltos nuevos.
- Obra civil deteriorada y canales demasiado largos, saltos existentes.
- Cuando tenemos que implementar turbina nueva y equipamiento de control automático.
- Que la minoría de la energía generada fuera utilizable para el dueño.

Por lo tanto, si es posible ejecutar un proyecto de reconstrucción o implementación de una pequeña central, es imperativo hacer un estudio de factibilidad económica y financiera detallado.

### **c) Ventajas desde el punto de vista social-ambiental**

Considerando el contexto social - ambiental, algunos de los beneficios más importantes son:

OSINERGMIN (2017), nos encontramos en un contexto de mayor desarrollo de medios de transporte eléctrico en medio de:

- i. Un aporte en la tecnología mundial y una optimización de costos en las baterías,
- ii. Los menores gastos en combustibles para transportes,
- iii. Los cambios del patrón de consumo mundial y
- iv. Los países de la COP21 se comprometieron limitar el aumento de la temperatura a nivel global. El crecimiento del transporte eléctrico a nivel global podría modificar la demanda energética de

combustibles fósiles a energía limpia.

#### **d) Desventajas de la energía hidráulica**

Monroy y Montaña (2015), afirma: Teniendo en cuenta solo algunos aspectos, se pueden realizar las siguientes consideraciones con relación a los impactos negativos de los proyectos:

- Los impactos debidos a la deforestación, movimientos de tierras y paisajísticos (principalmente por los postes) son prácticamente despreciables debido a la reducida dimensión de las obras realizadas.
- Los impactos de construcción de represas sobre los peces son mínimos, ya que todos los proyectos se construyen en la región andina, donde río arriba hay pocas especies de peces migratorios que desovan en ríos de alta pendiente. Para las especies de peces autóctonas que suelen ser escasas en estos ríos, la presa no supondrá un mayor obstáculo para su supervivencia, ya que ocupa solo una pequeña zona del cauce y no interfiere en el habitat de la especie mencionada.
- En la época seca en las instalaciones mencionadas, no se desvía el 100% de los caudales, lo que significa que se drena una parte del río aguas abajo de la presa o se reduce el caudal hasta el punto en que se recarga en estas aguas turbinadas. El impacto creado en el arroyo, debido al tamaño de la planta de energía, no es una caída significativa en el flujo de agua, suelen ser pequeños y las áreas relativamente húmedas siempre tienen un flujo de agua superficial en el lecho del arroyo, lo que reduce este impacto.
- La grasa que se usa para lubricar los rodamientos en los equipos de generación de energía, lo que genera una contaminación mínima del agua debido al uso de una pequeña cantidad de grasa.
- Por otra parte, la contaminación sonora provocada por el funcionamiento del equipo es focalizada solo en el lugar de la planta, normalmente limitada a unos pocos metros del cuarto de máquinas y a una distancia considerable de alguna población.

### **e) Desventajas desde el punto de vista técnico**

Entre las principales desventajas de la energía hidráulica desde el punto de vista técnico, encontramos las siguientes:

Mendiola *et al.* (2012), afirma: La demanda de potencia representa la potencia instantánea que requieren varios aparatos eléctricos conectados de manera simultánea al sistema.

Uno de los elementos importantes de las predicciones, es el cálculo de la máxima demanda, que es la demanda pico de energía esperada durante un periodo, que define el tamaño del grupo generador de la turbina.

Se consideran varios pasos para determinar la demanda futura de energía y modelar las curvas de demanda. Puede generarse a partir de: a) la determinación del volumen planificado a partir del cual dejará de satisfacerse la demanda futura de energía; b) el número de personas que se beneficiarán del servicio en el futuro; c) comportamiento poblacional que corresponde a la población bajo análisis, tales como aspectos sociales, condiciones económicas, clima, características, costumbres, etc. d) datos sobre estudios socioeconómicos y caracterización del área de estudio, que permitirán estimar el tamaño de carga requerido para cada segmento de demanda: carga urbana, comercial, industria y alumbrado.

### **f) Desventajas desde el punto de vista económico**

Desde un punto de vista económico, la principal desventaja de la energía hidroeléctrica es que:

Tamayo *et al.* (2016), afirma: Primero, se diagnostica la importancia sobre el sector eléctrico en la economía (Perú). Por lo tanto, la adecuación del sector eléctrico se refleja en varias variables macroeconómicas como el producto interno bruto (PIB), mercado, impuestos y el empleo.

Asimismo, se realizó una simulación guiada como parte del modelo de equilibrio general de la economía peruana para evaluar el impacto de la reducción en la generación eléctrica. Permite evaluar la confiabilidad del suministro eléctrico estimando el costo del suministro insuficiente de

energía relacionado de la economía asociada.

Los datos nos dan como respuesta, si es que se reduce la generación de energía:

i) Menor PBI, ii) menor balanza comercial y iii) menor nivel de conformidad de los clientes. Específicamente, bajo un escenario sin riesgo, las simulaciones demuestran que la confiabilidad del suministro de energía actual evitaría una caída de 0,23% en el PIB, un deterioro de 0,22% en la balanza comercial y una caída de 0,09% en el resultado fiscal preliminar.

Asimismo, el impacto de un incremento en la generación eléctrica se estima con base en el TCR. Principalmente beneficia las reducciones de gases de efecto invernadero (GEI) al comparar los factores de emisión de las fuentes de energía renovable y los factores de emisión de las redes existentes. Así, los proyectos RER habrían mitigado 4.6 millones de tCO<sub>2</sub> desde el inicio de sus operaciones, habiendo generado un beneficio de US\$ 499 millones (en valores monetarios de 2015) durante el periodo 2008-2015.

#### **g) Desventajas desde el punto de vista social-ambiental**

Algunas de las características menos favorables de este tipo de energía cuando consideramos el medio social y Ambiental, son:

Serra (2015), en lo que respecta a la destrucción de los ecosistemas originales debido a las migraciones de personas, Laurance (2000), que su destrucción, en las condiciones de la Amazonía brasileña, puede avanzar después de unos pocos años hasta 25 km de los bordes del embalse. Múltiples factores influyen en el proceso de colonización, ya que la presión demográfica en un lugar dado está en función a los incentivos de dinero, y el uso de la zona es dependiente de la disponibilidad de acceso al área y la topografía.

- La polución en el suelo, agua y el aire como consecuencia de combustible, aceite y contaminantes químicos.

- Los residentes fueron reubicados debido a la construcción de plantas eléctricas además de inundar los embalses.
- Partículas de polvo y contaminación sonora generado por las obras.
- Aumento de la densidad de transporte en las carreteras aumentando el riesgo de accidentes automovilísticos.
- Los migrantes vienen en busca de trabajo, pero si no encuentran un empleo, como consecuencia negativa generaría la deforestación en bosques y vegetación, además de la tala de árboles y la explotación minera informal sin impuestos.
- Fomenta la trata de humanos, además del crecimiento delincencial.

### 1.1.1.2 Esquemas típicos de minicentrales hidroeléctricas

#### a) Centrales de agua fluyente

Coz *et al.* (1995), En lugar de detener el flujo del río, los sistemas de desviación de alternativos llevan el agua hacia canales, tuberías antes de ingresar a las turbinas. La mayoría de los microsistemas de generación son de derivación. El punto en contra es que no se puede almacenar agua desde la estación lluviosa hasta la estación seca. Lo bueno es que el sistema se puede construir en la zona y a costo barato, al ser simple asegura una óptima confiabilidad en el tiempo. Desde la perspectiva del impacto ambiental, es preferible un sistema de derivación porque los patrones de flujo estacional aguas abajo de la planta no se ven afectados y no hay necesidad de inundar el valle aguas arriba de la planta.

Los sistemas de embalse usan presas para contener el flujo de los ríos, creando un embalse desde el cual el agua fluye hacia la turbina cuando se necesita de la electricidad. El punto a favor de este método es que el agua se acumula durante los años secos.

La desventaja del sistema de presas es que es más caro. Se pueden encontrar problemas serios en ellos, por ejemplo, el depósito se llenará de sedimentos después de unos años. Al suceder esto, el costo de dragar el

embalse para limpiarlo suele resultar demasiado alto y el sistema termina produciendo menos electricidad de lo esperado.

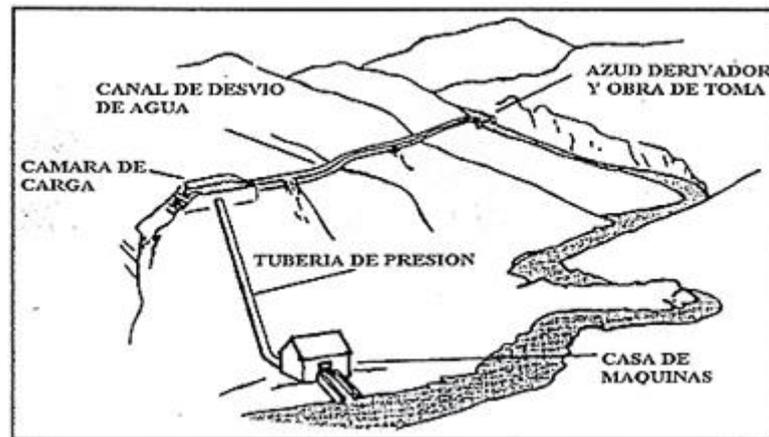


Figura 1. Microcentral hidráulica de derivación  
Fuente: (Coz *et al.*, 1995)

#### b) Centrales a pie de presa

Colmenar *et al.* (2012), afirma: Las centrales con embalse, también conocidas como centrales de pie de presa o centrales de regulación son aprovechamientos hidroeléctricos que tienen la posibilidad de almacenar las aportaciones de agua de un río.

Se almacena el agua construyendo embalses o utilizando diques contruidos para otros fines, como los riegos o el abastecer de agua a la población. Estos dispositivos pueden ajustar el flujo de agua a las turbinas para ajustar la generación de electricidad a la demanda.

El punto de toma de estas plantas suele estar situado en la propia presa y a una altura tal que se crean dos zonas de agua en el embalse: la zona muerta o volumen por debajo de la bocatoma y la zona útil o volumen por encima de la bocatoma. De acuerdo a la capacidad de almacenamiento del área útil del dique, la regulación de la generación de energía se puede realizar en horas, días o semanas.

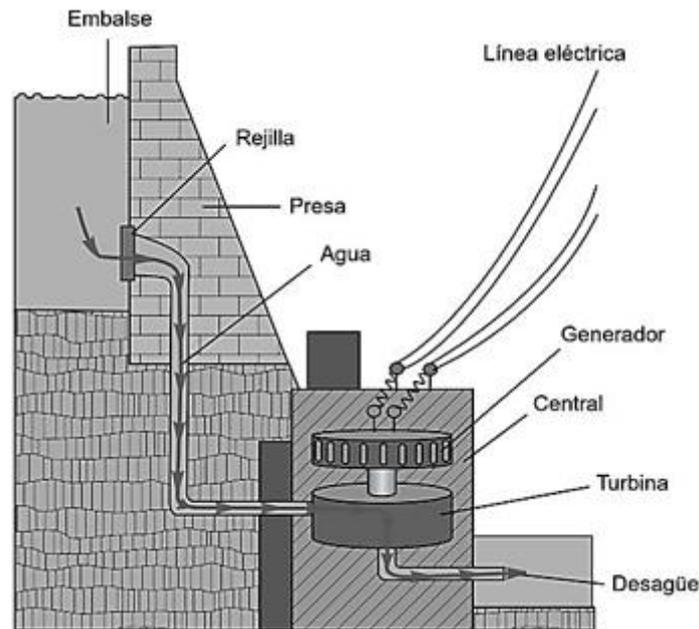


Figura 2. Central hidroeléctrica de embalse

Fuente: (Colmenar *et al.*, 2012).

### 1.1.2 Equipamiento electromecánico

Juárez (1992), afirma: Una casa de máquinas de una central hidroeléctrica, es una instalación que alberga turbinas y generadores, así como los equipos auxiliares útiles para una operación confiable. También existe un sistema de control, protección, automatización, taller, transporte, etc.

Los equipos auxiliares necesarios para el funcionamiento de turbinas y generadores deben estar conveniente y racionalmente ubicados, de manera que ocupen poco espacio, además deben ser pequeños y livianos.

El equipamiento electromecánico de una central hidroeléctrica está conformado de los siguientes elementos:

- Casa de máquinas.
- Partes básicas en la casa de máquinas.
- Área sumergida en casa de máquinas.
- Proporciones y correcciones en el área sumergida.
- Parte superior de casa de máquinas.
- Área de montaje.

- Cámara de la turbina.
- Tubos de aspiración.
- Redes de transmisión.
- Transformadores, cuando se les requiera.

### 1.1.2.1 Turbina hidráulica

Nava y García (2014), afirma: Cuando se determinada la capacidad instalada de construcción de la central hidroeléctrica y conocido el número de unidades correspondiente, se debe calcular la capacidad de diseño o capacidad por unidad. turbina  $P_t$ , carga  $H_d$  y gasto  $Q_d$ , que también son valores de diseño, que se calcula de acuerdo con:

En cada turbina la potencia es:

$$P_t = \frac{\text{Capacidad instalada} * K}{\text{Nro unidades} * n_g}$$

Donde:

$P_t$ : potencia por turbina (kW o MW)

K: factor de almacenamiento y operación (0,85 y 1,30)

$n_g$ : eficiencia del generador (0,98)

#### a) Tipos de turbinas hidráulicas

Sanz (2017), todas las turbinas hidráulicas existentes en la actualidad se clasificarían generalmente en dos grandes grupos:

- Turbinas de acción
- Turbinas de reacción

Una turbina de acción es la que usa solo la velocidad del fluido para impulsar su rodete, por lo que toda la energía de presión del fluido debe convertirse primero en energía cinética.

Además de utilizar la energía cinética del fluido, la turbina de reacción

también absorbe la energía de presión del fluido en el rodete.

Existe un parámetro matemático que representa esta clasificación, o grado de reacción en turbina  $\sigma$ :

Si  $\sigma = 0$ , la turbina será de acción; y si  $\sigma \neq 0$ , la turbina será de reacción.

Los tipos más usuales de turbinas de acción construidos actualmente, son:

- Pelton
- Banki-Michel
- Turgo

Tenemos en las turbinas de reacción, las siguientes:

- Francis
- Kaplan (Semikaplan y Hélice)
- Deriaz

Entre todas estas variedades, las turbinas más resaltantes por ser las más usadas son: la Pelton, Kaplan y la Francis.

En el siguiente cuadro detallaremos las diferentes ventajas y desventajas de todas ellas.

### 1.1.2.2 Ventajas y desventajas de los diferentes tipos de turbinas

Tabla 1

*Para turbinas de Reacción*

Ventajas	Desventajas
Altos números específicos permitidos	Mantenimiento más complicado y caro
Diseños compactos	Aplicación y operación más limitada por cavitación
Altos picos de rendimiento	
Tipos concretos turbina:	
Francis	Una eficiencia relativamente baja a cargas parciales
Fabricación estándar disponible en varios fabricantes	
Kaplan, Bulbo	Altas velocidades de embalamiento
Gran ventaja, el instalarlas en presas existentes	
Bombas centrífugas	
Costo barato y amplia existencia	Poco rendimiento a cargas parciales

Tabla 2

*Para turbinas de Impulso (acción)*

Ventajas	Desventajas
Reducida posibilidad de cavitación	Aplicación de límites bajos de velocidad específica
Altos picos de rendimiento	
Buen rendimiento a cargas parciales	Bajos picos de eficiencia frente a las turbinas de reacción
Tipo concreto de turbina	La turbina opera generalmente encima el nivel de restitución del agua
<i>Pelton</i>	Requiere varios inyectores para reaccionar a caudales inmensos
Los daños por erosión son fácilmente reparables	
<i>Banki</i>	Eficiencia entre el 70-80% es obtenida por variación del ancho, menores a los de las Pelton, Francis o Turgo
Velocidad específica entre 40-200 (S.I.)	

Fuente. (García y Sarasua, 2012)

### 1.1.2.3 Selección del tipo de turbina a utilizarse en una central hidroeléctrica

Orille (1996), indica: Según sea el salto y la potencia puede ser más ventajoso utilizar un tipo de turbina u otro. La figura 3 que sigue, muestra las áreas o zonas útiles de las distintas variedades de turbinas hidráulicas

en función del salto (H) y de la potencia. Por supuesto, al intentar elegir la turbina óptima para cada caso, no se ha de olvidar el generador que ésta mueve. Las zonas útiles de los diferentes tipos de turbinas en función del salto (H) y de la potencia mecánica:

TP = Turbinas Pelton; TK = Turbinas Kaplan; TF = Turbinas Francis; TT = Turbinas Turgo; TD = Turbinas Deriaz; TB = Turbinas Banki, mostradas en la figura 3.

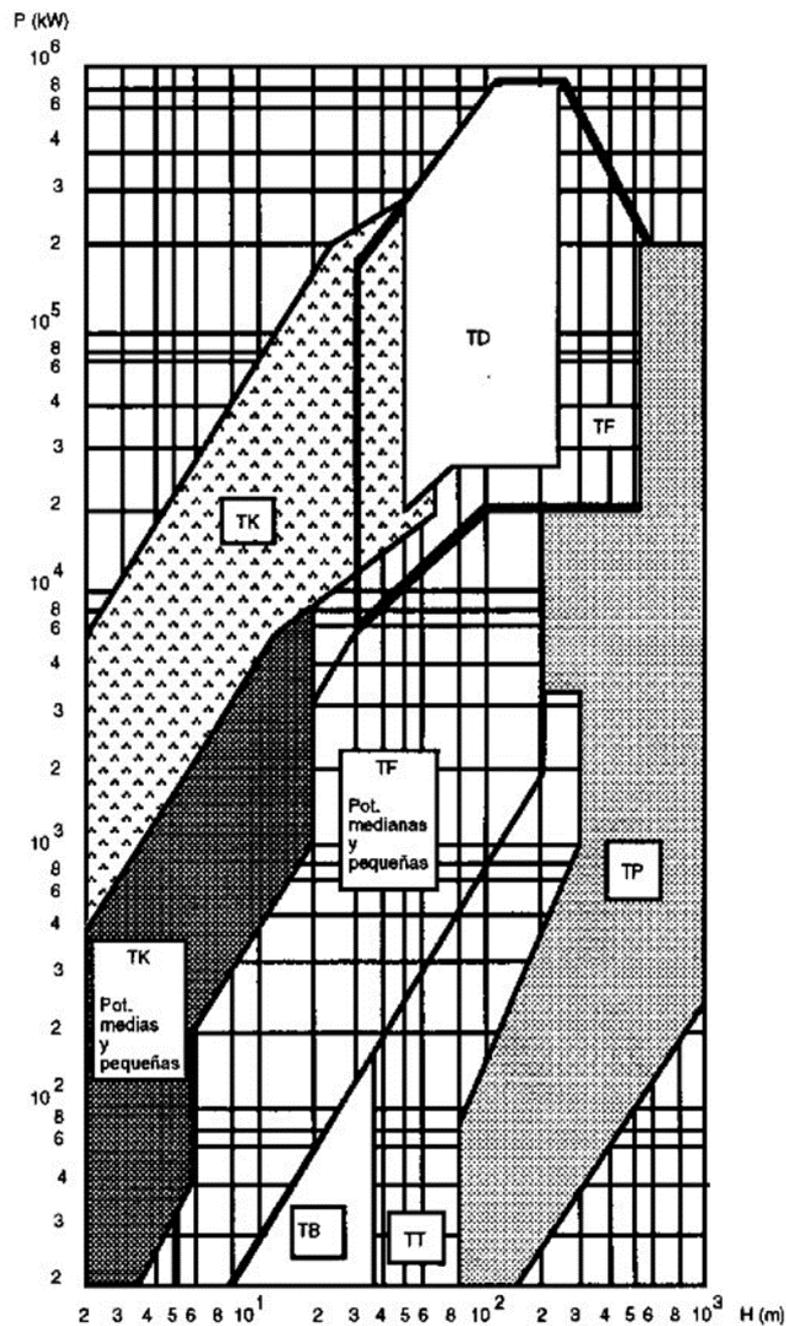


Figura 3. Zonas de utilización de los tipos de turbinas  
Fuente: (Orille, 1995).

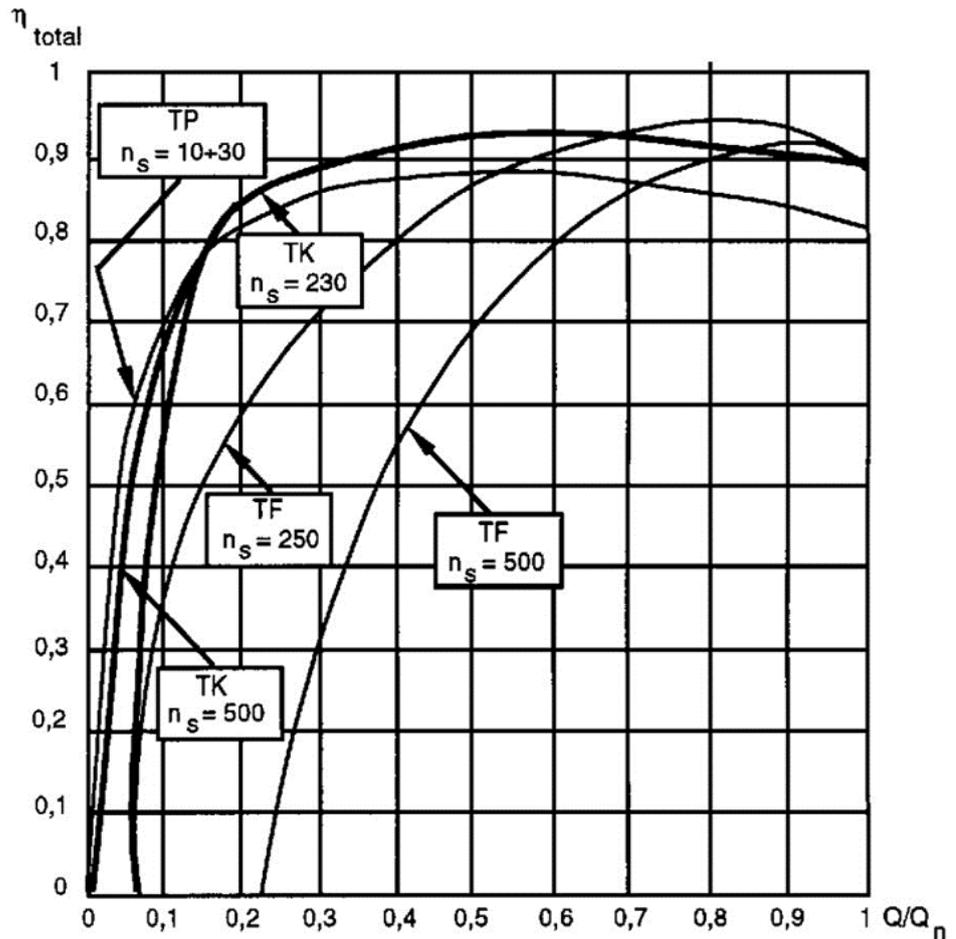


Figura 4. Curvas de rendimiento total para distintos tipos de turbinas en función del caudal relativo y del número específico de vueltas  
Fuente: (Orille, 1995).

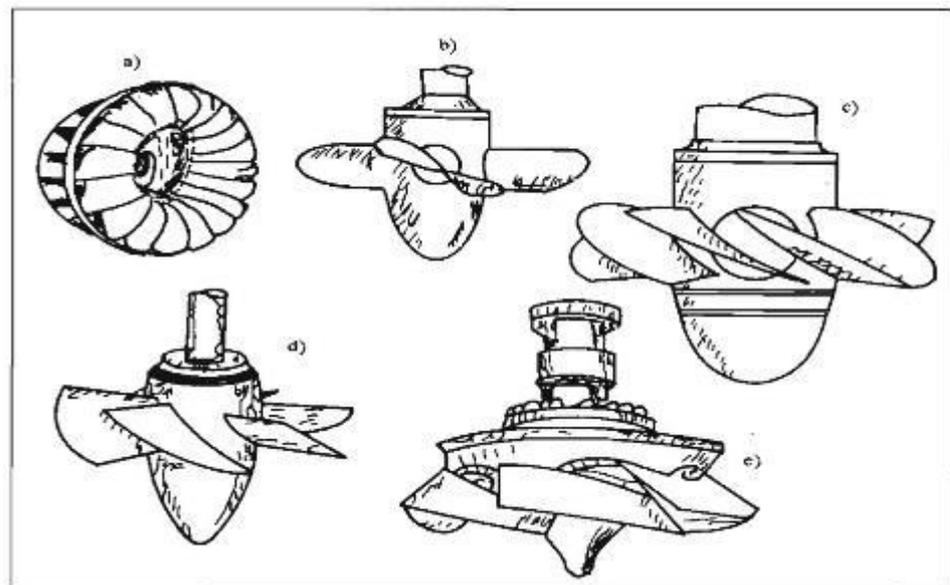


Figura 5. Turbinas hidráulicas  
Nota: a) Francis, b) Kaplan, c) Kaplan doble álabe, d) Hélice, e) Kaplan diagonales  
Fuente: (Juárez, 1992).

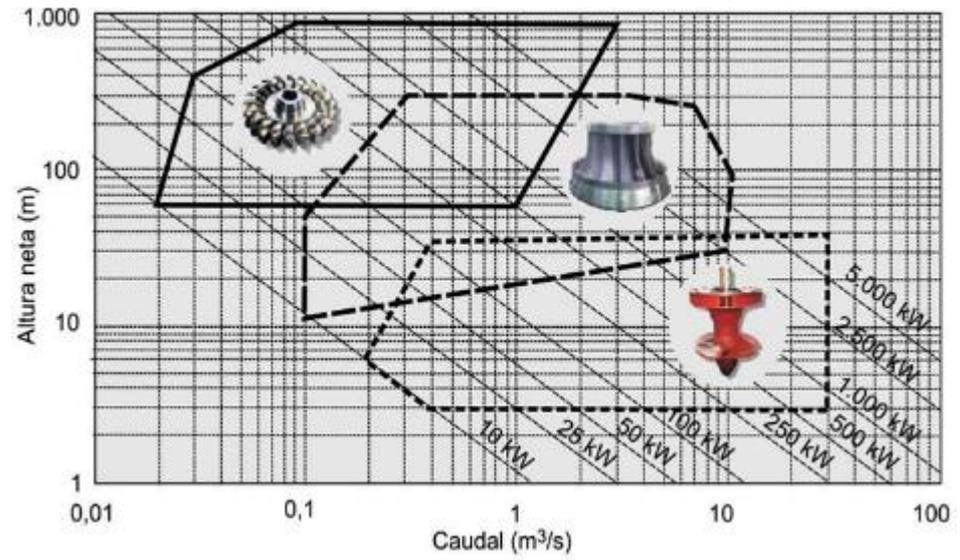


Figura 6. Rango de utilización de los diferentes tipos de turbinas  
Fuente: (Colmenar *et al.*, 2009).

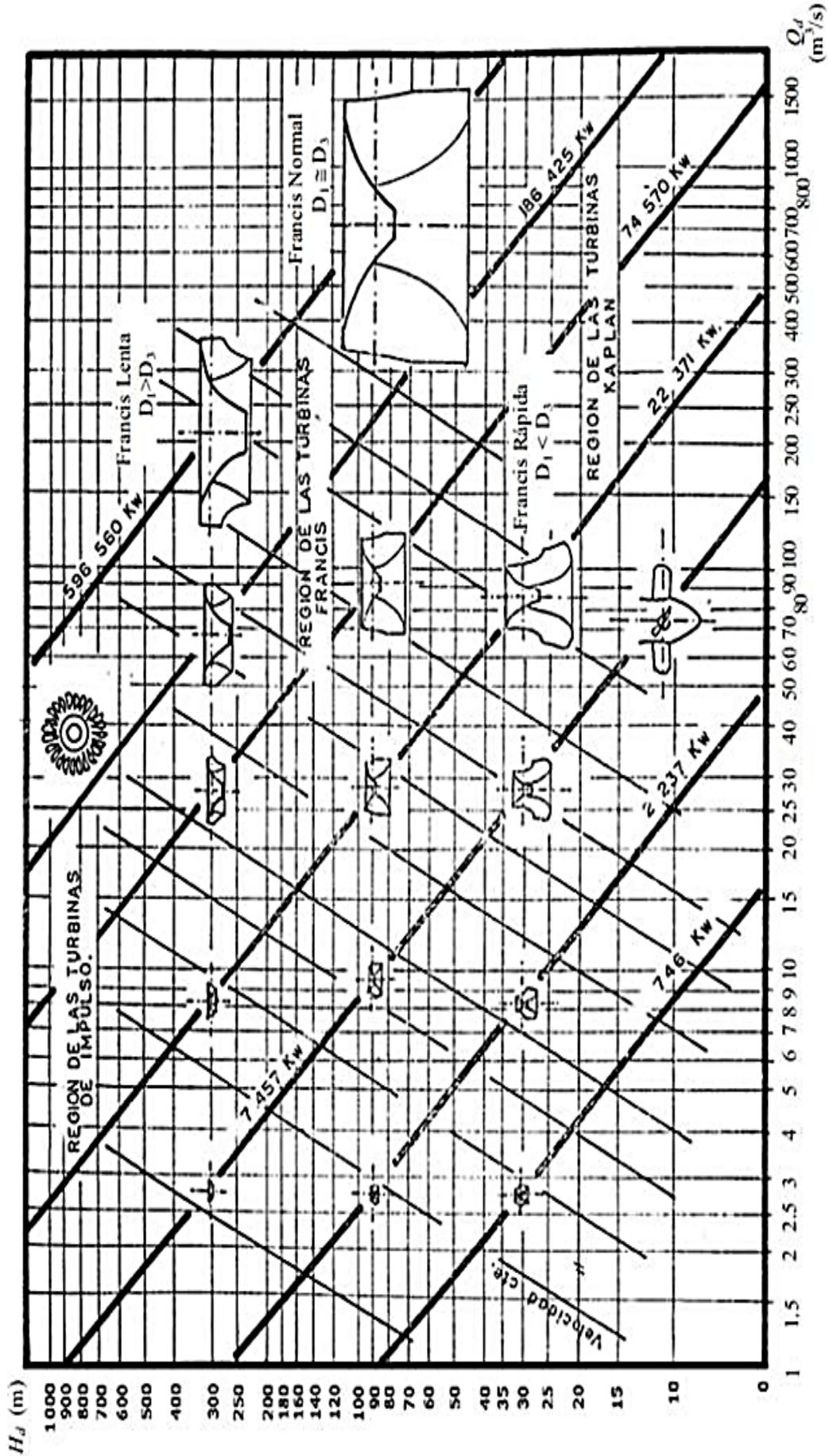


Figura 7. Selección del tipo de turbina en función del gasto y la carga de diseño  $Q_d$  y  $H_d$  (Referencia 1)

Fuente: (Nava y García, 2014)

#### 1.1.2.4 Eficiencia de las turbinas

Ortiz (2019), afirma: La eficiencia con la que trabaja una turbina y que es la relación entre la potencia mecánica que entrega frente a la potencia hidráulica que recibe, es un parámetro muy importante, ya que de su mayor o menor valor dependerá en gran parte, la cantidad de energía que podrá suministrar una central hidroeléctrica en determinado lapso de tiempo. Por lo tanto, ese parámetro tendrá una influencia muy decisiva sobre la sostenibilidad económica de la central.

Sin embargo, se debe mencionar que el valor de este parámetro no es único para una determinada turbina, además depende de varios factores, como son:

- Clase de turbina.
- Tamaño de turbina.
- Calidad de su fabricación, procedencia.
- Porcentaje de carga respecto de su capacidad nominal, con la que se halla trabajando en determinado momento.

Pero en términos generales, para un mismo tamaño y calidad de fabricación, y además para trabajo a plena carga, las turbinas Francis y Kaplan tienen valores muy parecidos de eficiencia y son superiores al que ofrece una turbina Pelton de iguales características; sin embargo, cuando la carga de trabajo está por debajo del 60 % de la capacidad nominal, la eficiencia de la Pelton es superior a la eficiencia de la Francis y si además, la carga baja por debajo del 30 % de la capacidad nominal, entonces, la eficiencia de la turbina Pelton pasa a ser superior a la eficiencia de la turbina Kaplan, inclusive. Ver la siguiente figura.

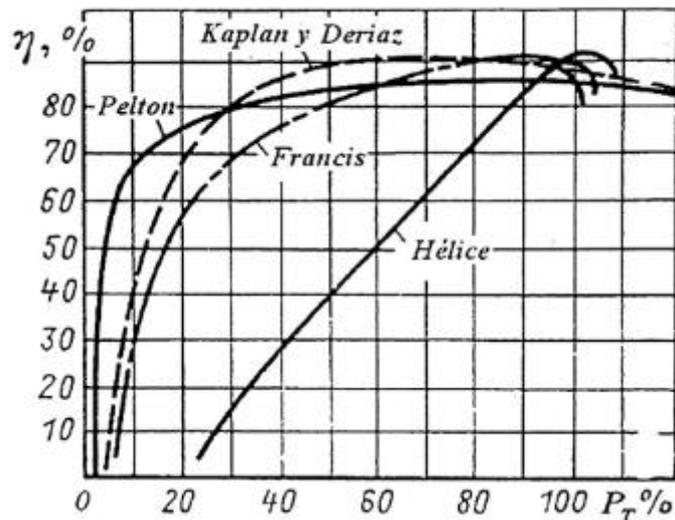


Figura 8. Eficiencia de los diferentes tipos de turbina, según el porcentaje de carga a la que estén trabajando

Fuente: (Ortiz, 2019)

### 1.1.3 Minicentral hidroeléctrica

García y Sarasua (2011), afirman: Las centrales hidroeléctricas desempeñan una labor realmente importante dentro de cualquier sistema eléctrico y concretamente en el sistema eléctrico español:

- Las turbinas hidráulicas presentan la ventaja de poder variar la carga producida en un lapso muy reducido de tiempo lo que supone la posibilidad de absorber las fluctuaciones de la demanda que se producen a lo largo del día. Solo unos pocos fabricantes pueden permitirse iniciar y detener fábricas con poca antelación.
- El embalse lleno de agua controla la energía producida durante el día y su distribución por horas, cada semana, mes o incluso cada año.
- Las plantas eléctricas reversibles son la única opción que se ofrece actualmente para el almacenamiento de gran cantidad de energía con buena rentabilidad.
- La creciente importancia de las fuentes de energía impredecibles en el desarrollo de la producción hace que la importancia de las centrales hidroeléctricas sea aún más importante, en la medida de lo posible. Las correas de afinación son cada vez más valiosas porque la producción de

energía eólica nunca está garantizada. También se discuten los intervalos de consumo, porque en temporada baja se debe asumir que las fluctuaciones no son fluctuaciones en la demanda, sino fluctuaciones en la producción producida por los parques eólicos.

Existen otro tipo de ventajas que convierten a los saltos hidroeléctricos en un recurso a tener en cuenta para el futuro.

- Las presas construidas para crear saltos o almacenar agua permiten que el agua se acumule para otros fines, como el suministro local o el riego.
- El salto de la planta está diseñado para ser muy flexible y existen muchos tipos de centrales eléctricas según la necesidad, es decir, la demanda. La geología, el suelo rocoso, las condiciones topográficas... determinan la variedad de planta eléctrica.
- Recurso inagotable, constante, de alta calidad y bajo precio. La restricción del combustible está marcada por la precipitación. Cambios en los precios de los combustibles petrolíferos: petróleo, carbón y gases no afectan los precios de la energía hidroeléctrica.
- No se producen gases que cambien el clima durante la producción de energía.
- Las obras de construcción involucradas en la implementación de centrales hidroeléctricas tienen una larga vida. Después de la construcción de la presa y de las tuberías hidráulicas principales, fue una tarea técnica y económicamente aceptable reemplazar y mantener los diversos componentes de la instalación. Las tecnologías superiores desarrolladas con energía hidroeléctrica son, en su mayoría, recomendables a la operación de centrales eléctricas. Esto significa que las centrales hidroeléctricas amplían su operatividad de manera muy significativa con el tiempo.

Es así que, en Latinoamérica, la Organización Latinoamericana de Energía y del Caribe OLADE, ha propuesto la siguiente clasificación:

Tabla 3

*Clasificación de las pequeñas centrales hidroeléctricas según OLADE*

<b>Tipos</b>	<b>Potencia instalada (kW)</b>
Picocentrales (Pico CHE)	0,5 - 5
Microcentrales (Micro CHE)	5 - 50
Minicentrales (Mini CHE)	50 - 500
Pequeñas Centrales (PCH)	500 - 10 000

Fuente: (Nava y García, 2014)

Tabla 4

*Costos de construcción de minicentrales hidroeléctricas*

<b>Proyecto PCH</b>	<b>Costos en miles</b>		<b>Características</b>		
	<b>US\$</b>	<b>US\$/kW</b>	<b>Potencia (kW)</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Caída (m)</b>
Taraira	225	7,5	30		
La Chorrera	205,7	1,18	2*87,5	2	12
Pizarro	3900	5,9	3*220	17	4,9
Jurado	8000	8	1*500;2x250	5,4	23,6

Fuente: (Juárez, 1992).

Nota: Costos de construcción de centrales que han sido edificadas en Colombia en los últimos 25 años

Se puede afirmar, sin cometer mayor error, que el precio unitario por kW instalado en una planta hidroeléctrica disminuye cuando crece el tamaño de la central. Es decir, para las grandes centrales hidroeléctricas este costo suele fluctuar de 1 800 a 2 300 U.S. dólares americanos por kW instalado; mientras que para las pequeñas centrales ese valor es de 3 000 U.S. dólares americanos o más.

Según la Comisión Internacional de Energía, la distribución % de los costos de construcción de una mini central hidroeléctrica, está dentro de los siguientes rangos:

Tabla 5

*Distribución porcentual de costos de construcción de pequeñas centrales hidroeléctricas*

<b>Elementos</b>	<b>PCH (14 m, 1.5 MW)</b>
Trabajos de construcción y montaje	30 – 35 %
Equipo electromecánico	50 – 60 %
Estudios y diseño	10 – 15 %

Fuente: (Carcelen, 1985)

#### 1.1.4 Obras civiles

Carcelen (1985), señala que las obras civiles son: Trabajos de extracción directa: Extracción sin almacenamiento acuática, la regulación no funciona, por lo que el flujo a través del río debería ser casi constante en todo el año y mayor que la recepción de caudal, y el nivel del agua en el arroyo debe permanecer bastante constante. Este tipo de trabajo de admisión no significa mayores costos. Constan de un aliviadero y un pilar situado entre dos muros laterales. El montaje consistirá en un hueco rectangular o un hueco con varilla vertical en una de las paredes del ala. En el mismo margen se ha dejado una compuerta para drenaje de suelos y lavado de sedimentos gruesos. Después de la entrada, se creará un destripador para suprimir el sedimento grueso y una válvula de succión para controlar el flujo en la tubería.

Las obras civiles son conjunto de activos que prestan servicios para la satisfacción de necesidades de una nación, asociadas con la generación y provisión de energía, transporte, comunicación, recreación, etc. (Dane, 2021).

En general, toda obra se construirá con mampostería de piedra o concreto, pero se debe explorar la posibilidad de utilizar materiales no tradicionales como redes de gaviones o madera.

**Obras de Embalsamiento:** Son las obras con presas que obstruyen el cauce del río y forman un dique o embalse con dirección aguas arriba de la instalación. Esta reserva de agua regula el caudal del río y almacena agua durante las inundaciones para su uso durante la época seca. Las presas pueden construirse de hormigón, tierra, roca y pueden actuar por gravedad y como arco; en cualquier caso, son creaciones muy caras.

Por lo general, se deben evitar las represas de embalse porque son caras en relación con la cantidad limitada de energía que se puede generar. No obstante, en casos especiales relacionados con la admisión directa previa, se permitirán las siguientes opciones.

- Un azud (muro) alto sin o con compuerta en la parte superior (cresta) de la presa crea un pequeño embalse en la parte alta del río, que se puede utilizar para regular diariamente, si las condiciones técnicas son adecuadas.

- Presas de embalse para la regulación estacional del caudal cuando las condiciones del sitio (hidrología, morfología y geología) son muy favorables.

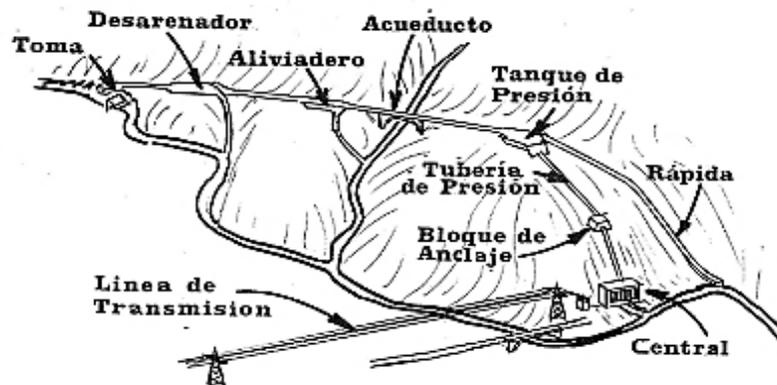


Figura 9. Aprovechamiento con Derivación

Fuente: (Carcelén,1985)

### 1.1.5 Sostenibilidad

De acuerdo al MINEM (1976), el potencial hidroeléctrico teórico de un país o región proporciona una medida de los recursos naturales de agua totales disponibles para la producción de energía. La cifra de Perú se estima en poco más de 200 000 MW. Una comparación con el potencial en teoría se rige por el término de potencial técnico utilizable o potencial práctico. Es una medida de los recursos que se pueden utilizar a través de mejoras existentes o potenciales dentro de las limitaciones técnicas y de costos apropiadas. Una forma especial de potencial tecnológico, denominada potencial económico, se considera realizable a corto o mediano plazo dentro de las limitaciones de la economía de un país.

El estudio económico sobre el desarrollo hidroeléctrico potencial requiere calcular los costos de las estructuras y el equipo necesario, así como la evaluación de parámetros operativos como la capacidad garantizada y la capacidad promedio. Dado el número de proyectos y alternativas de proyectos a evaluar, se utilizan curvas de costos generales para estimar los costos de capital de cada elemento del proyecto. Estas curvas se derivan del análisis de parámetros dimensionales y datos de precios recientes y están incluidas en el programa EVAL. El programa también realiza el dimensionamiento de elementos estándar utilizando valores generales estructurales e hidrológicos obtenidos durante la fase de identificación del proyecto, así como principios básicos de ingeniería. La influencia de las condiciones geológicas también se incluye en los costos de construcción, con base

en la clasificación numérica de las propiedades geofísicas de las formaciones en cada sitio, para ingeniería civil o tunelería.



Figura 10. Irrigaciones existentes y en construcción  
Fuente: (MINEM, 1976)

## 1.2 Antecedentes

Respecto de investigaciones realizadas a nivel mundial, nacional o local y que tengan que ver de una forma directa o indirecta con el presente trabajo, se ha podido ubicar las siguientes:

Dursun y Gokcol (2011), afirman que: Turquía es un país en rápido crecimiento con respecto a su economía y población y, por lo tanto, tiene una gran demanda de energía en continuo crecimiento. Turquía satisface principalmente su demanda de energía de fuentes de energía fósiles importadas. Sin embargo, aparte del petróleo y el gas natural, Turquía tiene casi todos los tipos de recursos energéticos y, por lo tanto, no tendría que satisfacer su demanda de energía mediante las importaciones. Además, Turquía tiene un potencial muy grande de energía hidráulica, pero hasta la fecha solo se puede utilizar un tercio de este potencial económico significativo. Esta relación parece insuficiente en comparación con la de los países europeos. Este documento detalla el diseño, el despliegue y la operación de un sistema de toma de fuerza para un convertidor de energía de onda (WEC) de columna de agua oscilante (OEC) en alta mar a escala 1: 4. Los prototipos de dispositivos de energía oceánica a esta escala presentan un conjunto único de desafíos, ya que la integración de motores y generadores principales generalmente comienza a tener lugar en esta etapa de desarrollo particular, que también puede representar el primer despliegue en el mar. La presencia de equipos eléctricos y maquinaria rotativa en el entorno fuera de tierra firme trae su propia ingeniería y dificultades operativas. Además, tales dispositivos generalmente no están conectados a la red, lo que requiere el desarrollo de equipos de control y conversión de energía personalizados. El documento describe las consideraciones de diseño, detalles de diseño, experiencias de implementación, experiencias operativas de dicho sistema y concluye con recomendaciones para futuros proyectos en el área.

Uhunmwangho *et al.* (2018), el estudio tiene los objetivos principales de examinar el rendimiento de varias mini turbinas hidráulicas para el arroyo Bumaji en el estado de Cross River. En este estudio se utilizó la información del río Bumaji obtenidos durante las temporadas de lluvia pico y magra del año y los potenciales de energía hidroeléctrica estimados del río. Las prestaciones, la viabilidad técnica y económica de las turbinas hidráulicas muestreadas también se llevaron a cabo utilizando el software “RETScreen Renewable”. El resultado del análisis muestra que la energía más barata fue generada por

una Turbina de flujo cruzado que entregó 0,67 MW a \$ 100,8 / MWh con una tasa interna de rendimiento del 20,4%, un valor presente neto de \$ 358 un tiempo de recuperación de inversión a menos 5 años y un ahorro anual de \$ 63 000. Sin embargo, la turbina Kaplan tenía más sentido técnico, ya que entrega 0,748MW a \$ 106,2 / MWh con una tasa interna de rendimiento del 19,3%, un valor presente neto de \$ 295, un tiempo de recuperación de 5 años además de un ahorro anual de \$ 52 000.

De Santoli *et al.* (2015), afirman lo siguiente: De acuerdo con las leyes de la Unión Europea (Directiva 2009/28 /CE, cita que para cada Estado un objetivo calculado de acuerdo con la proporción de energía generada de fuentes renovables en su consumo final bruto hasta 2020) y el marco regulador italiano (DM 15/03/12- Reparto de la carga, que define los objetivos regionales con respecto a las fuentes renovables), cada región italiana debe desarrollar su propio Plan Regional de Energía y Medio Ambiente (PEAR). Con el fin de promover la proliferación de fuentes de energía renovables (RES) y lograr un mejor uso de la eficiencia energética, PEARS debería proponer adoptar una estrategia de generación múltiple distribuida (DMG). La función principal de esta investigación es una evaluar preliminarmente del mini potencial hidroeléctrico y las perspectivas ( $P < 1$  MW) en las PEARS italianas. Mini hidro es una tecnología madura y desarrollada en Italia, y representa una valiosa oportunidad tanto para los territorios locales como para todo el sistema nacional. Además, gracias a su pequeño tamaño (baja inversión económica e impacto ambiental) y su versatilidad, tiene las características para un desarrollo a largo plazo con implicaciones industriales directas (es decir, cooperativa de energía y cadena de suministro corta). Específicamente, se analizaron las PEARS de cuatro Regiones, identificando la información diferente sobre mini hidro y comparando características y potencial. Los resultados obtenidos se resumen en un marco esquemático útil para elaborar una guía preliminar de PEARS que indica estrategias y políticas, armoniza las iniciativas públicas y privadas y estructura una economía a escala local a través de un mini DMG basado en hidroelectricidad. Concluyen: La originalidad de este trabajo consiste en haber desarrollado, a través de la comparación de diferentes PEARS, un marco preliminar multidimensional para el mini hidro a escala regional. A diferencia de la formulación y orientaciones de PEAR analizadas, el marco esquemático propone una estructura orgánica: a partir de diferentes variables, evalúa los potenciales, propone una hoja de ruta y define herramientas eficientes. En este sentido, las herramientas incluyen una actualización periódica de las directrices y una base de datos SIG para la inserción de

nuevas plantas. Este enfoque, que transfiere los principios de subsidiariedad y flexibilidad, es un acelerador para las comunidades locales y los inversores privados. Según las PEARS italianas, el siguiente paso de investigación será probar la metodología del marco esquemático. El objetivo será producir una herramienta de referencia para la evaluación de mini hidro definiendo políticas regionales estandarizadas.

Para Yüksel (2010), las fuentes renovables más importantes son la energía hidroeléctrica, biomasa, geotérmica, solar y eólica. El lugar geográfico de Turquía posee muchas ventajas en la utilización masiva de la mayoría de las fuentes de energía renovable. Recientemente, la electricidad ha aumentado significativamente la demanda; es el uso final de energía de más rápido crecimiento. Por lo tanto, las utilidades técnicas, económicos y de conservación, de la energía hidroeléctrica lo convierten en un importante contribuyente a la futura combinación energética mundial. En el mundo, particularmente en países en vía de desarrollo, los recursos de energías renovables pueden representar una de las soluciones más eficientes y efectivas para el desarrollo de energía sostenible en Turquía. Este documento aborda las políticas para satisfacer el aumento de la demanda de energía y electricidad para el desarrollo sostenible de la energía en Turquía. Turquía tiene un potencial hidroeléctrico bruto total de 433 GWh / año, pero solo 125 GWh / año del potencial hidroeléctrico total de Turquía se puede utilizar económicamente. Este documento examina los problemas a la larga y la causa entre el crecimiento económico, emisiones de gases, consumo de energía y la relación de empleo en Turquía mediante el uso de un enfoque de cointegración distribuido autorregresivo. Los resultados empíricos para Turquía durante el período 1968–2005 sugieren una evidencia de una relación a largo plazo entre las variables con un nivel de significación del 5% en Turquía. La elasticidad ingreso estimada de las emisiones de carbono per cápita es -0,606 y la flexibilidad ingreso del consumo per cápita es 1,375. Los resultados de la existencia y la dirección de la causalidad de Granger muestran que ni las emisiones de gases per cápita y tampoco el consumo energético per cápita causan el PIB real per cápita, pero la relación de empleo causa el PIB real per cápita a corto plazo. Además, la hipótesis EKC en el marco causal mediante el uso de un modelo logarítmico lineal no es válida en el caso turco. Los resultados generales indican que las políticas de conservación de energía, como el racionamiento del consumo energético y el control de las emisiones de dióxido de C, es probable que no tengan un efecto adverso en el crecimiento real de la producción de Turquía.

Para Defensoría del Pueblo (2010), caso 1: Poblado: Tamborapa, distrito: Tabaconas, provincia: Jaén, departamento: Cajamarca. La ciudad se había convertido en un imán para los inmigrantes debido a su ubicación y tenía buenas perspectivas económicas, pero su sistema eléctrico estaba al límite de su capacidad. La electricidad es suministrada por una pequeña planta hidroeléctrica de 40 kW, que ha sido administrada por un grupo de usuarios sin fines de lucro desde el año 2000. Entre 2000 y 2007, el número de hogares usuarios aumentó de 80 a 209, todos de áreas urbanas. Disponible las 24 horas del día, las decisiones sobre las empresas son tomadas por la reunión de usuarios; también existe un comité de protección al usuario. La tarifa de alta para nuevos usuarios está fijada en 100 soles y la tarifa de instalación de medidores está fijada en 150 soles. Sin subsidios, los usuarios pagan por lo que consumen. Todas las propiedades tienen sus propios medidores. Los talleres de producción pagan entre 17 y 23 soles mensuales y los hospedajes un promedio de 52 soles. Si algún usuario incurre en tres meses de mora, se le corta el servicio y para que se le vuelva a reponer deberá pagar 10 soles por este servicio de reconexión; pero en general, la morosidad es relativamente baja. En conjunto, la empresa recauda entre 2 500 y 3 000 soles al mes, de los cuales S/. 950 son para el pago del administrador y otros S/. 950 al pago del operador, lo demás es para gastos de mantenimiento de servicios y si hay saldo este se deposita en una cuenta bancaria. Respecto del servicio, hay consenso dentro de los usuarios que están satisfechos y que la electrificación como obra, le ha dado muchos beneficios.

Caso 2: Pueblo: Tabaconas, distrito: Tabaconas, provincia: Jaén, departamento: Cajamarca. Los usuarios de electricidad de este pueblo acceden al subsidio FOSE, pero no todos los residentes disfrutaban de este servicio. No se observó una gran dinámica en esta región, lo que nos permitió ver el crecimiento de la población. Los servicios de electricidad son proporcionados por ENSA, que operó una pequeña central hidroeléctrica en el 2000 con el apoyo de ITDG y el BID, inicialmente con 96 clientes. Pero en 2007 tenía 320 usuarios de la ciudad y fincas cercanas. La mayoría de los usuarios son residenciales, la criminalidad es casi nula, hay taxímetro y los cheques se entregan en la puerta. Si no paga durante dos meses, el servicio se cancelará y deberá pagar S/. 340 por el reemplazo. Los usuarios reciben un subsidio del FOSE ya que la mayoría consume entre 0 - 30 kWh al mes, por lo que pagan S/. 0,18 de sol por kWh. Sin embargo, la mayoría del público indicó que no estaba satisfecho con el servicio, ya que se dan constantes interrupciones, sobre todo, debido a sobrecargas.

Caso 3: Pueblo: Colasay, distrito: Colasay, provincia: Jaén, departamento: Cajamarca. La ciudad electrificación desde 2003, gracias a un proyecto elaborado y gestionado por el su municipio y presupuesto de su canon. Tiene un alcance de 580 usuarios en la ciudad y 220 en los pequeños pueblos cercanos: Altablón, Huanchama y Paraíso. De este total de usuarios, sólo 90 son contadores. Los usuarios domésticos pagan S/. 10 este monto cobrado sirve solo para cubrir los costos de operación del servicio, los costos de reposición y mantenimiento son cubiertos totalmente por su municipio. La pequeña central hidroeléctrica tiene una capacidad máxima de 85 kilovatios y actualmente está usando 75 kilovatios, por lo que pronto se quedará sin capacidad, sobre todo por los jóvenes que se han ido de la zona. Hay 64 caseríos sin luz, entonces la solución es conectarse al SEIN. Los municipios regionales desarrollan perfiles de proyectos de interconexión utilizables y los administran ante el MEM. Un problema importante del servicio actual es que hay apagones en centros poblados durante las sequías, lo que deriva en reclamos de algunos de los pobladores hacia la Municipalidad, aunque parte de la población sí entiende las limitaciones que tiene este sistema eléctrico.

Pajuelo (2007) luego de realizados los estudios correspondientes, con mucha minuciosidad, y definidos la demanda y el potencial energético existente en la zona, se concluyó que se podría construir una central hidroeléctrica de 360 kW de potencia. Adicionalmente se consideraron los sistemas de transmisión eléctrica y la subestación de salida. Con todo ello, se calculó y evaluó económicamente el presupuesto total del proyecto para entender su rentabilidad. En forma resumida los costos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6

*Resumen final de costos, pequeña central hidroeléctrica de Monzón, en US \$.*

<b>Ítem</b>	<b>Costo</b>
Central Hidroeléctrica	288 285
Subestación (Salida)	30 000
Línea de Transmisión	136 000
Ingeniería y Supervisión	45 715
<b>Total US \$</b>	<b>500 000</b>

Fuente: (Pajuelo, 2007)

Ese presupuesto sirvió para hacer un análisis económico y en base al resultado definir la conveniencia y/o rentabilidad del proyecto. Se realiza una evaluación financiera para encontrar el flujo de efectivo y usarlo para calcular el valor actual y la tasa interna de retorno. Este análisis se basa en una inversión de \$500 000 en cero años. Estos serían los gastos anuales totales y también un flujo de caja negativo. Contamos con una PCH de 360 kW que generará 3 153 600 kWh al año. El precio de venta de la energía del Bar Tingo María, el más cercano a la ciudad de Monzón, es de \$0,0332/kWh en horas pico (5 horas) y \$0,0259/kWh en horas valle (19 horas), dándonos un precio promedio de \$0,0274 /kWh. Este ratio se multiplica por la energía producida cada año para obtener ingresos por la venta de energía. Asimismo, la tarifa eléctrica en esta columna es de \$4,3354/kW para un mes multiplicado por los 360 kW producidos por PCH Monzón en los 12 meses del año para obtener el ingreso eléctrico anual. En gastos tenemos costos de operación - mantenimiento y aporte al COES. Los valores estándar para los gastos anuales de operación y mantenimiento son aproximadamente el 5% de la inversión y el 2,5% de los ingresos brutos como aporte al COES. Los ingresos totales más los costos totales son negativos, lo que da como resultado un flujo de ingresos y costos. Para este proceso, hemos calculado un VAN (Valor Actual Neto) del 12%, resultando en una TIR (Tasa Interna de Retorno) de más del 12%, lo que financieramente indica que el proyecto debe continuar.

Conislla (2003), concluye que: El pueblo de Huarmaca es la capital del distrito de Huarmaca, provincia de Huancabamba, departamento de Piura. Se encuentra a una altura promedio de 2000 m.s.n.m. en el curso alto del río Piura. La zona es accesible desde las ciudades de Chiclayo o Piura, siendo esta última ruta un poco más larga. Desde la ciudad de Chiclayo se accede a la zona de Huarmaca por una carretera asfaltada de 175 km hasta Hualapampa y luego por una carretera asfaltada de 47 km hasta Huarmaca; en general, esta última parte está muy degradada. La minicentral hidroeléctrica Huarmaca consta de

dos grupos de 75 kW cada uno. El caudal total considerado en el proyecto es de 0,125 m<sup>3</sup>/s. la altura neta de caída es de 147 m. Las turbinas son turbinas Pelton con una potencia nominal de 81 kW cada una y una velocidad de rotación de 1200 rpm. El proyecto también incluye la implantación de dos tipos de líneas primarias de 22,9/13,2 kV: trifásicas de 8,9 km de longitud y monofásicas de 9,4 km de longitud. El sistema eléctrico atiende a varios lugares, a saber: Tunas, La Playa Ramón Castilla, Hualangapampa, Tolingas, Rosas, Corralpampa, Trigopampa, Progreso y Huarmaca. Se realiza una evaluación económica del periodo de planificación de 20 años y se han alcanzado los siguientes indicadores:

Privados	VAN = S/. - 2 973 647	TIR = - 1,58 %
Sociales	VAN = S/. - 304 179	TIR = 12,7 %

Las observaciones muestran que el proyecto no es económicamente viable desde el punto de vista privado. Dado que el valor neto social actual es negativo, este proyecto tampoco es aceptable, no tiene beneficios sociales. Es bien sabido que los programas sociales no necesitan ser económicamente viables para ser sostenibles en el tiempo. Sin embargo, los proyectos sostenibles deben generar los ingresos necesarios para cubrir los costos de inversión, operativos y de gestión para garantizar su sostenibilidad a largo plazo. Adinelsa S.A., Empresa de Administración de Infraestructura Eléctrica, es una empresa estatal de derecho privado para administrar proyectos de electrificación construidos en áreas rurales y remotas, a menudo con los niveles más altos de pobreza, para cubrir sus costos operativos. Países beneficiarios Las empresas realizan obras y trabajos que no han sido aceptados por otros organismos encargados de su operación y mantenimiento. De hecho, Adinelsa absorbió el impacto financiero negativo del proyecto no rentable. Es Adinelsa quien se encarga de administrar el proyecto hidroeléctrico Huarmaca y el pequeño sistema eléctrico asociado. Se sabe que la empresa cuenta con los recursos necesarios para gestionar el proyecto, pero los resultados de la gestión no fueron alentadores. Las tasas de incumplimiento existentes y las tarifas por debajo del valor real son perjudiciales para la sostenibilidad a largo plazo del proyecto.

La generación de energía en este tipo de instalaciones es normalmente relegada a las necesidades y características específicas del proceso principal, lo que supone una oportunidad de estudio sumamente interesante (Martínez, 2015).

Hay varias soluciones posibles a los problemas que han asolado a nuestra nación durante muchos años, pero solo son correctivas o tal vez temporales, y muchas de ellas involucran

el uso de energía de combustibles fósiles y estiércol para satisfacer la demanda. Si bien muchas de estas soluciones fueron relativamente efectivas, rápidamente se volvieron insuficientes y las personas volvieron a caer en el mismo vacío legal del que estaban tratando de deshacerse en primer lugar. Ante esta problemática, este trabajo propone el uso de fuentes de energía renovables para la generación de energía, a saber, las pequeñas hidroeléctricas (PCH), considerando el potencial hídrico de la zona. El Perú sólo ha venido utilizando el 5% de su potencial hídrico, el cual solo elevándolo al 25% se podría llegar a los 5 millones de MWH mensuales en promedio, es por tal razón que varios planes para la elaboración de grandes centrales hidroeléctricas se han venido desarrollando desde los años 70, sin embargo por motivos socioeconómicos y políticos, estos se han dejado en stand by, relegando al país a un atraso en lo que a producción de energía se refiere (Canchaya y Chero, 2014).

González (2021), estudia los procesos de gestión ambiental de las grandes centrales hidroeléctricas en operación del país en el marco de los requerimientos de la normatividad y los retos de sostenibilidad que enfrenta el sector globalmente. Para esta primera etapa del estudio se identifican aspectos esenciales para analizar el proceso de gestión ambiental de la central hidroeléctrica. En estos puntos se incluye lo relacionado al uso y procesamiento de partes básicas, así como lo concerniente al contexto socioeconómico. Aquí, las regulaciones del Departamento de Protección Ambiental se comparan con lo que muestra la investigación académica internacional. A esto le sigue una revisión detallada de la documentación de los informes de gestión de centrales hidroeléctricas a las autoridades ambientales, en particular para la información proporcionada en 2019. Esta información es revisada, recopilada y configurada de acuerdo con los aspectos relevantes identificados anteriormente. Finalmente, se identifican las brechas y los puntos de convergencia entre los procesos de gestión ambiental informados de la energía hidroeléctrica y los desafíos de sostenibilidad global de la industria.

En general, la academia monitorea gran parte de los procesos sociales durante la edificación y operatividad de la central. Así mismo, otro enfoque relevante ha sido el relacionado con los derechos humanos donde se analizan los mecanismos de protección de derechos humanos, fundamentales y colectivos frente a los proyectos hidroeléctricos en Colombia (Gómez *et al.*, 2019).

De manera complementaria, el estudio de impactos sociales y ambientales de la

Defensoría del Pueblo en 2017 enfatiza la afectación de los derechos derivada de la generación hidroeléctrica en Colombia identificando elementos que permiten adoptar acciones para mejorar el relacionamiento en los procesos de construcción y generación de energía eléctrica en el país, todo esto con el fin de garantizar los derechos de las comunidades del área de influencia de los proyectos y disminuir la conflictividad social y ambiental (Defensoría del Pueblo, 2017).

Ávila (2020), contribuye a la investigación de optimizar la generación eléctrica a mínimo costo y conservar la calidad ambiental, realizado para el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) mediante el método de máximo arrepentimiento y la metodología del IPCC para el periodo 2015-2030. Encontró que la demanda de energía aumentó de 42 452,8 GWh en 2015 a 100 003,5 GWh en 2030 en el escenario optimista, 84 383,8 GWh en el escenario medio y 74 257,6 GWh en el escenario pesimista. En dólares, el escenario optimista es de 16 096,54 millones, el intermedio de 15 866,97 millones y el pesimista de 14 000,87 millones. Los costos incrementales son \$111,5/MWh para el escenario optimista, \$136,22/MWh para el escenario promedio y \$144,15/MWh para el escenario pesimista.

Casas (2003), sostiene que durante los primeros 90 años de generación de electricidad, transmisión, distribución y consumo, el mercado eléctrico ha funcionado como un monopolio natural debido a las economías de escala y considerando que las dos terceras partes de la inversión económica total del sistema corresponde a la generación, sin embargo por la innovación de considerar planta pequeñas, se decidió construir este tipo de plantas produciéndose la desintegración vertical de la industria eléctrica, pasando a un mercado de competencia que llevó a muchos cambios en los sistemas eléctricos separándose en diferentes actores para la generación, la transmisión, la distribución y la comercialización. Teniendo en cuenta la separación vertical de la industria eléctrica, se debe analizar el costo-beneficio entre las empresas integradoras y las empresas desmanteladoras por segmentos, los cuales deben estar organizados de acuerdo a las reglas del mercado, ya que los sistemas eléctricos deben estar integrados con los submercados (generación, transmisión, distribución, comercialización), pero sin perder su función objetiva de prestación de servicios a los usuarios.

Fuentes (2002), expone respecto a la evolución de la planificación eléctrica indicando que hasta la primera década del siglo XXI ha pasado por cuatro etapas bien marcadas y ha

dependido de las características del sistema eléctrico por ser un sistema dinámico, con imposibilidad de almacenar energía eléctrica y por consiguiente se debe cumplir permanentemente el equilibrio entre la potencia generada y la potencia demandada, de lo contrario se produce inestabilidad conllevando a situaciones graves como dejar de suministrar electricidad a los clientes usuarios. Se necesita mantener un equilibrio de manera óptima obliga a la empresa o entidad encargada tener garantía del servicio a realizar una planificación previa de tal manera que sea posible garantizar el servicio eléctrico a los clientes. Históricamente se han reconocido etapas bien diferenciadas, a saber: entorno estable regulado, entorno inestable regulado, entorno competitivo regulado y entorno competitivo liberalizado.

Serrano (2017), indica que el consumo de energía eléctrica es un indicador de progreso y bienestar de una sociedad, sin embargo el precio de la energía eléctrica se incrementa constantemente, la variación de la densidad demográfica y estilo de vida de la población hace que las necesidades de electricidad se modifiquen también de modo constante. Además, existen varias fuentes de energía diferentes que se pueden utilizar para generar electricidad, incluidos el petróleo, el gas natural, el carbón, generación nuclear y las llamadas fuentes de energía renovable. Las fuentes de energía agotables son limitadas y las fuentes de energía renovables dependen de un clima cambiante. Por ello, se ha planteado el problema de cómo dotar a la población de energía y desarrollo tecnológico ahora y en el futuro, teniendo en cuenta la cantidad y producción de contaminantes emitidos. Un aumento constante de los gases de efecto invernadero que afectan a los recursos renovables.

En la actualidad, la energía hidroeléctrica es la fuente energética renovable principal en la generación de electricidad, representando el 16,4% del total mundial y representando el 71% de la energía producida a partir de fuentes renovables. En la actualidad, en Sudamérica nuestro país ocupa el puesto 2 con más plantas hidroeléctricas (CCHH) en operación, construcción o almacenamiento. Asimismo, el último reporte del año 2016 presentado por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) refleja la dependencia de la energía hidroeléctrica con una significatividad del 48% de la potencia instalada a nivel nacional. El proyecto del IKI, financiado por ONU Medio Ambiente, incluye dentro sus actividades la Actividad 8, que se basa en la elaboración y validación de inventarios de ciclo de vida de procesos unitarios para CCHH en el Perú (Verán y Vázquez, 2017).

Osorio (2018), tomando el caso de la hidroeléctrica “El Quimbo” para desarrollar un análisis de los inconvenientes que se generaron a raíz de la ejecución de este proyecto en las comunidades que habitan la zona de influencia donde se construyó el proyecto y asimismo los efectos medioambientales que se causaron. los recursos de la naturaleza y medio ambiente, es una problemática que en los últimos años la mayoría de las naciones intenta solucionar, al grado que está afectando negativamente al planeta debido a la contaminación intensiva que existe actualmente. Por lo tanto, Colombia no es una excepción en este caso, ya que en los últimos años muchas decisiones judiciales han detenido proyectos de índole minera.

Inostroza (2015), tuvo como objetivo general determinar los niveles de contaminación ambiental en la central hidroeléctrica de María Jiray que influyen en el deterioro del medio ambiente en el año 2005, y se ha realizado para identificar y evaluar los diversos impactos ambientales que se generan en las centrales hidroeléctricas que influyen en el deterioro ambiental y de esta manera emitir las políticas que permitan disminuir y eliminar la contaminación generada en la producción de energía eléctrica a partir del recurso hídrico. Se analiza muchos datos en esta investigación, se monitoreó la salida de líquido en la cámara (carga) y también en la descarga (canal). También se monitorizo el ruido en la fuente de producción (sala de máquinas) y monitoreo de ruido ambiental (fuera de la sala de máquinas), todos en la planta hidroeléctrica.

Existe una relación muy estrecha entre el agua y el medio ambiente por un lado; por otro, ambos con elementos opuestos. Para proteger a la población, no solo para mejorar sino también para mantener su nivel de vida, es necesaria la ingeniería del agua, especialmente la producción a gran escala de energía limpia y barata, que se sabe que perturba el equilibrio ecológico y es muy sensible. En general, se sataniza la construcción de “grandes represas”, lo que no siempre es cierto, sin contar que los países con mayor calidad ambiental utilizan este recurso para generar electricidad. En un futuro cercano, tanto los proyectos hidráulicos grandes como los pequeños necesitarán estimular serios estudios cuantitativos de impacto ambiental y así apoyar las discusiones sobre temas ambientales con cálculos concretos. Por ello, ante los dramáticos cambios que se producen en los campos tecnológico, económico y social en el mundo, resulta necesario introducir alteraciones conceptuales en la formación de los ingenieros, incorporando desde el inicio los factores ambientales como elementos indispensables a tener en cuenta en cada obra de infraestructura propuesta para el desarrollo social (Lopardo, 2018).

## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 2.1 Identificación del problema

Durante las décadas de los 80 y 90 del pasado siglo veinte, se construyeron varias minicentrales hidroeléctricas en diversos poblados del norte del departamento de Puno, básicamente en las provincias de Carabaya y Sandia; ello debido a que se trataban de localidades relativamente aisladas y que los escasos sistemas eléctricos existentes en ese entonces, estaban aún muy lejanos a estos lugares. Pero es el caso que, varias de estas minicentrales no llegaron a operar por un período suficientemente largo como para justificar la inversión, esta deficiencia se agrava sobre todo porque su construcción fue financiada en la mayoría de casos con préstamos que se hicieron los municipios distritales correspondientes, es decir, varios de estos proyectos no mostraron la sostenibilidad del caso. (Una central hidroeléctrica puede llegar a prestar servicios incluso hasta por más de 50 años si es se le opera y mantiene adecuadamente), y en el caso de las minicentrales que se aluden en este proyecto de tesis, algunas no habrían llegado ni a los 10 años efectivos de servicio.

#### 2.2 Enunciado del problema

##### 2.2.1 Enunciado general

¿En qué situación se hallan las minicentrales hidroeléctricas que fueron construidas en las dos últimas décadas del pasado siglo XX dentro del ámbito del departamento de Puno, provincia de Carabaya?

### **2.2.2 Enunciados específicos**

- ¿En qué estado se encuentran las obras civiles y equipamiento electromecánico que forman parte de cada una de las cinco minicentrales seleccionadas?
- ¿Conocido el historial de servicios de cada una de estas minicentrales, es factible deducir la sostenibilidad mediante la rentabilidad de minicentrales?

### **2.3 Justificación**

Construir una central hidroeléctrica requiere de un esfuerzo y una inversión que por lo general no son pequeños. Por lo tanto, se debe llegar a claras conclusiones acerca de por qué algunas de estas centrales ya no operan o a qué se debió que operaron por poco tiempo. Hubo un dinero de por medio que se invirtió, muchas veces prestado, y se necesita definir si dicha inversión constituyó una acción positiva o negativa. En lo que respecta a nuestro ámbito departamental, no se conoce de algún estudio que haya abarcado este importante tema.

### **2.4 Objetivos**

#### **2.4.1 Objetivo general**

Determinar la situación de las minicentrales hidroeléctricas de las dos últimas décadas del departamento de Puno, provincia de Carabaya, en base a sostenibilidad mediante su rentabilidad.

#### **2.4.2 Objetivos específicos**

- Determinar el estado de funcionamiento de obras civiles y equipamiento electromecánico de las cinco minicentrales hidroeléctricas.
- Determinar la sostenibilidad de minicentrales hidroeléctricas mediante su rentabilidad.

### **2.5 Hipótesis**

#### **2.5.1 Hipótesis general**

Existen varias minicentrales hidroeléctricas en la provincia de Carabaya, del



departamento de Puno que fueron construidas durante los últimos 20 años del pasado siglo XX y que se hallan en buenas condiciones: operando y generando energía, no están prestando servicio, o que pudieran estar operativas en calidad de reserva.

### **2.5.2 Hipótesis específicas**

- El funcionamiento de las minicentrales hidroeléctricas en obras civiles y equipamiento electromecánico, se hallan, en buenas condiciones operando, no están en servicio o se hallan fuera de servicio en condición de reserva.
- Se comprueba la sostenibilidad de minicentrales hidroeléctricas mediante su rentabilidad.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Lugar de estudio

Este trabajo de investigación se desarrolló en el departamento de Puno, provincia de Carabaya, distritos de Ollachea, San Gabán, Macusani y Ayapata.

Es sabido que también hay otras minicentrales hidroeléctricas en situaciones parecidas en los distritos de Limbani, Phara, Cuyo Cuyo, Sandia, Yanahuaya de la provincia de Sandia. Estos casos no serán tomados en cuenta básicamente por razones de tiempo y costo.

#### 3.2 Población

Minicentrales hidroeléctricas en: la provincia de Carabaya, departamento de Puno. Se ha hecho una selección de cinco minicentrales, ubicadas en el ámbito de cuatro distritos de la provincia de Carabaya y que son: Minicentral Ollachea I; Minicentral Ollachea II; Minicentral San Gabán; Minicentral Tocca – Macusani; Minicentral Ayapata.

#### 3.3 Muestra

Minicentrales hidroeléctricas de Ollachea (dos), San Gabán, Macusani y Ayapata ubicados en Carabaya.

#### 3.4 Método de investigación

El método usado para este trabajo de investigación, es de tipo descriptivo.

### **3.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos**

Se trató de averiguar la real situación de cada una de las 5 minicentrales hidroeléctricas elegidas. Para ello, hubo que concurrir a cada uno de los emplazamientos correspondientes, se efectuó una inspección relativamente minuciosa acerca del estado en que se hallaban el equipamiento electromecánico y las obras civiles de cada central.

Y en cada una de las localidades que hacen o hicieron uso del servicio eléctrico, se hicieron las averiguaciones correspondientes relacionadas con el desempeño que tiene o que tuvo la minicentral del pueblo y la calidad del servicio que brinda o que brindó. Para esto último, hubo que conversar con las autoridades locales, actuales y pasadas; con técnicos operadores y con vecinos mayores de edad. Se pretendió revisar también la documentación alusiva a cada caso.

#### **3.5.1 Técnicas de recolección de datos**

Se han empleado las siguientes técnicas:

##### **a) Internet**

Este medio fue consultado en gran medida ya que hoy en día es una de las fuentes más ricas para obtener información, sobre todo en lo que concierne a los antecedentes de estudios similares dentro del Perú y también en otros países y además para el resto de información referida al Marco Teórico.

##### **b) Análisis Documental**

Mediante esta técnica se pretendía recopilar datos e información necesarios para apoyar al presente estudio en lo que a costos y fechas exactas de construcción y otros datos. Sin embargo, en cuatro de los cinco casos concretos, no se halló documentación alguna alusiva a las minicentrales y es que, cada vez que hubo cambio de local municipal, dejando un local vetusto por uno nuevo, una gran parte de la documentación se desechó por ya no considerársele importante.

Sólo en el caso de la minicentral Ayapata existe algo de documentación referida al financiamiento; sin embargo, tampoco se pudo tener acceso a ella por tratarse de un PROYECTO PRIVADO.

### **c) Observación**

Luego de concurrir a los lugares respectivos donde están emplazadas las minicentrales, se realizó una inspección bastante minuciosa acerca del estado en que se encuentra el equipamiento de la central, se anotaron los datos más importantes que figuran en las placas de los equipos, y también se recorrió y verificó la parte civil de la obra. Se tomaron fotografías en una cantidad suficiente y se efectuaron las mediciones más importantes con los instrumentos adecuados a cada magnitud.

### **d) Entrevista**

Para obtener información, lo más fidedigna posible, se hizo una corta entrevista a las autoridades locales actuales y pasadas; a técnicos del área eléctrica en tres de los casos (en los otros dos casos, ya no había técnico alguno) y a pobladores importantes de la localidad con un buen o regular conocimiento de lo que fue y lo que es el servicio de electricidad en el pueblo.

## **3.5.2 Instrumentos**

### **a) Inspecciones**

Visita de tres o más días a cada pueblo incluido en el estudio, chequeo minucioso en la casa de máquinas y también las obras civiles de cada minicentral.

### **b) Mediciones**

Ubicación de la minicentral respecto del pueblo al que presta servicio, coordenadas geográficas de la plaza del pueblo, tamaño y coordenadas en casa de máquinas, tamaño de tubería a presión, etc.

### **c) Fotografías**

De los componentes principales de la minicentral, que muestren de modo inequívoco su actual situación. Fotos del pueblo al que presta servicio.

### **d) Entrevistas**

A fin de establecer un contacto directo con el personal relacionado de modo directo o indirecto con el proyecto: Autoridades locales, técnicos y personas



mayores que supieran del tema servicio eléctrico.

**e) Personal**

El maestrante propulsor de la presente investigación, Ing. Mecánico electricista LEONEL MARINO CASTILLO ENRÍQUEZ, con la ayuda de un técnico electricista de su entera confianza, fueron quienes ejecutaron las diversas tareas de investigación en el campo a fin de concretar este trabajo.

Se debe anotar que el propulsor de esta investigación es un amplio conocedor de las poblaciones involucradas, a las que llegó en diversas ocasiones por motivos laborales y también por recreación, mucho tiempo antes de emprender esta investigación detallada.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Resultados

En el siguiente contenido de investigación, se muestra una descripción de lo que se halló -y de las condiciones en que se encontraba- en cada una de las cinco minicentrales hidroeléctricas seleccionadas y visitadas dentro del ámbito de la Provincia de Carabaya del Departamento de Puno.

##### 4.1.1 Minicentral Ollachea I, 75 kW, 1984

###### a) Ubicación de la minicentral:

La casa de máquinas de esta minicentral está a 550 metros al oeste de la Plaza de Armas del Pueblo de Ollachea.

Las coordenadas UTM de esta casa son:

- 13,794658
- 70,478448

Altitud: 2 773 m.s.n.m.

###### b) Población beneficiada

La energía eléctrica producida por esta minicentral fue utilizada exclusivamente por los habitantes del pueblo de Ollachea, capital del distrito del mismo nombre, ya que solo ahí se contaba con redes de distribución.

Se tienen los siguientes datos referidos al pueblo de Ollachea:

Ubicación: Coordenadas UTM:

- 13,794024

- 70, 472196

Coordenadas Geográficas 13°45'00"

70°32'00"

Altitud: 2 725 m.s.n.m.

Distancia: 303 Km norte de Puno ciudad, en el Km. 233 del tramo IV de la carretera interoceánica.

Población estimada:

En 1984: 1 322 habitantes

En 1999: 1 875 habitantes

### **c) Descripción de la Minicentral**

Construida en 1984, de 75 kW de potencia instalada, constaba de una captación de agua en el río Chillichaca, el mismo que discurre por el lado oeste del pueblo de Ollachea.

Integraba también esta minicentral un canal de concreto que se desplaza por el lado derecho del río Chillichaca, a faldas de un cerro, que tiene una longitud de 273 metros, el cual se halla en regular estado de conservación.

La tubería de presión, estaba confeccionada de planchas de acero roladas y soldadas, tenía un diámetro nominal de 16". Se halla en su ubicación original pero en muy malas condiciones ya que tiene 19 años de abandono.

La casa de máquinas, suficientemente amplia, construida en ladrillo y que se halla en buenas condiciones, mide 12 m x 5,10 m, e incluye una pequeña habitación que era el dormitorio de los dos operadores y dentro de la cual a su vez existe un servicio higiénico completo.

En cuanto al equipamiento electromecánico, está todavía allí la turbina tipo Francis conectada a su generador trifásico marca ALGESA, de 75 kW, 93,75 kVA, 220 V. Este conjunto fue fabricado en 1984 y se halla en aparentes buenas condiciones.

Ahí está también el transformador trifásico de 80 kVA, 220 / 2 300V, marca Brown Boveri y en buenas condiciones. También se encuentra el tablero de control con sus respectivos interruptores.

En cuanto a la línea trifásica de media tensión, en 2 300 V, solo está el poste de arranque de la misma. Esta línea transportaba la energía hasta una subestación ubicada en la parte central del pueblo.

#### **d) Desempeño de la minicentral Ollachea I**

Durante los 15 años que operó esta minicentral tuvo un buen desempeño técnico. Su diseño fue bastante simple, en gran parte por los recursos de agua existentes y la muy adecuada geografía del lugar. El cerro en el que se hicieron las obras, es bastante sólido, muy estable, con poco material suelto.

Sin embargo, no se aprovechó en lo suficiente el potencial de generación existente en el lugar y se construyó una central relativamente pequeña; la casa de máquinas pudo construirse más abajo con lo que se hubiera logrado mayor caída y también se pudo aprovechar un mayor caudal ya que había disponibilidad de agua para ello, aunque hay que señalar también que el monto a invertir hubiera sido mayor.

Precisamente, al crecer la población y con ello la demanda de electricidad por parte del pueblo de Ollachea, a los 10 años se llegó al tope de su capacidad y cinco años después, en 1998, se ejecutó la minicentral Ollachea II duplicando la potencia instalada y aprovechando parte de la obra civil que conformó la primera minicentral, Ollachea I.

En lo que respecta a la parte económica, la municipalidad distrital de Ollachea, propietaria y operadora de la minicentral, nunca tuvo como objetivo lograr ingresos económicos extras con la operación de este proyecto; por el contrario, siempre subsidió con parte de los gastos de operación. En este sentido, se

conformaban con que lo cobrado a los usuarios del servicio eléctrico alcanzara para cubrir el sueldo de uno de los dos operadores de la minicentral. El resto de gastos corrió por cuenta de la municipalidad distrital de Ollachea.

Puede concluirse que, la construcción y operación de esta minicentral estuvieron justificados, ya que el recurso agua no falta allí y la geografía del lugar es muy aparente para este tipo de construcciones.

Por otro lado, ya no existe documentación referida a la construcción y operación de estas instalaciones. Todos los datos aquí descritos se obtuvieron en el pueblo y fue suministrada por personas de la tercera edad que aún radican allí además del señor alcalde y personal de la oficina de patrimonio de la Municipalidad de Ollachea.

Las fotografías que muestran el estado en el que se encuentra esta minicentral, se hallan en el anexo 1.

#### **4.1.2 Minicentral Ollachea II, 150 kW, 1998**

##### **a) Ubicación de la minicentral:**

La casa de máquinas de esta minicentral se ubica a 440 metros al oeste de la plaza de armas del Pueblo de Ollachea y a 100 metros al E-NE de la minicentral Ollachea I.

Las coordenadas UTM de esta casa son:

- 13,794194

- 70,477385

Altitud: 2 745 m.s.n.m.

##### **b) Población beneficiada**

Fueron exclusivamente los habitantes de Ollachea, capital del distrito mencionado.

Debe resaltarse que el número de habitantes de este pueblo creció de forma rápida durante el periodo 1996 a 1999, ello debido a importante cantidad de personas que

arribaron a esta localidad y también a otras localidades cercanas para participar de modo directo o indirecto en la edificación de la Planta Hidroeléctrica San Gabán II, cuyas obras se iniciaron 15 kilómetros más abajo, al norte de Ollachea, y se extendieron hasta 10 kilómetros más allá.

Al empezarse la construcción de la minicentral Ollachea II (1999), esta localidad tenía una población estimada total de 1 875 habitantes entre naturales y foráneos.

### **c) Descripción de la Minicentral**

La captación hídrica en el río Chillichaca y el canal de derivación en concreto correspondientes a la minicentral Ollachea I, fueron utilizados también para esta minicentral, aunque el canal original sufrió dos modificaciones: se extendió su largo en 37 metros adicionales y se elevaron sus paredes laterales a fin de aumentar su capacidad de conducción de agua en 40%.

La casa de máquinas de Ollachea II está ubicada en una cota claramente inferior (en 28 metros), a la cota de Ollachea I con lo que se consiguió una caída bruta mayor y también mayor potencia efectiva.

Al final del tramo nuevo del canal de concreto se construyeron también otro desarenador y otra cámara de carga. Ver fotografías en el anexo 2.

La tubería de presión para esta minicentral fue confeccionada de planchas de acero roladas y soldadas, de 19” de diámetro y de 136 metros de longitud total.

Con la llegada de las líneas de media tensión que forman parte del sistema interconectado (año 2000) y que traían la energía generada en la central hidroeléctrica San Gabán II, esta minicentral dejó de funcionar y luego, algunos tramos de la tubería de presión fueron desmontados y acomodados a los costados a fin de dar paso a la carretera de acceso hacia las minas de oro existentes en el suroeste del distrito de Ollachea.

La nueva casa de máquinas fue bastante amplia. Construida en ladrillo y con techo de calamina, tenía un área de 9,10 x 8,50 metros, incluía un almacén para insumos y herramientas, un dormitorio con 2 camas para los operarios y un servicio higiénico completo. Esta construcción se halla en buenas condiciones y solo requiere limpieza.

En cuanto al equipamiento electromecánico, incluía una turbina hidráulica tipo Francis y un generador trifásico marca ALGESA de 150 kW. En la inspección realizada a fines de abril del 2019, pudimos comprobar que el generador ha sido objeto de hurto de algunos de sus componentes, por lo que no podría ponerse en servicio. Lo mismo ocurrió con el regulador de velocidad. El transformador trifásico marca ELKO, de 250 kVA, 400/22900 V, sí está en buenas condiciones.

Al tablero de control, le han sustraído también algunos de sus interruptores y otros componentes.

#### **d) Desempeño de la minicentral**

No se puede negar que hubo una buena intención de parte del municipio distrital en 1998 para ejecutar la construcción de esta minicentral ya que la anterior quedó muy pequeña por el crecimiento de la población neta del pueblo, lo que se agravó por el arribo de una gran cantidad de personas que participaron en la construcción de la gran central San Gabán II desde 1996 hasta 1999.

Es más, la insuficiencia de la minicentral Ollachea I obligó a varios negocios del pueblo a utilizar temporalmente pequeños grupos electrógenos impulsados a petróleo.

Luego de algo más de un año de servicio, esta minicentral falló en su generador, debido a que, por inadecuados actos de operación, fue sometido a sobrecargas y el devanado se quemó, requiriendo la reparación respectiva, lo que dejó sin servicio al pueblo por algunas semanas.

Para el año 2000, se tendió la línea primaria que trajo hasta Ollachea energía generada en la central San Gabán II, por lo que la minicentral ya no era indispensable y dejó de utilizarse.

En resumen, el periodo de operación de esta minicentral apenas fue de 2 años; por lo que tenemos que concluir que su construcción no se habría justificado del todo.

### 4.1.3 Minicentral Hidroeléctrica San Gabán, 75 kW, 1994

#### a) Ubicación de la minicentral:

La casa de máquinas de esta minicentral ubicada a 560 metros al sur de la Plaza de Armas del Pueblo de San Gabán, en medio de una zona llena de árboles y de otro tipo de vegetación, y a unos 50 metros de distancia del margen izquierdo del río San Gabán.

Las coordenadas UTM de esta casa son:

- 13,444139
- 70,402142

Altitud: 790 m.s.n.m.

#### b) Población beneficiada

La energía eléctrica producida por esta minicentral fue utilizada de manera exclusiva por los habitantes del pueblo de San Gabán, capital del distrito del mismo nombre.

Respecto al pueblo de San Gabán, se tiene la siguiente información:Ubicación:

Coordenadas UTM:

- 13,438597
- 70,402431

Coordenadas Geográficas:

13°27'50"

70°27'50"

Altitud: 820 m.s.n.m.

Distancia: 357 Km (norte Puno ciudad), en el Km. 287 del tramo IV de la carretera interoceánica, todo asfaltado.

Población estimada:

En 1994: 925 habitantes

En 1996: 952 habitantes

### **c) Descripción de la Minicentral**

En el año de 1994 (¡hace 25 años!), el señor alcalde de ese entonces junto a su consejo municipal, tuvieron la idea y la iniciativa de construir una minicentral hidroeléctrica a fin de que el pueblo de San Gabán contara con el servicio de energía eléctrica, que hasta ese entonces no tenían.

Es así que adquirieron equipos de segundo uso para el equipamiento electromecánico y con la dirección de un técnico, supuestamente entendido en la materia, efectuaron la edificación de las obras civiles y montaje de equipos.

La minicentral constaba de una rústica bocatoma edificada con piedras sueltas sobre el río Loromayo que discurre por el lado oeste del pueblo de San Gabán y con esa bocatoma, las aguas en un caudal adecuado eran desviadas por un rústico canal de 450 metros rumbo al este, llegando hasta la carretera interoceánica. Actualmente, cruza por debajo de ella mediante dos tuberías de concreto, paralelas, de 24" de diámetro cada una y de 24 metros de extensión y el agua es utilizada para riego de diversos cultivos. Habría que aclarar que antes de que esta carretera fuera asfaltada, el agua pasaba por encima de la superficie de la carretera mediante un badén. Pasada la carretera, existió un canal construido íntegramente de concreto, de unos 370 metros de largo y que llegaba hasta el desarenador y la cámara de carga de la minicentral. Ese canal ha sido totalmente cubierto de piedras y tierra y en la práctica, ya no existe. Ver fotografías en el anexo 3.

A continuación, venía la tubería de presión, fabricada de planchas de acero roladas y soldadas, de 16" de diámetro. Un tramo de esta tubería descansaba sobre una viga inclinada de concreto.

La turbina y el generador eléctrico fueron traídos luego de prestar servicio en otra central. La turbina es de tipo Francis, de 75 kW de potencia nominal, marca VRM.

La casa de máquinas construida en ladrillo y con techo de calamina fue

exageradamente estrecha, apenas pudo dar cabida al equipamiento electromecánico y jamás dio comodidad alguna al operador, no se consideró vivienda ni servicios higiénicos para esta persona, su vivienda quedaba a cuadras de distancia de la central; tampoco existió una escalera que facilitara el acceso desde el desarenador y cámara de carga hasta la casa de máquinas, solo hubo un rústico camino de herradura en bajada que se tornaba muy peligroso cuando estaba mojado, o sea cuando llovía, lo cual es bastante frecuente en esa zona de selva alta.

A finales del año 2017 y luego de casi 20 años de abandono, un derrumbe ocurrido en la zona que circunda a la casa de máquinas la sepultó casi por completo. El desarenador y la cámara de carga se vinieron abajo junto con el material del cerro que los sostenía y también se derrumbó la subestación elevadora biposte; el rústico camino de herradura que se utilizaba para poder bajar y así acceder hasta la casa de máquinas, también desapareció. El desastre es total. Ver fotografías en el anexo 3.

#### **d) Desempeño de la minicentral**

Se hicieron intentos iniciales para distribuir la energía eléctrica producida en la minicentral directamente por redes de baja tensión, pero dada su gran longitud, la caída de tensión fue muy alta y el servicio fue muy malo; por lo tanto, estos intentos duraron poco.

A fin de mejorar el servicio, la nueva gestión municipal del distrito adquirió dos transformadores de 100 kVA en 1996 e implementó las correspondientes subestaciones tipo biposte: la elevadora, a un costado de la minicentral y la de distribución en la parte céntrica de la avenida principal del pueblo la cual es además la carretera interoceánica; además construyó la línea trifásica de media tensión que las unía y que tenía 900 metros de extensión. Con ello la calidad del servicio mejoró notoriamente, pero luego, al cabo de algunos meses, la capacidad de esta minicentral resultó insuficiente y ya no satisfacía la demanda de la población; además, muchos usuarios se resistían a pagar la tarifa acordada por el servicio y el operador abandonó su trabajo y la central paró definitivamente.

En pocas palabras, el servicio de electricidad que era suministrado por esta

minicentral, nunca fue bueno.

En 1997 la minicentral fue reemplazada por un grupo electrógeno MODASA adquirido por el Municipio Distrital a fin de reponer el servicio de electricidad a la población, pero este servicio lo dio en forma limitada, solo por algunas horas durante las noches ya que el costo de generación era notoriamente alto. Debe tenerse en cuenta que, por aquellos años, el acceso por carretera hasta este pueblo no era fácil ya que la carretera, en varios de sus tramos, dejaba mucho que desear, sobre todo en los meses muy lluviosos.

Al llegar las redes de media tensión del sistema interconectado hasta este pueblo, llegó también el servicio de electricidad durante las 24 horas del día, tal como es hasta hoy, esto por parte de la empresa concesionaria ElectroPuno S.A.A.

Este caso de la minicentral hidroeléctrica de San Gabán se puede presentar como el ejemplo más claro y contundente de lo que no se debe hacer en este tipo de proyectos. Acá se improvisó en todas las etapas, el servicio nunca fue bueno y el resultado final es de un desastre total. Ver fotos del anexo 3.

#### **4.1.4 Minicentral Hidroeléctrica Tocca - Macusani, 190 kW, 1995**

**Aclaración previa:** Se debe hacer una previa aclaración respecto a esta minicentral. La que existe ahora es la segunda versión de la misma, ya que hubo otra antes, con la mitad de potencia instalada y que fue reemplazada cuando su capacidad ya quedó corta para poder atender al pueblo de Macusani en lo que al servicio de energía eléctrica respecta.

Se debe anotar que del equipamiento electromecánico de la primera minicentral ya no existe nada, solo está lo que fue la casa de máquinas, construcción totalmente vacía, aunque en buenas condiciones de conservación.

##### **a) Ubicación de la minicentral**

La casa de máquinas de la minicentral de Tocca, se halla a 6,5 Km al N-NO de la plaza de Macusani dentro del pétreo y hermoso cañón de Tocca, en la margen derecha del río Macusani, pudiéndosele ver en toda su integridad desde el Km 189,4 del tramo IV de la carretera interoceánica.

Las coordenadas UTM de esta casa son:

- 14,023455
- 70,454246

Altitud: 4 280 m.s.n.m.

#### **b) Población beneficiada**

La energía eléctrica que se generaba en esta minicentral era utilizada de modo exclusivo por los habitantes del pueblo de Macusani. Esta energía era transportada por una línea de media tensión con 7 Km (longitud) para alimentar a las subestaciones de distribución del pueblo.

En un principio, la capacidad de la minicentral fue suficiente; pero luego, con el crecimiento del pueblo y de su población, ya no podía dar abasto a todas las viviendas del mismo. Terminó atendiendo sólo al barrio Túpac Amaru y los demás barrios recibían la energía eléctrica desde las redes de la empresa concesionaria ElectroPuno S.A.A. Este hecho se convirtió en uno de los problemas de esta minicentral y también en un serio problema para las siguientes gestiones municipales de la provincia de Carabaya.

Población estimada del pueblo de Macusani:

En 1990: 4 920 habitantes

En 2017: 11 050 habitantes

En cuanto a la ubicación del pueblo de Macusani, se tienen los siguientes datos:

Coordenadas UTM:

- 14,068510
- 70,431353

Coordenadas Geográficas 14°03'51"

70°25'45"

Altitud: 4 315 m.s.n.m.

Distancia: 252 Km norte de Puno ciudad, en el Km 182 del tramo IV de la carretera Interoceánica, todo asfaltado. Para llegar a Macusani hay que superar el abra de Okepuño cuya altitud es de 4 872 m.s.n.m.

### **c) Descripción de la Minicentral**

El pueblo de Macusani se halla a escasos 13 Km del pie de los nevados Allinkapac y Chichikapac en la cordillera de los Andes, los mismos por encima de los 5 700 m.s.n.m. en sus cimas. Por lo tanto, y al contar todavía con nieves perpetuas, estas montañas suministran agua en varias direcciones y durante todo el año. Macusani es el más grande de los pueblos que se benefician de estas aguas que son todavía cristalinas.

Por ello, se tiene el aprovechamiento hidroeléctrico de parte de estas aguas en el cañón de Tocca desde hace más de 50 años y con bastante éxito.

Entre mediados de los 90, la municipalidad provincial de Carabaya decidió construir una nueva central en Tocca aumentando el caudal de agua e incrementando en 5 metros la altura bruta de caída.

La actual minicentral Tocca aprovecha aguas provenientes del nevado Chichikapac y que en su discurrir intermedio se almacenan en las lagunas Isococha, Chaumicocha y Pauchinta convenientemente represadas y reguladas.

En la salida de la última de estas tres lagunas, hay una compuerta de regulación para dosificar la salida de agua hacia esta minicentral.

Existe un primer tramo, bastante extenso, de unos 3 kilómetros, en el cual el agua fluye por cauce natural; luego una captación se encargará de desviar las aguas hacia la margen derecha y a un canal de concreto de 460 metros de largo, el cual conduce el agua hacia el desarenador, la cámara de carga y el rebose de la minicentral.

Luego viene las tuberías de presión, fabricada de planchas de acero roladas y soldadas, de 20" de diámetro y que, al igual que las obras civiles, se halla en buenas condiciones y totalmente operativa.

La casa de máquinas está construida en ladrillo, dentro del cañón de Tocca, en la

margen lado derecho del río Macusani y bastante cerca de las aguas de dicho río. Esta construcción es lo suficientemente amplia, de modo que el operador y los técnicos de mantenimiento pueden laborar con toda comodidad; no incluye dormitorio ni servicios higiénicos ya que la vivienda es otra construcción que se halla muy cerca, a solo 15 metros de la casa de máquinas.

La turbina de flujo cruzado tipo Michell Banki y el generador eléctrico trifásico son de 190 kW y junto con los tableros y transformador están totalmente operativos.

#### **d) Desempeño de la minicentral Tocca – Macusani:**

La operatividad de esta minicentral fue siempre buena y ello en parte por la experiencia adquirida durante la operación de la primera minicentral Tocca (más pequeña), y también por la buena calidad de los equipos adquiridos, los mismos que eran nuevos. Sin embargo, durante los 22 años de operación continua, lo que nunca estuvo bien fue el aspecto económico. Ello porque las sucesivas gestiones municipales que pasaron, siempre costearon buena parte de los gastos de operación de la minicentral y para remate, lo mismo ocurrió con el servicio de agua potable que se daba al pueblo de Macusani. Todo esto fue motivo para que los pobladores se acostumbraran a pagar muy poco por estos servicios básicos, lo que con el transcurrir del tiempo trajo serios problemas a la relación pobladores-municipalidad.

Luego del año 2000, y debido a la fuerte migración de pobladores desde zonas rurales hacia los medios urbanos, la población del pueblo de Macusani creció mucho y la capacidad de la minicentral Tocca quedó corta, ya no podía abastecer a todas las viviendas sino únicamente a ciertos barrios, se dio preferencia al barrio Túpac Amaru. El resto tenía que ser abastecido por la empresa concesionaria ElectroPuno S.A.A. que tenía una tarifa realista mucho más alta, pero que paradójicamente no daba buen servicio ya que los cortes eran frecuentes debido a la extensión de sus redes de media tensión y al trayecto de las mismas que incluye zonas de altura, a más de 4200 m.s.n.m., con elevado nivel isocerámico, lo que deriva en frecuentes cortes de servicio.

En el año 2017, la empresa municipal “SEMA”, Servicios Eléctricos Macusani,

que era quien operaba la minicentral Tocca, firmó un convenio con la empresa generadora San Gabán de modo que la minicentral dejó de operar y a partir de entonces todo Macusani se abastecería a través de la concesionaria Electropuno S.A.A. ; a su vez, la empresa San Gabán dispondría de las aguas de las 3 lagunas controladas como si fuesen parte de sus reservorios y así poder dar mejor desempeño en la generación a su central San Gabán II ubicada 60 Km aguas abajo.

A cambio, la empresa San Gabán entregó al municipio un promedio de 45 000 soles mensuales durante los últimos meses del año 2017. El municipio destina este dinero para seguir subsidiando, parcialmente, a los consumidores de electricidad del distrito de Macusani y que ahora son abastecidos, en su totalidad, por la empresa concesionaria “ElectroPuno S.A.A.”

Técnicamente, esta minicentral de Tocca resultó muy buena; económicamente no fue exitosa, ello porque las sucesivas gestiones municipales mal acostumbraron a los consumidores de Macusani a pagar poco por el servicio. Actualmente (Junio 2019) la minicentral está parada pero podría operar en cuanto ello sea requerido y se le suministre el agua necesaria desde las lagunas que ahora están bajo la administración de la generadora San Gabán II. Ver fotografías de esta minicentral en el anexo 4.

#### **4.1.5 Minicentral Ayapata, 100 kW, 1995**

##### **a) Ubicación de la minicentral:**

La casa de máquinas de la minicentral hidroeléctrica de Ayapata se halla a 375 metros al sur de la plaza del pueblo, en el borde mismo de esta localidad y limitando con algunas viviendas periféricas.

Las coordenadas UTM de esta casa de máquinas son:

- 13,780349
- 70,323417

Altitud: 3 635 m.s.n.m.

## **b) Población beneficiada**

La energía eléctrica que se produce en esta minicentral hidroeléctrica es distribuida en el pueblo de Ayapata, capital del distrito del mismo nombre, por medio de 3 subestaciones y a un total de 500 usuarios, dentro de los que se incluyen domicilios, puestos del mercado, municipio, centros educativos, alumbrado público nocturno.

En lo que refiere al pueblo de Ayapata, se tiene la siguiente información:

Ubicación: Coordenadas UTM:

- 13,777280

- 70,322595

Coordenadas Geográficas 13°50'30"

70°16'30"

Altitud: 3 605 m.s.n.m.

Distancia: 308 Km al norte de la ciudad de Puno, asfaltados 273 Km (hasta el abra de Susuya) y de allí 35 Km afirmados. La mayor parte del trayecto corresponde al tramo IV de la carretera interoceánica (hasta el pueblo de Macusani).

Población estimada:

En 1995: 1 148 habitantes

En 2019: 2 650 habitantes

## **c) Descripción de la Minicentral**

Durante la década de los 80s, se construyó en Ayapata una primera minicentral de 40 kW. Luego, al quedar pequeña, se construyó la que actualmente está en servicio, de 100 kW, propiedad de la “Cooperativa de Bienes y Servicios San Salvador de Ayapata”. Consta de un canal de 5 Km, la mayor parte rústico, pero que funciona bastante bien. Solo en sus últimos 50 metros está revestido de concreto y así llega hasta un desarenador, cámara de carga y rebose.

Esta tubería de presión, de 12" de diámetro, está confeccionada de planchas de acero roladas y soldadas, está en buenas condiciones, tiene una longitud total de 190 metros para una caída neta de 135 metros.

La casa de máquinas, construida con ladrillos y techado de calamina, es lo suficientemente grande como para dejar que se realicen con toda comodidad las labores de vigilancia, operación y mantenimiento del equipamiento electromecánico. Incluye un pequeño servicio higiénico, mas no abarca dormitorio; mide 10 metros de largo x 6 metros de fondo. Otra construcción, muy cercana, sirve de vivienda para el operador.

En cuanto al equipamiento electromecánico, se tiene una turbina tipo Pelton de un solo inyector marca ALSTOM, la misma que impulsa a un generador trifásico marca HIDROSATUR de 100 kW de potencia, 125 kVA, 380 voltios.

En la parte exterior y sobre una plataforma de concreto convenientemente cercada con malla, está el transformador elevador trifásico marca ABB, de 160 kVA, 380/22 900 voltios.

Tiene también los tableros de control correspondientes y un conjunto de resistencias disipadoras de energía, todo en buenas condiciones y en plena operación.

Desde el transformador elevador inicia una línea trifásica en media tensión de 22 900 voltios y que conduce energía hasta las 3 subestaciones que hay en el pueblo, las que a su vez distribuyen la energía a los usuarios finales por medio de las redes de baja tensión.

#### **d) Desempeño de la central de Ayapata:**

Inaugurada en mayo de 1995, ha cumplido 14 años de servicio logrando la satisfacción de sus 500 usuarios. La tarifa que se les cobra es la misma que utiliza la empresa concesionaria ElectroPuno S.A.A., pero el servicio es más confiable y de mejor calidad. Esto porque las líneas que traen la energía desde la central hidroeléctrica San Gabán II hasta el pueblo de Ayapata son relativamente extensas, pasan por zonas altas que soportan frecuentes tormentas eléctricas; esto hace casi imposible que se pueda contar con un buen servicio de parte de la

Concesionaria, al menos, mientras no se implementen todos los sistemas de protección necesarios al sistema de distribución de media tensión.

La construcción de las obras civiles de la minicentral se hizo con bastante acierto y son de notoria calidad, lo que garantiza su duración. El equipamiento electromecánico es también de buena calidad y todos los equipos eran nuevos cuando se les adquirieron.

Hay que resaltar que, cuando la minicentral tiene que salir de servicio para efectuarle el mantenimiento programado, el pueblo de Ayapata recibe suministro de energía eléctrica desde las redes de media tensión de ElectroPuno S.A.A.

El desempeño técnico y económico de esta minicentral privada es óptimo, tan es así que, luego de pagar todos los gastos de operación y mantenimiento, reparte utilidades entre los socios de la cooperativa que son 230 personas naturales.

Esta minicentral constituye un muy buen ejemplo de lo que se puede lograr mediante un manejo responsable, racional, de los recursos técnico-económicos y humanos durante todas las etapas de este tipo de proyectos. Es algo digno de ser imitado. Ver las fotografías correspondientes en el anexo 5.

#### 4.1.6 Rentabilidad de Minicentrales Tocca y Ayapata

La rentabilidad es la diferencia de los Ingresos (pago por usuarios “PU”, pago por recurso hídrico “PH”), menos los Egresos (gastos operativos “GO”, gastos de mantenimiento “GM”, gastos activos fijos “GAF”) que genera una empresa.

Este análisis cuantitativo se presenta a continuación:

Tabla 7  
*Datos de la MCH Tocca – Macusani*

Datos		Valor
Año de Instalación		1995
Potencia		190 kW
Tiempo de Vida		20 años
Costo por kW	Precio \$ 2500	S/. 1 520 000,00
	Precio \$ 5000	S/. 3 040 000,00
Costo Estimado de Instalación		S/. 2 412 500,00

Fuente: SEMA

Tabla 8  
*Egresos de la MCH Tocca – Macusani*

<b>Egresos</b>			
GO	Personal (sema)	Gerente	3 237,50
		Ingeniero	2 590,00
		Operario	1 850,00
		Operario	1 850,00
		Peon	1 110,00
	Insumos de limpieza		450
	Desplazamiento		387
	Vigilancia		950
	Alimentación		3 487,50
GM	Correctivo		1 200,00
		Preventivo	800
		Predictivo	0
GAF	Mensual por depreciación		10 052,00
<b>Total de egreso mensual</b>			<b>27 964,58</b>

Fuente: Indagación de Costos en Localidad.

Tabla 9  
*Ingresos de la MCH Tocca – Macusani (caso 1)*

<b>Ingresos</b>		
PU	Pago de Usuarios	24 466,75
PH	Pago por Recurso Hídrico	0.00
<b>Total de ingreso mensual</b>		<b>24 466,75</b>

Fuente: Estimación con Pliego Tarifario ELPU.

Tabla 10  
*Rentabilidad de la MCH Tocca – Macusani (caso 1)*

<b>Rentabilidad</b>	
Ingresos	24 466,75
Egresos	27 964,58
<b>La empresa no es rentable</b>	
	<b>-3 497,83</b>

Fuente: Tomado de Estimación con Pliego Tarifario ELPU.

Tabla 11  
*Ingresos de la MCH Tocca – Macusani (caso 2)*

<b>Ingresos</b>		
PU	Pago de Usuarios	0,00
PH	Pago por Recurso Hídrico	45 000,00
<b>Total de ingreso mensual</b>		<b>45 000,00</b>

Fuente: Tomado de Estimación con Pliego Tarifario ELPU.

Tabla 12  
*Rentabilidad de la MCH Tocca – Macusani (caso 2)*

<b>Rentabilidad</b>	
Ingresos	45 000,00
Egresos	27 ,58
<b>La empresa es rentable</b>	
	<b>17 035,42</b>

Fuente: Tomado de Estimación con Pliego Tarifario ELPU.

Tabla 13  
*Datos de la MCH Ayapata*

<b>Datos</b>	<b>Valor</b>
Año de Instalación	1995
Potencia	100 kW
Tiempo de Vida	20 años
Costo por kW	Precio \$ 2500 S/. 800 000,00
	Precio \$ 5000 S/. 1 600 000,00
Costo Estimado de Instalación	S/. 1 332 500,00

Fuente: Municipio de Ayapata

Tabla 14  
*Egresos de la MCH Ayapata*

<b>Egresos</b>			
GO	Personal	Gerente	3 237,50
		Operario	1 850,00
		Operario	1 850,00
GM	Desplazamiento		310
		Vigilancia	950
		Alimentación	2 092,50
		Correctivo	600
GAF	Mensual por depreciación	Preventivo	1 300,00
		Predictivo	0
			5 552,00
<b>Total de egreso mensual</b>			<b>17 742,00</b>

Fuente: Indagación de Costos en Localidad.

Tabla 15  
*Ingresos de la MCH Ayapata*

<b>Ingresos</b>		
PU	Pago de Usuarios	33 281,60
<b>Total de ingreso mensual</b>		<b>33 281,60</b>

Fuente: Estimación con Pliego Tarifario ELPU.

Tabla 16  
*Rentabilidad de la MCH Ayapata*

<b>Rentabilidad</b>	
Ingresos	33 281,60
Egresos	17 742,08
<b>La empresa es rentable</b>	<b>15 539,52</b>

Fuente: Estimación con Pliego Tarifario ELPU.

## CONCLUSIONES

- De acuerdo a lo hallado en los emplazamientos de cada una de las minicentrales hidroeléctricas que fueron seleccionadas, hechas las averiguaciones y los cálculos justificativos correspondientes, se concluye:
- De las cinco centrales elegidas, una está en plena y efectiva operación: Ayapata; otra está paralizada, pero podría operar en cualquier momento ya que sus obras civiles y equipamiento electromecánico están en perfectas condiciones: Tocca-Macusani. En este último caso, el único problema es la disponibilidad del agua, ya que por convenios, se le ha dado preferencia a la conocida central hidroeléctrica San Gabán II y es esta empresa la que dispone del recurso acuífero de acuerdo a su conveniencia. Tenemos otras dos minicentrales, con las obras civiles en aceptables condiciones pero con el equipamiento electromecánico incompleto y/o deteriorado: Ollachea I y Ollachea II. Su rehabilitación demandaría elevadas sumas de dinero. Por último, se tiene a lo que fue la minicentral del pueblo de San Gabán, que en la actualidad no es más que un conjunto de escombros, con las obras civiles destrozadas en un 80 % y el equipamiento electromecánico inservible también en su gran mayoría; no existe la más mínima posibilidad de recuperarla y operarla.
- También se debe señalar que, en cuanto a las inversiones efectuadas y beneficios obtenidos de ellas, sólo en tres de los casos ha quedado justificado todo el esfuerzo técnico – económico que se hizo: Ayapata, Tocca-Macusani y Ollachea I. En el caso de Ollachea II, la inversión no llegó a justificarse, porque a los dos años de su puesta en operación, fue tendida la línea de media tensión que condujo la energía desde la gran central de San Gabán II, pasando a ser la minicentral Ollachea II, innecesaria y dejada de lado. Y por último, la minicentral del pueblo de San Gabán nunca justificó la inversión efectuada y su correspondiente construcción. Fue un fiasco total. El análisis de rentabilidad para una minicentral resulta favorable en todos los casos siempre que se haga uso como base de cobro el pliego tarifario de ELPU: Electro Puno S.A.A.; en el caso de que esta tarifa sea reducida se tiene que la minicentral pueda ser no rentable como se muestra en el análisis de la minicentral de TOCCA-MACUSANI, con lo que se puede sustentar la sostenibilidad de minicentrales.

## RECOMENDACIONES

- Ya sabemos que la sociedad moderna requiere del servicio de electricidad y que éste sea de buena calidad. Por ello, antes de concretar un proyecto de minicentral hidroeléctrica, hay que efectuar todos los estudios necesarios a fin de que, una vez concretado el proyecto, no se nos presenten problemas de uno u otro tipo.
- Los costos de inversión de las obras civiles y el equipo electromecánico deben reducirse hasta donde se pueda dentro de lo funcional y razonable.
- Se tiene que definir adecuadamente el tamaño de la carga o demanda. También hay que proyectarla cuando menos, para 20 años hacia adelante, periodo éste que suele considerarse como el Horizonte de Planeamiento.
- El terreno preciso para edificar una central hidroeléctrica, es aquel que tenga buena consistencia, sea estable. No debe ser una mezcla de varios materiales sueltos, ya que la presencia del agua que impulsará a los equipos de la central lo desmoronará tarde o temprano y las obras civiles de la central se destruirán, (caso concreto, lo que ocurrió con la minicentral del pueblo de San Gabán).
- Toda minicentral hidroeléctrica resultará ser un proyecto rentable si es que se le hace una conducción adecuada: los diferentes tipos de gastos, razonables y justificados, el personal mínimamente necesario y con remuneraciones adecuadas; por el otro lado, tarifas realistas, que cumplan con la normativa del sector eléctrico: ni subsidios irresponsables, ni cobros excesivos.
- Los potenciales consumidores de la energía que se va a generar, deberán tener muy presente que tendrán que pagar por el servicio que se les ha de brindar y a una tarifa razonable, de modo que los costos de operación de la minicentral sean cubiertos en su totalidad. Es el caso de la minicentral Ayapata, el proyecto más exitoso de los 5 que se han visto en este estudio, que incluso reparte utilidades a sus propietarios los socios de la Cooperativa San Salvador de Ayapata.
- El diseño y construcción en obras civiles, así como la elección del equipamiento electromecánico y su correspondiente suministro y montaje, deben ser realizados por empresas del sector correspondiente que tengan la suficiente experiencia. No es posible, por ejemplo, que se edifique una casa de máquinas tan estrecha (caso del



pueblo de San Gabán), que no daba las más mínimas comodidades al operador de dicha minicentral. Además, su vivienda quedaba a varias cuadras de distancia, con las consiguientes incomodidades que ello acarrea. De preferencia, la vivienda debe estar bastante cerca de la casa de máquinas.

- Debe capacitarse a más de una persona en el manejo de la minicentral, para que pueda reemplazar al operador en caso de que éste tenga que ausentarse momentáneamente o se vaya a radicar a otra localidad. Así no tendrá que parar la minicentral y se podrá continuar con la generación y suministro del servicio eléctrico.

## BIBLIOGRAFÍA

- Avila, J. A. (2020). *Influencia de la planificación eléctrica basada en el método de máximo arrepentimiento y la metodología IPCC en los costos y la calidad ambiental. (Tesis doctoral)*. Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú. Recuperado de [http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/UNFV/4174/avila\\_lopez\\_juan\\_arcadio\\_-\\_doctorado.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/UNFV/4174/avila_lopez_juan_arcadio_-_doctorado.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Bernhard, P. (2006). *Guía para el desarrollo de una pequeña central hidroeléctrica*. Bruselas: ESHA. Recuperado de [https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/313660/mod\\_resource/content/1/Guía\\_PCH\\_ESHA\\_2006.pdf](https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/313660/mod_resource/content/1/Guía_PCH_ESHA_2006.pdf)
- Canchaya, C. R., & Chero, L. E. (2014). *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 de grado)*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú. Recuperado de [https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/556448/Tesis\\_Canchaya\\_-\\_Chero.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/556448/Tesis_Canchaya_-_Chero.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Carcelen, J. (1985). *Manual de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas : evaluación del medio físico*. Quito: OLADE. Recuperado de <https://biblioteca.olade.org/cgi-bin/koha/opac-imageviewer.pl?biblionumber=3545>
- Casas, R. (2003). *Los contratos en el mercado eléctrico. (Tesis doctoral)*. Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.
- Castro, A. (2006). *Minicentrales hidroeléctricas*. Madrid: IDAE Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Recuperado de [https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_2.1.7\\_Minicentrales\\_hidroelctricas\\_125f6cd9.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_2.1.7_Minicentrales_hidroelctricas_125f6cd9.pdf)
- Colmenar, A., Carta, J. A., Calero, R., Castro, M. A., & Collado, E. (2012). *Centrales de energías renovables. Generación eléctrica con energías renovables (2.<sup>a</sup> ed.)*. México D.F.: Pearson Educación de México, S A . Recuperado de <https://www.librosuned.com/LU10967/Centrales-de-energías-renovables--Generación-eléctrica-con-energías-renovables.aspx>

- Conislla, D. E. (2003). *Sostenibilidad financiera y económica de proyectos de Mini Centrales Hidroeléctricas en zonas rurales del Perú. (Tesis de grado)*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. Recuperado de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/11297>
- Coz, F., Sanchez, T., Viani, B., Segura, J., Quiroz, L., Gaitán, J., & Muñoz, I. (1995). *Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas: una guía para el desarrollo de proyectos*. Lima: ITDG. Recuperado de <https://dl-manual.com/download/manual-de-centrales-3zg2rdg3elog?hash=be5b446261ec9a5b05fc4ace486c2a0e>
- Dane. (2021). *Glosario Indicador de Inversion en Obras Civiles - IIOC*. Bogotá: Dane - Información para Todos. Recuperado de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion/indicador-de-inversion-en-obras-civiles/glosario-obras-civiles#:~:text=Obras civiles%3A conjunto de activos,%2C comunicaci3n%2C recreaci3n%2C etc.>
- De Santoli, L., Berghi, S., & Bruschi, D. (2015). A Schematic Framework to Assess Mini Hydro Potentials in the Italian Regional Energy and Environmental Plans. *Energy Procedia*, 82, 615-622. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.009>
- Defensoría del Pueblo. (2010). Experiencias ocurridas dentro del Perú, con el empleo de minicentrales hidroeléctricas para la electrificación de zonas rurales, Perú. *Serie Informes Defensoriales*, 9 (Informe Defensorial N° 149), 76-99. Recuperado de <https://www.defensoria.gob.pe/wp-content/uploads/2018/05/informe-149.pdf>
- Defensoría del Pueblo. (2017). *Impactos socioambientales y posible afectación de derechos derivada de la generación hidroeléctrica en Colombia*. Bogotá: Defensoría del Pueblo. Recuperado de [https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/55524/Documento\\_TG\\_MMGG\\_VFINAL.pdf?sequence=5](https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/55524/Documento_TG_MMGG_VFINAL.pdf?sequence=5)
- Dursun, B., & Gokcol, C. (2011). The role of hydroelectric power and contribution of small hydropower plants for sustainable development in Turkey. *Renewable Energy*, 36(4), 1227-1235. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.10.001>
- EVE. (1995). *Minihidráulica en el país vasco*. Bilbao: Ente Vasco de la Energía (EVE). Recuperado de <https://www.leitzaran.net/centrales/MINIHIDRAULICA.pdf>

- Fuentes, J. (2002). *Modelos eléctricos de respuesta de cargas: Obtención y aplicación a la identificación de usos finales en bajos niveles de agregación. (Tesis Doctoral)*. Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, Colombia.
- García, C. J., & Sarasua, J. I. (2012). *Evaluación económica de proyectos de obras hidráulicas*. Madrid: Delta Publicaciones Universitarias, S.L. <https://doi.org/978-84-92954-97-1>
- Gómez, C. F., Jiménez, S., & Manrique, C. M. (2019). Mecanismos de protección de derechos humanos, fundamentales y colectivos frente a los proyectos hidroeléctricos en Colombia. *Revista Jurídica Piélagus*, 18(2), 166-180. <https://doi.org/10.25054/16576799.2649>
- González, M. M. (2021). *Análisis de los procesos de gestión ambiental de las grandes centrales hidroeléctricas en Colombia en el marco de los requerimientos de la normatividad y los retos de sostenibilidad. (Tesis de maestría)*. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Perú. Recuperado de [https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/55524/Documento\\_TG\\_MMGG\\_VFINAL.pdf?sequence=5](https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/55524/Documento_TG_MMGG_VFINAL.pdf?sequence=5)
- Inostroza, O. (2015). *Identificación y evaluación de los niveles de contaminación ambiental en la central hidroeléctrica de María Jiray que influyen en el deterioro del medio ambiente en el año 2005. (Tesis de maestría)*. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú. Recuperado de [https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/2973/TESIS\\_MAESTRIA\\_OSWALDO\\_RICARDO\\_INOSTROZA\\_AGUILAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/2973/TESIS_MAESTRIA_OSWALDO_RICARDO_INOSTROZA_AGUILAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Juárez, J. D. (1992). *Centrales Hidroeléctricas*. México D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Departamento de Energía. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11191/1821>
- Laurance, W. F. (2000). Mega-development trends in the Amazon: Implications for global change. *Environmental Monitoring and Assessment volume*, 61, 113–122. <https://doi.org/10.1023/A:1006374320085>
- Lopardo, R. (2018). *Agua, energía y ambiente: un desafío para el desarrollo sostenible. (Conferencia)*. San Martín: Universidad Nacional de San Martín. Recuperado de

- [https://ri.unsam.edu.ar/bitstream/123456789/913/1/PFAH 2018 CLRA.pdf](https://ri.unsam.edu.ar/bitstream/123456789/913/1/PFAH%202018%20CLRA.pdf)
- Martínez, E. (2015). *Optimización de minicentrales hidroeléctricas dedicadas a otros usos. (Tesis doctoral)*. Universidad La Rioja, La Rioja, España. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/tesis/45456.pdf>
- Mendiola, A., Acuña, J., Campos, D., Moreno, H., Salinas, E., & Aguirre, C. (2012). *Nivel de atracción de inversiones en generación hidroeléctrica: análisis comparativo entre el Perú y Colombia*. Lima: Universidad ESAN. Recuperado de [https://repositorio.esan.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12640/133/Gerencia\\_para\\_el\\_desarrollo\\_27.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.esan.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12640/133/Gerencia_para_el_desarrollo_27.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- MINEM. (1976). *Evaluación del potencial hidroeléctrico nacional*. 72.
- Monroy, J. L., & Montaña, E. (2015). *Hidrogenación en pequeña escala una experiencia local Programa Hidroenergético*. La Paz: ESPRIT S.R.L. Recuperado de <https://docplayer.es/42831002-Hidrogenacion-en-pequena-escala-una-experiencia-local-programa-hidroenergetico.html>
- Nava, A., & García, H. (2014). *Selección y dimensionamiento de turbinas hidráulicas para centrales hidroeléctricas*. México D.F.: Universidad Autónoma de México Facultad de Ingeniería. Recuperado de [http://www.ingenieria.unam.mx/~deptohidraulica/publicaciones/pdf\\_publicaciones/SELECYDIMENSIONAMIENTODETURBINAS.pdf](http://www.ingenieria.unam.mx/~deptohidraulica/publicaciones/pdf_publicaciones/SELECYDIMENSIONAMIENTODETURBINAS.pdf)
- Orille, A. L. (1996). *Centrales eléctricas I: introducción al sector eléctrico y al sistema de energía eléctrica, centrales hidroeléctricas, centrales térmicas*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Ortiz, R. (2019). *Pequeñas centrales hidroeléctricas*. Bogotá: Ediciones de la U., Recuperado de [https://www.worldcat.org/title/termodinamica-basica-para-ingenieros/oclc/1322873195&referer=brief\\_results](https://www.worldcat.org/title/termodinamica-basica-para-ingenieros/oclc/1322873195&referer=brief_results)
- OSINERGMIN. (2017). La Industria de la Energía Renovable en el Perú, 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático. En *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 1). Recuperado de [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/Institucional/Estudios\\_Economicos/Libros/Osinergmin-Energia-Renovable-Peru-10anios.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energia-Renovable-Peru-10anios.pdf)

- Osorio, C. (2018). La consulta popular ante los impactos ambientales de la construcción de Proyectos Hidroeléctricos en Colombia. Estudio del Caso de la Hidroeléctrica El Quimbo. *Universidad Católica de Colombia*, 1-38. Recuperado de [https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15905/1/Impactos ambientales de los proyectos hidroelectricos en Colombia.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15905/1/Impactos_ambientales_de_los_proyectos_hidroelectricos_en_Colombia.pdf)
- Pajuelo, V. A. (2007). *Estudio de la pequeña central hidroeléctrica de Monzón. (Tesis de grado)*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. Recuperado de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/171?show=full>
- Sanz, J. (2017). *Energía hidroeléctrica: energías renovables*. Zaragoza: Prensas de la Universidad de Zaragoza. Recuperado de <https://www.casadellibro.com/libro-energia-hidroelectrica-2-ed-energias-renovables/9788416933310/4865874>
- Serra, J. (2015). *Propuestas para mejorar los procesos de evaluación ambiental y social de hidroeléctricas en el Perú*.
- Serrano, E. (2017). *Aportaciones para justificar el suministro renovable en el sistema eléctrico Español y conseguir un modelo energético altamente descarbonizado. (Tesis doctoral)*. Universidad de León, León, España. Recuperado de [https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/6928/Tesis Esteban Serrano.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/6928/Tesis_Esteban_Serrano.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Tamayo, J., Jacome, J., Vasquez, A., & Vilches, C. (2016). *La industria de la electricidad en el Perú: 25 años de aportes al crecimiento económico del país*. Lima: OSINERGMIN. Recuperado de [http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/Institucional/Estudios\\_Economicos/Libros/Osinergmin-Industria-Electricidad-Peru-25anios.pdf](http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Industria-Electricidad-Peru-25anios.pdf)
- Uhunmwangho, R., Odje, M., & Okedu, K. E. (2018). Comparative analysis of mini hydro turbines for Bumaji Stream, Boki, Cross River State, Nigeria. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. Recuperado de <https://www.semanticscholar.org/paper/Comparative-analysis-of-mini-hydro-turbines-for-Uhunmwangho-Odje/459fab56279e759ffaa90e5341a707504b2df083>
- Verán, D., & Vázquez, I. (2017). Proyecto: IKI-PNUMA Avanzando y midiendo consumo y producción sostenible para una economía baja en carbono en economías



de ingresos medios y nuevos países industrializados en Perú. Actividad 8: Centrales Hidroeléctricas. *Proyecto De Investigacion*.

Yüksel, I. (2010). Hydropower for sustainable water and energy development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 462-469.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.025>



## ANEXOS

### Anexo 1. Panel fotográfico



Figura 11. Gráfico simbólico del distrito de Ollachea.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



Figura 12. Principal arteria urbana de Ollachea. Al fondo, el cerro en que se emplazan dos minicentrales.

Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 13.* Vista parcial del Pueblo de Ollachea, capital del distrito del mismo nombre.

Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 14.* Vista del río Chillichaca, afluente del San Gabán, al oeste de Ollachea.

Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 15.* Captación de agua en el río Chillichaca. Al medio, lado izquierdo, el canal completamente lleno de piedras arena y tierra.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 16.* El río Chillichaca en los meses de estiaje. Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 17.* Panorámica parcial del trayecto del canal, al costado derecho de la carretera.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 18.* Detalle del regular estado de la pared izquierda del canal.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 19.* Llegada del canal hasta la compuerta de regulación e ingreso al desarenador.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 20.* En el costado derecho, otro tramo del canal bien conservado, pero sucio, colmatado y con vegetación.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



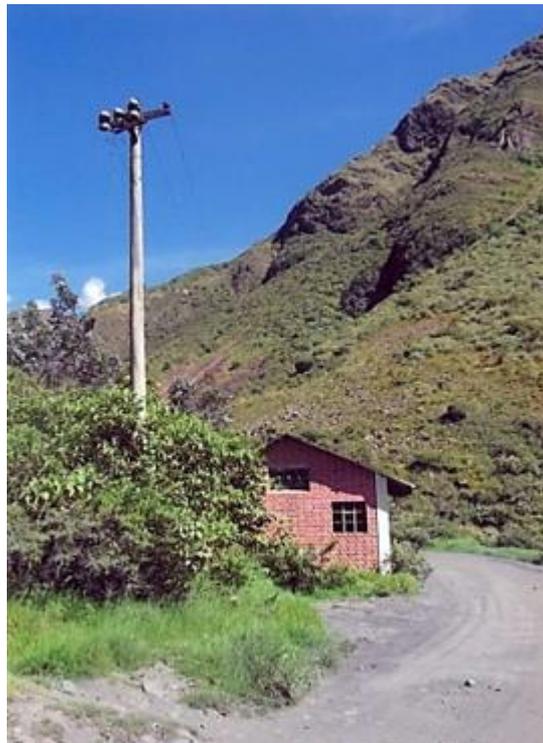
*Figura 21.* Vista del desarenador. En la parte superior derecha, continuación del canal, obra ejecutada para abastecer a la minicentral “Ollachea II” (1998).  
Fuente:Leonel Castillo (2018).



*Figura 22.* Tramo de la tubería metálica de 16” Ø, en aparente regular estado.  
Fuente:Leonel Castillo (2018).



*Figura 23.* Vista de las caras frontal y lateral de la casa de máquinas, en buen estado.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 24.* Casa de máquinas y poste de arranque de la línea trifásica de media tensión que conducía la energía hasta el pueblo, (2300 V).  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 25.* Conjunto de turbina tipo Francis conectada a generador marca ALGESA de 93,75 kVA (75 kW), trifásico, 220 voltios, en buenas condiciones. (Fabricado en 1984).  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 26.* El tesista en la casa de máquinas, detrás de él, el transformador.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).





Figura 29. Placa del generador ALGESA (Callao – Perú), de 75 kW.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



Figura 30. Regulador de velocidad, incompleto.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 31.* Captación para la minicentral Ollachea II, en el río Chillichaca.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 32.* Se aumentó la capacidad de conducción del canal que ya existía en 40%, elevando la altura de sus paredes laterales.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 33.* A partir del desarenador de la minicentral Ollachea I, se agregó un tramo nuevo, adicional, a fin de lograr una mayor altura bruta de caída para la nueva minicentral.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 34.* Nuevo desarenador y su cámara de carga.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



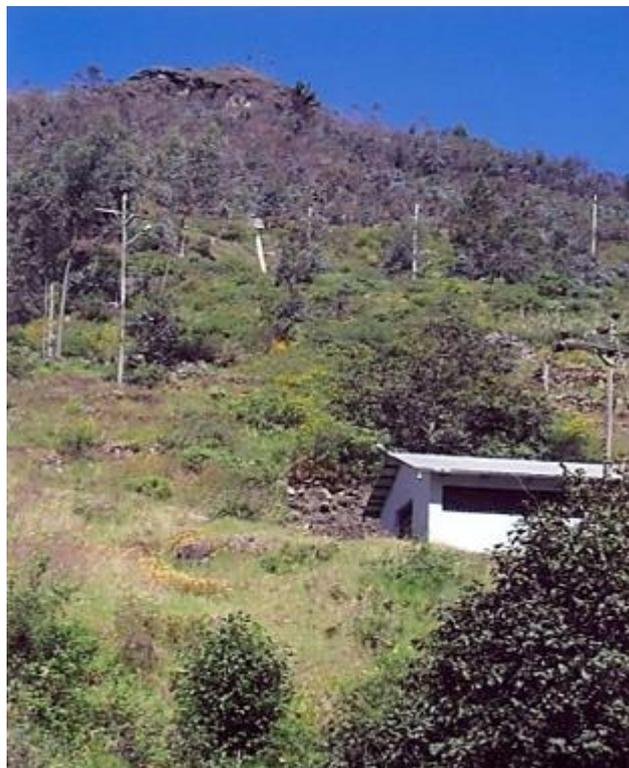
*Figura 35.* Inicio de la tubería de presión, de acero, 19''Ø.  
Fuente: Leonel Castillo(2018).



*Figura 36.* Tramos de la tubería de presión, algunos fueron retirados de su posición original.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 37.* Vista que muestra un tramo de la tubería, abandonada, parcialmente deteriorada.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 38.* Panorámica de la minicentral: Desarenador, tubería, casa de máquinas.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 39.* Casa de máquinas y poste de arranque de la línea de media tensión (22900 voltios).

Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 40.* Lado posterior de la casa de máquinas. Se aprecia el canal de descarga del agua con pequeñas cascadas artificiales, construidas para amortiguar la veloz salida del agua.

Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 41.* Habitación relativamente amplia, donde aún están los dos catres que utilizaron los operadores de la minicentral.  
Fuente: Leonel Castillo (2019).



*Figura 42.* Depósito de herramientas, lubricantes, etc., contiguo al dormitorio de operadores  
Fuente: Leonel Castillo (2019).



*Figura 43.* Vista general del equipamiento electromecánico, con muchos elementos faltantes.

Fuente: Leonel Castillo (2019).



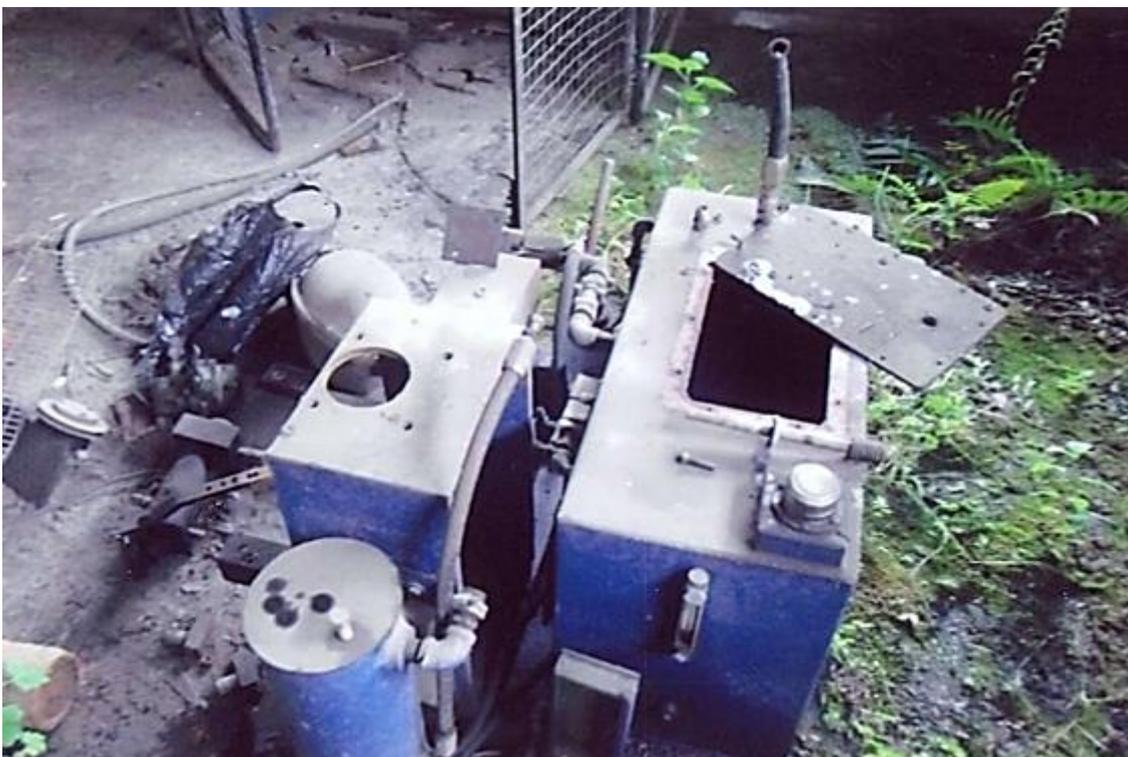
*Figura 44.* Conjunto de turbina tipo Francis y generador trifásico ALGESA de 150 kW (fabricado en 1998).

Fuente: Leonel Castillo (2019).



*Figura 45.* El tesista en la sala de máquinas. Se aprecia el generador parcialmente desmantelado.

Fuente: Leonel Castillo (2019).



*Figura 46.* Regulador de velocidad, también desmantelado.

Fuente: Leonel Castillo(2019).



*Figura 47.* Tablero de control y transformador trifásico ELKO de 250 kVA, 400/22900 V  
Fuente: Leonel Castillo (2019).



*Figura 48.* Vista parcial del interior del tablero.  
Fuente: Leonel Castillo (2019).



*Figura 49.* Gráfico simbólico del distrito de San Gabán.  
Fuente: Leonel Castillo (2019).



*Figura 50.* Vista panorámica de la carretera interoceánica, principal arteria urbana del pueblo de San Gabán.  
Fuente: Leonel Castillo (2019).



*Figura 51.* Local nuevo del Municipio Distrital de San Gabán (año 2015). Nótese la amplitud y modernidad.  
Fuente: Leonel Castillo (2019).



*Figura 52.* Río Loromayo, que discurre por el lado oeste del pueblo de San Gabán, desde el cual se derivaba el agua hacia la minicentral.  
Fuente: Leonel Castillo (2019).



*Figura 53.* Rústico canal de derivación, actualmente por debajo de la carretera transoceánica (ingreso al pueblo de San Gabán), rumbo a la minicentral y al río San Gabán.  
Fuente: Leonel Castillo (2019).



*Figura 54.* Existió un canal construido de concreto (aprox. 370 metros) que atravesaba territorio descubierto. Hace ya unos 10 años que fue completamente cubierto por tierra.  
Fuente: Leonel Castillo (2006).



*Figura 55.* Postes de la línea de media tensión que llevaban la energía hasta el pueblo, (a una única sub estación). El canal de concreto quedó totalmente cubierto de piedras y tierra.  
Fuente: Leonel Castillo (2019).



*Figura 56.* Hoy, en medio de la frondosa selva, discurren las aguas por un rústico canal (últimos 100 metros) y con fines de regadío.  
Fuente: Leonel Castillo (2019).



*Figura 57.* Tramo de la tubería de presión (12"Ø) que descansaba sobre una viga de concreto armado. Ya todo se vino abajo.  
Fuente: Leonel Castillo (2006).



*Figura 58.* Existió también esta cámara de carga. Al desmoronarse el piso que la sostenía, desapareció por completo.  
Fuente: Leonel Castillo (2006).



*Figura 59.* Ya hace unos 2 años que la viga se vino abajo. Gran parte del terreno se deslizó; se ve parte del desarenador fuera de su lugar original y un tramo de la tubería “al aire”.  
Fuente: Leonel Castillo (2019).



*Figura 60.* Hubo esta subestación trifásica biposte (hasta el 2017). Se cayó por desmoronamiento del terreno, (foto de archivo personal del tesista).  
Fuente: Leonel Castillo (2006).



*Figura 61.* Hacia finales de 1996, los equipos ya estaban fuera de servicio por ausencia del operador, pero se hallaban en aceptables condiciones.

Fuente: Leonel Castillo (1996).



*Figura 62.* En 1997 todavía se hacía limpieza a los equipos, aunque ya no operaban. (fotos de archivo personal del tesista).

Fuente: Leonel Castillo (1997).



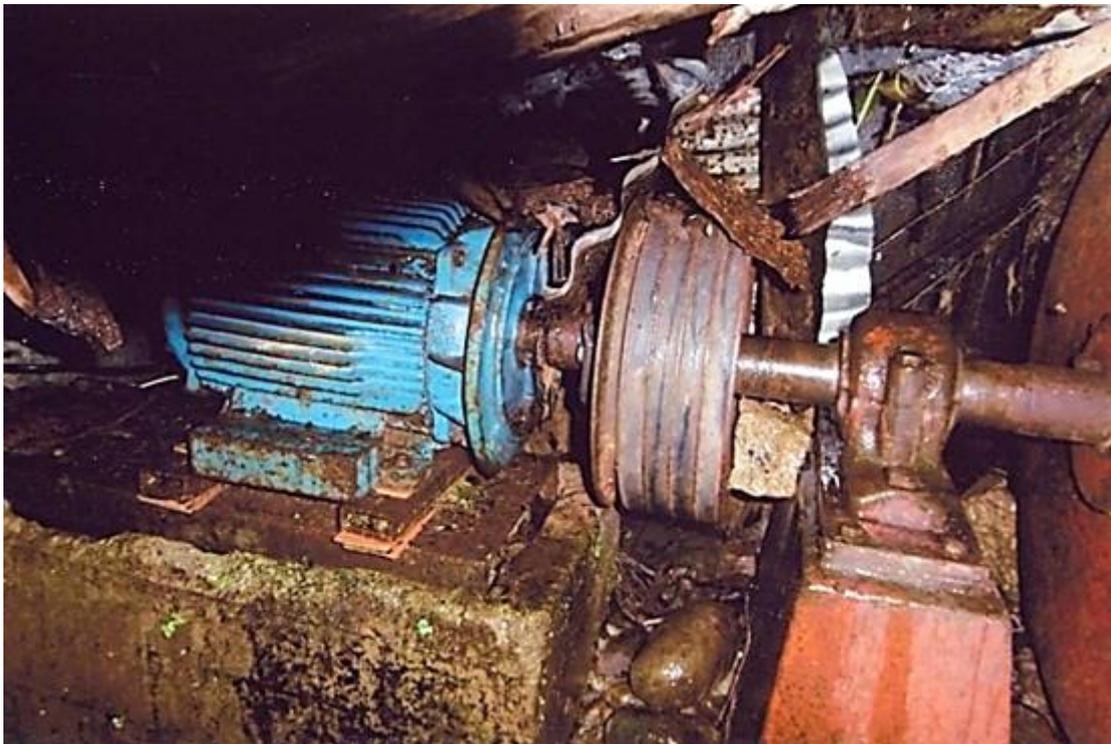
*Figura 63.* En el 2018, el techo de la casa de máquinas se ha derrumbado, y con material adicional encima de él, aplasta al equipamiento electromecánico.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 64.* La turbina Francis marca VRM, de 75 kW, también yace aplastada por el techo y en franco proceso de deterioro.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



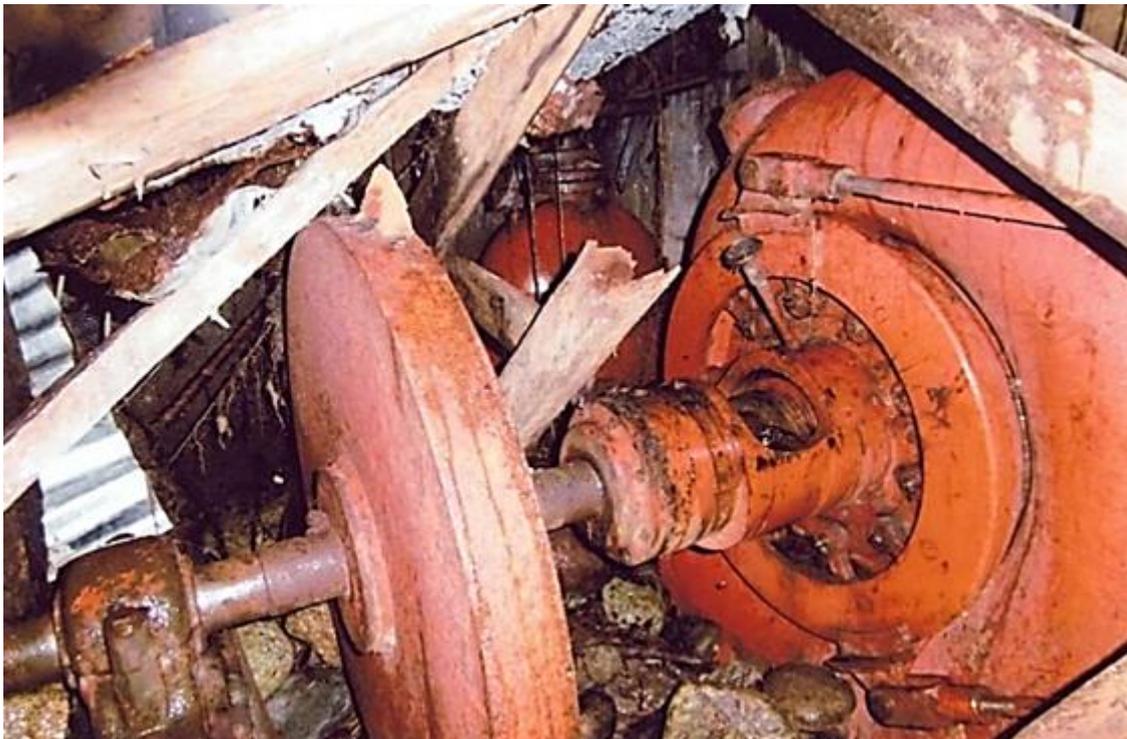
*Figura 65.* La casa de máquinas era muy estrecha, ajustada apenas al tamaño de los equipos, no daba comodidad alguna para trabajar en ella.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 66.* El generador trifásico (75 kW – 400 V) también en proceso de deterioro.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 67.* Otra vista de la situación calamitosa del equipamiento electromecánico (2018).  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 68.* Se aprecia que el desastre es total.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 69.* Uno de los tableros, por los suelos y totalmente desmantelado.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 70.* Otro tablero de control, sosteniendo una parte del techo caído.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 71.* Gráfico simbólico del distrito de Macusani  
Fuente: Leonel Castillo(2018).



*Figura 72.* Vista parcial del pueblo de Macusani, zona central, (4315 m.s.n.m.)  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 73.* La más cercana de las tres lagunas que se usan como reservorio de las aguas provenientes del nevado Chichi Kapac. Esas aguas se usaban para la minicentral de Tocca (Macusani) y más abajo se usan en la gran central San Gabán II.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 74.* Compuerta de regulación en la última laguna para derivar el agua hacia Tocca y hacia San Gabán II.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 75.* Parte final del canal de concreto que conduce el agua hacia la minicentral Tocca. También se ve el desarenador.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 76.* Desarenador, cámara de carga y rebose (hacia la izquierda), de la minicentral hidroeléctrica Tocca. Al frente, la carretera interoceánica.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



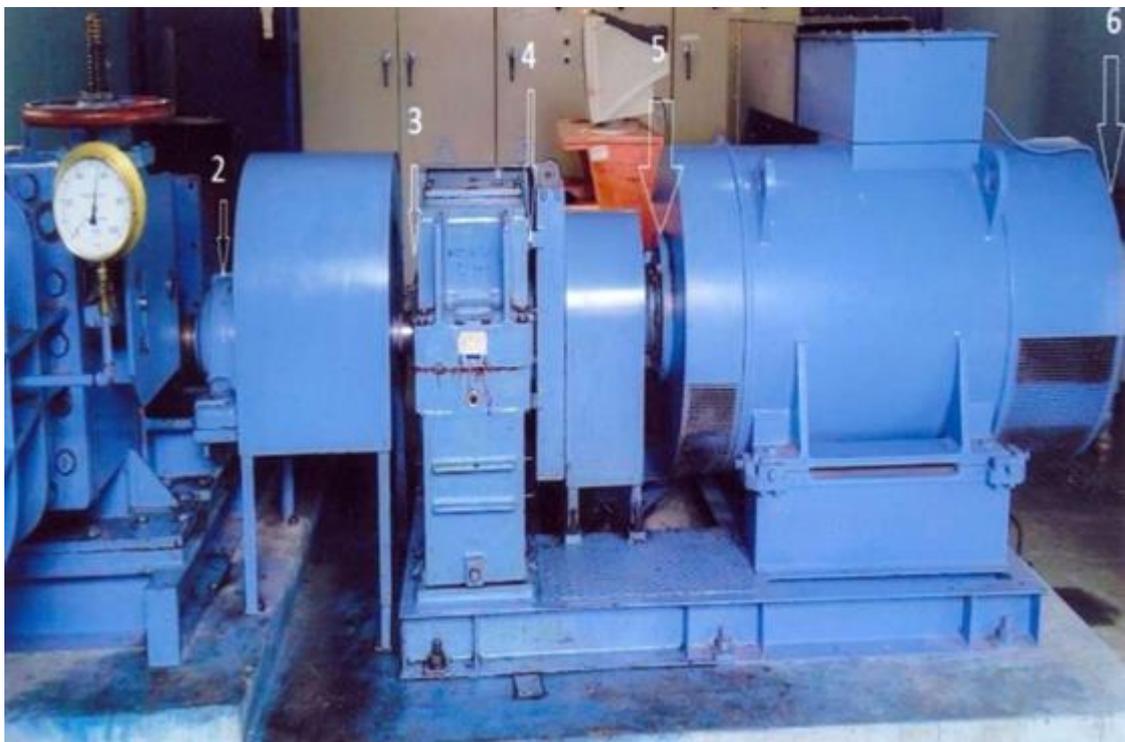
*Figura 77.* Vista panorámica de la minicentral hidroeléctrica Tocca, ubicada en el cañón del mismo nombre y en la margen derecha del río Macusani.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 78.* Tubería de presión (20" Ø) y casas de máquinas antigua (la de arriba) y la actual (la inferior, la más cercana al río).  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 79.* Vista detallada de las dos casas de máquinas, emplazadas dentro del pintoresco cañón de Tocca. La izquierda es la actualmente operativa, la otra ya fue desmantelada.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 80.* Conjunto de la turbina Michell- Banki y generador (190 kW), en buenas condiciones, totalmente operativos, pero que han dejado de prestar servicio merced a un convenio con la empresa generadora San Gabán.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



Figura 81. Gráfico simbólico del distrito de Ayapata.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



Figura 82. En la plaza de Ayapata un centenario ciprés, bautizado como “la chascosa”.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 83.* Un tramo corto de la tubería de presión y vista panorámica del pueblo de Ayapata  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 84.* Un tramo del canal rústico de 5 Km, que trae el agua hacia la minicentral desde la laguna Itherqota, construido por los pobladores de Ayapata en 1989.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 85.* En su parte final, dicho canal ya está revestido de concreto  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 86.* Llegada del agua al desarenador y cámara de carga  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 87.* Aliviadero, rebose de las aguas sobrantes  
Fuente: Leonel Castillo(2018).



*Figura 88.* Arranque de la tubería de presión, de acero, (12"Ø)  
Fuente: LeonelCastillo (2018).



*Figura 89.* Vista panorámica de la extensa tubería de presión instalada en las faldas del cerro, aproximadamente 190 metros de longitud.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 90.* Desarenador y rejilla que permiten el ingreso de agua limpia a la cámara de carga  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 91.* Casa de máquinas (pintada de verde). A su izquierda ingresa la tubería de presión, a la derecha se aprecia la vivienda del operador.

Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 92.* Turbina Pelton (izquierda), marca SATUR, accionando al generador de 100 kW (derecha).

Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 93.* El único inyector de la turbina Pelton de 100 kW.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 94.* Generador Hidrosatur de 125 kVA, 100 kW, trifásico, 380 V , en pleno servicio.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 95.* El tésista en la casa de máquinas de la minicentral hidroeléctrica Ayapata.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 96.* Tablero de control  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 97.* Conjunto de resistencias disipadoras de energía.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).

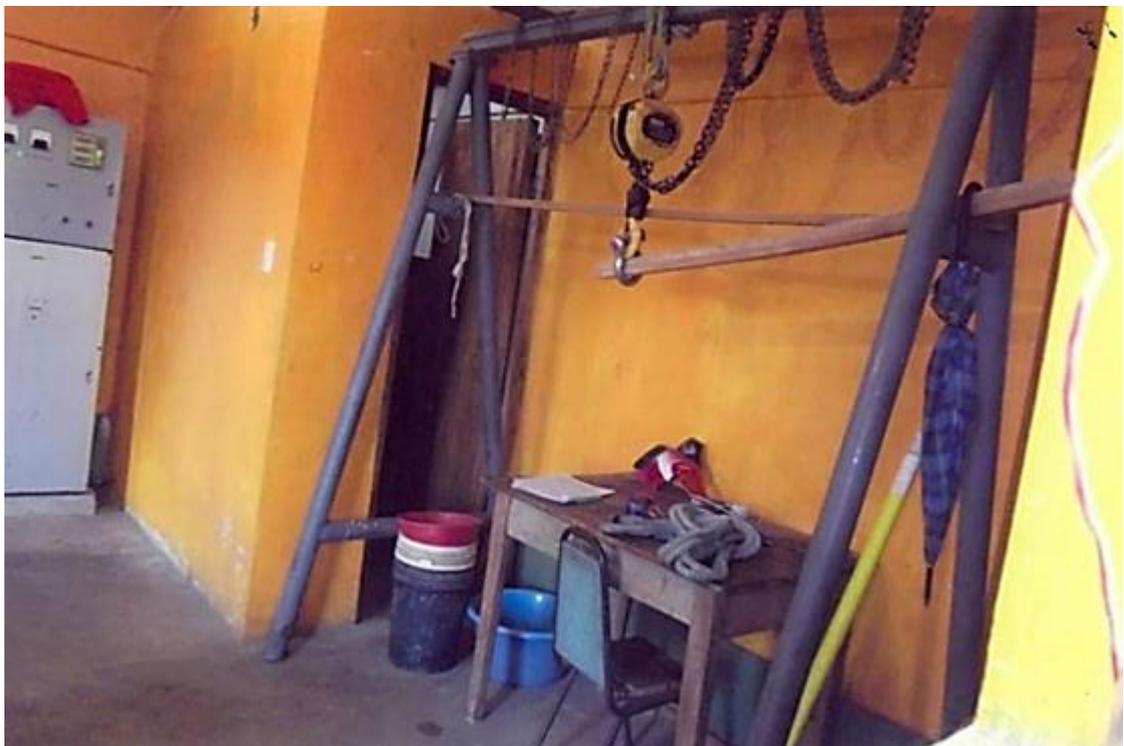


*Figura 98.* Transformador trifásico ABB, de 160 kVA, instalado en el exterior sobre una loza de concreto y dentro de un enmallado.  
Fuente: Leonel Castillo (2018).



*Figura 99.* Arranque de las líneas de media tensión (22 900 voltios). Cuando la minicentral es parada con fines de hacerle tareas de mantenimiento, las redes del pueblo son conectadas y abastecidas por las líneas de media tensión del concesionario ELECTROPUNO.

Fuente: LeonelCastillo (2018).



*Figura 100.* Caballete, equipado con tecle, para ser usado en tareas de mantenimiento

Fuente: Leonel Castillo (2018).

Anexo 2. Anexos de documentos

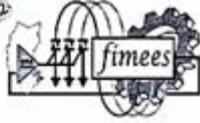
Cartas de autorización para visitar cada una de las minicentrales.



*Universidad Nacional del Altiplano = Puno*

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,  
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**



---

"AÑO DE LA LUCHA CONTRA LA CORRUPCIÓN Y LA IMPUNIDAD"

Puno, 22 de enero del 2019.

CARTA N° 001-2019-D-FIMEES-UNA-P.

Señor  
Alcalde de la Municipalidad Provincial de Carabaya  
Macusani

<b>ASUNTO</b>	Presenta al Ingeniero docente LEONEL MARINO CASTILLO ENRIQUEZ, de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, para realizar un diagnóstico de la minicentral hidroeléctrica Tocca.
---------------	---

Por la presente es grato dirigirme a usted, para saludarlo y solicitarle se sirva otorgar las facilidades del caso a fin de que el Ingeniero LEONEL MARINO CASTILLO ENRIQUEZ, identificado con DNI N° 29251198, con domicilio en el Jr. Huancané N° 161 de la ciudad de Puno, quien es docente nombrado en la Universidad Nacional del Altiplano y que se ha propuesto realizar un diagnóstico acerca del estado en que se hallan las minicentrales hidroeléctricas de la Provincia de Carabaya, se le autorice la visita técnica a la Central de Tocca a fin de incluirla en su informe final. En dicha visita se tomarán datos de: componentes del equipo electromecánico, estado en el que se hallan, fotografías necesarias, obras civiles e historial de la minicentral.

Con los agradecimientos antelados, hago propicia la ocasión para expresarle nuestro reconocimiento y especial consideración.

Atentamente,



*Dra. Consuelo Viza Marocho*  
DIRECTORA GENERAL  
FIMEES



*Autógrafa*  
MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CARABAYA  
*Prof. Fabio Vargas Huamanituco*  
DNI. N° 01042223  
ALCALDE  
2019/03/01

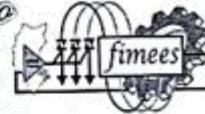
Cc  
Activo

---

CIUDAD UNIVERSITARIA - PUNO - PERÚ



Universidad Nacional del Altiplano - Puno  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,  
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE OLLACHEA - CARABAYA  
MESA DE PARTES  
**RECIBIDO**  
FECHA: 27 FEB 2019  
Reg. N° 292 Folio: 01  
Hora: 11:47 Firma: *[Signature]*

"AÑO DE LA LUCHA CONTRA LA CORRUPCIÓN Y LA IMPUNIDAD"

Puno, 22 de enero del 2019

CARTA N° 001-2019-D-FIMEES-UNA-P.

Señor  
Alcalde de la Municipalidad Distrital de Ollachea, Carabaya

ASUNTO : Presenta al Ingeniero docente LEONEL MARINO CASTILLO ENRIQUEZ, de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, para realizar un diagnóstico de las minicentrales hidroeléctricas de Ollachea.

Por la presente es grato dirigirme a usted, para saludarlo y solicitarle se sirva otorgar las facilidades del caso a fin de que el Ingeniero LEONEL MARINO CASTILLO ENRIQUEZ, identificado con DNI N° 29251198, con domicilio en el Jr. Huancané N° 161 de la ciudad de Puno, quien es docente nombrado en la Universidad Nacional del Altiplano y que se ha propuesto realizar un diagnóstico acerca del estado en que se hallan las minicentrales hidroeléctricas de la Provincia de Carabaya, se le autorice la visita técnica a las minicentrales hidroeléctricas de Ollachea a fin de incluirlas en su informe final. En dicha visita se tomarán datos de: componentes de los equipos electromecánicos, estado en el que se hallan, fotografías necesarias, obras civiles e historial de la minicentrales.

Con los agradecimientos adelantados, hago propicia la ocasión para expresarle nuestro reconocimiento y especial consideración.

Atentamente,

*[Signature]*  
Profructo Meza Marocho  
DECANO - FIMEES

Cc  
Archivo



Universidad Nacional del Altiplano - Puno

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,  
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



"AÑO DE LA LUCHA CONTRA LA CORRUPCIÓN Y LA IMPUNIDAD"

Puno, 22 de enero del 2019.

CARTA N° 001-2019-D-FIMEES-UNA-P.

Señor  
Alcalde de la Municipalidad Distrital de San Gabán, Carabaya

MUNICIPALIDAD DISTRITAL SAN GABÁN  
PROF. ROGER LARICO GUSPE  
DNI. N° 02531094  
M. CAR. 01  
28-02-2019

ASUNTO : Presenta al Ingeniero docente LEONEL MARINO CASTILLO ENRIQUEZ, de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, para realizar un diagnóstico de la minicentral hidroeléctrica de San Gabán.

Por la presente es grato dirigirme a usted, para saludarlo y solicitarle se sirva otorgar las facilidades del caso a fin de que el Ingeniero LEONEL MARINO CASTILLO ENRIQUEZ, identificado con DNI N° 29251198, con domicilio en el Jr. Huancañé N° 161 de la ciudad de Puno, quien es docente nombrado en la Universidad Nacional del Altiplano y que se ha propuesto realizar un diagnóstico acerca del estado en que se hallan las minicentrales hidroeléctricas de la Provincia de Carabaya, se le autorice la visita técnica a la minicentral hidroeléctrica de San Gabán a fin de incluirla en su informe final. En dicha visita se tomarán datos de: componentes de los equipos electromecánicos, estado en el que se hallan, fotografías necesarias, obras civiles e historial de la minicentral.

Con los agradecimientos antelados, hago propicia la ocasión para expresarle nuestro reconocimiento y especial consideración.

Atentamente,

DECANO  
Gregorio Luis Maroché  
DECANO FIMEES

Cc  
Archivo

CIUDAD UNIVERSITARIA - PUNO - PERÚ

"AÑO DE LA LUCHA CONTRA LA CORRUPCIÓN Y LA IMPUNIDAD"

Puno, 19 de marzo del 2019.

CARTA N° 002-2019-D-FIMEES-UNA-P.

Señor  
PEDRO CHAMBI FUENTES  
Administrador de la Cooperativa de Servicios Múltiples "San Salvador de Ayapata"

Presente.

ASUNTO	: Presenta al Ingeniero docente LEONEL MARINO CASTILLO ENRIQUEZ, de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, para realizar un diagnóstico de la minicentral hidroeléctrica de Ayapata.
--------	--

Por la presente es grato dirigirme a usted, para saludarlo y solicitarle se sirva otorgar las facilidades del caso a fin de que el Ingeniero LEONEL MARINO CASTILLO ENRIQUEZ, identificado con DNI N° 29251198, con domicilio en el Jr. Huancané N° 161 de la ciudad de Puno, quien es docente nombrado en la Universidad Nacional del Altiplano y que se ha propuesto realizar un diagnóstico acerca del estado en que se hallan las minicentrales hidroeléctricas de la Provincia de Carabaya, se le autorice la visita técnica a la minicentral hidroeléctrica de Ayapata a fin de incluirla en su informe final. En dicha visita se tomarán datos de: componentes de los equipos electromecánicos, estado en el que se hallan, fotografías necesarias, obras civiles, historial de la minicentral, balance económico.

Con los agradecimientos antelados, hago propicia la ocasión para expresarle nuestro reconocimiento y especial consideración.

Atentamente

DECANO  
Rafael Meza Marocho  
DECANO - FIMEES

C.c.  
Archivo

Recibido  
24-03-2019  
  
Rufino Caceres Oruspe.  
miembro. secretario



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Leonel Marino Castillo Enríquez  
, identificado con DNI 29251198 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado  
Ciencias de la Ingeniería Mecánica Eléctrica, mención :Gestión Ambiental de la Energía

Informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:  
"Sostenibilidad de Minicentrales hidroeléctricas de la provincia de Carabaya del departamento de Puno"

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 04 de agosto del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Leonel Marino Castillo Enríquez

, identificado con DNI 29251198 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Ciencias de la Ingeniería Mecánica Eléctrica, mención: Gestión Ambiental de la Energía

, informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“Sostenibilidad de Minicentrales hidroeléctricas de la Provincia de Carabaya del departamento de Puno”

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 04 de agosto del 2023



FIRMA (obligatoria)



Huella