

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela Profesional de Ingeniería en Energía



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

Diseño de una Minicentral Hidroeléctrica
“Chachapoyas” de 650 KW

Tesis para obtener el título profesional de
Ingeniero en Energía

Autores:

Bach. Calle Peña, Johnny Andrés
Bach. Esquivel Soria, Marcos Antonio

Asesor:

Mg. Rojas Flores, Amancio Ramiro
DNI. N° 32806031
Código ORCID: 0000-0003-4897-7585

Nuevo Chimbote - Perú
2026



CERTIFICACIÓN DEL ASESOR

Yo, **Mg. Rojas Flores, Amancio Ramiro**, Mediante la presente certifico mi asesoramiento de la tesis titulada: **Diseño de una Minicentral Hidroeléctrica “Chachapoyas” de 650 KW**, de autoría de los **Bachilleres: Calle Peña, Jhonny Andrés y Esquivel Soria, Marcos Antonio**, ha sido elaborado de acuerdo al Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, abril del 2026



Mg. Rojas Flores, Amancio Ramiro

Asesor

DNI N°. 32806031

Código ORCID: 0000-0003-4897-7585



AVAL DE CONFORMIDAD DEL JURADO

Tesis titulada: **Diseño de una Minicentral Hidroeléctrica “Chachapoyas” de 650 KW**, de autoría de los **Bachilleres: Calle Peña, Jhonny Andrés y Esquivel Soria, Marcos Antonio**.

Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:

M.Sc. Calderón Torres, Hugo Rolando
Presidente

DNI N° 32913914

Código ORCID: 0000-0002-0210-5565

Mg. Rojas Flores, Amancio Ramiro
Secretario

DNI N° 32806031

Código ORCID 0000-0003-4897-7585

Ing. Escate Ravélo, Julio Hipólito Néstor
Integrante

DNI N°. 32850228

Código ORCID: 0000-0001-9950-2999



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 8:00 a.m., del día sábado 7 del mes de junio del año dos mil ocho, en el Aula E-3 de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería en Energía, en cumplimiento al **Reglamento General para obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la UNS**, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante **Resolución N° 124-2008-UNS-CFI** de fecha 29.04.08., integrado por los siguientes docentes:

- M.Sc. Hugo Rolando Calderón Torres : Presidente
- Mg. Amancio Ramiro Rojas Flores : Secretario
- Ing. Julio Hipólito Néstor Escate Ravello : Integrante

Y según la **Resolución Decanal N°218-2008-UNS-FI** de fecha 06.06.08., se Declara Exedito a los bachilleres para dar inicio a la sustentación y evaluación de la Tesis, titulada: "**Diseño de una Minicentral Hidroeléctrica 'Chachapoyas' de 650 KW**", perteneciente a los bachilleres: **Jhonny Andrés Calle Peña**, con código de matrícula N°198911028 y **Marcos Antonio Esquivel Soria**, con código de matrícula N°198911032, participantes del IV Curso de Actualización con fines de Titulación en Ingeniería en Energía, aprobado con Resolución N°001-2008-CU-R-UNS, de fecha 4.06.08.

Terminada la sustentación del bachiller, respondió las preguntas formuladas por los miembros del jurado y el público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, en concordancia con el Reglamento General para obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declara: **APROBADO**

BACHILLER	PROMEDIO	PONDERACIÓN
JHONNY ANDRÉS CALLE PEÑA	16	REGULAR

Siendo las 09:00 a.m. del mismo día, se da por terminado el acto de sustentación, firmando los integrantes del jurado en señal de conformidad.


M.Sc. Hugo Rolando Calderón Torres
PRESIDENTE


Mg. Amancio Ramiro Rojas Flores
SECRETARIO


Ing. Julio Hipólito Néstor Escate Ravello
INTEGRANTE



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 8:00 a.m., del día sábado 7 del mes de junio del año dos mil ocho, en el Aula E-3 de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería en Energía, en cumplimiento al **Reglamento General para obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la UNS**, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante **Resolución N° 124-2008-UNS-CFI** de fecha 29.04.08., integrado por los siguientes docentes:

- M.Sc. Hugo Rolando Calderón Torres : Presidente
- Mg. Amancio Ramiro Rojas Flores : Secretario
- Ing. Julio Hipólito Néstor Escate Ravello : Integrante

Y según la **Resolución Decanal N°218-2008-UNS-FI** de fecha 06.06.08., se Declara Expedido a los bachilleres para dar inicio a la sustentación y evaluación de la Tesis, titulada: "**Diseño de una Minicentral Hidroeléctrica 'Chachapoyas' de 650 KW**", perteneciente a los bachilleres: **Jhonny Andrés Calle Peña**, con código de matrícula N°198911028 y **Marcos Antonio Esquivel Soria**, con código de matrícula N°198911032, participantes del IV Curso de Actualización con fines de Titulación en Ingeniería en Energía, aprobado con Resolución N°001-2008-CU-R-UNS, de fecha 4.06.08.

Terminada la sustentación del bachiller, respondió las preguntas formuladas por los miembros del jurado y el público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, en concordancia con el Reglamento General para obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declara: **APROBADO**

BACHILLER	PROMEDIO	PONDERACIÓN
MARCOS ANTONIO ESQUIVEL SORIA	16	REGULAR

Siendo las 09:00 a.m. del mismo día, se da por terminado el acto de sustentación, firmando los integrantes del jurado en señal de conformidad.


M.Sc. Hugo Rolando Calderón Torres
PRESIDENTE


Mg. Amancio Ramiro Rojas Flores
SECRETARIO


Ing. Julio Hipólito Néstor Escate Ravello
INTEGRANTE

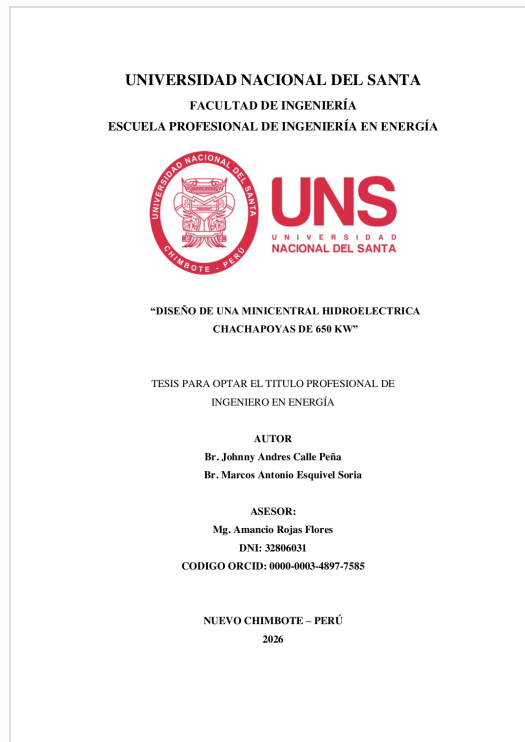


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: user user
Título del ejercicio: "DISEÑO DE UNA MINICENTRAL HIDROELECTRICA CHACHAPO...
Título de la entrega: Tesis Esquivel - Calle.pdf
Nombre del archivo: Tesis_Esquivel_-_Calle.pdf
Tamaño del archivo: 10.85M
Total páginas: 211
Total de palabras: 27,306
Total de caracteres: 138,859
Fecha de entrega: 19-mar-2026 11:18a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2907434022



Tesis Esquivel - Calle.pdf

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.slideshare.net Fuente de Internet	2%
2	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	p.pdfkul.com Fuente de Internet	1%
5	es.slideshare.net Fuente de Internet	1%
6	www.ayuntamientocandeleda.es Fuente de Internet	1%
7	faeitch2012.wordpress.com Fuente de Internet	<1%
8	idoc.pub Fuente de Internet	<1%
9	docplayer.es Fuente de Internet	<1%

DEDICATORIA

A mi familia, por su amor incondicional, comprensión y apoyo permanente a lo largo de mi formación personal y profesional. Por ser el pilar fundamental en cada etapa de este camino y por brindarme la fortaleza necesaria para culminar esta investigación.

A los docentes de la Escuela de Ingeniería en Energía de la Universidad Nacional del Santa, por sus enseñanzas, orientación y valioso aporte académico, que hicieron posible el desarrollo de esta tesis y fortalecieron mi formación como futuro profesional.

Los autores.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más profundo agradecimiento a Dios, por darme salud, fortaleza y perseverancia para culminar satisfactoriamente esta tesis.

A mi familia, por su respaldo constante, paciencia y confianza depositada en mí durante todo el proceso de elaboración de este trabajo de investigación. Su apoyo ha sido fundamental para alcanzar esta meta.

Asimismo, agradezco de manera especial a los docentes de la Escuela de Ingeniería en Energía de la Universidad Nacional del Santa, por compartir sus conocimientos, experiencia y orientación académica a lo largo de mi formación universitaria. Su dedicación y compromiso con la enseñanza han sido esenciales en el desarrollo de esta tesis.

De igual manera, hago extensivo mi reconocimiento a todas aquellas personas que, de una u otra forma, contribuyeron con sus consejos, apoyo y motivación para la realización del presente trabajo.

Los autores.

ÍNDICE

	Pg.
Dedicatoria	i
Agradecimiento	ii
Índice	iii
Índice de tabla	iv
Índice de figuras	v
Resumen	vi
Abstract	vii
I. Introducción	1
1.1. Realidad Problemática	1
2.2. Justificación	3
2.3. Hipótesis	4
2.4. Objetivos	4
2.4.1. Objetivo General	4
2.4.2. Objetivos Especificos	5
III. Marco teórico	6
3.1. Antecedentes	6
3.2. Marco conceptual	7
3.2.1. Centrales hidroeléctricas	7
3.2.2. Obras Civiles	12
3.2.3. Diseño de equipos mecánicos	19
3.2.4. Equipos Eléctricos	41
IV. Materiales y métodos	43
4.1. Materiales	43
4.2. Método	43
4.2.1. Método de la Investigación	43
4.2.2. Procedimiento de la metodología	44
4.3. Ámbito del proyecto	46
4.3.1. Ubicación política, geográfica y vías de comunicación.	46
4.3.2. Clima de la zona	46
4.3.3. Aspecto socio-económico de la región.	47
4.3.4. Población	47
4.3.5. Infraestructura existente	48

4.4.	Estudio de mercado	48
4.4.1.	Máxima demanda para viviendas	48
4.4.2.	Máxima demanda de alumbrado público	48
4.4.3.	Máxima demanda de cargas especiales	49
4.4.4.	Composición de la máxima demanda	49
4.4.5.	Perdidas de potencia en distribución	49
4.4.6.	Máxima demanda total del sistema	49
4.4.7.	Proyección de la demanda	49
4.4.8.	Gráficos de cargas	50
4.5.	Oferta de la energía eléctrica	51
4.6.	Estudio técnico operativo.	52
4.6.1.	Estudios preliminares	52
4.6.2.	Medición de altura disponible	53
4.6.3.	Tamaño y localización del proyecto.	54
V.	Resultados y discusión	55
5.1.	Máxima demanda	55
5.2.	Potencia de generación	55
5.3.	Canal de conducción	56
5.4.	Desarenador y cámara de carga	57
5.5.	Tubería de presión	58
5.6.	Canal de descarga	58
5.7.	Turbina	59
5.8.	Generador eléctrico	59
5.9.	Tablero de control, medición y protección	60
5.10.	Casa de maquina	60
5.11.	Organigrama estructural de la minicentral	60
5.12.	Evaluación económica del proyecto	63
5.13.	Cálculo de los indicadores del análisis beneficio-costos	69
5.14.	Cálculo de los costos Kwh	71
5.15.	Conclusiones del análisis económico	73
5.16.	Financiamiento	73
5.17.	Evaluación del impacto ambiental del proyecto	74
5.18.	Metodología para la evaluación del impacto ambiental	77
VI.	Conclusiones y recomendaciones	87

6.1. Conclusiones	87
6.2. Recomendaciones	88
VII. Referencias bibliográficas	89
VIII. Anexos	93

ÍNDICE DE TABLA

	Pg.
Tabla 1: Demanda del sistema	55
Tabla 2: Parámetros iniciales del diseño	55
Tabla 3: Dimensiones de canales de conductos abiertos	56
Tabla 4: Dimensiones de canales pendiente y coeficiente de rugosidad	56
Tabla 5: Dimensiones del desarenador y cámara de recarga	57
Tabla 6: Dimensiones de la cámara de recarga	58
Tabla 7: Dimensiones tubería de presión	58
Tabla 8: Perdida de presión en tuberías	58
Tabla 9: Datos de operación de turbina hidráulica	59
Tabla 10: Dato de operaciones generador eléctrico	60
Tabla 11: Venta anual de energía	63
Tabla 12: Inversiones en la mch de 650 kw	64
Tabla 13: Costo de operación y mantenimiento	65
Tabla 14: Ingreso por venta de energía a US \$ 0.109 el kWh	65
Tabla 15: Valores residuales (US \$)	67
Tabla 16: Flujo de caja interno (miles US \$)	67
Tabla 17: Valor actual neto (MILES US\$)	69
Tabla 18: Calculo del TIR	70
Tabla 19: Cálculo del costo del Kwh (US \$)	72
Tabla 20: Servicio de la deuda (US \$)	74
Tabla 21: Resumen de impactos de una mini central hidroeléctrica	81
Tabla 22: Correspondencia de los impactos de una mini central hidroeléctrica con medidas correctoras.	82

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pg.
Figura 1. Componentes de una turbina Pelton de eje horizontal, con dos equipos de inyección	21
Figura 2. Esquema simplificado de un distribuidor de turbina Pelton.	22
Figura 3. Grupo accionado por turbina Pelton con dos rodetes.	22
Figura 4. Detalle simplificado de la tobera de una turbina Pelton	23
Figura 5. Detalles simplificados de un rodete Pelton.	25
Figura 6. Esquema de montaje de cangilones sobre la periferia del rodete.	25
Figura 7. Conjunto esquemático de una turbina Pelton de eje horizontal con dos equipos de inyección.	26
Figura 8. Turbina Francis de eje horizontal.	28
Figura 9. Componentes de una turbina Francis de eje vertical.	28
Figura 10. Componentes de Turbina Francis de eje horizontal	29
Figura 11. Detalles de posiciones, cerrado o abierto, de las palas directrices del distribuidor.	30
Figura 12. Esquemas del accionamiento del anillo de distribución.	31
Figura 13. Accionamiento de las palas directrices con el anillo de distribución.	32
Figura 14. Elementos de accionamiento de las palas directrices.	32
Figura 15. Rodetes de turbinas Francis	33
Figura 16. Turbina Kaplan de eje vertical.	37
Figura 17. Turbina Kaplan.	39
Figura 18. Incidencia del agua sobre las palas del rodete en turbinas Kaplan o de hélice.	40
Figura 19. Gráfico de cargas	51
Figura 20. Etapas de la evaluación de impacto ambiental	78

RESUMEN

La presente investigación “Diseño de una Minicentral Hidroeléctrica Chachapoyas de 650 kW”, tuvo como objetivo realizar el estudio técnico-económico para la instalación de una minicentral hidroeléctrica que aproveche un caudal de 4.20 m³/s y una caída de 20 m, con el propósito de abastecer energéticamente al Parque Agroindustrial Chachapoyas y contribuir al mejoramiento socioeconómico de su zona de influencia. La investigación partió de la hipótesis de que el proyecto es técnica y económicamente viable. Como resultados, se determinó una demanda máxima de 650 kW y una potencia instalada de 659 kW, suficiente para cubrir los requerimientos energéticos del parque industrial. El diseño incluyó un canal de conducción trapezoidal revestido de concreto, un desarenador de 14 m x 20 m, una cámara de carga de 14 m x 3.50 m y una tubería de presión de acero rolado de 1.40 m de diámetro y 60 m de longitud. Se seleccionó una turbina Francis de 680 kW y 600 RPM, acoplada a un generador síncrono de 780 KVA. La evaluación económica mostró un presupuesto de US\$ 713,127.33, una TIR de 20.87 % y un costo de generación de US\$ 0.0244/kWh. Ambientalmente, el proyecto presenta impactos negativos leves, clasificados en categoría 2.

Palabras clave: Mini central hidroeléctrica, Evaluación económica e Impacto ambiental.

ABSTRACT

This research study, entitled “Design of a 650 kW Chachapoyas Mini Hydroelectric Power Plant,” aimed to carry out the technical-economic study for the installation of a mini hydroelectric power plant that takes advantage of a flow rate of 4.20 m³/s and a 20 m head, with the purpose of supplying energy to the Chachapoyas Agro-Industrial Park and contributing to the socioeconomic improvement of its area of influence. The research was based on the hypothesis that the project is technically and economically feasible. As results, a maximum demand of 650 kW and an installed capacity of 659 kW were determined, which are sufficient to meet the energy requirements of the industrial park. The design included a trapezoidal concrete-lined conveyance canal, a 14 m x 20 m settling basin, a 14 m x 3.50 m forebay, and a rolled steel penstock with a diameter of 1.40 m and a length of 60 m. A 680 kW Francis turbine at 600 RPM was selected, coupled to a 780 kVA synchronous generator. The economic evaluation showed a total budget of US\$ 713,127.33, an IRR of 20.87%, and a generation cost of US\$ 0.0244/kWh. From an environmental standpoint, the project presents mild negative impacts, classified as Category 2.

Keywords: Mini hydroelectric power plant, economic evaluation, and environmental impact..

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

La energía eléctrica representa un recurso esencial para el desarrollo integral de cualquier sociedad, ya que su disponibilidad incide directamente en la calidad de vida de la población y en el crecimiento de las actividades económicas, productivas y sociales. En el contexto peruano, el acceso desigual a este servicio ha constituido durante muchos años una de las principales limitaciones para el progreso de numerosas poblaciones, especialmente en las zonas rurales, donde la cobertura eléctrica históricamente ha sido reducida. Esta situación ha motivado la búsqueda de alternativas energéticas sostenibles que permitan atender la demanda de comunidades alejadas y, al mismo tiempo, promover procesos de desarrollo local.

En ese marco, el aprovechamiento de los recursos naturales renovables, como el recurso hídrico, surge como una opción estratégica para ampliar la cobertura eléctrica, reducir la dependencia de combustibles fósiles y fortalecer la matriz energética nacional. Las minicentrales hidroeléctricas constituyen una alternativa técnica viable para abastecer de energía a zonas con potencial hidráulico, favoreciendo no solo la electrificación, sino también la consolidación de actividades agroindustriales, comerciales y de servicios. Bajo esta perspectiva, el presente estudio se orienta al diseño de una minicentral hidroeléctrica de 650 kW para la zona de Chachapoyas, con el propósito de atender la demanda energética del futuro Parque Agroindustrial y contribuir al mejoramiento socioeconómico del área de influencia.

El acceso a la energía eléctrica constituye uno de los factores determinantes para el desarrollo económico, social y productivo de una población. Sin embargo, en el Perú, durante muchos años una parte significativa de la población no ha contado con este servicio básico en condiciones adecuadas. De acuerdo con datos del Ministerio de Energía y Minas, para el año 2004 aproximadamente el 24% de la población nacional, equivalente a 6.5 millones de habitantes, no disponía de energía eléctrica. Esta situación se agravaba en las zonas rurales, donde únicamente el 32% de la población tenía acceso al servicio. Esta realidad evidenciaba la necesidad de impulsar proyectos de electrificación que permitieran reducir la pobreza y atender a las poblaciones aisladas o marginadas mediante soluciones energéticas sostenibles, entre ellas la implementación de micro y mini centrales hidroeléctricas.

La necesidad de ampliar la oferta energética también se relaciona directamente con las metas de crecimiento económico del país. Para lograr una expansión sostenida del producto bruto interno, se requiere incrementar paralelamente la capacidad de generación eléctrica, ya que no es posible sostener el desarrollo sin contar con energía disponible en el momento oportuno y a costos razonables. En tal sentido, se vuelve necesario aprovechar con mayor eficiencia los recursos naturales renovables, disminuyendo la dependencia del petróleo y sus derivados en la matriz energética nacional.

En el caso del área de influencia del proyecto, la empresa HIDRANDINA ha llevado el servicio eléctrico a la mayoría de los centros poblados; sin embargo, la principal dificultad no radica en la ausencia absoluta del servicio, sino en la deficiente continuidad y confiabilidad del mismo. Las frecuentes interrupciones eléctricas afectan directamente las pequeñas actividades industriales y limitan el desarrollo del comercio, el turismo y otras iniciativas productivas. Además, esta inestabilidad repercute negativamente en el funcionamiento de servicios públicos fundamentales, como las escuelas, los puestos de salud y los comedores comunales, cuya atención a la población se ve restringida por la baja calidad del suministro energético. En consecuencia, los habitantes de la zona continúan enfrentando condiciones de pobreza, con acceso precario a servicios básicos y con escasas oportunidades de desarrollo sostenible.

Esta problemática adquiere mayor relevancia debido a la proyección de construcción del Parque Industrial “Chachapoyas”, cuya demanda máxima de energía eléctrica se estima en aproximadamente 550 kW cuando alcance su capacidad de producción total. Este parque se ubicará en una zona con alto potencial agrícola y frutícola, donde se cultivan productos como maíz, papa, tomate, cebolla, espárragos, algodón, ají páprika y arroz, así como frutas como durazno, fresa, mango, palta, ciruela, tuna, maracuyá y manzana, muchos de los cuales poseen valor comercial y potencial de exportación. No obstante, para garantizar la transformación agroindustrial de estos productos y consolidar una actividad económica sostenible, se requiere contar con un suministro energético continuo, seguro y técnicamente confiable.

Frente a esta situación, resulta necesario evaluar una alternativa de generación propia basada en el aprovechamiento del recurso hídrico existente en la zona. La disponibilidad de un caudal de 4.20 m³/s y una caída de 20 m configura condiciones

favorables para el diseño de una minicentral hidroeléctrica de 650 kW. Una infraestructura de este tipo permitiría cubrir la demanda del parque agroindustrial, fortalecer las actividades productivas del entorno y promover mejoras significativas en el nivel socioeconómico de la población beneficiaria. Asimismo, la ejecución del proyecto tendría efectos positivos en la generación de empleo, el incremento del poder adquisitivo de los habitantes y la dinamización de sectores vinculados como el comercio, la hotelería, el intercambio cultural y los servicios financieros, beneficiando incluso a ciudades relacionadas como Chimbote. Por lo que se plantea la siguiente pregunta ¿De qué manera el diseño de una minicentral hidroeléctrica de 650 kW, aprovechando un caudal de 4.20 m³/s y una caída de 20 m, permitirá atender la demanda energética del Parque Agroindustrial Chachapoyas y contribuir a la mejora del nivel socioeconómico de la zona de influencia?

1.2. Justificación

La presente investigación se justifica porque aborda una necesidad concreta vinculada al abastecimiento energético de una zona con potencial agroindustrial, donde las deficiencias del servicio eléctrico actual limitan el desarrollo económico y social. Desde una perspectiva práctica, el estudio propone una alternativa orientada a solucionar la inestabilidad del suministro mediante el diseño de una minicentral hidroeléctrica capaz de proporcionar energía confiable y continua al Parque Agroindustrial Chachapoyas. Esto permitirá garantizar la operatividad de sus procesos productivos y reducir la dependencia de un sistema eléctrico caracterizado por interrupciones frecuentes.

En el plano económico, el proyecto se fundamenta en la necesidad de disponer de una oferta energética estable que impulse la transformación de los recursos agrícolas y frutícolas de la zona. La generación de energía mediante una minicentral hidroeléctrica favorecerá la creación de valor agregado, la ampliación de oportunidades de inversión, la generación de empleo y el incremento del poder adquisitivo de la población. A su vez, esta dinámica contribuirá al fortalecimiento de la economía local y regional, promoviendo un crecimiento más sostenido.

Desde la dimensión social, la investigación es relevante porque el acceso a energía eléctrica de calidad repercute directamente en la mejora de las condiciones de vida de la población. Un suministro más estable beneficiará no solo a las actividades productivas, sino también a los servicios públicos esenciales, como educación, salud

y alimentación comunitaria. De esta manera, el proyecto contribuirá a disminuir la marginación y la pobreza, favoreciendo una distribución más equitativa de los beneficios del desarrollo.

En el aspecto técnico, el estudio se justifica por la necesidad de analizar rigurosamente el potencial hidráulico disponible y transformarlo en una propuesta de infraestructura funcional. La existencia de un caudal de 4.20 m³/s y una caída de 20 m permite plantear el diseño de una minicentral hidroeléctrica de 650 kW, para lo cual será necesario establecer el dimensionamiento básico de las obras civiles, la tubería forzada y los equipos electromecánicos requeridos. Este análisis garantizará la viabilidad operativa y la eficiencia del sistema propuesto.

En el ámbito ambiental, el proyecto encuentra sustento en el aprovechamiento de una fuente renovable de energía, lo que contribuye a disminuir la dependencia de combustibles fósiles y favorece una matriz energética más limpia y sostenible. Además, la incorporación de un estudio básico de impacto ambiental permitirá identificar y mitigar los posibles efectos derivados de la ejecución y operación de la minicentral hidroeléctrica.

Finalmente, desde la perspectiva académica, la investigación constituye un aporte al campo de la ingeniería, ya que integra criterios hidráulicos, civiles, electromecánicos, económicos y ambientales en una propuesta de diseño aplicada a una necesidad real. En ese sentido, el estudio podrá servir como antecedente y referencia técnica para futuros proyectos de electrificación productiva en zonas con características similares.

1.3. Hipótesis

El diseño de una Mini Central Hidroeléctrica de 650 kW, aprovechando un caudal de 4.20 m³/s y una caída de 20 m, es técnica y económicamente viable para abastecer la demanda energética del Parque Agroindustrial Chachapoyas, contribuyendo al mejoramiento del nivel socioeconómico de la zona de influencia.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Realizar el estudio técnico-económico para la instalación de una Mini Central Hidroeléctrica que aproveche el caudal de 4.20 m³/s y caída existente de 20 m, que permita la instalación y operación de un Parque Agroindustrial, con fines de mejorar en nivel socio económico de la zona.

1.4.2. Objetivos Especificos

- Determinar la Máxima Demanda de energía eléctrica necesaria para el Parque Industrial de Chachapoyas.
- Evaluar los parámetros básicos de diseño para la Mini Central Hidroeléctrica del proyecto.
- Dimensionamiento básico de las obras civiles de conducción y descarga.
- Dimensionamiento Básico de la Tubería Forzada.
- Dimensionamiento Básico de los equipos electromecánicos de la Mini Central Hidroeléctrica
- Realizar el estudio técnico y la evaluación económica del proyecto.
- Realizar el estudio Básico de Impacto Ambiental.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

La Junta de Regantes Irrigadora Chimbote “IRCHIM”, actualmente reconocida dentro del ámbito del Proyecto Especial CHINECAS y de la gestión del sector hidráulico, se vincula con la infraestructura de riego del canal IRCHIM, la cual forma parte de las obras históricas del proyecto y del sistema de distribución de agua para uso agrario en la zona. Asimismo, las juntas de usuarios desarrollan actividades de operación, mantenimiento y planificación de la infraestructura hidráulica mediante instrumentos como el Plan de Operación, Mantenimiento y Desarrollo de la Infraestructura Hidráulica (POMDIH) (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2023; Proyecto Especial CHINECAS, s. f.).

En el canal IRCHIM se han identificado condiciones hidráulicas favorables para el aprovechamiento energético, al punto que existen estudios académicos que proponen el diseño de minicentrales hidroeléctricas en tramos específicos de este canal, aprovechando el caudal circulante y el desnivel disponible. En ese sentido, el uso de caídas o desniveles dentro de canales de riego constituye una alternativa técnicamente viable para la generación de energía eléctrica en pequeña escala (Zegarra Aguirre, 2010).

La importancia de este tipo de iniciativas radica en que la energía eléctrica es un servicio esencial para mejorar la calidad de vida de la población, al facilitar la conservación de alimentos y medicinas, la iluminación, las comunicaciones y el desarrollo de actividades productivas. En particular, la pequeña hidroelectricidad ha sido reconocida como una herramienta útil para el desarrollo social y comunitario, especialmente en ámbitos rurales o productivos (Liu et al., 2019).

En la actualidad, los puntos de caída existentes en tramos del sistema hidráulico asociado a CHINECAS podrían representar oportunidades de aprovechamiento hidroenergético para usos urbanos, comerciales e industriales; sin embargo, esta afirmación requiere validación mediante estudios de campo y expedientes técnicos específicos. De manera general, la hidroelectricidad es reconocida como una fuente renovable, confiable y de generación limpia, por lo que su aprovechamiento puede

contribuir a fortalecer sistemas eléctricos más seguros y sostenibles (International Hydropower Association, s. f.).

Sobre esa base, resulta razonable plantear el desarrollo de un proyecto de minicentral hidroeléctrica orientado al abastecimiento de una demanda agroindustrial vinculada a la transformación de productos agrícolas de la zona. No obstante, la afirmación de que esta decisión haya sido adoptada formalmente por los pobladores agrupados en IRCHIM debe sustentarse con documentación institucional específica, como actas, acuerdos o perfiles de proyecto.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Centrales hidroeléctricas

Las centrales hidroeléctricas pueden clasificarse de acuerdo con diversos criterios, tales como sus características técnicas, las particularidades del emplazamiento y las condiciones en que operan.

En primer lugar, es necesario diferenciar aquellas que aprovechan el agua tal como discurre naturalmente por el cauce de un río, de aquellas otras a las que el recurso hídrico llega de forma regulada desde un lago o embalse. Estas se denominan:

Centrales de Agua Fluente

Centrales de Agua Embalsada:

- Centrales de Regulación
- Centrales de Bombeo

De igual manera, según la altura del salto de agua o desnivel disponible, las centrales hidroeléctricas se clasifican en:

Centrales de Alta Presión

Centrales de Media Presión

Centrales de Baja Presión

Centrales de Agua Fluente:

También son conocidas como centrales de pasada o de agua corriente. Se construyen en lugares donde la energía hidráulica debe aprovecharse en el mismo momento en que el agua se encuentra disponible, con el fin de accionar las turbinas hidráulicas. Estas centrales se caracterizan por poseer escasa o casi nula capacidad de almacenamiento, por lo que el caudal disponible varía de acuerdo con las estaciones del año. Durante los periodos de abundantes precipitaciones pueden desarrollar su máxima potencia, mientras que el agua sobrante continúa su curso natural. En cambio, en la época seca, la potencia generada disminuye en función de la reducción del caudal, pudiendo llegar a valores muy bajos en algunos ríos durante el estiaje. Generalmente, estas instalaciones recurren a pequeñas presas o estructuras de derivación en el cauce para mantener un desnivel constante y conducir el agua hacia el sistema de generación (Japan International Cooperation Agency [JICA], 2011; International Hydropower Association [IHA], s. f.).

Centrales de Agua Embalsada:

Estas centrales se abastecen del agua acumulada en grandes lagos o en embalses artificiales formados mediante la construcción de presas. El embalse permite almacenar los caudales aportados por los ríos afluentes, alcanzando en algunos casos una elevada capacidad de retención. Posteriormente, el agua se utiliza de acuerdo con la demanda energética, siendo conducida a través de obras hidráulicas hacia las turbinas para la producción de electricidad (JICA, 2011; U.S. Department of Energy [DOE], s. f.-a).

Centrales de Regulación:

Estas centrales tienen la capacidad de almacenar importantes volúmenes de agua en el embalse, equivalentes a aportes medios durante periodos relativamente prolongados. Gracias a esta capacidad de regulación, prestan un servicio importante en épocas de bajos caudales, ya que permiten administrar el recurso hídrico de manera continua y adecuada para la producción eléctrica. Asimismo, presentan una

buena adaptación para cubrir las horas punta de consumo, debido a la flexibilidad que les brinda el almacenamiento regulado del agua (JICA, 2011).

Centrales de Bombeo:

Reciben también la denominación de centrales de acumulación. Su funcionamiento se basa en almacenar agua mediante bombeo, transformando así la energía eléctrica en energía potencial. Pueden operar con equipos separados de turbina y bomba, o con turbinas reversibles. El sistema de bombeo, que eleva el agua desde un nivel inferior hacia otro superior, puede alimentarse con energía proveniente de otra central hidráulica o de centrales térmicas u otras fuentes del sistema eléctrico. Si bien este esquema no se caracteriza por tener el más alto rendimiento energético debido a las pérdidas propias del ciclo de bombeo y turbinación, suele considerarse económicamente viable por el valor que aporta en almacenamiento, regulación y estabilidad de la red (JICA, 2011; DOE, s. f.-a).

Centrales de Alta Presión:

En esta categoría se incluyen aquellas centrales cuyo salto hidráulico supera, en términos generales, los 200 metros de altura. En estas condiciones, los caudales por unidad suelen ser relativamente pequeños en comparación con otros tipos de aprovechamiento. Normalmente se ubican en zonas de alta montaña, donde aprovechan el agua de torrentes o corrientes con fuerte pendiente mediante conducciones de considerable longitud. Para este tipo de centrales suelen emplearse principalmente turbinas Pelton y, en ciertos casos, turbinas Francis, dependiendo de la combinación entre salto y caudal disponible (Singh, 2009; DOE, s. f.-b).

Centrales de Media Presión:

Son aquellas que trabajan con saltos hidráulicos intermedios, aproximadamente entre 20 y 200 metros. En este rango, los caudales utilizados suelen ser mayores que en las centrales de alta caída, y con frecuencia estas instalaciones se encuentran en valles de media montaña, asociadas a sistemas de regulación o embalses. Para estas condiciones, las turbinas más empleadas son las Francis y Kaplan, aunque en

determinados casos también pueden utilizarse turbinas Pelton cuando el salto disponible se aproxima al rango superior (Singh, 2009; DOE, s. f.-b).

Centrales de Baja Presión:

Estas centrales se caracterizan por operar con saltos hidráulicos inferiores a 20 metros. En este tipo de aprovechamiento, cada unidad suele trabajar con caudales elevados, por lo que las turbinas más adecuadas son las de reacción, especialmente las Kaplan, aunque también pueden emplearse turbinas Francis en determinadas condiciones. Este tipo de central es común en zonas con pequeños desniveles y abundante caudal disponible (Singh, 2009; DOE, s. f.-b).

La energía hidroeléctrica en general, y su utilización en particular, presenta diversas ventajas frente a otras fuentes de energía, entre las cuales pueden mencionarse las siguientes:

- **Disponibilidad:** Se basa en el aprovechamiento del ciclo hidrológico, por lo que constituye una fuente renovable mientras dicho ciclo se mantenga activo (Kumar et al., 2011).
- **Bajas emisiones atmosféricas:** En comparación con las tecnologías que emplean combustibles fósiles, la hidroelectricidad suele generar menores emisiones de gases de efecto invernadero durante su ciclo de vida. No obstante, desde una perspectiva técnica, resulta más adecuado señalar que presenta bajas emisiones relativas, y no afirmar de forma absoluta que no contamina (Kumar et al., 2011).
- **Aprovechamiento energético sin procesos térmicos directos:** La generación hidroeléctrica no requiere calderas ni sistemas térmicos equivalentes como parte central del proceso de conversión de energía, lo cual reduce la necesidad de ciertos equipos auxiliares asociados a otras tecnologías de generación (U.S. Geological Survey [USGS], s. f.).

- Almacenamiento de agua para regadíos: En los proyectos con embalse, el agua almacenada puede cumplir también funciones complementarias, como el abastecimiento para riego agrícola (World Bank, 2024; DOE, s. f.-a).
- Posibilidad de actividades recreativas: Algunos embalses permiten usos recreativos y turísticos, como navegación, remo o esparcimiento, según las condiciones del lugar y la gestión del recurso (World Bank, 2024).
- Regulación de caudales y reducción del riesgo de inundaciones: En determinados proyectos, la capacidad de almacenamiento y manejo del agua ayuda a regular el caudal y puede contribuir al control de crecidas (DOE, s. f.-a; World Bank, 2024).

Sin embargo, también presenta una serie de inconvenientes:

- Las presas como barreras ecológicas: Las presas pueden convertirse en obstáculos para la migración de peces y otras especies acuáticas, afectando procesos biológicos como el desove y alterando la conectividad longitudinal del río (Kumar et al., 2011).
- Alteración de la calidad del agua: El agua almacenada en embalses puede presentar cambios en su temperatura, oxigenación, nutrientes y otras propiedades físico-químicas en comparación con el agua que fluye libremente por el río, lo que puede generar impactos sobre los ecosistemas acuáticos (Kumar et al., 2011; International Finance Corporation [IFC], 2018).
- Retención de sedimentos aguas abajo: Los sedimentos suelen acumularse en el embalse, reduciendo su transporte natural río abajo. Esta situación puede empobrecer ciertos tramos fluviales, alterar la dinámica geomorfológica y disminuir gradualmente la capacidad útil del reservorio si no se implementan medidas adecuadas de manejo sedimentario (IFC, 2018; World Bank, 2018).

2.2.2. Obras Civiles

2.2.2.1. Bocatoma

Las obras de captación o toma tienen como finalidad principal cumplir con los siguientes objetivos:

- Controlar el caudal Q que será conducido hacia la casa de máquinas.
- Asegurar la captación del agua con las menores pérdidas de energía posibles.
- Impedir el ingreso de residuos sólidos o materiales extraños.
- Reducir o evitar la acumulación de sedimentos en la zona de entrada.

De acuerdo con su disposición general, las obras de captación pueden clasificarse en:

- Captación a superficie libre
 - Presa de derivación
 - Captación mediante rejillas y elementos auxiliares; cuando $Q < 10 \text{ m}^3/\text{s}$ puede ser de fondo, y cuando $Q > 10 \text{ m}^3/\text{s}$ puede ser lateral
 - Desarenador o sedimentador
 - Canal de conducción
 - Estructura de transición a presión o cámara de carga
- Galería o conducto a presión
- Captación al pie de presa

Asimismo, la rejilla ubicada en la entrada de la bocatoma suele disponerse con una inclinación aproximada de 70° a 80° , con el propósito de facilitar su limpieza manual.

2.2.2.2. Barraje de Derivación

La obra que se ejecuta para producir una retención o derivación en el cauce de un río puede clasificarse, de manera general, en dos tipos principales: azud y presa (Japan International Cooperation Agency [JICA], 2011; U.S. Department of Energy [DOE], s. f.).

- Azud.

Es una estructura transversal construida sobre el curso del río, generalmente de baja altura, cuya finalidad es elevar ligeramente el nivel del agua para generar un remanso y facilitar la derivación de una parte del caudal hacia la toma de la central. El volumen de agua que no es captado continúa su curso natural a través del aliviadero. Los azudes pueden edificarse con concreto, mampostería, enrocado o materiales sueltos, dependiendo de las condiciones del terreno y de la magnitud del proyecto (JICA, 2011).

– Presa.

En este caso, la estructura de cierre presenta una altura mayor y genera una elevación más significativa del nivel del río al formar un embalse. De acuerdo con la capacidad de almacenamiento de este, puede lograrse una regulación más o menos amplia de los aportes. Las presas pueden clasificarse según el mecanismo estructural con el que resisten el empuje hidrostático, siendo más comunes en pequeños aprovechamientos las presas de gravedad y, en algunos casos, las presas en arco (JICA, 2011).

• Presa de gravedad.

Es aquella que resiste el empuje del agua principalmente por medio de su propio peso, por lo que su estabilidad depende también de las condiciones de resistencia del terreno de cimentación. Dentro de este grupo pueden distinguirse las presas de gravedad de tierra o escollera, que suelen tener una base amplia y menor altura relativa, construidas generalmente con materiales del lugar; y las presas de gravedad de concreto, que requieren una cimentación firme y competente (JICA, 2011).

• Presa en arco.

En este tipo de estructura, el empuje del agua se transmite hacia las laderas del valle, por lo que su forma presenta curvatura y su convexidad se orienta hacia el embalse. Se emplean principalmente en valles estrechos con laderas rocosas de buena calidad geotécnica (JICA, 2011).

También, cuando se requieren elevaciones reducidas de la lámina de agua, puede emplearse una tercera alternativa:

– Azudes y presas inflables.

Estas estructuras consisten en un tubo o cuerpo flexible de material resistente, relleno con aire o agua a determinada presión y anclado sobre una base de concreto. Cuando el nivel del agua aumenta, el sistema puede deformarse permitiendo el paso del flujo por encima de la estructura; si el caudal continúa aumentando, puede producirse su vaciado parcial o total, de modo que la presa queda prácticamente abatida. Una vez restablecidas las condiciones normales, el elemento vuelve a inflarse y recupera su funcionamiento habitual (JICA, 2011).

2.2.2.3. Canal de Conducción

Los canales de conducción son estructuras hidráulicas destinadas al transporte del agua desde la captación hacia otras obras del sistema, y por lo general se diseñan con sección trapezoidal. La definición de sus taludes laterales se realiza en función de las características geotécnicas del material de excavación y de las condiciones hidráulicas del proyecto. La velocidad del agua en el canal depende de factores como la pendiente longitudinal, la rugosidad de las paredes, la geometría de la sección y el caudal transportado (JICA, 2011).

En la mayoría de los casos, los canales de aducción de una central hidroeléctrica cuentan con revestimiento interior. Ello se debe a que el revestimiento permite disminuir o eliminar filtraciones, proteger el terreno frente a la erosión causada por la velocidad del flujo, reducir la rugosidad, optimizar la sección hidráulica y mejorar la seguridad operativa del sistema (JICA, 2011).

No suele recomendarse la construcción de canales de aducción en laderas con pendiente transversal muy pronunciada, en terrenos poco consolidados o altamente permeables, ni en zonas sometidas a condiciones climáticas severas o expuestas a deslizamientos, caída de rocas, avalanchas u otros procesos de inestabilidad (JICA, 2011).

Asociadas a los canales de conducción suelen encontrarse diversas obras complementarias, tales como sifones, alcantarillas, descargas de fondo, puentes

de servicio y otras estructuras auxiliares que facilitan su operación y mantenimiento (JICA, 2011).

2.2.2.4.Desarenador y cámara de carga

El agua captada y transportada hacia la turbina suele arrastrar partículas sólidas en suspensión, como arenas y otros materiales abrasivos, que pueden ocasionar un desgaste acelerado en los álabes y demás componentes de la turbina. Para evitar este problema se emplean desarenadores o decantadores, estructuras en las que la velocidad del agua se reduce con el propósito de favorecer el asentamiento de las partículas en el fondo, desde donde pueden ser removidas posteriormente (JICA, 2011).

En términos generales, se procura que el sedimento pueda depositarse tanto en la entrada del canal como en la llegada a la tubería de presión o a la cámara de carga. Asimismo, se recomienda ubicar los desarenadores lo más cerca posible de las obras de captación y procurar que su eje coincida con el de la conducción situada aguas arriba, con el fin de uniformizar el escurrimiento dentro de la estructura (JICA, 2011).

Para facilitar la extracción de los sedimentos mediante lavado hidráulico, la parte inferior del desarenador suele disponerse con pendiente suficiente para concentrar el material en una zona definida y de menor tamaño, favoreciendo así su eliminación (JICA, 2011).

El desarenador es, por tanto, una estructura destinada a remover las partículas sólidas que son transportadas por el agua desde el canal de conducción. Por su parte, la cámara de carga es una estructura cuya finalidad es recibir el agua libre de sedimentos y conducirla hacia la tubería de presión. Generalmente se ubica al final de una aducción sin presión, ya sea un canal, túnel o conducto cerrado, inmediatamente antes del inicio de la tubería forzada (JICA, 2011).

Entre las funciones principales de la cámara de carga se encuentran impedir el ingreso de sólidos y sedimentos a la tubería de presión mediante rejas y sistemas

de desagüe, regular pequeñas fluctuaciones del caudal de alimentación a las turbinas, evacuar eventuales excesos de agua transportados por el canal de aducción y permitir el aislamiento de la tubería para labores de inspección, mantenimiento o reparación mediante compuertas o válvulas (JICA, 2011).

Además, la cámara de carga cumple la función de almacenar temporalmente el agua proveniente del canal, con capacidad suficiente para responder a las variaciones inevitables de caudal en la tubería, reduciendo así efectos hidráulicos transitorios asociados a cambios de operación de la turbina, como el golpe de presión (JICA, 2011).

2.2.2.5. Tubería de presión

La tubería de presión, también llamada tubería forzada, es la conducción encargada de transportar el agua bajo presión hasta la turbina. Entre sus principales componentes se encuentran las válvulas, el sistema de aireación o ventilación, las válvulas de purga, los anclajes y los apoyos, los cuales garantizan un funcionamiento seguro de la instalación (JICA, 2011).

Debido a que el costo de esta tubería puede representar una parte considerable del presupuesto total de una minicentral hidroeléctrica, resulta fundamental optimizar su diseño, con el fin de reducir tanto la inversión inicial como los costos de operación y mantenimiento (JICA, 2011).

Cuando la velocidad del agua en la tubería es excesiva, además de incrementarse las pérdidas de carga, pueden presentarse diversos inconvenientes. En primer lugar, aumenta la intensidad del golpe de ariete, lo que puede obligar al uso de mayores espesores o sistemas de protección. En segundo lugar, el incremento de la turbulencia puede generar perturbaciones en el flujo que afectan negativamente el comportamiento de la turbina. Finalmente, condiciones de alta velocidad pueden dificultar la regulación del sistema y exigir mayores condiciones de resistencia mecánica en la conducción y en los equipos asociados (JICA, 2011).

Las tuberías forzadas pueden disponerse tanto sobre la superficie del terreno como enterradas o semienterradas, según las características geológicas del lugar, el material de fabricación de la tubería, la temperatura ambiental y las exigencias del entorno desde el punto de vista constructivo y ambiental (Japan International Cooperation Agency [JICA], 2011).

La presión en el interior de una tubería de presión experimenta variaciones cuando ocurren cambios rápidos en el caudal descargado, especialmente como consecuencia de aperturas o cierres parciales o totales de los órganos de regulación de la turbina. Este fenómeno está asociado al golpe de ariete, que debe considerarse en el diseño hidráulico y estructural de la conducción (JICA, 2011).

En la práctica actual, gracias al perfeccionamiento de los reguladores y de los dispositivos de protección contra el golpe de ariete, pueden admitirse velocidades relativamente elevadas en la tubería. No obstante, en pequeñas centrales hidroeléctricas suele considerarse razonable un rango aproximado de 2 a 7 m/s, dependiendo del compromiso entre pérdidas de carga, costo de la tubería y seguridad hidráulica (Penche, 2004; JICA, 2011).

Entre los materiales que pueden emplearse en tuberías forzadas, destacan los siguientes:

- Acero comercial. Las tuberías de acero presentan un comportamiento ampliamente conocido en proyectos hidroeléctricos y son especialmente apropiadas en saltos altos. Su durabilidad depende en gran medida de la protección anticorrosiva, como pinturas o recubrimientos adecuados, y de un mantenimiento apropiado. En condiciones de servicio bien controladas, su vida útil puede ser prolongada (Gordon, s. f.; JICA, 2011).
- Polietileno. En aprovechamientos de baja altura de salto pueden utilizarse tuberías de polietileno de media o alta densidad, mientras que para mayores exigencias de presión se recurre a materiales de mejor desempeño mecánico. Este material ofrece ventajas como resistencia a la corrosión y facilidad de

manejo, aunque su uso depende de la presión de trabajo y de las condiciones de instalación (Penche, 2004).

- Cloruro de polivinilo (PVC-U o uPVC). Las tuberías de PVC rígido pueden ser competitivas en alturas de salto medias o bajas. Sin embargo, son sensibles a la radiación ultravioleta, por lo que suelen instalarse enterradas o protegidas. Además, requieren precaución en terrenos pedregosos o agresivos, debido a su menor tolerancia a impactos y esfuerzos concentrados (Penche, 2004).
- Resina de poliéster reforzada con fibra de vidrio (PRFV o GRP). Este tipo de tubería presenta baja rugosidad interna, lo que favorece el comportamiento hidráulico, aunque requiere manipulación e instalación cuidadosas por su sensibilidad a ciertos daños mecánicos durante el montaje (Penche, 2004).
- Polietileno de alta densidad (PEAD o HDPE). Las tuberías de PEAD pueden instalarse al aire libre y presentan buena resistencia a ambientes agresivos y bajas temperaturas. No obstante, la unión en obra de los tramos requiere soldadura por termofusión, lo que implica el uso de equipos específicos y un control cuidadoso del proceso constructivo (Penche, 2004).

Una tubería forzada se define fundamentalmente por el material con el que está construida, su diámetro, el espesor de pared y el tipo de unión previsto para su montaje. Estos parámetros condicionan tanto su comportamiento hidráulico como su resistencia estructural (JICA, 2011).

Los pilares de soporte, los anclajes y los bloques de empuje cumplen la función básica de proporcionar estabilidad a la tubería frente a las fuerzas generadas por el agua en movimiento y por los cambios de dirección o pendiente. Los apoyos deben diseñarse de forma que permitan el desplazamiento longitudinal de la tubería, a fin de absorber las contracciones y dilataciones producidas por variaciones de temperatura (JICA, 2011).

Los anclajes, usualmente ejecutados con bloques de concreto que envuelven o sujetan la tubería, tienen por finalidad fijarla al terreno y resistir las fuerzas que esta transmite, especialmente en zonas donde existen cambios de alineamiento, pendiente o sección (JICA, 2011).

2.2.2.6. Canal de descarga

El canal de descarga es la obra encargada de conducir el agua evacuada por la turbina hasta el cauce natural de restitución. Su trazado y ubicación deben seleccionarse de manera que no generen alteraciones significativas en el comportamiento hidráulico del río receptor (JICA, 2011).

Su emplazamiento debe considerar, entre otras, las siguientes condiciones:

- Evitar sectores del río donde exista deposición natural de sedimentos.
- Evitar puntos en los que el río impacte directamente contra las riberas.
- Preferir tramos donde, durante las avenidas, no se produzcan aumentos importantes del nivel del agua ni exista marcada tendencia del cauce a divagar.
- Seleccionar lugares en los que no se presenten estrechamientos inmediatos aguas abajo.

Estos criterios responden a principios de estabilidad fluvial y de adecuada restitución del caudal turbinado al cauce natural (Environment Agency, 2016; JICA, 2011).

2.2.3. Diseño de equipos mecánicos

2.2.3.1. Turbina

En la actualidad, los tres tipos de turbinas hidráulicas más utilizados con mejores resultados en pequeñas y medianas centrales hidroeléctricas son las Pelton, Francis y Kaplan. Su selección depende principalmente de la altura del salto y del caudal disponible, aunque no existen límites absolutamente rígidos entre los

campos de aplicación de cada una (U.S. Department of Energy (DOE), s. f.; JICA, 2005).

Los tipos de turbinas más empleados son los siguientes:

- Turbinas Pelton
- Turbinas Francis
- Turbinas Kaplan

Este orden responde, de forma general, a su uso en función de la altura de caída: las Pelton se asocian con saltos altos, las Francis con rangos intermedios y las Kaplan con saltos bajos y caudales elevados, aunque en la práctica existe superposición entre sus campos de aplicación (DOE, s. f.).

Turbinas Pelton

Las turbinas Pelton son turbinas de impulso o acción, de chorro libre y de admisión parcial, ya que el agua actúa solamente sobre una parte de la periferia del rodete. En este tipo de turbina, el rodete trabaja a presión atmosférica y la energía del agua se transforma principalmente por la acción del chorro sobre los cangilones o cucharas del rodete (DOE, s. f.).

Su aplicación resulta especialmente adecuada en saltos de gran altura y caudales relativamente pequeños. Por ello, suelen emplearse en centrales ubicadas en zonas de montaña o en aprovechamientos con elevada carga disponible. Además, presentan buen rendimiento en un rango amplio de operación, lo que permite trabajar con variaciones de caudal sin pérdidas excesivas de eficiencia (DOE, s. f.; JICA, 2005).

Las turbinas Pelton pueden instalarse con eje horizontal o vertical. En muchos casos, la disposición horizontal resulta conveniente por su simplicidad constructiva y facilidad de mantenimiento, aunque la elección depende del número de inyectores, la potencia de la unidad y la disposición general de la casa de máquinas (JICA, 2005).

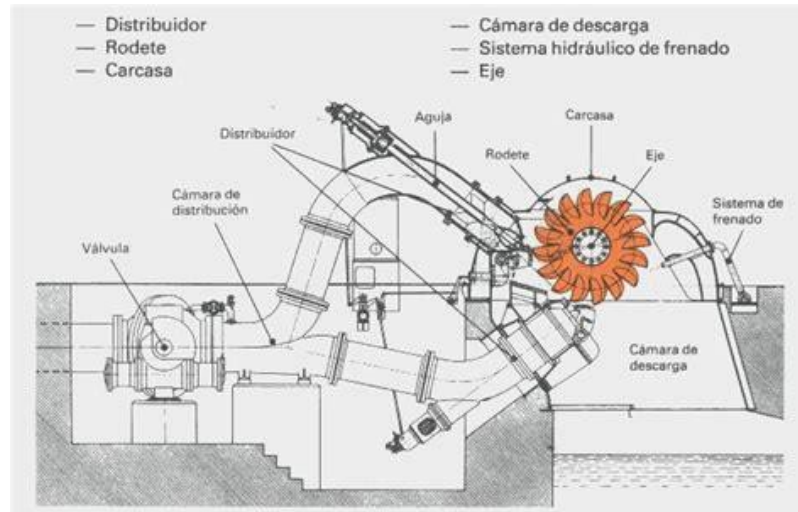
Componentes de una turbina Pelton.

Los componentes esenciales de una turbina Pelton incluyen, entre otros, el inyector, la aguja reguladora, el deflector, el rodete con cucharas o álabes, la carcasa y el eje. Cada uno de estos elementos participa en la conducción,

regulación y aprovechamiento del chorro de agua para la producción de energía mecánica (DOE, s. f.; JICA, 2005).

Figura 1.

Componentes de una turbina Pelton de eje horizontal, con dos equipos de inyección



Fuente: Adaptado de Turbina Pelton (2012), blog Fuentes de ahorro de energía.

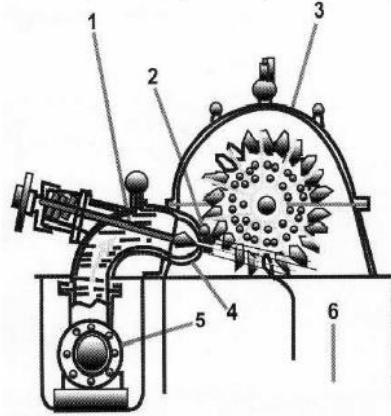
A continuación, se presenta una descripción de los principales componentes de una turbina Pelton y de los elementos auxiliares que intervienen en su funcionamiento. En este tipo de turbina, el chorro libre impacta sobre los cangilones del rodete y transforma la energía hidráulica en energía mecánica de rotación, lo que la hace especialmente adecuada para saltos altos y caudales relativamente bajos (Japan International Cooperation Agency (JICA), 2003; U.S. Department of Energy (DOE), s. f.).

- Distribuidor de una turbina Pelton: el distribuidor está formado por uno o varios equipos de inyección de agua. Su función es orientar adecuadamente un chorro cilíndrico y uniforme hacia el rodete, así como regular el caudal que debe llegar a este, incluso hasta interrumpirlo por completo cuando las condiciones de operación lo exigen (JICA, 2003; JICA, 2011).

Figura 2.

Esquema simplificado de un distribuidor de turbina Pelton.

1. Aguja; 2. Deflector; 3. Cubierta; 4. Tobera; 5. Acceso de agua. 6. Canal de salida

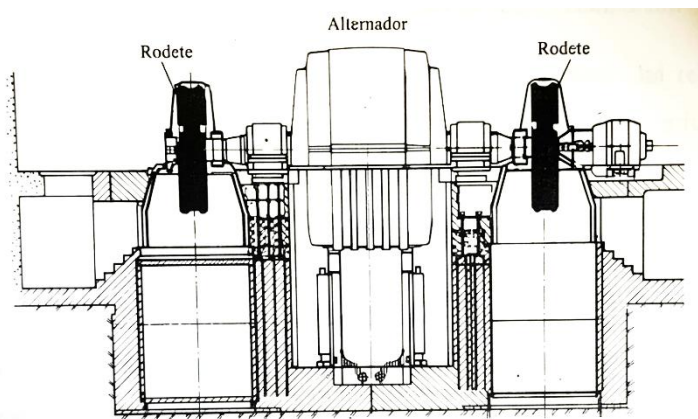


Fuente: Elaboración propia, adaptado de JICA (2003, 2011).

- El número de equipos de inyección que se disponen alrededor del rodete depende de la potencia del grupo generador, del caudal disponible y de la altura del salto. En determinados diseños es posible instalar más de un rodete en el mismo eje, siempre que cada uno cuente con el sistema de inyección apropiado para su operación (JICA, 2003; DOE, s. f.).

Figura 3.

Grupo accionado por turbina Pelton con dos rodetes.



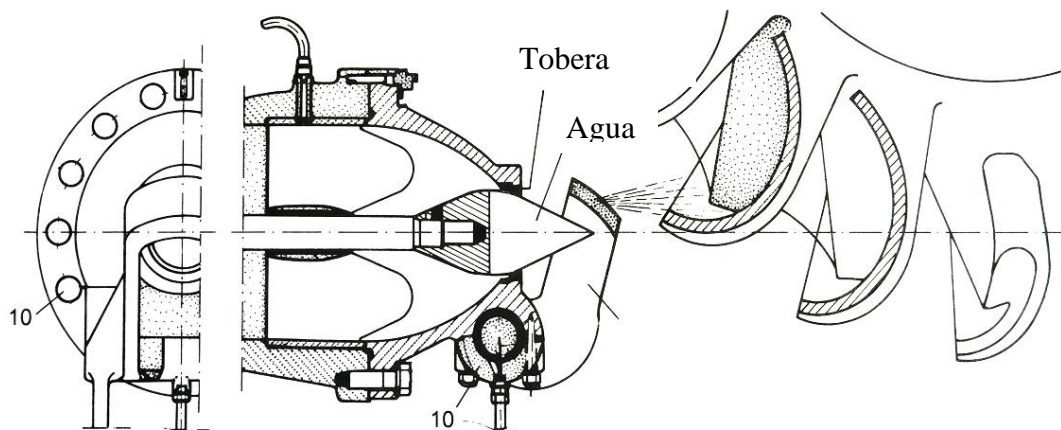
Fuente: Elaboración propia, adaptado de JICA (2003) y DOE (s. f.).

Para facilitar la comprensión del sistema, a continuación se describen los elementos que integran un equipo de inyección individual, encargado de producir y regular el chorro de agua:

- Cámara de distribución: constituye la prolongación de la tubería forzada y se conecta a ella por medio de una brida, generalmente después de la válvula de entrada a la turbina. Su función principal es conducir el caudal de agua hacia los inyectores y, además, servir de soporte a los mecanismos que conforman el distribuidor (JICA, 2011).
- Inyector: es el componente mecánico encargado de dirigir y controlar el chorro de agua. Está integrado, principalmente, por la tobera y la aguja reguladora (JICA, 2003; DOE, s. f.).
- Tobera: corresponde a la boquilla de salida, usualmente de sección circular, instalada en la terminación de la cámara de distribución. Su misión es proyectar el chorro de manera tangencial hacia la periferia del rodete, de modo que este impacte sobre los cangilones con la orientación adecuada para producir el movimiento de rotación (JICA, 2003).

Figura 4.

Detalle simplificado de la tobera de una turbina Pelton.



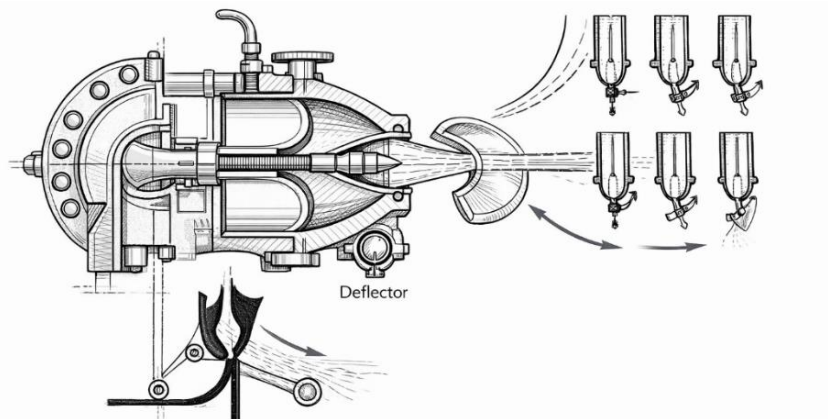
Fuente: Elaboración propia, adaptado de JICA (2003) y Penche (2004).

- Aguja: es un vástago dispuesto concéntricamente en el interior de la tobera, con movimiento longitudinal. Su extremo aguas abajo tiene forma cónico-esférica y regula el caudal al aproximarse o alejarse del orificio de salida. En el extremo opuesto actúan mecanismos de regulación y seguridad que permiten modificar su posición de acuerdo con las exigencias del grupo y, en caso necesario, cerrar rápidamente el paso del agua (JICA, 2003; JICA, 2011).

- Deflector: es un dispositivo mecánico, con forma de pala o pantalla, que puede interponerse parcial o totalmente entre la tobera y el rodete. Su función es desviar el chorro cuando se produce una reducción súbita de carga, evitando así el embalamiento del rodete y amortiguando variaciones bruscas de presión en la tubería forzada (JICA, 2003; Penche, 2004).

Figura 5.

Representación esquemática de la actuación de un deflector.



Fuente: Elaboración propia, adaptado de JICA (2003) y Penche (2004).

- Equipo de regulación de velocidad: está compuesto por dispositivos electromecánicos e hidráulicos, como servomecanismos, palancas y bielas. Su finalidad es mantener estable la velocidad de giro del grupo para conservar la frecuencia de la corriente generada dentro de los valores de operación requeridos por el sistema eléctrico (JICA, 2003; JICA, 2011).
- Rodete de una turbina Pelton: es el elemento fundamental donde la energía cinética del agua se transforma en energía mecánica de rotación. Su configuración geométrica permite que el chorro ceda su impulso al impactar sobre los cangilones, generando el movimiento del eje (DOE, s. f.; JICA, 2003).

Figura 5.

Detalles simplificados de un rodete Pelton.

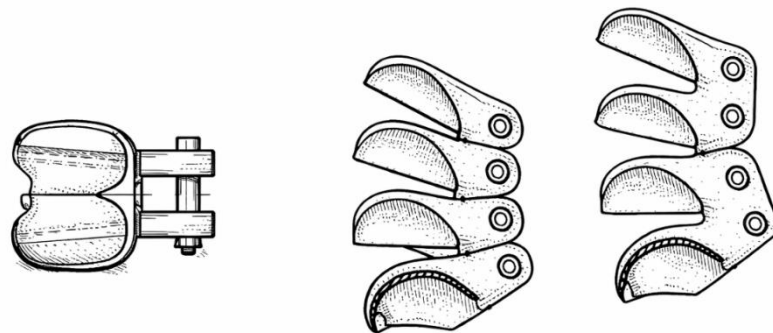


Fuente: Elaboración propia, adaptado de JICA (2003) y DOE (s. f.).

- Rueda motriz: se encuentra rígidamente unida al eje mediante chavetas y sistemas de fijación adecuados. En su periferia se dispone la superficie de apoyo para los cangilones, los cuales son responsables de recibir directamente el impacto del chorro (JICA, 2003).
- Cangilones: también conocidos como álabes, cucharas o palas, son piezas fabricadas con materiales resistentes, como acero especial o aleaciones de bronce, para reducir los efectos de corrosión y desgaste. Su forma de doble cuchara, con una arista central pronunciada, permite dividir el chorro en dos corrientes simétricas y aprovechar mejor la transferencia de impulso. Pueden instalarse individualmente mediante tornillos y cuñas o fabricarse integrados al rodete en diseños modernos (JICA, 2003; DOE, s. f.).

Figura 6.

Esquema de montaje de cangilones sobre la periferia del rodete.



Fuente: Elaboración propia, adaptado de JICA (2003).

- Carcasa de una turbina Pelton: es la envoltura metálica que cubre el rodete, los inyectores y otros componentes mecánicos. Su propósito es evitar que el agua expulsada después de impactar en los cangilones salpique al exterior. Además, incorpora sistemas de sellado en la salida del eje para reducir fugas, y en configuraciones especiales puede incluir dispositivos de aireación para equilibrar presiones alrededor del rodete (JICA, 2003; National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2004).
- Cámara de descarga de una turbina Pelton: es la zona por la que el agua sale libremente después de accionar el rodete y se dirige hacia el desagüe. Para reducir el deterioro producido por los chorros, especialmente cuando actúa el deflector, es común prever colchones de agua, blindajes o placas de protección sobre las superficies de concreto (JICA, 2003; JICA, 2011).
- Sistema hidráulico de frenado de una turbina Pelton: consiste en un circuito derivado de la cámara de distribución que proyecta agua a alta velocidad sobre la cara convexa de los cangilones para detener más rápidamente el rodete cuando las condiciones de operación lo requieren (JICA, 2003).
- Eje de una turbina Pelton: transmite el movimiento de rotación hacia el alternador y trabaja apoyado en cojinetes adecuadamente lubricados. El número y tipo de cojinetes —radiales o radial-axiales— dependen de las características particulares del grupo generador (JICA, 2003; JICA, 2011).

Figura 7.

Conjunto esquemático de una turbina Pelton de eje horizontal con dos equipos de inyección.



Fuente: Elaboración propia, adaptado de JICA (2011) y DOE (s. f.).

Turbina Francis

Las turbinas Francis se consideran turbinas de reacción y de admisión total, debido a que el agua actúa sobre todo el perímetro del rodete y la presión varía a lo largo de su paso por este componente. Asimismo, suelen describirse como turbinas radial-axiales, ya que el flujo ingresa con una componente radial y luego cambia su dirección hacia una trayectoria axial al atravesar el rodete (U.S. Department of Energy [DOE], s. f.; Japan International Cooperation Agency [JICA], 2011).

El campo de aplicación de este tipo de turbina es bastante amplio gracias al desarrollo tecnológico alcanzado en su diseño y fabricación. Por ello, pueden emplearse en saltos de altura diversa y dentro de un rango considerable de caudales, siendo especialmente comunes en instalaciones de cabeza media, aunque también pueden adaptarse a otras condiciones de operación (DOE, s. f.; International Panel on Climate Change [IPCC], 2011).

Se puede considerar la siguiente clasificación, tomando como base la velocidad específica del rodete, la cual depende directamente de las características del salto hidráulico:

- Turbina Francis lenta. Adecuada para saltos de gran altura, alrededor de 200 m o superiores (IPCC, 2011).
- Turbina Francis normal. Recomendada para saltos de altura media, aproximadamente entre 200 y 20 m (IPCC, 2011).
- Turbinas Francis rápidas y extra rápidas. Convenientes para saltos pequeños, generalmente inferiores a 20 m (IPCC, 2011).

Las turbinas Francis pueden alcanzar rendimientos elevados, aunque su desempeño óptimo se presenta dentro de un intervalo determinado de caudales, usualmente entre el 60 % y el 100 % del caudal máximo. Esta es una de las razones por las que, en muchas centrales, se instalan varias unidades, con el propósito de evitar que una sola trabaje de forma prolongada por debajo de ese rango de carga (JICA, 2011).

Al igual que las turbinas Pelton, las Francis pueden instalarse con eje horizontal o vertical; no obstante, la disposición vertical es la más utilizada, especialmente en unidades de gran potencia, debido a la experiencia acumulada y a sus ventajas de montaje y operación (DOE, s. f.; JICA, 2011).

Figura 8

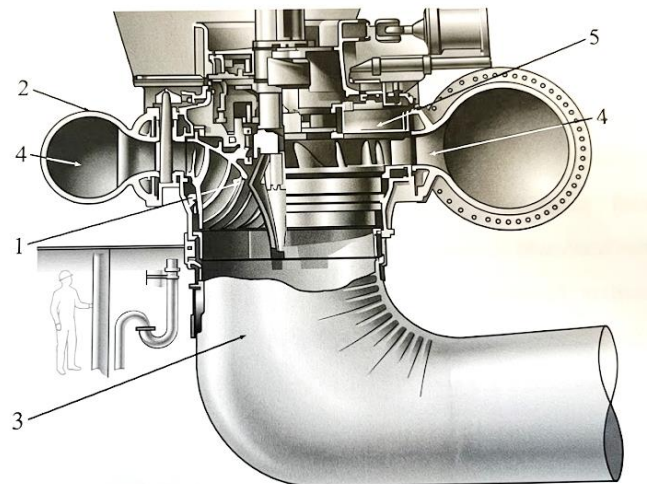
Turbina Francis de eje horizontal.



La relación de componentes fundamentales es la siguiente (Fig. 12):

Figura 9.

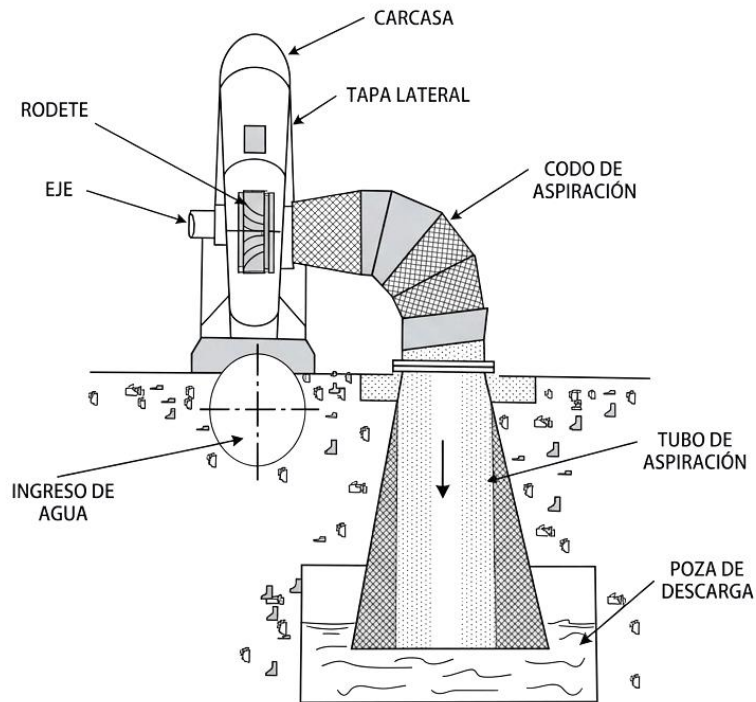
Componentes de una turbina Francis de eje vertical.



Cámara espiral de una turbina Francis

Figura 10.

Componentes de Turbina Francis de eje horizontal.



Aunque existen diferentes configuraciones, la cámara espiral es la más usada en este tipo de turbinas. Está formada por una sucesión de virolas tronco-cónicas cuyos ejes configuran una espiral. Desde la unión con la tubería forzada, donde la sección es mayor, la dimensión interna de la cámara disminuye gradualmente hasta cerrarse sobre sí misma. Esta geometría permite que el agua se distribuya con velocidad aproximadamente uniforme alrededor del distribuidor, minimizando pérdidas de carga y reduciendo la formación de torbellinos (JICA, 2011).

Normalmente, todo el conjunto se fabrica con chapas de acero unidas por soldadura y se fija rígidamente a la obra civil de concreto. Antes del hormigonado exterior, la cámara suele someterse a pruebas de presión con agua para verificar la ausencia de fugas en las uniones (JICA, 2011).

En la parte interna periférica de la cámara se dispone una abertura anular concéntrica con el eje de la turbina, conectada mediante una serie de palas fijas distribuidas uniformemente. Este conjunto, conocido como ante distribuidor o

anillo traviesa, dirige el agua casi radialmente hacia la zona del distribuidor propiamente dicho (JICA, 2011).

La cámara espiral también incorpora accesorios como entradas de inspección, tomas para medición de presión y caudal, así como drenajes y otros elementos auxiliares (JICA, 2011).

Distribuidor de una turbina Francis

El distribuidor está integrado por un conjunto de palas móviles colocadas en forma anular, concéntricamente respecto al eje de la turbina. Su función principal es distribuir el agua de manera uniforme y regular, parcial o totalmente, el caudal que ingresa al rodete (JICA, 2011; DOE, s. f.).

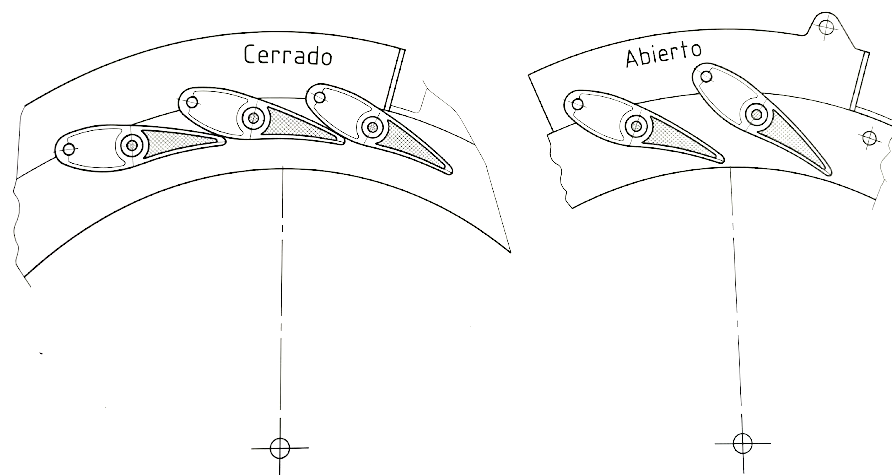
Los elementos más representativos del distribuidor son:

- Palas directrices

Las palas directrices, también llamadas álabes directores, son elementos móviles que pueden girar dentro de ciertos límites para variar la abertura del paso de agua. En posición cerrada se superponen casi totalmente, mientras que en posición abierta permiten el máximo paso del flujo, manteniendo una orientación convergente hacia el eje de la turbina (Fig. 11) (JICA, 2011).

Figura 11.

Detalles de posiciones, cerrado o abierto, de las palas directrices del distribuidor.



Los ejes de estas palas se apoyan en cojinetes ubicados en el escudo inferior y se guían en su parte superior mediante cojinetes dispuestos en la tapa de la turbina o en el escudo superior. Dichos cojinetes cuentan con sistemas adecuados de lubricación, salvo en diseños con materiales autolubricantes (JICA, 2011).

Todas las palas directrices son iguales entre sí y se mantienen en posiciones idénticas respecto al eje. Su número suele variar, aproximadamente, entre 12 en turbinas pequeñas y 24 en las de mayor tamaño (JICA, 2011).

- Equipo de accionamiento de palas directrices

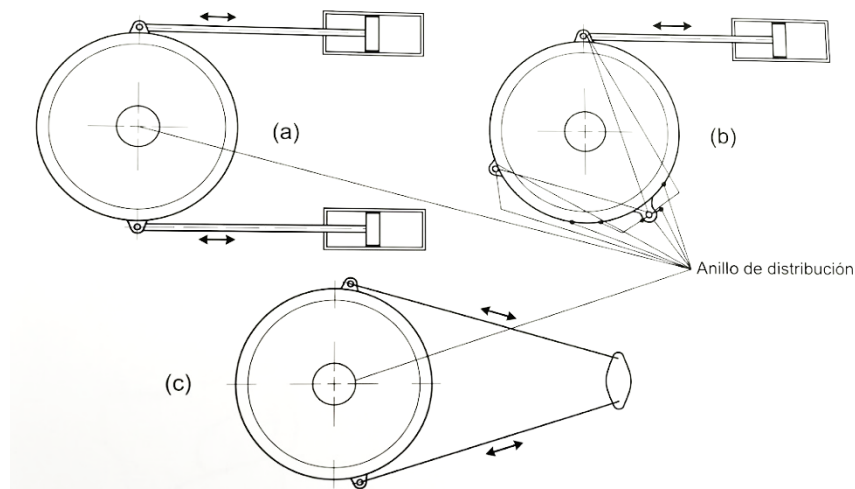
Este equipo está compuesto por servomecanismos, palancas y bielas, y forma parte del sistema de regulación gobernado por el regulador de velocidad. Su función es accionar de manera coordinada las palas directrices para ajustar el caudal de agua que llega al rodete (JICA, 2011).

- Servomotores

Generalmente se emplean dos servomotores, accionados por aceite a presión, que desplazan bielas en sentidos opuestos para transmitir un movimiento alternativo de giro al anillo de distribución, concéntrico con el eje de la turbina (Fig. 12) (JICA, 2011).

Figura 12.

Esquemas del accionamiento del anillo de distribución.



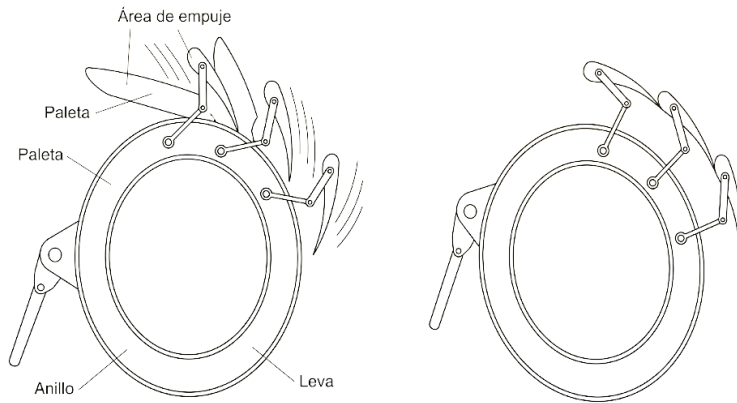
a) Por dos servomotores, b) y c) por un servomotor.

- Anillo de distribución

Este anillo transmite sus movimientos de apertura o cierre a todas las palas directrices mediante palancas unidas a los ejes de estas. De ese modo, el giro conjunto y uniforme de las palas permite modificar la sección de paso del agua a través del distribuidor (Fig. 13) (JICA, 2011).

Figura 13.

Accionamiento de las palas directrices con el anillo de distribución.

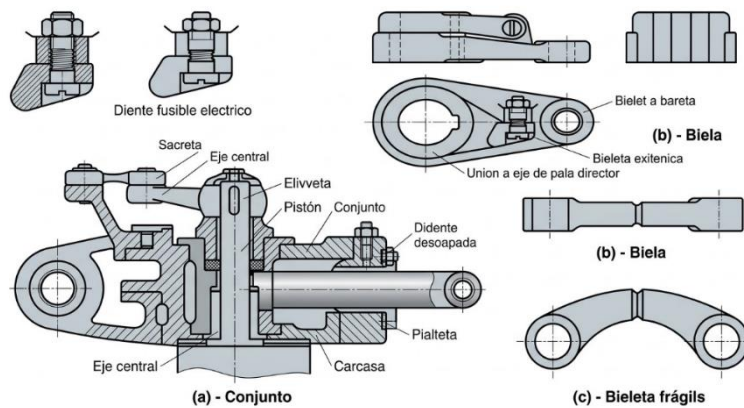


- Bielas y bieletas

La unión entre el anillo de distribución y el eje de cada pala directriz se realiza mediante un sistema de bieletas y bielas. En ciertos casos, estas piezas incluyen un bulón que actúa como fusible mecánico, con el fin de evitar daños mayores si una pala tropieza con un cuerpo extraño arrastrado por el agua (Fig. 14) (JICA, 2011).

Figura 14.

Elementos de accionamiento de las palas directrices.



- Fusibles mecánicos

Los fusibles mecánicos consisten en bulones con una entalladura diseñada para romperse con relativa facilidad cuando la pala encuentra una obstrucción. En otros diseños, esta función la cumple la propia bieleta mediante una sección debilitada. Actualmente, en muchos casos se prefiere reemplazar estos sistemas por embragues de fricción regulados a una presión de trabajo determinada (JICA, 2011).

- Equipos de engrase

Las superficies metálicas sometidas a fricción, especialmente en cojinetes, bielas y bieletas, deben mantenerse lubricadas mediante sistemas manuales o automáticos que operan a intervalos regulares (JICA, 2011).

➤ Rodete de una turbina Francis

El rodete está unido rígidamente a la parte inferior del eje de la turbina y se ubica de manera concéntrica dentro del distribuidor. Está formado por un núcleo central alrededor del cual se disponen palas alabeadas, distribuidas de manera uniforme y unidas entre sí y al núcleo formando una sola pieza, ya sea por fundición o soldadura. Estas palas se conectan exteriormente mediante una llanta o banda. Además, se instalan anillos de cierre sobre el núcleo y la llanta para mejorar la estanqueidad hidráulica al girar cerca de los escudos superior e inferior (Fig. 15) (JICA, 2011; DOE, s. f.).

Figura 15.

Rodetes de turbinas Francis.



Los álabes del rodete suelen fabricarse en bronce o en aceros aleados especiales para reducir los efectos de la corrosión y la cavitación. Su forma y disposición dependen del caudal, de la altura del salto y de la velocidad específica del diseño (JICA, 2011).

Experimentalmente se ha establecido que el número de álabes del rodete debe ser diferente del número de álabes directrices del distribuidor, con el fin de evitar vibraciones producidas por coincidencias periódicas entre ambos conjuntos. Por lo general, se busca una relación en la que ambos números no sean múltiplos entre sí (JICA, 2011).

- Difusor: También llamado como deflector o punta de rueda, es un cuerpo metálico de forma tronco-cónica ubicado como prolongación inferior del eje. Su función es guiar el agua que sale del rodete, reduciendo choques internos y evitando la formación de torbellinos que puedan disminuir el rendimiento o afectar la conservación de la máquina (JICA, 2011).
- Tubo de aspiración de una turbina Francis: El tubo de aspiración, también llamado hidrocono o difusor, es una conducción —usualmente acodada— que une la turbina con el canal de descarga. Su misión es recuperar la mayor cantidad posible de energía cinética del agua a la salida del rodete y aprovechar el desnivel entre la superficie libre del canal y la descarga de la turbina (DOE, s. f.; JICA, 2011).

En su tramo inicial suele ser metálico y de sección creciente, con forma tronco-cónica; este segmento es conocido como cono de aspiración. Puede incluir entradas de inspección y, en algunos diseños, conductos auxiliares y válvulas de compensación para equilibrar presiones en torno al rodete (JICA, 2011).

Cuando existe riesgo de inundación por encontrarse la unidad a cota baja respecto al agua de salida, se instala un sistema de obturación en el desagüe, generalmente mediante compuertas o válvulas tipo mariposa,

que permite realizar inspecciones y mantenimiento en condiciones seguras (JICA, 2011).

- Eje de una turbina Francis

En grupos con eje vertical, el eje de la turbina transmite el movimiento de rotación al rotor del alternador a través de un acoplamiento rígido. En estos casos, el soporte del conjunto —que incluye ejes, rotor, rodete y empuje hidráulico— suele localizarse en la parte correspondiente al alternador, donde se instala el cojinete de empuje (JICA, 2011).

Además de este componente, el grupo suele disponer de varios cojinetes guía, ubicados tanto en la zona del alternador como en la de la turbina. En algunos diseños, el eje puede ser hueco parcial o totalmente, dependiendo de las necesidades estructurales o de aireación del rodete (JICA, 2011).

Para impedir que el agua alcance la zona del alternador a través del eje, se emplean válvulas de aireación o conductos específicos que permiten introducir aire en la parte inferior del rodete cuando se genera una fuerte depresión en el tubo de aspiración. En grupos de eje horizontal, la aireación suele ubicarse en la parte superior del codo del tubo de aspiración (JICA, 2011).

- Equipo de sellado del eje de una turbina Francis

Su función es impedir que el agua fluya desde la zona del rodete hacia el exterior por el espacio existente entre el eje y la tapa de la turbina. Generalmente está formado por aros de juntas de carbón, grafito o materiales sintéticos, presionados sobre un collarín solidario al eje mediante muelles o dispositivos servomecánicos. Este sistema es conocido como junta del eje o junta de carbones (JICA, 2011).

Para asegurar su buen funcionamiento, se emplea agua filtrada a presión superior a la del rodete, con el fin de refrigerar las juntas y reducir el ingreso de agua. En turbinas modernas, especialmente aquellas instaladas por debajo del nivel de descarga, puede disponerse además de una junta inferior hinchable que se activa con aire comprimido cuando la unidad está detenida, reduciendo aún más las fugas (JICA, 2011).

- Cojinete guía de una turbina Francis

Este cojinete se ubica lo más cerca posible del rodete, generalmente sobre la tapa superior de la turbina y por encima del sistema de sellado. Puede estar compuesto por un anillo dividido en dos mitades o por varios segmentos ajustados al eje. Sus superficies de contacto suelen recubrirse con metal antifricción y llevan canales para favorecer la circulación del aceite y permitir una lubricación eficiente (JICA, 2011).

Para evitar sobrecalentamiento, el aceite alojado en la cuba que rodea al cojinete se refrigera mediante agua o aire, dependiendo del diseño de la central y del sistema general de enfriamiento disponible (JICA, 2011).

- Cojinete de empuje

También llamado soporte de suspensión, pivote o quicio, es un componente indispensable en grupos de eje vertical. Su ubicación puede variar según el tipo de turbina; en grupos accionados por turbinas Pelton o Francis suele situarse por encima del rotor del alternador, mientras que en otros casos puede ir por debajo (JICA, 2011).

Entre sus tipos más representativos se encuentran:

- Cojinete de empuje de zapatas rígidas.
- Cojinete de empuje de zapatas pivotantes.
- Cojinete de empuje de resortes.
- Cojinete de empuje esférico.

La mayoría de estos cojinetes opera sumergida en aceite y dispone de sistemas de lubricación a presión que garantizan la formación de una película lubricante desde el arranque hasta la parada de la máquina. Si la temperatura del aceite aumenta en exceso, disminuye su viscosidad y puede romperse dicha película, con el consiguiente riesgo de gripado; por ello, su refrigeración y control son fundamentales (JICA, 2011).

Turbinas Kaplan

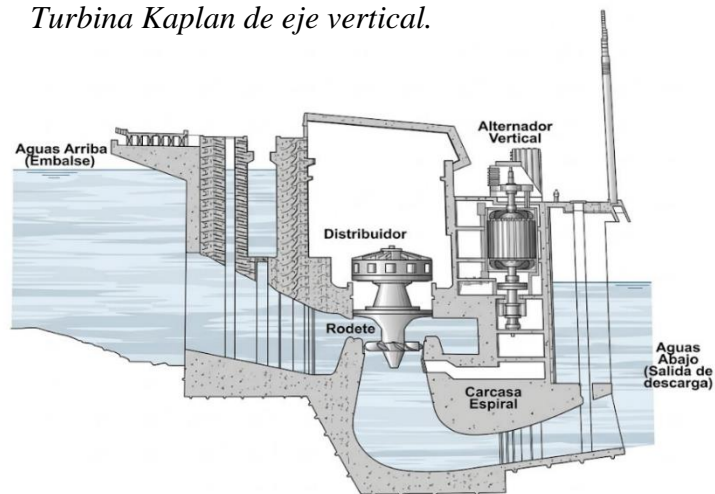
Al igual que las turbinas Francis, las Kaplan son turbinas de admisión total y también forman parte del grupo de las turbinas de reacción. Sus principios constructivos y de funcionamiento presentan varias semejanzas, aunque difieren especialmente en el diseño del rodete (DOE, s. f.; JICA, 2011).

Se emplean principalmente en saltos de pequeña altura, en torno a 50 m o menores, y con caudales medianos o altos. Gracias a su configuración, permiten desarrollar velocidades específicas elevadas y mantener buenos rendimientos incluso con amplias variaciones de caudal. A igualdad de potencia, suelen ser menos voluminosas que las turbinas Francis (DOE, s. f.; IPCC, 2011).

Normalmente se instalan con el eje en posición vertical, aunque también pueden montarse horizontal o inclinado (Fig. 16) (DOE, s. f.).

Figura 16.

Turbina Kaplan de eje vertical.



Una disposición característica de estas turbinas, junto con el alternador, corresponde a los llamados grupos bulbo y grupos pozo, empleados en centrales mareomotrices o en aprovechamientos de muy bajo salto, donde la cámara y el tubo de aspiración constituyen prácticamente un solo conducto (JICA, 2011).

Los componentes de una turbina Kaplan son muy parecidos a los de una Francis, por lo que no se insiste en los elementos que desempeñan igual función, tales como:

- Cámara espiral, metálica o de hormigón.
- Distribuidor.
- Tubo de aspiración.
- Eje.
- Equipo de sellado del eje de turbina.
- Cojinete guía de turbina.
- Cojinete de empuje, frecuentemente integrado con el anterior.

El componente que realmente distingue a la turbina Kaplan es el rodete, ya que es el responsable de mantener rendimientos altos incluso cuando el caudal desciende hasta valores cercanos al 30 % del máximo (DOE, s. f.; JICA, 2011).

Rodete de una turbina Kaplan

Su forma recuerda a la hélice de una embarcación, ya que está constituido por un número determinado de palas. En general, se emplean entre 2 y 4 palas para saltos muy pequeños, y entre 5 y 9 cuando el salto es algo mayor dentro del rango de aplicación de estas turbinas (JICA, 2011).

Si las palas mantienen una inclinación fija, por estar unidas rígidamente al núcleo del rodete formando una sola pieza, la máquina se denomina turbina hélice. Este tipo es recomendable cuando el salto, el caudal y la carga se mantienen prácticamente constantes. En cambio, solo se denomina Kaplan cuando todas las palas del rodete pueden girar simultáneamente y modificar su inclinación de

forma uniforme, según las órdenes del regulador de velocidad (Fig. 17) (DOE, s. f.; JICA, 2011).

Figura 17.

Turbina Kaplan.



Tanto los rodetes de hélice como los de Kaplan se fabrican con aleaciones especiales, y actualmente se prefiere el acero inoxidable por su mejor resistencia frente a la cavitación y al desgaste. Aunque su costo inicial sea mayor, resulta económicamente conveniente por la reducción de reparaciones y tiempos de parada (JICA, 2011).

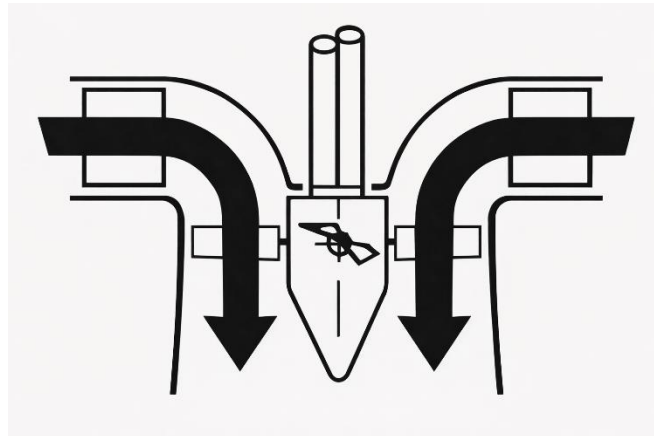
Las Kaplan también reciben el nombre de turbinas de doble regulación, debido a que el control del funcionamiento se ejerce tanto sobre las palas del distribuidor como sobre las del rodete, de acuerdo con una ley de conjugación que busca mantener alto rendimiento en diferentes condiciones de carga y caudal (DOE, s. f.; JICA, 2011).

En algunos modelos más avanzados se ha prescindido del distribuidor, realizándose la regulación solamente mediante el cambio de inclinación de las palas del rodete. Para ello, el núcleo del rodete y el eje de la turbina alojan en su interior servomotores, palancas y bielas que accionan dichas palas. Además, el cubo del rodete suele contener aceite para garantizar la estanqueidad y evitar el ingreso de agua por los ejes de las palas (JICA, 2011).

Tanto en las turbinas hélice como en las Kaplan, las palas del rodete se ubican a un nivel inferior respecto al distribuidor, de modo que el agua incide sobre su parte posterior siguiendo una dirección aproximadamente paralela al eje de la turbina (Fig. 18) (JICA, 2011).

Figura 18.

Incidencia del agua sobre las palas del rodete en turbinas Kaplan o de hélice.



El tipo, la geometría y las dimensiones de la turbina dependen principalmente de los siguientes criterios:

- Altura de salto neta.
- Caudal a turbinar.
- Velocidad de rotación.
- Problemas de cavitación.
- Velocidad de embalamiento.
- Costo.

Las turbinas hidráulicas presentan configuraciones constructivas muy diversas para adaptarse a las distintas combinaciones de altura de caída y caudal disponible. En general, trabajan a velocidades relativamente bajas, aproximadamente entre 75 y 720 rpm; las más bajas suelen corresponder a las Pelton y las más elevadas a las Kaplan. Como la mayoría se diseña para accionar directamente generadores eléctricos, su velocidad debe ser compatible con la del alternador (DOE, s. f.; IPCC, 2011).

2.2.4. Equipos Eléctricos

2.2.4.1. Generador

El generador tiene la función de convertir en energía eléctrica la energía mecánica entregada por la turbina (National Renewable Energy Laboratory [NREL], 2001).

De acuerdo con la red a la que se conectará, puede seleccionarse entre:

- Síncronos: incorporan un sistema de excitación y un regulador de tensión, de modo que antes de conectarse a la red pueden igualar voltaje, frecuencia y ángulo de fase, además de suministrar o absorber la potencia reactiva requerida por el sistema (NREL, 2001).
- Asíncronos: son básicamente motores de inducción con rotor en jaula de ardilla, sin capacidad propia de regulación de tensión. Trabajan a una velocidad vinculada a la frecuencia de la red y toman de ella la corriente de excitación, así como la potencia reactiva necesaria para su magnetización (NREL, 2001).

Los generadores pueden instalarse con eje horizontal o vertical, independientemente del tipo de turbina, aunque normalmente adoptan la misma configuración de esta para facilitar el montaje del grupo. Su refrigeración suele realizarse mediante aire tomado del ambiente de la casa de máquinas. La potencia del generador debe seleccionarse en conjunto con la potencia de la turbina (NREL, 2001).

2.2.4.2. Tablero de control, medición y protección

Este tablero contiene los equipos eléctricos que permiten regular, proteger y supervisar la distribución de energía en una instalación con máquinas eléctricas. Entre sus componentes se incluyen:

- Regulador de voltaje: mantiene el voltaje de salida del generador dentro de límites establecidos, compensando las variaciones de carga mediante el ajuste de la corriente de excitación (NREL, 2001).
- Regulador de frecuencia o gobernador: mantiene constante la frecuencia del generador actuando sobre el mecanismo de control del caudal en la turbina, para conservar estable la velocidad de la máquina (NREL, 2001).
- Sincronizador: equipo de mando que permite acoplar eléctricamente un grupo a otro o a la red, verificando frecuencia, voltaje y fase; suele incluir lámparas de sincronización, sincronoscopio, frecuencímetros y voltímetros (NREL, 2001).
- Señalización: sistema visual y/o sonoro que informa del estado normal o anormal de los equipos y sistemas de la central (NREL, 2001).
- Alarma: dispositivo normalmente sonoro que advierte la ocurrencia de anomalías o fallas (NREL, 2001).

2.2.4.3.Casa de máquinas

La casa de máquinas comprende la sala donde se instalan las turbinas hidráulicas y los generadores, así como los edificios anexos que alojan equipos auxiliares tales como conmutadores, tableros, sistemas de refrigeración, instalaciones de corriente continua y transformadores de potencia (NREL, 2001; JICA, 2011).

Cuando la casa de máquinas se ubica en superficie, el área seleccionada debe cumplir, en lo posible, con las siguientes condiciones:

- Disponer de un terreno con capacidad portante adecuada y con nivel freático por debajo de la cimentación.
- No estar afectada por los niveles máximos de avenida ni expuesta a socavación del río en la zona de descarga.
- No hallarse amenazada por movimientos en masa, deslizamientos, avalanchas, caída de rocas u otros fenómenos similares.
- Contar con espacio suficiente para la construcción del patio de alta tensión (JICA, 2011).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

Para el desarrollo de la investigación se emplearon materiales documentales, técnicos y de apoyo para el procesamiento de la información. Entre los principales materiales utilizados se consideraron los siguientes:

- Planos del canal de irrigación y del área de estudio.
- Información topográfica disponible en la Junta de Regantes IRCHIM.
- Datos del caudal de diseño del canal existente.
- Información poblacional y socioeconómica de la localidad de Chachapoyas.
- Datos de infraestructura existente y equipamiento urbano.
- Tablas de cargas eléctricas para viviendas, alumbrado público, cargas especiales y cargas industriales.
- Bibliografía técnica sobre minicentrales hidroeléctricas, turbinas hidráulicas, generación eléctrica y diseño de obras civiles.
- Calculadora científica.
- Hojas de cálculo para el procesamiento de datos.
- Procesador de texto para la elaboración del informe técnico. Metodo

3.2. Método

3.2.1. Método de la Investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, porque busca dar solución a una necesidad concreta de abastecimiento energético mediante el diseño de una minicentral hidroeléctrica destinada a cubrir la demanda del futuro Parque Industrial Chachapoyas y contribuir al desarrollo socioeconómico de su zona de influencia. Asimismo, corresponde a un estudio de nivel descriptivo, analítico y propositivo, ya que describe las características físicas, sociales, económicas y energéticas del área de estudio, analiza la disponibilidad del recurso hídrico y plantea una alternativa técnica de generación eléctrica.

El diseño de la investigación es no experimental y transversal, debido a que no se manipulan deliberadamente las variables, sino que se observan y evalúan las condiciones existentes del recurso hídrico, la topografía, la

demanda energética y las características del entorno en un momento determinado, con fines de diseño y formulación del proyecto.

3.2.2. Procedimiento de la metodología

3.2.2.1.Reconocimiento del terreno

Se efectuó el reconocimiento del terreno con el propósito de seleccionar el tramo del canal existente que presentara condiciones adecuadas para la generación eléctrica. Esta etapa también permitió identificar la ubicación preliminar de estructuras como la captación, cámara de carga y casa de máquinas. Asimismo, se verificó la información obtenida en campo con los datos topográficos disponibles en la Junta de Regantes IRCHIM.

3.2.2.2. Determinación de la disponibilidad del recurso energético

Se evaluó la disponibilidad del recurso hídrico a partir del canal existente, verificándose que este asegura un caudal aproximado de 4.20 m³/s durante todo el año, suficiente para el diseño propuesto. Esta disponibilidad fue considerada sin afectar el uso agrícola del agua, dado que la infraestructura de riego existente garantiza la atención de los cultivos de la zona.

3.2.2.3.Medición y estimación del caudal

Para determinar el caudal se consideró la relación $Q = S \times v$, donde Q representa el caudal en m³/s, S la sección del conducto en m² y v la velocidad del flujo en m/s. El valor del caudal fue estimado tomando como referencia los caudales de diseño del canal existente y los planos de su sección hidráulica. De este modo, se adoptó un caudal constante de diseño de aproximadamente 4.0 m³/s a 4.20 m³/s para el tramo seleccionado de la minicentral hidroeléctrica.

3.2.2.4.Determinación de la altura disponible

La altura o salto disponible se determinó con base en el levantamiento topográfico y la diferencia de cotas entre los puntos de captación y descarga. Para ello se desarrollaron las siguientes actividades: revisión de planos existentes, reconocimiento del terreno, ubicación preliminar de las estructuras, señalización de estaciones, medición de ángulos y cálculo de cotas y desniveles. Esta etapa permitió estimar el salto requerido para el diseño de la minicentral.

3.2.2.5. Estudio de mercado y determinación de la demanda eléctrica

Se realizó el análisis de la demanda eléctrica del área de influencia considerando cuatro componentes principales: demanda domiciliaria, demanda de alumbrado público, demanda de cargas especiales y demanda industrial. Para la demanda domiciliaria se utilizó la expresión $MD_v = N \times P \times fs$; la demanda de alumbrado público se estimó como el 15 % de la demanda domiciliaria, y a la demanda total se le adicionó un 5 % por pérdidas en transmisión y distribución. Con ello se obtuvo la máxima demanda total del sistema.

3.2.2.6. Proyección de la demanda

La proyección de la demanda eléctrica se realizó en función de la tasa de crecimiento poblacional del área de influencia, estimada en aproximadamente 2.1 % anual. Para ello se empleó la relación $MD_i = MD_o(1 + i)^r$. Asimismo, para estimar la energía anual demandada se utilizó la expresión $E(kWh) = MD(kW) \times fc \times T(h)$, considerando el factor de carga y el tiempo de uso anual.

3.2.2.7. Análisis de la oferta energética

Se evaluó la oferta existente en la zona, verificándose que la minicentral Cascajal abastece solo a su propia localidad y que el suministro de HIDRANDINA está orientado principalmente a demanda doméstica y alumbrado público. En consecuencia, se determinó que no existe una oferta suficiente para atender la futura demanda del Parque Industrial Chachapoyas, justificándose técnicamente la implementación de una minicentral hidroeléctrica específica para esta finalidad.

3.2.2.8. Definición del tamaño y localización del proyecto

El tamaño del proyecto se definió considerando la demanda energética del Parque Industrial y la posibilidad de beneficiar adicionalmente a otros usuarios del área de influencia. La localización se estableció en la misma localidad de Chachapoyas, dentro del área de influencia del Proyecto Especial CHINECAS, en función de la disponibilidad del recurso hídrico, la proximidad a la demanda y las condiciones topográficas favorables.

3.3. Ámbito del proyecto

3.3.1. Ubicación política, geográfica y vías de comunicación.

a. Ubicación política

El centro poblado de Chachapoyas está ubicado en el ámbito del Distrito de Chimbote, Provincia del Santa, Departamento de Ancash, Región Ancash.

b. Ubicación geográfica

Centro poblado de Chachapoyas se encuentra a 150 m.s.n.m., en la coordenada geográfica 78°00'20" de longitud Oeste y de 8°58'25" de latitud sur.

c. Vías de comunicación

El centro poblado de Chachapoyas está a 45 minutos de la ciudad de Chimbote, por la ruta hacia Cambio Puente – Santa Clemencia. También se tiene acceso por la carretera carrozable de la localidad de Tangay.

d. Descripción del área de influencia del proyecto

La localidad de Chachapoyas tiene su mayor parte del área lo conforman los terrenos de cultivos, bajo las aguas provenientes del Proyecto Especial Chinecas.

El terreno es inclinado de poca pendiente, teniendo suficiente extensión para el Parque Industrial. Las viviendas en su mayoría se encuentran concertadas en el mismo pueblo. La rápida de Chachapoyas está ubicada en el canal Lateral Carlos Leigh, entre las cotas 8Km+600 y 8Km+800.

3.3.2. Clima de la zona

La localidad de Chachapoyas cuenta generalmente con un clima templado, entre los meses de Diciembre a Abril llega a una temperatura promedio de 28°C, y entre los meses de Mayo a Noviembre llega a una temperatura de 20°C.

3.3.3. Aspecto socio-económico de la región.

e. Aspecto social

El centro poblado de Chachapoyas es un pueblo joven, se encuentra reconocida como Agencia Municipal, cuyo distrito es la localidad de Chimbote.

La Municipalidad estructuralmente organizado, tiene un Agente Municipal y es la máxima autoridad representativa del pueblo, además de contar con un Teniente Gobernador y un Presidente de las Comunidades.

Los pobladores tienen como leguaje el idioma el castellano.

En el aspecto religioso esta localidad practica con bastante fervor la religión católica y evangélica.

También cabe destacar que los pobladores de esta localidad se organiza de manera eventual cuando se requiere realizar algún mantenimiento (limpieza de canales, cunetas, etc.) u otro apoyo en bien de la comunidad, esto lo llaman “faenas comunales”.

f. Aspecto economico

La actividad básica en la localidad de Chachapoyas es la agricultura, los principales cultivos: arroz, maíz, espárragos, algodón, ají paprika, cebolla, papa, tomate, además de frutales como: durazno, mango, paltas, ciruelas, maracuyás, manzanas.

Se cultivan terrenos con riesgo permanente, cuentan con infraestructura de riego, pues no tiene problemas de agua, el canal Irchim garantiza un caudal suficiente y permanente durante todo el año.

La ganadería es la actividad económica de apoyo, es una especie de banco del campesino, recurre a la venta de ella cuando tienen necesidad de afrontar urgencias. Cada familia cuenta con animales menores para consumo permanente (cuyes, gallinas, pavos, etc.)

3.3.4. Población

La localidad de Chachapoyas cuenta aprox. 865 habitantes, con 2.5% de crecimiento poblacional en estos últimos 6 años. Entre los pueblos que se encuentran alrededor tenemos. Catorce Incas, Lacramarca Baja, Santa Elisa, Pampa del Toro, Palpadura, Cahuide y otros

3.3.5. Infraestructura existente

a. Viviendas

Las viviendas de la localidad de Chachapoyas están constituidas de material adobe y material noble, en su mayoría son de dos plantas, los techos son de material noble, teja y calaminas.

b. Instituciones públicas

La localidad de Chachapoyas cuenta con las siguientes entidades públicas: Un Local Comunal, una posta médica, una iglesia, un centro inicial, un colegio.

Todas estas instituciones son de material de noble.

3.4. Estudio de mercado

3.4.1. Máxima demanda para viviendas

Para proyectar la máxima demanda para viviendas se debe tomar en cuenta la potencia por vivienda de P con un factor de simultaneidad fs. El factor de simultaneidad es el valor que indica la posibilidad de que varios usuarios necesiten energía al mismo tiempo.

$$MDv = N \times P \times fs$$

Dónde:

MDv: máxima demanda por lote

N: número de lotes

P: potencia por lote

Fs: factor de simultaneidad

3.4.2. Máxima demanda de alumbrado público

Para proyectar la demanda de alumbrado público se toma el 15% de la demanda domiciliaria.

$$MDap = 0.15 \times MDv$$

3.4.3. Máxima demanda de cargas especiales

Las demandas máximas para las cargas especiales con cargas máximas consideradas según su uso, con factor de simultaneidad de 1 serán:

Local comunal	1.0 Kw.
Iglesia	1.5 Kw.
Consejo	1.5 Kw.
Escuela y colegio	3.0 Kw.
Posta medica	2.0 Kw.

3.4.4. Composición de la máxima demanda

Está compuesta por la suma de la demanda de servicio domiciliario, alumbrado público, cargas especiales, cargas Industriales.

$$MDt = MDv + MDap + MDce + MDindust \quad (Kw)$$

3.4.5. Perdidas de potencia en distribución

Son las perdidas ocasionadas por el efecto Joule en los conductores eléctricos y se toma el 5% de pérdidas de potencia en transmisión y distribución.

$$Pd = MDt \times 0.05 \quad (Kw)$$

3.4.6. Máxima demanda total del sistema

Es la potencia máxima a suministrar por el sistema de generación en el año que se pone en funcionamiento de la **Mini Central** Hidroeléctrica.

$$MDs = MDt + Pd \quad (Kw)$$

3.4.7. Proyección de la demanda

Para la proyección de la demanda de energía eléctrica en términos de potencia se efectúa en función de la tasa de crecimiento poblacional del área de influencia que asciende a un (2.1%) lo que conlleva una relación directa con el incremento de necesidad de energía eléctrica.

$$MDi = MDo \times (1 + i)^r \quad (Kw)$$

Dónde:

MDi: Máxima demanda futura

MDo: Máxima demanda en el año cero

i: Tasa de crecimiento poblacional

r: Tiempo proyectado

La proyección anterior se ha efectuado sobre la demanda expresada en términos de potencia (Kw), para proyectarlas en términos de facturación de energías se consideran los factores de carga f_c (el factor de carga es la relación de la energía total usada por los consumidores entre la capacidad total de energía conectada a los consumidores).

La relación para calcular la demanda de energía (4800hr) al año es:

$$E(Kwh) = MD(Kw) \times f_c \times T(h)$$

La proyección de la demanda de energía en Kwh

3.4.8. Gráficos de cargas

La potencia o carga de una central corresponde a la energía que esta entrega o que le es demandada en un instante determinado. Por su parte, la energía producida se entiende como la acumulación de potencia suministrada al sistema de consumo durante un periodo de tiempo específico. De esta manera, es posible determinar la energía entregada por una instalación en intervalos como una hora, un día, un mes o un año.

Si se considera un determinado ámbito de consumo de energía eléctrica, como por ejemplo un sector industrial, una ciudad, una provincia o incluso un país, y se analiza su comportamiento durante un periodo definido, se observa que la demanda no se mantiene constante, sino que presenta variaciones considerables. Estas fluctuaciones dependen, en cada momento, del número de receptores conectados a la red y de la potencia que cada uno de ellos requiere, pudiendo influir también factores temporales como las estaciones del año.

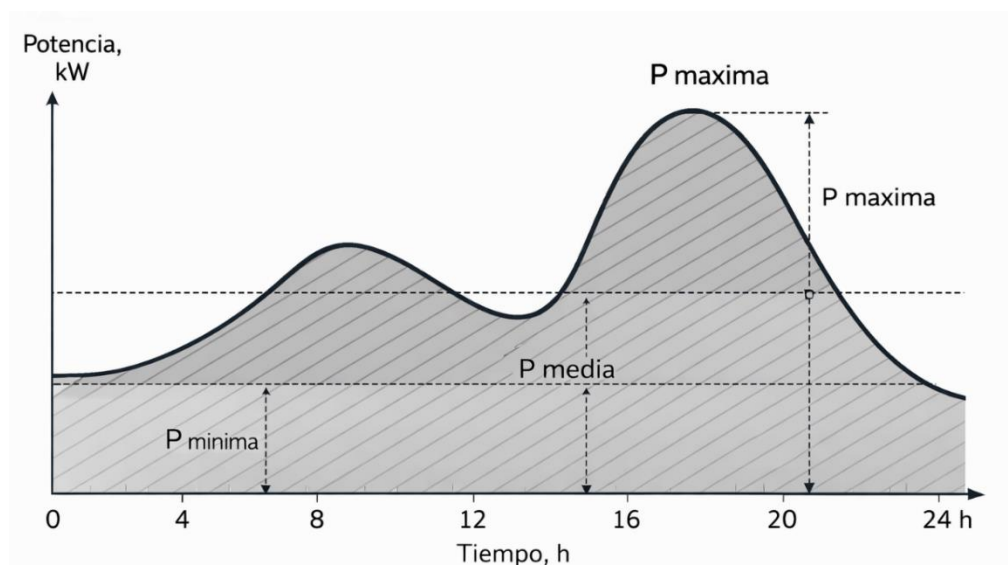
Cuando esta variación de la carga se representa en un sistema de coordenadas, ubicando en el eje horizontal los intervalos de tiempo y en el eje vertical las potencias demandadas, se obtiene un gráfico de cargas. En dicho gráfico, el área comprendida bajo la curva representa la energía total suministrada durante el periodo analizado.

Asimismo, en este tipo de representación es posible identificar una potencia máxima, una potencia mínima y una potencia media. Esta última se obtiene dividiendo la energía total suministrada entre el tiempo durante el cual se efectuó el suministro.

Para una instalación específica, pueden elaborarse gráficos de carga diarios, mensuales o anuales, según el horizonte de análisis requerido.

Figura 19.

Gráfico de cargas



3.5. Oferta de la energía eléctrica

En la zona de estudio o cerca de la zona existe una mini central cascajal, pero su capacidad solo suministra a la localidad con el mismo nombre. Además, hidrandina suministra energía eléctrica pero solo a lo referente a demanda doméstica y alumbrado público, cuentan con redes eléctricas dimensionadas solo para este fin.

Para el abastecimiento de energía eléctrica a la proyectada zona del parque industrial chachapoyas, no existe una oferta de ningún generador ni

distribuidor, por lo que se hace necesaria la instalación de una mini central en la zona, para la necesidad generada.

3.6. Estudio técnico operativo.

3.6.1. Estudios preliminares

Reconocimiento del terreno

El reconocimiento del terreno ha permitido elegir la ubicación para escoger el tramo de sección del canal existente, y de las características necesarias para la generación eléctrica.

Además se llegó a verificar los datos de trabajo de campo, con la información del levantamiento topográfico disponible en la junta de regantes irchim. Hidrometría.

A. Disponibilidad del recurso energético.

El recurso energético se encuentra disponible, actualmente en el caudal requerido para nuestro diseño será tomado del mismo canal existente, que asegura un caudal disponible de 4.20 m³/s en cualquier época del año.

Para el riego de las zonas agrícolas se cuentan con los canales y drenajes en tal sentido que no afectara a la agricultura.

Por otro lado para el agua de consumo humano, esta localidad cuenta con el servicio de agua y desagüe llevado a través de una red de tuberías.

B. Medición de caudal

El caudal es la cantidad de líquido que atraviesa una sección determinada de una conducción, ya sea abierta o cerrada, durante una unidad de tiempo. Generalmente se expresa en metros cúbicos por segundo o en litros por segundo.

La relación básica para su cálculo es la siguiente:

$$Q = S \times v$$

Donde:

Q = caudal, expresado en metros cúbicos por segundo (m³/s) siendo

1m³=1000 litros

S = área de la sección transversal de la conducción, expresada en metros cuadrados (m^2)

v = velocidad del líquido en metros por segundo (m/s)

En términos prácticos, el caudal representa el volumen de agua que pasa por una sección específica en un tiempo determinado.

La operación mediante la cual se determina el valor del caudal se denomina aforo. Esta medición puede efectuarse a partir del área de la sección de la conducción, de la velocidad media del flujo, de la altura de la lámina de agua o calado, e incluso de la presión en ciertos puntos del sistema.

De acuerdo con el tipo de conducción y las condiciones de medición, existen diversos métodos para realizar un aforo. El procedimiento más simple consiste en dividir la capacidad de un recipiente entre el tiempo que demora en llenarse. En el caso de caudales más complejos, como los que se presentan en ríos y canales, se emplean métodos como el uso de flotadores, midiendo el tiempo que tardan en recorrer una distancia previamente establecida, o el uso de vertederos de geometría conocida.

Para el valor del caudal se tiene como referencia los caudales de diseño del canal existente, que garantizan un flujo constante en todo su recorrido para esa zona.

Para determinar el área de la sección del río se verifican los planos existentes del canal de irrigación.

El caudal estimado garantizando constante, debido a los requerimientos mínimos para la irrigación de los campos de cultivo es de $4 \text{ m}^3/s$, EN TODO EL TRAMO DONDE SE UBICARA LA Mini Central Hidroeléctrica.

3.6.2. Medición de altura disponible

El nivel se entiende como la línea horizontal que corresponde a la superficie de un terreno o a la que adopta la superficie libre de un líquido en reposo.

Asimismo, puede interpretarse como la elevación o altitud de una superficie o de un punto determinado con respecto a uno o varios puntos de referencia.

En consecuencia, las variaciones continuas de esa horizontalidad expresan diferencias de nivel o desniveles entre superficies.

Cota es el valor de la altura a la que se encuentra una superficie o punto respecto del nivel del mar.

Los mapas con curvas de nivel sirven para hacer una primera estimación del salto disponible y pueden utilizarse para estudios de pre factibilidad.

El levantamiento se realizó en las siguientes fases:

- Documentación de planos
- Reconocimiento de terreno (la ubicación de las estructuras; canal, cámara, de carga y casa de máquinas)
- Señalización para las estaciones.
- Medición de ángulos y cálculos de cotas.

3.6.3. Tamaño y localización del proyecto.

c. Factores que determinan el tamaño del proyecto.-

El tamaño del proyecto se elaboró teniendo en cuenta la demanda necesaria de energía eléctrica para el funcionamiento del parque industrial, teniendo en consideración que se deberá aprovechar el recurso hidroenergético de la zona y además de contar con más usuarios que se beneficien con el suministro de energía eléctrica.

Con este proyecto se pretende abastecer de energía firme las 24 horas del día, con la finalidad de cubrir las necesidades del parque industrial y contribuir al desarrollo socio-económico de la población, a través de un mejoramiento en su calidad de vida y empleo. Además de favorecer el mejoramiento de tecnologías en el procesamiento agroindustrial con valor agregado para la zona de influencia.

d. Localización del proyecto.

La ubicación del proyecto se encuentra en la misma localidad de Chachapoyas, perteneciente al distrito de Chimbote, provincia del Santa, departamento de Ancash, se encuentra situado a 150 m.s.n.m., en la 78°00'20" de la longitud oeste y de 8° 58'25" de latitud sur, en la zona de influencia proyecto especial Chincas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Máxima demanda

La demanda del sistema está reflejada en la tabla inferior, de acuerdo a las necesidades del Parque Industrial, donde se observa que es de 650 Kw.

Tabla 1:

Demanda del sistema

DESCRIPCIÓN	CANT U.	POTENCIA Kw	TOTAL Kw
PILADORA DE ARROZ	2	50	100
PROCESADORA DE MARIGOL	1	100	100
PLANTA DE MOLINO DE GRANOS	2	75	150
PLANTA DESMOTADORA	1	200	200
PLANTA DE ENLATADOS	1	50	50
PLANTA DE PROCESAMIENTO	1	50	50
		TOTAL	650

4.2. Potencia de generación

Para los parámetros iniciales de diseño existente, caudal de 4.20 m³/s y caída de 20 metros, obtenemos una potencia de generación de 659.23 Kw

Tabla 2:

Parámetros iniciales del diseño

	p(Densidad)	g(gravidad)	
	1000	9.81	
n(eficiencia)	Q(Caudal)	H(Altura)	P(Potencia)
	m ³ /s	M	Kw
0.80	4.20	20.00	659.23

4.3. Canal de conducción:

Los canales con conductos abiertos, en los cuales el agua circula debido a la acción de gravedad. El canal de conducción será con material de concreto simple, de sección trapezoidal con ancho base(ac) de 1.585 m , una tirante (yc) de 1.015 m, con pendiente igual a 0.005 y talud de 0.25. El espesor del canal de conducción serán de 0.18 m y 0.28 m tanto en las paredes (t1, tb) como la base (t2) respectivamente.

Tabla 3:

Dimensiones de canales de conductos abiertos

yc	ac/yc	Ac	A	R
m		m	m ²	m
1.015	1.562	1.585	1.867	0.508

A: Área hidráulica del canal

R: Radio hidráulico

Tabla 4:

Dimensiones de canales pendiente y coeficiente de rugosidad

	Q=	4.200
Sc	m	Zc
0.005	0.02	0.25
t1	tb	t2
m	m	m
0.18	0.18	0.28

Fuente:

Z_c: Talud del canal

S_c: Pendiente de canal

m: Coeficiente de rugosidad de Manning

4.4.Desarenador y cámara de carga

El Desarenador será de sección rectangular, en la entrada tendrá un ancho de 1.50 m. que ira aumentando hasta el ingreso de la zona de decantación con un ancho (W) de 14.00 m., la longitud de decantación (Ld) es de 20.00 m., la profundidad de decantación (yd) será de 1.50 m., y la profundidad del tanque colector (ytr) será de 0.70 m., tendrá una pendiente de 0.025, que servirá para la facilidad del mantenimiento de la decantación de los sólidos.

Tabla 5:

Dimensiones del desarenador y cámara de recarga

Yd	Vd	f	T	S	pa
1.50	0.03	2.00	1209600.00	0.05	2600.00
W	Ld	Cs	Vs	Ctc	Ytr
m	m	Kg	m ³	m ³	m
14.00	20.00	254016.00	97.70	195.40	0.70

Vd: Velocidad de decantación

f: Factor de seguridad

T: Frecuencia del vaciado del tanque de recolección (s)

Ctc: Capacidad de del tanque recolector (m³)

S: Cantidad de sedimento transportado (Kg/ m³)

Cs: Cantidad de sedimentos en una semana en el tanque de recolección.

Vs: Volumen de recolección del sedimento (m³)

La cámara de carga será de sección rectangular y estará unida al Desarenador, tendrá el mismo ancho del Desarenador (acc) de 14.00 m. y una longitud (Lcc) de 3.50 m.

Además tendrá una rejilla de 14.0 m. por 2.30 m. de alto, la rejilla estará confeccionada de fierro galvanizado 3/8" con marco de fierro de 1/2" y con espacio entre las barras de 50 mm. Y estará ubicada en un ángulo de 20°.

Así mismo se contará con un aliviadero cuya longitud (Laf) será igual a 3.00 m. a lo largo de la cámara de carga y se ubicará en la pared lateral de la cámara de carga.

Tabla 6:

Dimensiones de la cámara de recarga

acc	lcc	hcc	laf	haf
m	m	m	m	m
14.00	3.50	2.26	3.00	0.97

4.5. Tubería de presión:

La tubería de presión es una estructura hidráulica que cumple la función de transportar el agua hasta la turbina. El diámetro de la tubería seleccionada será de 1.40 m. de material de plancha de acero, la longitud de la tubería será de 60 m.

Tabla 7:

Dimensiones tubería de presión

De	Di	Vt rec
m	m	m ² /s
1.43	1.40	2.72

La pérdida de presión en la tubería (hf) es de 0.24 m. mientras que las pérdidas secundarias (hf_i) es de 1.02 m., siendo las pérdidas totales (hf_{total}) de 1.27 m.

Tabla 8:

Pérdida de presión en tuberías

hf1	hf2	hf3	hf4	hftotal	hf %
0.68	0.08	0.12	0.15	1.27	6.33

4.6. Canal de descarga

El canal de descarga tendrá las mismas características que el canal de conducción, cuyo ancho de la base será de 1.60 m. y el ancho de la superficie será de 2.10 m. cuya pendiente y talud será 0.005 y 0.25 respectivamente.

4.7. Turbina

La turbina hidráulica tiene como función transformar la energía hidráulica en energía mecánica. para el sistema de la Mini Central, la turbina será del tipo Francis de 680 Kw y de 600 RPM, de eje horizontal. El diámetro extremo será de 0.85 m., estará confeccionado de material acero especial al cromo níquel.

Tabla 9:

Datos de operación de turbina hidráulica

η (Eficiencia)	Q (Caudal)	Hn (Altura)	Pt (Potencial)	Pt (Potencial)
	m ³	m	KW	CV
0.08	4.20	18.73	679.29	923.83

N

600

D1e

0.854

4.8. Generador eléctrico

Se empleara un generador síncrono con la frecuencia nominal de 60 Hz (60 ciclos por segundo), es la frecuencia nominal en el Perú.

Se hace notar que el voltaje nominal de los generadores es aproximadamente un 5% mayor que el voltaje nominal del sistema y que el voltaje nominal de los aparatos conectados al consumo.

El generador será del tipo trifásico, sincrónico con una potencia aparente de 765KVA, factor de potencia de 0.80, una frecuencia de 60 Hz, velocidad de giro 600 RPM y tensión nominal de 440 V.

Tabla 10:

Dato de operaciones generador eléctrico

Pt	η_g	Pg	COS ϕ	Pag	N° POLOS
KW		KW		KVA	
679.29	0.90	611.36	0.80	764.20	12.00
f (Hz) = 60.00					

4.9. Tablero de control, medición y protección

Sera de fabricación auto soportada constituido por una estructura de acero angular de 2" x 2" x 3/16" de la plancha de acero laminado en frio de 2 mm. de espesor. Las Mini Centrales deberán estar dotadas de un sistema de tierra o de Puesta a Tierra" eléctrica.

Es aconsejable diseñar un "Malla de Tierra" que cubra el perímetro de máquinas, con al menos una cruz interna.

Las carcasas de los generadores y las barras de tierra de los tableros deben conectarse sólidamente a la puesta a tierra.

4.10. Casa de maquina

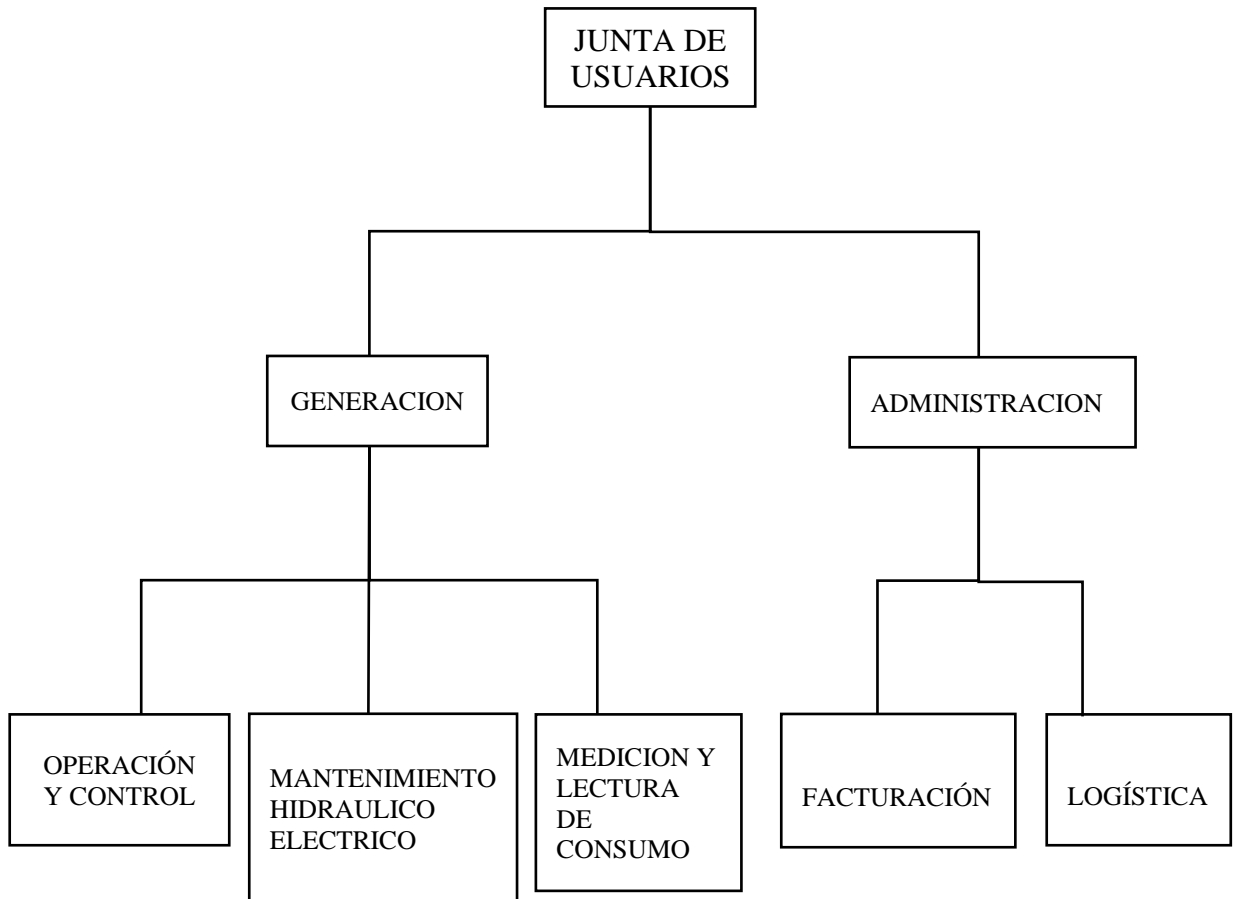
La casa de máquinas o de fuerza es el lugar donde se ubicaran los equipos mecánicos, eléctricos de generación y de protección. La distribución de los equipos se ha dado de acuerdo a recomendaciones dadas en otros diseños. Teniendo en consideración un ambiente administrativo, almacén y servicios higiénicos.

4.11. Organigrama estructural de la minicentral

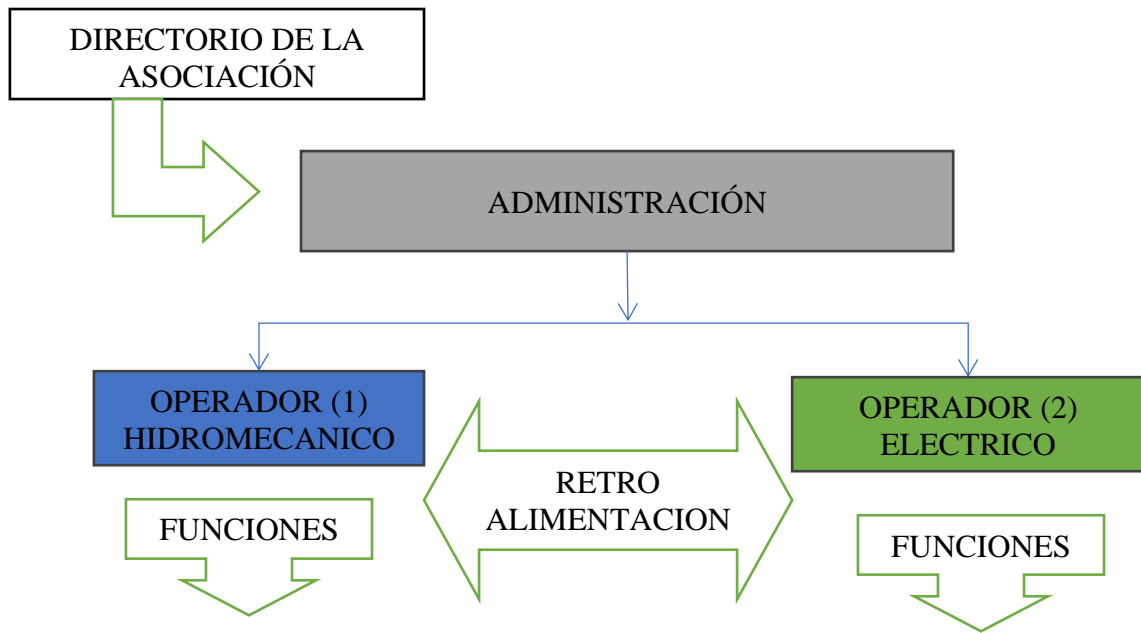
4.11.1. Organigrama

La Mini Central Hidroelectrica tendrá como autoridad autónoma para la elaboración de planes de operación y mantenimiento, y bajo la responsabilidad de la Junta de Usuarios IRCHIM.

En el Organigrama Funcional se establece la disposición de las funciones respectivas en relación con los procesos concernientes al funcionamiento de la Mini Central Hidroeléctrica.



En el diagrama siguiente, se establece la íntima relación entre la Junta de Usuarios, a través de una comisión específica, con la Administración, para la realización eficiente de los trabajos de mantenimiento de la Mini Central Hidroeléctrica.



4.11.2. Funciones

De acuerdo el proceso de funcionamiento de la Mini Central Hidroeléctrica, se pueden establecer en primera instancia las siguientes funciones, para una eficiente y con estándares de calidad en la producción de energía eléctrica.

- Operación y control.- Esta área tendrá la función de la operatividad de los equipos electromecánicos y del tablero de control de la Mini Central Hidroeléctrica.
- Mantenimiento hidráulico y eléctrico.- Esta área tendrá la responsabilidad del mantenimiento preventivo que se realizara cada 03 meses a la infraestructura civil, mecánico y eléctrico.
- Medición y lectura del consumo de energía.- Tendrá la función de registrar la lectura de consumo del usuario de cada mes.
- Facturación.- Esta área corresponde en sus funciones en registrar, facturar y programar el pago de los consumos de cada usuario.
- Logística. - Corresponde en sus funciones en abastecer a la planta en requisitos para el funcionamiento de la planta como materiales o accesorios para el mantenimiento, útiles de escritorio etc.

4.12. Evaluación económica del proyecto

La evaluación económica es un procedimiento que se utiliza para determinar la conveniencia económica de realizar un proyecto.

4.12.1. Flujo de caja interno

a. Prevision de venta de energía

Segun el estudio de mercado, teniendo en cuenta que se abastecerá casi exclusivamente al Parque Industrial, se tiene el consolidado en la tabla 11

Tabla 11:

Venta anual de energía

AÑO	ENERGIA (Kwh)
3.00	1582156.80
4.00	1605889.15
5.00	1629977.49
6.00	1654427.15
7.00	1679243.56
8.00	1704432.21
9.00	1729998.70
10.00	1755948.68
11.00	1782287.91
12.00	1809022.22
13.00	1836157.56
14.00	1863699.92
15.00	1891655.42
16.00	1920030.25
17.00	1948830.71
18.00	1978063.17
19.00	2007734.11
20.00	2037850.13
21.00	2068417.88
22.00	2099444.15

23.00	2130935.81
24.00	2162899.84
25.00	2195343.34
26.00	2228273.49
27.00	2261697.59
28.00	2295623.06
29.00	2330057.40
30.00	2365008.27

4.12.2. Determinacion de los costos

➤ **Costos de inversión**

Los costos de inversión en la instalación de esta Mini Central Hidroelectrica incluyen:

Tabla 12:

Inversiones en la mch de 650 kw

INVERSIONES	TOTAL (\$)	AÑO 1	AÑO 2
PLANIFICACION/DISEÑO/DIRECCION/IMPUESTO	178067.81	178067.81	
OBRAS CIVILES	102176.38	102176.38	
EQ. ELECTROMECHANICOS	432883.14		432883.14
COSTO TOTAL	713127.33	280244.18	432883.14
COSTO O&M	23578.95		

➤ **Costos variables**

Son los costos anuales que se van a realizar a lo largo de la vida de operación del sistema Mini Central, en el caso se considera un costo de operación y mantenimiento anual de US \$ 23578.95

Tabla 13:

Costo de operación y mantenimiento

DESCRIPCION	JORNAL	N° DIAS/MES	TOTAL (mes)	TOTAL (año)
OPERARIO	25.00	60	1,500.00	18,000.00
ADMINISTRADOR	40.00	15	600.00	7,200.00
TOTAL OPERACIÓN (S/.)			2,100.00	25,200.00
			DOLARES	8842.11
DESCRIPCION		TOTAL (mes)	TOTAL (año)	
Lubricantes, repuestos y otros materiales		3,500.00	42,000.00	
TOTAL MANTENIMIENTO (S/.)		3,500.00	42,000.00	
			DOLARES	14736.84

4.12.3. Determinación de los beneficios

- Ingresos por venta de energía.

Se calcula con la energía que según el estudio de mercado, se venderá anualmente en cada año del proyecto, a partir del tercer año.

Para determinar el monto de los ingresos se asume un costo por Kwh de referencia, en este caso se tomará un principio de referencia de US \$ 0.109.

El ingreso por este concepto se halla consignado en la tabla 14

Tabla 14:

Ingreso por venta de energía a US \$ 0.109 el kWh

AÑO	ENERGIA (Kwh)	INGRESO (\$)
3.00	1582156.80	172455.09
4.00	1605889.15	175041.92
5.00	1629977.49	177667.55
6.00	1654427.15	180332.56
7.00	1679243.56	183037.55

8.00	1704432.21	185783.11
9.00	1729998.70	188569.86
10.00	1755948.68	191398.41
11.00	1782287.91	194269.38
12.00	1809022.22	197183.42
13.00	1836157.56	200141.17
14.00	1863699.92	203143.29
15.00	1891655.42	206190.44
16.00	1920030.25	209283.30
17.00	1948830.71	212422.55
18.00	1978063.17	215608.89
19.00	2007734.11	218843.02
20.00	2037850.13	222125.66
21.00	2068417.88	225457.55
22.00	2099444.15	228839.41
23.00	2130935.81	232272.00
<hr/>		
24.00	2162899.84	235756.08
25.00	2195343.34	239292.42
26.00	2228273.49	242881.81
27.00	2261697.59	246525.04
28.00	2295623.06	250222.91
29.00	2330057.40	253976.26
30.00	2365008.27	257785.90
<hr/>		

➤ Cálculo del valor residual

Se calcula con la siguiente expresión:

$$VR_n = Vi \left(1 - \frac{n}{N}\right)$$

Donde:

VR_n: Valor residual en el año n, en US \$

Vi: Valor inicial del bien

N: Vida útil del bien (50 años obras civiles y 30 años en equipos electrodomésticos)

n: Año en que se calcula el valor residual

valor residual de las obras civiles

N = 50 años

n = 30 años

valor residual de equipos electromecánicos

N = 30 años

n = 28 años

El valor residual total será:

VR = US\$ 69729.43

Tabla 15:

Valores residuales (US \$)

DESCRIPCION	Vri(\$)	VRn(\$)
OBRAS CIVILES	102176.38	40870.55
EQ. ELECTROMECHANICOS	432883.14	28858.88
TOTAL (\$)	535059.52	69729.43

En la tabla N° 16 se observa el flujo de cada durante los años en análisis:

Tabla 16:

Flujo de caja interno (miles US \$)

AÑO	BENEFICIOS		COSTOS			FLUJO CAJA
	V. ENERG	V. RESID	TOTAL	INVERSION	O&M TOTAL	
1			0.00	280.24	280.24	- 280.24
2			0.00	432.88	432.88	- 432.88
3	172.46		172.46		23.58 23.58	184.88
4	175.04		175.04		23.58 23.58	151.46
5	177.67		177.67		23.58 23.58	154.09

6	180.33		180.33	23.58	23.58	156.75
7	183.04		183.04	23.58	23.58	159.46
8	185.78		185.78	23.58	23.58	162.20
9	188.57		188.57	23.58	23.58	164.99
10	191.40		191.40	23.58	23.58	167.82
11	194.27		194.27	23.58	23.58	170.69
12	197.18		197.18	23.58	23.58	173.60
13	200.14		200.14	23.58	23.58	176.56
14	203.14		203.14	23.58	23.58	179.56
15	206.19		206.19	23.58	23.58	182.61
16	209.28		209.28	23.58	23.58	185.70
17	212.42		212.42	23.58	23.58	188.84
18	215.61		215.61	23.58	23.58	192.03
19	218.8		218.8	23.58	23.58	195.26
20	222.13		222.13	23.58	23.58	198.55
21	225.46		225.46	23.58	23.58	201.88
22	228.84		228.84	23.58	23.58	205.26
23	232.27		232.27	23.58	23.58	208.69
24	235.76		235.76	23.58	23.58	212.18
25	239.29		239.29	23.58	23.58	215.71
26	242.88		242.88	23.58	23.58	219.30
27	246.53		246.53	23.58	23.58	222.95
28	250.22		250.22	23.58	23.58	226.64
29	253.98		253.98	23.58	23.58	230.40
30	257.79	69.73	327.73	23.58	23.58	303.94

4.13. Cálculo de los indicadores del análisis beneficio-costos

4.13.1. Cálculo del valor actual neto (VAN)

Se calcula utilizando el flujo de caja de la tabla N° 15 utilizando 10% y 12%, mediante la fórmula

$$VAN = \sum_{n=0}^N \frac{S_n}{(1+i)^n}$$

Donde:

Sn: Flujo de caja

i: Tasa de interés en tanto por ciento

N: Periodo de vida de la actividad económica

De la tabla 17, obtenemos los valores para el 10% un VAN = 710.47 y para el 12% un VAN = -58.02

Tabla 17:

Valor actual neto (MILES US\$)

AÑO	FLUJO CAJA	TASA % FACTOR	10.00 VANE	TASA % FACTOR	12.00 VANE
1	-280.24	0.9091	-254.77	0.8929	-227.47
2	-432.88	0.8264	-357.75	0.7972	-285.20
3	184.88	0.7513	111.85	0.7118	79.61
4	151.46	0.6830	103.45	0.6355	65.75
5	154.09	0.6209	95.68	0.5674	54.29
6	156.75	0.5645	88.48	0.5066	44.83
7	159.46	0.5132	81.83	0.4523	37.01
8	162.20	0.4665	75.67	0.4039	30.56
9	164.99	0.4241	69.97	0.3606	25.23
10	167.82	0.3855	64.70	0.3220	20.83
11	170.69	0.3505	59.83	0.2875	17.20
12	173.60	0.3186	55.32	0.2567	14.20
13	176.56	0.2897	51.14	0.2292	11.72
14	179.56	0.2633	47.28	0.2046	9.68
15	182.61	0.2394	43.72	0.1827	7.99

16	185.70	0.2176	40.41	0.1631	6.59
17	188.84	0.1978	37.36	0.1456	5.44
18	192.03	0.1799	34.54	0.1300	4.49
19	195.26	0.1635	31.93	0.1161	3.71
20	198.55	0.1486	29.51	0.1037	3.06
21	201.88	0.1351	27.28	0.0926	2.53
22	205.26	0.1228	25.22	0.0826	2.08
23	208.69	0.1117	23.31	0.0738	1.72
24	212.18	0.1015	21.54	0.0659	1.42
25	215.71	0.0923	19.91	0.0588	1.17
26	219.30	0.0839	18.40	0.0525	0.97
27	222.95	0.0763	17.01	0.0469	0.80
28	226.64	0.0693	15.72	0.0419	0.66
29	230.40	0.0630	14.52	0.0374	0.54
30	303.94	0.0573	17.42	0.0334	0.58
TIR	20.87%	VANE 10%	710.47	VANE 12%	-58.02

4.13.2. Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR)

Se calcula utilizando la función TIR del programa Excel, en la Tabla N° 18 del flujo de caja, dando como resultado un TIR de 20.87%.

Tabla 18:

Calculo del TIR

AÑO	FLUJO CAJA
1	-280.24
2	-432.88
3	148.88
4	151.46
5	154.09
6	156.75
7	159.46

8	162.20
9	164.99
10	167.82
11	170.69
12	173.60
13	176.56
14	179.56
15	182.61
16	185.70
17	188.84
18	192.03
19	195.26
20	198.55
21	201.88
22	205.26
23	208.69
24	212.18
25	215.71
26	219.30
27	222.95
28	226.64
29	230.40
30	303.94
TIR	20.87%

4.14. Cálculo de los costos Kwh

Se calcula dividiendo el valor actual de todos los costos entre el valor actual de los Kwh que se espera vender, a una misma tasa de descuento igual a 20.87 %. Los datos se presentan en la Tabla 19, donde se refleja que el costo por unidad de energía generada es de 0.244 \$/Kwh

Tabla 19:

Cálculo del costo del Kwh (US \$)

AÑO	COSTO TOTAL	F. ACTUAL	V. ACTUAL	VALOR ACTUAL	KWH	F. ACTUAL	V. ACTUAL	VALOR ACTUAL
1	280.24	0.9979		279.66	0.00	0.9979		0.00
2	432.88	0.9958		431.08	0.00	0.9958		0.00
3	23.58	0.9938		23.43	1582.16	0.9938		1572.29
4	23.58	0.9917		23.38	1605.89	0.9917		1592.55
5	23.58	0.9896		23.33	1629.98	0.9896		1613.08
6	23.58	0.9876		23.29	1654.43	0.9876		1633.86
7	23.58	0.9855		23.24	1679.24	0.9855		1654.92
8	23.58	0.9835		23.19	1704.43	0.9835		1676.24
9	23.58	0.9814		23.14	1730.00	0.9814		1697.84
10	23.58	0.9794		23.09	1755.95	0.9794		1719.72
11	23.58	0.9773		23.04	1782.29	0.9773		1741.88
12	23.58	0.97753		23.00	1809.02	0.97753		1764.33
13	23.58	0.9733		22.95	1836.15	0.9733		1787.06
14	23.58	0.9712		22.90	1863.70	0.9712		1810.09
15	23.58	0.9692		22.85	1891.66	0.9692		1833.42
16	23.58	0.9972		22.81	1920.03	0.9972		1857.04
17	23.58	0.9652		22.76	1948.83	0.9652		1880.97
18	23.58	0.9632		22.71	1978.06	0.9632		1905.21
19	23.58	0.9612		22.66	2007.73	0.9612		1929.76
20	23.58	0.9592		22.62	2037.85	0.9592		1954.63
21	23.58	0.9572		22.57	2068.42	0.9572		1979.82
22	23.58	0.9552		22.52	2099.44	0.9552		2005.33
23	23.58	0.9532		22.48	2130.94	0.9532		2031.17
24	23.58	0.9512		22.43	2162.90	0.9512		2057.35
25	23.58	0.9492		22.38	2195.34	0.9492		2083.86
26	23.58	0.9472		22.33	2228.27	0.9472		2110.71
27	23.58	0.9453		22.29	2261.70	0.9453		2137.91
28	23.58	0.9433		22.24	2295.62	0.9433		2165.46

29	23.58	0.9413	22.20	2330.06	0.9413	2193.37
30	23.58	0.9394	-43.35	2365.01	0.9394	2221.63
	TOTAL		1283.22	TOTAL		52611.54
			COSTOS DEL KWH EN US\$			0.0244

4.15. Conclusiones del análisis económico

Los resultados mas significativos son:

$$\text{VAN (10)} = 710.47$$

$$\text{VAN (12)} = -58.02$$

$$\text{TIR} = 20.87 \%$$

$$\text{Costo del Kwh} = \text{US } \$ 0.0244$$

Estos resultados muestran que el proyecto, tal como está planeado en condiciones del mercado tendría buenas posibilidades economicas debido a que el costo del Kwh (US\$ 0.0244) resulta siendo menor que el precio que se tomo como referencia (US \$ 0.109)

4.16. Financiamiento

Objeto del crédito	40% del total de la inversión
Monto del crédito	US \$ 285250.93
Tasa efectiva anual	10%
Periodo de gracia	2 años
Periodo de amortización	8 años
Cuotas	fijas

Tabla 20:

Servicio de la deuda (US \$)

AÑO	SALDO \$	INTERESES 0.10	AMORTIZACION \$	CUOTA
1	285250.93	28525.09		28525.09
2	285250.93	28525.09		28525.09
3	285250.93	28525.09	24943.52	53468.61
4	260307.41	26030.74	27437.87	53468.61
5	232869.55	23286.95	30181.66	53468.61
6	202687.89	20268.79	33199.82	53468.61
7	169488.07	16948.81	36519.80	53468.61
8	132968.27	13296.82	40171.78	53468.61
9	92796.48	9279.65	44188.96	53468.61
10	48607.52	4860.75	48607.86	53468.61
TOTAL		199547.80	285251.26	484799.06

4.17. Evaluación del impacto ambiental del proyecto

4.17.1. Generalidades

La evaluación de impacto ambiental de un proyecto comprende el conjunto de acciones orientadas a identificar, analizar y valorar los posibles efectos adversos que una intervención puede generar sobre los recursos naturales, los aspectos socioculturales y la salud pública. Con el propósito de prevenir, mitigar o controlar dichos efectos negativos y asegurar el funcionamiento sostenible de los ecosistemas involucrados, resulta indispensable desarrollar investigaciones dirigidas a evaluar los impactos ambientales de los proyectos de desarrollo, aplicando metodologías que permitan anticipar sus consecuencias desde la fase de concepción hasta las etapas de operación y mantenimiento.

La creciente preocupación por la conservación del medio ambiente ha impulsado la creación de diversos mecanismos e instrumentos destinados a predecir, prevenir y controlar los efectos ambientales ocasionados por las actividades humanas. Entre estos instrumentos, la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) ocupa un lugar

central, ya que permite incorporar la variable ambiental en la concepción, planificación y ejecución de los proyectos de desarrollo.

En la actualidad, los distintos sectores de la administración pública regulan y supervisan la aplicación de la legislación ambiental, habiéndose establecido normas específicas para la evaluación de impactos ambientales. Se espera que estas responsabilidades se fortalezcan también en los niveles regional y municipal, con lo cual podrían ampliarse los mecanismos de vigilancia y control ambiental, que en muchos casos aún resultan insuficientes.

No obstante, persisten concepciones erróneas o parciales respecto a lo que realmente representa un estudio de impacto ambiental. En numerosos casos, se le considera únicamente como un requisito legal necesario para obtener autorizaciones, licencias o financiamiento para la ejecución de un proyecto, dejando de lado su verdadero valor como instrumento de gestión ambiental.

De igual manera, tanto los gobiernos locales como una parte importante de la ciudadanía, que aún muestran una limitada conciencia frente a los riesgos ambientales, no siempre reconocen la necesidad real de contar con instrumentos como la EIA ni el papel fundamental que esta desempeña en la protección y gestión del ambiente.

En ese sentido, la EIA reviste gran importancia, pues se ha convertido en una herramienta esencial para la formulación, diseño e implementación de proyectos de inversión, contribuyendo a que estos sean efectivamente sostenibles desde la perspectiva de la protección ambiental.

En gran medida, la EIA constituye un instrumento operativo que ayuda a garantizar condiciones adecuadas de vida para la flora, la fauna y la población humana, frente a las intervenciones que el propio ser humano realiza en el medio ambiente con fines de desarrollo socioeconómico, infraestructura y producción de bienes y servicios.

4.17.2. Marco normativo

El marco normativo está conformado por el conjunto de disposiciones legales vinculadas al uso de los recursos naturales, la institucionalidad ambiental y las responsabilidades de la gestión empresarial dentro del enfoque de desarrollo sostenible.

En este contexto, resulta necesario considerar leyes y reglamentos que sirvan de sustento para formular políticas y estrategias relacionadas con la planificación, ejecución, funcionamiento e incluso el abandono de un proyecto. Entre las principales normas que respaldan la gestión ambiental se encuentran:

Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental

Constitución Política del Perú de 1993

Ley Marco para el Crecimiento de la Inversión Privada

Ley General del Ambiente (Ley N.º 28611)

Ley Forestal y de Fauna Silvestre

Ley sobre la Conservación y Aprovechamiento Sostenible de la Diversidad Biológica

Ley General de Aguas

Normativa del Consejo Nacional del Ambiente

Ley de Áreas Naturales Protegidas

Disposiciones de la Ley General de Pesquería.

Jerarquía Normativa:

La jerarquía normativa aplicable puede organizarse del siguiente modo:

Constitución y tratados sobre derechos humanos

Leyes, decretos leyes, decretos legislativos, decretos de urgencia y ordenanzas municipales

Decretos supremos, resoluciones ministeriales, resoluciones jefaturales y resoluciones directorales

4.18. Metodología para la evaluación del impacto ambiental

Para la realización de la evaluación de impacto ambiental, se desarrollan una serie de actividades organizadas en etapas sucesivas, tal como se muestra en la figura 8.1 correspondiente.

➤ Etapa preliminar Pre Campo (Gabinete)

En esta primera fase se realizan las actividades iniciales de planificación y recopilación de información, entre las que destacan:

- coordinaciones con los profesionales involucrados en el proyecto;
- recopilación, clasificación y análisis de la información existente;
- compilación de información meteorológica, ecológica y catastral de utilidad para el estudio;

- elaboración del plan de trabajo de campo.

➤ Etapa de Campo

Durante esta etapa se ejecutan las actividades de reconocimiento directo del área de estudio y levantamiento de información ambiental y social, tales como:

- reconocimiento ambiental del área de estudio;
- verificación de las condiciones existentes en el ámbito de intervención;
- elaboración del mapa ecológico y desarrollo de entrevistas socioeconómicas;
- muestreo sistemático de aguas.

➤ Etapa de Post-Campo (Gabinete)

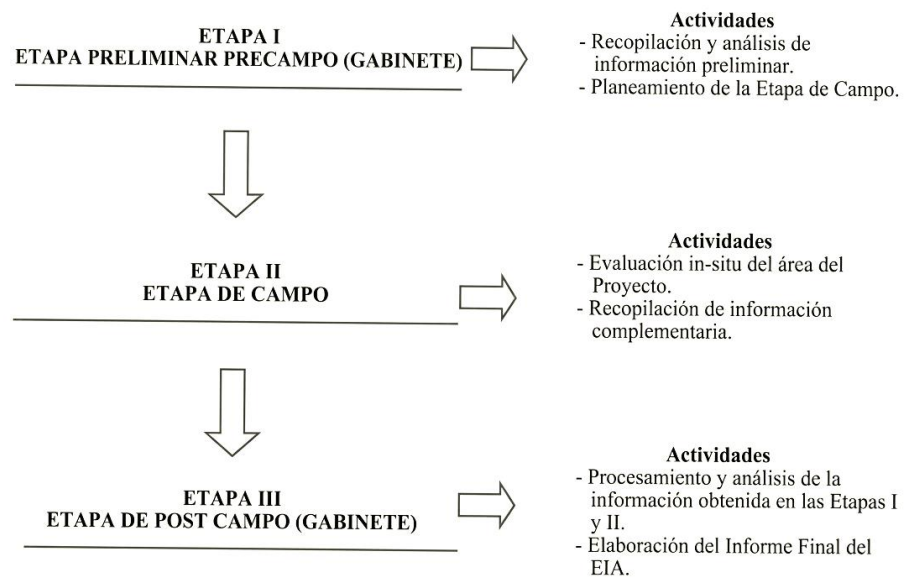
En la fase posterior al trabajo de campo se procesan y analizan los datos obtenidos, desarrollándose las siguientes actividades:

- análisis de laboratorio;

- comparación y ajuste de resultados a partir de los análisis de laboratorio y los datos de campo;
- elaboración de informes disciplinarios con sus respectivos mapas temáticos;
- identificación de impactos actuales y previsibles desde una perspectiva interdisciplinaria;
- integración de la información y formulación del plan de manejo ambiental;
- elaboración del informe final de impacto ambiental.

Figura 20.

Etapas de la evaluación de impacto ambiental



De acuerdo con la Ley Peruana del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental N.º 27446, artículo 4, los proyectos de inversión, tanto públicos como privados, que puedan generar impactos ambientales negativos deben clasificarse en determinadas categorías, según la magnitud y naturaleza de sus efectos.

Categoría A

Corresponde a proyectos que podrían generar impactos ambientales diversos y significativos, por lo que normalmente requieren una evaluación ambiental detallada. Dentro de esta categoría se incluyen, entre otros:

1. Acuicultura y maricultura a gran escala
2. Represas y reservorios

3. Transmisión eléctrica a gran escala
4. Silvicultura
5. Plantas industriales y complejos industriales de gran escala
6. Riego y drenaje a gran escala
7. Limpieza y nivelación de tierras
8. Desarrollo minero, incluyendo petróleo y gas
9. Oleoductos, gasoductos y acueductos
10. Desarrollo de puertos y bahías
11. Recuperación y desarrollo de nuevas tierras
12. Repoblación
13. Desarrollo de cuencas hidrográficas
14. Caminos rurales

15. Proyectos de energía termoeléctrica e hidroeléctrica
16. Turismo a gran escala
17. Transporte: aeropuertos, ferrocarriles, carreteras y vías fluviales
18. Desarrollo urbano
19. Agua potable y saneamiento urbano a gran escala
20. Fabricación, transporte y uso de pesticidas u otros materiales peligrosos o tóxicos
21. Proyectos con alto riesgo de accidentes

Categoría B

Incluye proyectos que podrían ocasionar impactos ambientales específicos, por lo que requieren análisis ambientales más detallados que los de una evaluación simplificada. En esta categoría se consideran, entre otros:

1. Agroindustrias de pequeña escala
2. Acuicultura y maricultura de pequeña escala
3. Transmisión eléctrica
4. Industrias de pequeña escala
5. Riego y drenaje de pequeña escala
6. Mini energía hidroeléctrica
7. Instalaciones públicas como hospitales, viviendas y escuelas
8. Energías renovables

9. Electrificación rural
10. Telecomunicaciones
11. Turismo de pequeña escala
12. Desarrollo urbano de pequeña escala
13. Agua potable y saneamiento rural

Categoría C

Corresponde a proyectos que, en condiciones normales, no generan impactos ambientales significativos, por lo que generalmente no requieren análisis ambiental detallado. No obstante, se recomienda identificar oportunidades para incrementar sus beneficios ambientales. Algunos ejemplos son:

1. Educación, excepto la construcción de infraestructura escolar
2. Planificación familiar
3. Salud, salvo la construcción de hospitales
4. Nutrición
5. Desarrollo institucional
6. Asistencia técnica

Categoría D

Esta categoría comprende proyectos esencialmente ambientales, en los cuales el componente ambiental constituye una parte central de su formulación. En ciertos casos, estos proyectos no requieren una evaluación ambiental independiente, ya que la protección ambiental forma parte de su naturaleza misma.

Proyectos de recuperación de energía

Este tipo de proyectos:

1. requieren ser tramitados con rapidez; y
2. tienen como propósito principal restaurar instalaciones existentes, por lo que normalmente no necesitan una evaluación ambiental completa.

Finalmente, para determinar los impactos específicos que podría generar un proyecto de minicentral hidroeléctrica, resulta necesario recurrir a herramientas de identificación y valoración ambiental, como matrices o tablas resumen de

impactos, que permitan establecer de manera ordenada los efectos previsibles del proyecto sobre su entorno.

Para determinar cuales son los impactos que causan el proyecto concreto de una Mini Central Hidroeléctrica, la Tabla 21 muestra un resumen de los impactos ambientales.

Tabla 21:

Resumen de impactos de una mini central hidroeléctrica

Impactos	Sue	CAG	Cau	Veg	Aves	Vete	Pez	Inve	Pais
a) Impactos fase de construcción									
Acondicionamiento o apertura accesos	x	x		x		x			x
Construcción de infraestructura									x
Apertura y ampliación de canteras	x	x							x
Emisión de ruidos						x			x
Derivación temporal de las aguas		x	x	x			x	x	x
Aumento de la presión humana	X	x		x	x	x	x	x	x
b) Impactos fase de funcionamiento									
Barrera a los desplazamientos						x	x	x	
Mortalidad de peces en las turbinas							x		
Modificación caudales azud y desagüe	X	x	x	x			x	x	x
Modificación caudales aguas abajo	X	x	x	x			x	x	x
Modificación transporte material	X			x			x	x	

Modificación caract.		x		x		x	x
Fisico-quim. Agua							
Modificación hábitat vaso embalse	X			x		x	x
Canales de derivación					x		x
Tendidos electrónicos				x			
Retirada de sedimentos finos	X	x				x	x
c) Impactos fase de abandono							
Permanencia presa e instalaciones	X			x	x	x	x

ABREVIATURAS: Sue – suelo; Cag – Calidad de aguas; Cau – Caudales del agua; Veg – Vegetación; Aves – Fauna (Aves); Vete – Vertebrados terrestres; Pez – Fauna (Peces); Inve – Fauna invertebrada; Pais – Paisaje.

El contraste de esta tabla con los datos aportados por el EIA muestra el reconocimiento o no de los diferentes impactos ambientales en el EIA. Se puede concluir en las alegaciones específicas sobre la ausencia del reconocimiento de los impactos, si procede, así como sobre los recursos naturales sobre los cuales se produce el impacto.

En la siguiente Tabla 22, se recoge la correspondencia entre los impactos ambientales y las medidas correctoras adecuadas para ellos.

Tabla 22:

Correspondencia de los impactos de una mini central hidroeléctrica con medidas correctoras.

Impactos	Medidas correctoras adecuadas
a) Impactos fase de construcción	
Acondicionamiento o apertura accesos	Aprovechamiento de las vías ya existentes para reducir nuevas intervenciones.

Construcción de infraestructura	Localización en cuencas visuales reducidas y de baja exposición. Uso de materiales acordes con el entorno y establecimiento de árboles y arbustos
Apertura y ampliación de canteras	Selección de la cantera considerando su integración paisajística, así como criterios geológicos y técnicos.
Emisión de ruidos	Ejecución de las actividades fuera de los periodos de reproducción de la fauna.
Derivación temporal de las aguas	Desarrollo de las obras en el menor tiempo posible para reducir la alteración del recurso hídrico.
Aumento de la presión humana	Restricción del acceso al público durante la ejecución del proyecto.
b) Impactos fase de funcionamiento	
Barrera a los desplazamientos	Instalación de pasos para peces y otras especies
Mortalidad de peces en las turbinas	Instalación de dispositivos que impidan el ingreso de peces a las turbinas.
Modificación caudales azud y desagüe	Mantenimiento de un caudal ecológico y mejora de los hábitats asociados.
Modificación caudales aguas abajo	Conservación de un caudal ecológico y reducción de las variaciones bruscas del caudal a lo largo del tiempo.
Modificación transporte material	Definición de caudales de avenida que permitan conservar la dinámica natural del cauce.
Modificación caract. Físico-quím. Agua	
Modificación hábitat vaso embalse	
Canales de derivación	Tapado de los canales para evitar mortalidad de fauna
Tendidos electrónicos	Soterramiento o aislamiento de conductores, colocación de elementos

	disuasorios, reemplazo de aisladores y señalización con dispositivos visibles. Además, adecuación paisajística del trazado y pintura de los postes en armonía con el entorno.
Retirada de sedimentos finos	Extracción durante el periodo de estiaje y disposición final en zonas alejadas del cauce.
d) Impactos fase de abandono	
Permanencia presa e instalaciones	Desmantelamiento de la presa y de las instalaciones, previa remoción de los sedimentos acumulados en el vaso del embalse, retiro de escombros y posterior acondicionamiento del tramo fluvial.

El plan de contingencia establece las acciones que deben adoptarse para prevenir, controlar o reducir los efectos de cualquier emergencia, desastre natural o incidente ambiental que pudiera presentarse durante las etapas de ejecución, implementación u operación del proyecto. Asimismo, este plan contempla situaciones derivadas de errores humanos que no hayan sido consideradas previamente dentro del plan de manejo ambiental.

La finalidad del plan de contingencia es organizar una respuesta rápida, coordinada y eficaz que permita evitar o minimizar daños a la salud de las personas y al medio ambiente. Además, posibilita disponer oportunamente del equipo, los materiales y los recursos necesarios en los puntos de mayor vulnerabilidad frente a fenómenos naturales o eventos de emergencia.

El contenido del plan de contingencia comprende tres componentes esenciales:

- a. La identificación de las áreas sensibles localizadas en el entorno del proyecto que podrían verse afectadas, tales como escuelas, hospitales, hábitats de fauna silvestre, entre otros.
- b. La descripción de los procedimientos que permitan evaluar las zonas que podrían sufrir afectaciones en caso de una contingencia.

- c. La determinación de las instituciones encargadas de prevenir, atender y registrar las situaciones de emergencia, así como de implementar las acciones correctivas necesarias.

Para lograr una aplicación eficiente, el plan debe contemplar medidas de contingencia en distintos niveles, entre las cuales se consideran las siguientes:

Organización del plan de contingencia

- Nombrar un coordinador de emergencias, quien será responsable de decidir el momento en que debe activarse el plan.
- Designar a otros responsables clave, como personal médico, de seguridad y de enlace para comunicaciones.
- Establecer los mecanismos de comunicación mediante los cuales se informará a la población sobre la emergencia.
- Definir los procedimientos para el ingreso y salida de personas en el área afectada, incluyendo medidas de seguridad, vigilancia médica, procedimientos de muestreo y asignación de equipos de protección personal.
- Registrar números telefónicos, frecuencias radiales de emergencia, así como listas de personas, instituciones y organizaciones que deban ser notificadas en caso de incidente.

Administración de recursos

- Describir el equipo de emergencia y el equipo auxiliar disponible tanto en las instalaciones del proyecto como en la unidad operativa.
- Elaborar un inventario de los recursos materiales existentes para la atención de emergencias.
- Precisar el programa de capacitación y entrenamiento previsto para el personal del proyecto.

Protección personal y procedimientos de evaluación

- Definir los planes de evacuación para las zonas que pudieran verse afectadas por una contingencia.

- Informar sobre las evacuaciones preventivas y sobre los lugares destinados a brindar alimentación, refugio y atención médica a la población que pudiera ser reubicada.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La Maxima Demanda necesaria para el proyecto del parque industrial de Chachapoyas será de 650 Kw, para el abastecimiento de la energía eléctrica de los equipos y maquinarias requeridas.
- La Mini Central Hidroelectrica será de una potencia instalada de 659 Kw, que cubre las necesidades de energía de eléctrica para el proyecto del Parque industrial.
- los parámetros de diseño obtenidos para la instalación de la Mini Central serán caudal de 4.20 m³/s y la altura bruta de 20 m.
- Canal de conduccion será de forma trapezoidal y de recubrimiento de concreto, para un caudal de 4.20 m³/s con una pendiente de 0.05.
- El Desarenador tendrá las medidas de 14m x 20m y la cámara de carga será anexada al Desarenador con las medidas de 14m x 3.50m.
- La tubería de presión será de un diámetro de 1.40m con la longitud de 60m, será de material de acero rolado, alimentara a 01 turbina del tipo Francis.
- La turbina de tipo Francis con potencia nominal de 680 Kw, y 600 RPM, será acoplado directamente a un generador Sincrono de una potencia de 780 KVA.
- La casa de fuerza será modelada para una buena distribución de los equipos electromecánicos y el ambiente de trabajo del operador.
- El presupuesto general del proyecto es de US \$ 713127.33 y de acuerdo a la evaluación económica se ha considerado en un periodo de 30 años, tomando una tasa de interés del 12%, obteniéndose un TIR igual 20.87%
- El costo de energía generada de la Mini Central Hidroelectrica se estima en 0.0244 US \$ por Kwh.
- En el estudio de impacto ambiental se demuestra que todas maneras durante el desarrollo de los trabajos de implementación del proyecto genera impactos negativos en el ambiente, tales como: alteración del curso de agua, contaminación por las obras civiles, ruidos etc. Dado a su característica nuestro proyecto es de grado leve con categoría 2.

5.2. Recomendaciones

- El financiamiento que demanda el proyecto se sugiere a la Junta de Usuarios que se transmite a entidades gubernamentales u organizaciones con fines sociales. De ser el caso su financiamiento por una entidad social, sería necesaria la participación con un porcentaje de aporte comunal en la mano de obra no calificada
- Durante la ejecución de la obra el desmontaje de los equipos electromecánicos se haga cuidadosamente con dirección técnica a fin de proteger de una mala maniobra a estos equipos para mantener la garantía de los equipos electromecánicos.
- La mano de obra y el material agregado debe ser utilizada de la propia zona de influencia del proyecto con la asistencia técnica de profesionales, esto permitirá abaratar los costos del proyecto.
- La comisión para la administración de la Mini Central debe ofrecer al usuario un servicio de calidad y eficiente para obtener de manera puntual la recaudación de la venta de energía.
- El personal encargado de la operación de las maquinas y tableros sea técnico capacitado con la finalidad de garantizar el cuidado y el funcionamiento de los equipos. La población debe preparar a sus propios técnicos para la operación y generar empleo de la Mini Central, con la finalidad de reducir los costos y generar empleo para sus pobladores.
- El mantenimiento de las Obras Civiles e Hidraulicas deben estar a cargo de la comisión de mantenimiento con el apoyo de la población en periodos cortos de un mes como minimo.
- El personal técnico deberá realizar de manera periódica y programada el mantenimiento preventivo de la infraestructura civil y electromecánica, a través de un programa de mantenimiento, teniendo en cuenta las recomendaciones dadas por los fabricantes.
- La comisión de mantenimiento y operación de la Mini Central debe contar con un sistema de comunicaciones y vías de acceso rápido entre la Mini Central y la población para solucionar los problemas de emergencia.
- Elaborar periódicamente charlas de racionalización y seguridad en el uso efecienete de energía, tanto a la población como al personal involucrado en la operación de la Mini Central Hidroelectrica.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Autoridad Nacional del Agua. (2023, 8 de noviembre). ANA capacita a juntas de usuarios Santa, Irchim y Nepeña. Plataforma del Estado Peruano.
- Carrasco, Alfonso. 1990. La electricidad en el Perú, política estatal y electrificación rural - ITDG - Lima. con aplicaciones en Ingeniería. Novena edición. Madrid: McGraw-Hill.
- Dirección General de Energía DG XVII, 1998, Manual de Pequeña Hidráulica. Comisión Europea. España.
- Environment Agency. (2016). Guidance for run-of-river hydropower development. Environment Agency. https://british-hydro.org/wp-content/uploads/2025/01/Hydropower-guidance-LIT4122_747_12-Version-4-5Feb2016.pdf
- FLACAM, 1997. Guía para la elaboración de estudios de impacto ambiental (EIA), Lima, Perú.
- FRANZINI, Joseph B; FINNEMORE, E. J. 1999. Mecánica de Fluidos Fuentes de ahorro de energía. (2012, 27 de febrero). Turbina Pelton. Blogspot.
- G. Hansen, S. Schlömer, & C. von Stechow (2011), IPCC special report on renewable energy sources and climate change mitigation (pp. 437–496). Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/Chapter-5-Hydropower-1.pdf>
- GARDEA, H. 1992. Aprovechamientos hidroeléctricos y de Bombeo. Editorial Trillas. México. Primera Edición.
- Gordon, J. L. (s. f.). Material selection for penstocks. IEA Hydropower. <https://www.ieahydro.org/media/180b28a0/Material-Selection-for-Penstocks.pdf>
- Huaroto y Núñez. 1988. La problemática energética global. Ponencia I, Seminario de Hidroenergía y Desarrollo Rural - Cusco.
- International Finance Corporation. (2018). Environmental flows for hydropower projects. IFC. <https://www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/mgrt-pub/gph-eflows-for-hydropower-projects-updated-compressed.pdf>
- International Hydropower Association. (s. f.). Types of hydropower. <https://www.hydropower.org/iha/discover-types-of-hydropower>
- International Panel on Climate Change. (2011). Hydropower. En O. Edenhofer et al. (Eds.), IPCC special report on renewable energy sources and climate change

- mitigation (pp. 437–496). Cambridge University Press.
<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/Chapter-5-Hydropower-1.pdf>
- ITDG, 1997. VII Encuentro Latinoamericano en Pequeños Aprovechamientos Hidroenergeticos. Potencias - Cajamarca. Perú-Lima: Edit. ITDG.
- ITDG. 1996. Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas, una guía para el desarrollo de proyectos. ITDG-Perú. Lima.
- ITINTEC. 1986. Turbinas Pelton y Michelle Banki. 621.224/M79. Lima.
- Japan International Cooperation Agency. (2005). M/P study on small-hydro in northern Laos: Small-hydro visual guide. JICA.
https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/174016_04.pdf
- Japan International Cooperation Agency. (2011). Guideline and manual for hydropower development: Vol. 1. Conventional hydropower and pumped storage hydropower. JICA. https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12024881_01.pdf
- Japan International Cooperation Agency. (2011). Guideline and manual for hydropower development: Vol. 2. Small scale hydropower. JICA.
<https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12024899.pdf>
- Krochin, Sviatoslav. 1982. Diseño Hidráulico. España
- Kumar, A., Schei, T., Ahenkorah, A., Caceres Rodriguez, R., Devernay, J.-M., Freitas, M., Hall, D., Killingtveit, Å., & Liu, Z. (2011). Hydropower. En O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, & C. von Stechow (Eds.), IPCC special report on renewable energy sources and climate change mitigation (pp. 437–496). Cambridge University Press.
<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/Chapter-5-Hydropower-1.pdf>
- Ley del sistema Nacional de Evaluación de Impacto ambiental. 2001. Lima, Perú,
- Liu, D., Liu, H., Wang, X., & Krēmere, E. (Eds.). (2019). World small hydropower development report 2019: Case studies. United Nations Industrial Development Organization & International Center on Small Hydro Power.
- M. Castro Gil y C. Sánchez Naranjo, Energia Hidráulica, Editorial PROGENSA.
- MATAIX, C. 19S2Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas. 2da Edición. México
- National Renewable Energy Laboratory. (2001). Small hydropower systems. U.S. Department of Energy. <https://www.nrel.gov/docs/fy01osti/29065.pdf>
- NOZAKI, T. 1981. Guia Para La Elaboración De Proyectos De Pequeñas y Medianas Centrales Hidroeléctricas Destinadas a la Electrificación Rural. JICA, Lima. Perú.

- Ortiz Flores, Ramiro. 2001. Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. McGraw- Hill. Interamericana S.A
- Penche, C. (2004). Guide on how to develop a small hydropower plant. European Small Hydropower Association. <https://energycommunityplatform.eu/wp-content/uploads/2022/06/Merged-Guide-Develop-a-Small-Hydropower-Plant.pdf>
- POTTER, Merle C.; WIGGERT, David C. X^Mecánica de Fluidos. Segunda edición. Bogotá: Prentice Hall.
- Proyecto Especial CHINECAS. (s. f.). Reseña histórica.
- SHAMES, I. (s.f) La Mecánica de los Fluidos. Edit. Mcgraw-Hill. México.
- Singh, D. (2009). Guidebook for mini-hydro power resource assessment. Asian and Pacific Centre for Transfer of Technology. <https://apctt.org/sites/default/files/2020-08/Guidebook%20for%20Mini-hydro%20Power%20Resource%20Assessment.pdf>
- STREETER. Víctor L. 2000. Mecánica de Fluidos. Me Graw Hill.
- U.S. Department of Energy. (s. f.). Types of hydropower plants. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. <https://www.energy.gov/cmei/water/types-hydropower-plants>
- U.S. Department of Energy. (s. f.). Types of hydropower turbines. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. <https://www.energy.gov/cmei/water/types-hydropower-turbines>
- U.S. Geological Survey. (s. f.). Hydroelectric power: How it works. <https://www.usgs.gov/water-science-school/science/hydroelectric-power-how-it-works>
- Víctor Miyashiro. 1999. Impacto Ambiental en Proyectos de desarrollo Rural. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima Perú.
- Viejo Zubicaray y Alonso ,Energía Hidroeléctrica, Editorial LIMUSA.
- World Bank. (2018). Good practice note: Environmental, health, and safety approaches for hydropower projects. World Bank Group. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/735051523594319415/pdf/125192-WP-IFC-PUBLIC-SERIES-Good-practice-note-GPN-EHSHydropower.pdf>
- World Bank. (2024). Hydropower. World Bank. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099052324145538260/pdf/P1742021a3c29a0ff1bd8f16f1b85adf503.pdf>

Zegarra Aguirre, R. E. (2010). Determinación de los parámetros básicos de diseño de la mini central hidroeléctrica de Cascajal-Santa para el Proyecto Especial Chincas [Tesis, Universidad Nacional del Santa]. Repositorio Institucional UNS.

Zoppetti Judez, G. Centrales Hidroeléctricas. Editorial Gustavo Gil i

ANEXOS

ANEXO A – 01
CALCULOS JUSTIFICADOS

ANEXO A-1

CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

1. CÁLCULOS PRELIMINARES.-

A. POTENCIA GENERACION.-

Se empleara la formula de la Potencia Generacion:

$$P = Q \times n \times p \times g \times H$$

Donde:

n: Eficiencia total del sistema

p: Densidad del agua (Kg/m³)

Q: Caudal de diseño (m³/s)

g: aceleración de la gravedad (m/s²)

H: Altura disponible (m)

Datos de diseño:

Q: 4.20 m³/s

g: 9.81 m/s²

p: 1000 N/ m³

H: 20 m

n: 80 %

	ρ (densidad)	g (gravedad)	
	1000	9.81	
η (Eficiencia)	Q (Caudal)	H (Altura)	P (Potencia)
	m ³ /s	m	Kw
0.80	4.20	20.00	659.23

Por lo tanto, la potencia generación:

P(potencia)
KW
659.23

2. CALCULO DE OBRAS CIVILES

2.1.CANAL DE CONDUCCIÓN

Para el diseño de canales los datos con que se cuentan normalmente son los siguientes:

Caudal de diseño (Q) = 4.20 m³/s

Pendiente del canal (Sc) = 0.005

Coefficiente de rugosidad de Manning (m)= 0.020 (Ver TABLA N° I – 1

PARA Canal revestido con hormigon)

Talud del canal (zc) = 0.25

Tabla I-1:

Coefficiente de rugosidad en canales

SUPERFICIE	CONDICIÓN DE LAS PAREDES		
	PERFECTAS	BUENA	REGULAR
CANALES Y ZANJAS			
Canales revestido con hormigon	0.017	0.020	0.025
Canales de mampostería con piedra	0.017	0.0225	0.030
En roca lisos y uniformes	0.025	0.030	0.033
En roca aspera	0.035	0.400	0.047
Sinuoso y flujo lento	0.0225	0.025	0.0275
Dragados en tierra	0.025	0.275	0.030
Lecho pedregoso y bordes con hierba	0.025	0.030	0.035
Plantilla en tierra, taludes asperos	0.028	0.030	0.033

La forma mas empleada en canales es la trapezoidal por su fácil construcción y tener buena estabilidad.

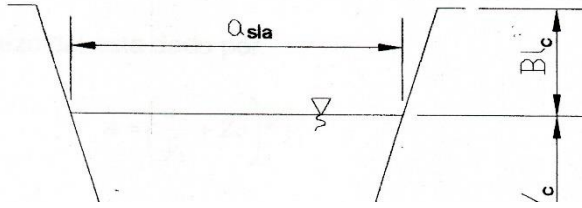


Fig I-1:

Forma y dimensiones de canal

- Cálculo tirante del canal (“ Y_c ”) y en el ancho de canal de la base (a_c).-
Para determinar el tirante del canal se empleará la ecuación de la Eficiencia Hidráulica para un canal trapezoidal:

$$\frac{a_c}{y_c} = 2 \times \left(\sqrt{1 + Z_c^2} \right) - Z_c$$

Donde:

a_c : Ancho de la base de canal (m)

z_c : Talud del canal

y_c : Tirante de agua en el canal (m)

reemplazando en la ecuación tenemos:

$$\frac{a_c}{y_c} = 1.56$$

Utilizando la ecuación del radio hidráulico para máxima eficiencia hidráulica:

$$R = \frac{y_c}{2}$$

Además la ecuación para la determinación del área hidráulica para un canal trapezoidal está dado por:

$$A = \left(\frac{a_c}{y_c} + Z_c \right) y_c$$

Reemplazando tenemos:

$$A = 1.81 \times y_c^2$$

Luego utilizando la ecuación de Manning:

$$Q = \frac{A \times R^{2/3} \times S_c^{1/2}}{m}$$

Y reemplazando determinaremos el valor de “ y_c ”:

$$4.20 = \frac{(1.81 \times y_c^2) \times (y_c/2)^{2/3} \times (0.005)^{1/2}}{0.02}$$

$$y_c = 1.015m$$

Reemplazando el valor del tirante “ y_c ”, en la ecuación:

$$\frac{a_c}{y_c} = 1.562$$

Obtenemos el valor ancho de la base del canal:

$$a_c = 1.585$$

Así también obtenemos las siguientes dimensiones del canal trapezoidal:

$$\text{Area del canal (A)} = 1.867 \text{ m}^2$$

$$\text{Radio Hidráulico (R)} = 0.508 \text{ m.}$$

– **Calculo del perímetro mojado en el canal (P_{mc})**

$$P_{mc} = \frac{A}{R}$$

$$A = \text{Area hidráulica (m}^2\text{)}: 1.867$$

$$R = \text{radio hidráulico (m)}: 0.508$$

Reemplazando los valores:

$$P_{mc} = \frac{1.867}{0.508} = 3.678m$$

– **Calculo del borde libre en el canal (B_{lc})**

El borde libre del canal según el libro “Guía para la elaboración de proyectos de pequeñas centrales hidroeléctricas”, de T. NOSAKI, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$B_{lc} = 0.3 \times y_c + 0.15$$

Reemplazando:

$$B_{lc} = 0.3 \times 1.015 + 0.15$$

$$B_{lc} = 0.455m$$

– **Calculo del ancho de la superficie libre de agua (a_{sla})**

$$a_{sla} = a_c + 2z \times y_c$$

Reemplazando:

$$a_{sla} = 1.585 + 2 \times 0.25 \times 1.015$$

$$a_{sla} = 2.09m$$

En la siguiente tabla se resume los valores encontrados para el canal

		Q=	4.200				
		Sc	m	Zc			
		0.005	0.02	0.25			
y_c	ac/ y_c	ac	A	R	Pmc	Blc	asla
m		m	m ²	m	m	m	m
1.015	1.562	1.585	1.867	0.508	3.678	0.455	2.093

– **Calculo de las dimensiones de los espesores del revestimineto.**

El material elegido para el revestimiento en mampostería con cemento, cuyas diemnsiones de los espesores según, T. NOZAKI en su libro “ Guia para la elaboración de proyectos de pequeñas empresas centrales hidroeléctricas” recomienda a la siguiente figura:

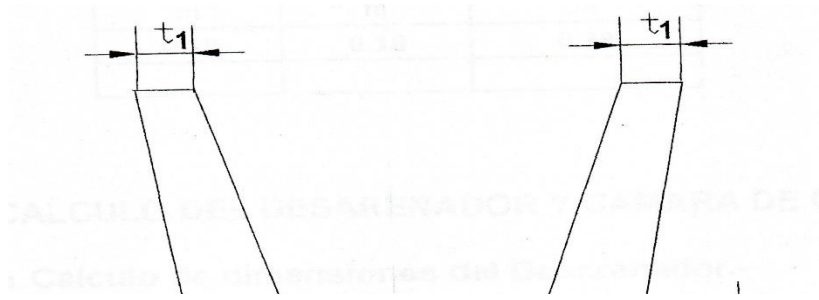


Fig. I-2:

Espesores de las paredes del canal

$$t_1 = t_2 = 0.10 \times y_c + 0.08$$

$$t_2 = 0.22 \times y_c + 0.06$$

Donde:

T₁: Espesor de la pared superior del canal (m)

T₂: Espesor de la pared inferior del canal (m)

t_b: Espesor de la base del canal (m)

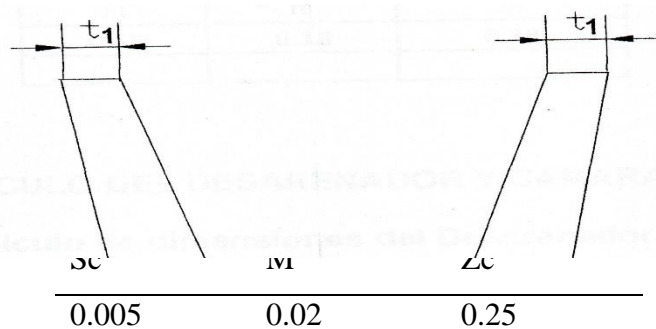
reemplazando:

$$t_1 = t_2 = 0.10 \times 1.015 + 0.08$$

$$t_1 = 0.18m$$

$$t_2 = 0.22 \times 1.015 + 0.06$$

$$t_2 = 0.28m$$



t1	tb	t2
M	m	m
0.18	0.18	0.28

2.2.CALCULO DEL DESARENADOR Y CÁMARA DE CARGA

a. Calculo de dimensiones del Desarenador

- Calculo del ancho del Desarenador (W)

Según ITDG, para calcular el ancho del Desarenador (W) da la siguiente formula:

$$W = \frac{Q}{V_h \times y_d}$$

Donde:

Q: Caudal de Diseño (m³/s)

V_h: Velocidad horizontal del agua (m/s)

Y_d: Profundidad de decantación (m).

Datos de Diseño

$$Q = 4.20 \text{ m}^3/\text{s}$$

V_h = 0.2 (según T.NOZAKI, Guia para la elaboración de proyectos de pequeñas centrales hidroeléctricas”, recomienda que la velocidad horizontal del agua debe ser menor a 0.3 m/s)

$$Y_d = 1.50$$

Reemplazando:

$$W = \frac{4.20}{0.20 \times 1.50} m$$

$$W = 14m$$

- Calculo de la longitud de decantación del Desarenador (L_d)

Para determinar la longitud de decantación del Desarenador se debe tener en cuenta que la longitud del Desarenador debe ser lo suficientemente largo para eliminar las partículas.

Según ITDG, la longitud de decantación del Desarenador se determinara mediante la siguiente formula:

$$L_d = \frac{V_h \times Y_d \times f}{V_d}$$

L_d : Longitud de decantacion del Desarenador (m)

V_h : Velocidad horizontal del agua en el Desarenador (m/s)

V_d : Velocidad de decantacion de las partículas (m/s)

Y_d : Profundidad de decantación (m)

f = factor de seguridad

Datos de Diseño

V_h : 0.20 m/s

V_d : 0.03 m/s (considerando sedimentar particular cuyo diámetro sea desde 0.3 mm a mas, de acuerdo a la experiencia ITDG, ver TABLA N° I-2).

Y_d : 1.50 m

f = 2 (según ITDG en su libro “Manual de Mini y Microcentrales Hidraulicas”, recomienda de 2 o 3 como factor de seguridad).

Tabla I-2:

Velocidad de decantación de partículas

Tamaño de la Particula	Velocidad de Decantacion
mm	
0.1	0.01
0.3	0.03
0.5	0.05
1.00	0.10

Reemplazando:

$$L_d = \frac{0.20 \times 1.50 \times 2}{0.03}$$

$$L_d = 20.00m$$

- Calculo de la profundidad del tanque de recolección (y_{tr})

Para determinar la profundidad del tanque de recolección tenemos que determinar previamente la cantidad de sedimentos en un tiempo de vaciado en el deposito de recolección.

Según la formula dada por ITDG, tenemos:

$$C_s = Q \times T \times S$$

Donde:

C_s : Cantidad de sedimentos en una semana en el tanque de recolección (Kg)

Q : Caudal de diseño (m^3/s)

T : Frecuencia del vaciado del tanque de recolección (s)

S : Cantidad de sedimentos transportado (Kg/m^3)

Datos de Diseño:

$$Q=4.20 \text{ m}^3/s$$

$T=1209600$ s (considerando una frecuencia quincenal de limpieza del Desarenador)

$$S=0.05 \text{ Kg/ m}^3$$

Reemplazando tenemos:

$$C_s = 4.20 \times 1209600 \times 0.05$$

$$C_s = 254016.00Kg$$

Luego el volumen de recolección del sedimento según ITDG, esta dado por la siguiente ecuación:

$$V_s \frac{C_s}{\rho_a}$$

Donde:

V : Volumen de recolección del sedimento (m^3)

C_s : Cantidad de sedimentos (Kg)

ρ_a : Densidad de arena (Kg/m³)

Datos de Diseño:

$$C_s=254016.00 \text{ Kg}$$

$$\rho_a=2600 \text{ Kg/ m}^3 \text{ (Densidad de arena seca según ITDG)}$$

Reemplazando:

$$V_s = \frac{25016.00}{2600}$$

$$V_s = 97.70 \text{ m}^3$$

Según ITDG, la capacidad de recolección del tanque colector debe estar dada por el doble del volumen de recolección del sedimento:

$$C_{tc} = 2V_s$$

Reemplazando:

$$C_{tc} = 2 \times 97.70$$

$$C_{tc} = 195.40 \text{ m}^3$$

Entonces determinando la profundidad del tanque de recolección, según ITDG esta dado por la siguiente formula:

$$y_{tr} = \frac{C_{tc}}{W \times L_d}$$

Donde:

Y_{tr} : Profundidad del tanque de recolección (m)

C_{tc} : Capacidad del tanque colector (m³)

W : Ancho del Desarenador (m)

L_d : Longitud de decantación (m)

Datos de Diseño:

$$C_{tc}=195.40 \text{ m}^3$$

$$W=14.00 \text{ m}$$

$$L_d=20.00 \text{ m}$$

Reemplazando

$$y_{tr} = \frac{195.40}{14.00 \times 20.00}$$

$$y_{tr} = 0.70 \text{ m}$$

Yd	Vd	f	T	S	pa
1.50	0.03	2.00	1209600.00	0.05	2600.00
W	Ld	Cs	Vs	Ctc	Ytr
m	M	kg	m ³	m ³	m
14.00	20.00	254016.00	97.70	195.40	0.70

b. Calculo de las dimensiones de la cámara de carga.

- Calculo del volumen necesario de la cámara de carga (V_{cc})

Según S. Crochin en su libro “Diseño Hidraulico”, recomienda la siguiente formula, para la determinacion del volumen necesario de la cámara de carga:

$$V_{cc} = \frac{10.693 \times A \times V_{msc}^2}{S_c \times g}$$

Donde:

A: Seccion transversal del canal (m²)

V_{msc} : Velocidad del agua en el canal (m/s)

S_s : Pendiente del canal

g: Aceleracion de gravedad (m/s)

Datos de Diseño

$$A = 1.867 \text{ m}^2$$

$$V = 2.25 \text{ m/s}$$

$$S_c = 0.005$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}$$

reemplazando datos:

$$V_{cc} = \frac{0.693 \times 1.867 \times 2.25^2}{0.005 \times 9.81}$$

$$V_{cc} = 110.78 \text{ m}^3$$

- Calculo de la altura de la cámara de carga (h_{cc})
Se calculara empleando la siguiente formula

$$H_{cc} = \frac{V_{cc}}{L_{cc} \times a_{cc}}$$

Donde:

V_{cc}: Volumen de la cámara de carga (m³)

L_{cc}: Longitud de la cámara de carga (m)

a_{cc}: Ancho de la cámara de carga (m)

datos de Diseño:

$$V_{cc} = 110.78 \text{ m}^3$$

L_{cc} = 3.50 (elegido de acuerdo a la configuración del terreno)

a_{cc} = 14.00 m (asumimos este valor por considerar que tendrá el mismo ancho que el Desarenador, por condiciones de diseño)

reemplazando valores:

$$h_{cc} = \frac{110.78}{3.50 \times 14.00}$$

$$h_{cc} = 2.30 \text{ m}$$

- Calculo de la carga disponible en el Aliviadero (h_{af})

Sera calculado empleando la formula general del vertedero:

$$Q_{evacuar} = \frac{2}{3} \mu \times L_{af} \times \sqrt{2g} \times h_{af}^{2/3}$$

Donde:

Q_{evacuar}: Caudal a evacuar (m³/s)

μ: Coeficiente que depende de la forma del vertedero.

L_{af}: Longitud del aliviadero frontal (m)

g: Aceleracion de la gravedad (m²/s)

datos de Diseño

Q_{evacuar}=4.20 (m³/s) (asuminos que el caudal a evacuar sea el mismo caudal del diseño)

μ = 0.5 (Según G. Voight, en su libro “ Manual de pequeñas Obras DE Regadío”, para un vertedero ancho y con cantos redondeados

L_{af} = 3.0 m (asuminos este valor considerando que la longitud del aliviadero será igual al ancho de la cámara de carga, por condiciones de diseño)

g = 9.8 (m²/s)

reemplazando datos

$$h_{af} = \left(\frac{3 \times Q_{evacuar}}{2\mu \times L_{af} \times \sqrt{2g}} \right)^{2/3}$$

$$h_{af} = 0.97 \text{ m}$$

			Q	4.200		
Sc	G	A	V _{msc}	μ		
0.005	9.81	1.867	2.25	0.5		
V _{cc}	Acc	L _{cc}	h _{cc}	L _{af}	h _{af}	
m ³	M	m	m	m	m	
110.78	14.00	3.50	2.26	3.00	0.97	

2.3.CALCULO DE DISEÑO DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN

a. Calculo y detreminacion de diámetro económico (D_e)

S. Crochin en su libro de “ Diseño Hidráulico” considera que la velocidad del agua en la tubería es aceptable dentro del rango que varía entre 2 y 8 m/s, por lo que la velocidad de nuestro diseño estará dentro de este rango. Hacemos un cálculo preliminar con el criterio del diámetro económico

empleando la expresión dada por S. Crochin, en su libro “Diseño Hidráulico”.

$$D_e = \sqrt[7]{\frac{5.2 \times Q^3}{H}}$$

Asimismo el valor de H, esta definida por:

$$H = h_b + h_s$$
$$h_s = 0.15 \times \frac{L \times V}{T}$$
$$T > \frac{L}{500}$$

Donde:

Q: Caudal de Diseño (m³/s)

h_b: Altura bruta (m)

h_s: Sobre presión debido al golpe de ariete (m)

L_t: Longitud de batería (m)

V_t: Velocidad del agua en la tubería (m/s)

T: Tiempo de cierre de la valvula de la turbina

Datos de Diseño:

$$Q = 4.20 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$h_b = 20 \text{ m}$$

$$L_t = 60 \text{ m}$$

$$V_t = 2.5 \text{ m/s (aproximadamente)}$$

Reemplazando datos:

$$T > \frac{L}{500} = \frac{60}{500} = 0.12 \text{ s} \approx 2 \text{ s}$$

$$h_s = 0.15 \times \frac{60 \times 2.5}{2} = 11.25 \text{ m}$$

$$H = 20 + 11.25 = 31.25 \text{ m}$$

$$D_e = \sqrt[7]{\frac{5.2 \times (4.20)^3}{31.25}} = 1.43 \text{ m}$$

Con este valor recalcularemos la velocidad del agua en la tubería con la ecuación de la continuidad:

$$V_t = \frac{Q}{A} = \frac{0.124}{\frac{\pi}{4} \times D_{ti}^2}$$

$$V_t = \frac{4 \times 4.20}{\pi \times (1.40)^2}$$

$$V_{tREC} = 2.72 \text{ m/s}$$

Recalculando el valor de la sobrepresión debido al golpe de ariete:

$$h_{sREC} = 0.15 \times \frac{60 \times 2.72}{2}$$

$$h_{sREC} = 12.25 \text{ m}$$

		Q=	4.200			
hb	Lt	Tcal	T	Vt		
m	M	s	s	m ² /s		
20.00	60.00	0.12	2.00	2.50		
hs	H	De	Di	Vt rec	hsrec	
m	M	m	m	m ² /s	m	
11.25	31.25	1.43	1.40	2.72	12.25	

b. Perdidas en la Tuberia de Presion

- Calculo de la perdida primaria en la tuberia de presión (h_f)

Para este calculo utilizaremos la ecuación de Darcy:

$$h_f = f \times \frac{L_t \times V_t^2}{D_{ti} \times 2g}$$

Donde:

f: Coeficiente de Darcy

L_t : Longitud de la tubería (m)

V: Velocidad del agua en la tubería

D_{ti} : Diámetro de la tubería interna (m)

g: Aceleracion de la gravedad

Datos de Diseño:

$L_t = 60 \text{ m}$

$V = 2.72 \text{ m/s}$

$$D_{ti} = 1.40 \text{ m}$$

$$G = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$f = ?$$

para determinar el valor de “f”, emplearemos el diagrama de Moody, necesitando el numero de Reynolds (Re) y la rugosidad relativa de la tubería (ϵ_r), esta nos obliga hacer una estimación de la viscosidad cinemática del agua (μ).

La rugosidad absoluta del acero rolado según fabricantes:

$$\epsilon = 5 \times 10^{-5} \text{ m}$$

Calculando la rugosidad relativa mediante la siguiente formula

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{D_{ti}} = \frac{5 \times 10^{-5}}{1.4} = 3.57 \times 10^{-5}$$

Utilizando la TABLA N° I - 3, hallaremos el valor de la viscosidad cinemática del agua (μ) a $15^\circ\text{C} = 1.15 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

TABLA N° I – 3: PROPIEDADES FISICAS DEL AGUA

Temp (°C)	Pes Espec. γ (KN/m ³)	Densidad ρ (kg/m ³)	Visc. Dinamita V (Pa-s) o (n- s/m ²)	Visc. Cinemática μ (m ² /s)
0	9.81	100	1.75×10^{-3}	1.75×10^{-6}
5	9.81	100	1.52×10^{-3}	1.52×10^{-6}
10	9.81	100	1.30×10^{-3}	1.30×10^{-6}
15	9.81	100	1.15×10^{-3}	1.15×10^{-6}
20	9.79	998	1.02×10^{-3}	1.02×10^{-6}
25	9.78	997	8.91×10^{-4}	8.94×10^{-7}
30	9.77	996	8.00×10^{-4}	8.03×10^{-7}
35	9.75	994	7.18×10^{-4}	7.22×10^{-7}
40	9.73	992	6.51×10^{-4}	6.56×10^{-7}
45	9.71	990	5.94×10^{-4}	6.00×10^{-7}
50	9.69	988	5.41×10^{-4}	5.48×10^{-7}
55	9.67	986	4.98×10^{-4}	5.05×10^{-7}

60	9.65	984	4.60×10^{-4}	4.67×10^{-7}
65	9.62	981	4.31×10^{-4}	4.39×10^{-7}
70	9.59	978	4.02×10^{-4}	4.11×10^{-7}
75	9.56	975	3.73×10^{-4}	3.83×10^{-7}
80	9.53	971	3.50×10^{-4}	3.60×10^{-7}
85	9.50	968	3.30×10^{-4}	3.41×10^{-7}
90	9.47	965	3.11×10^{-4}	3.22×10^{-7}
95	9.44	962	2.92×10^{-4}	3.04×10^{-7}
100	9.4	958	2.82×10^{-4}	2.94×10^{-7}

El numero d Reynolds se representa por la siguiente formula:

$$Re = \frac{V_t \times D_{ti}}{\mu}$$

Reemplazando:

$$Re = \frac{2.72 \times 1.40}{1.15 \times 10^{-6}}$$

Con los valores de la rugosidad relativa $\epsilon_r = 3.57 \times 10^{-5}$ y el numero de Reynolds $Re = 3.32 \times 10^6$, ingresando en la FIGURA N°I-3, obtenemos el valor de “f”.

$$f = 0.015$$

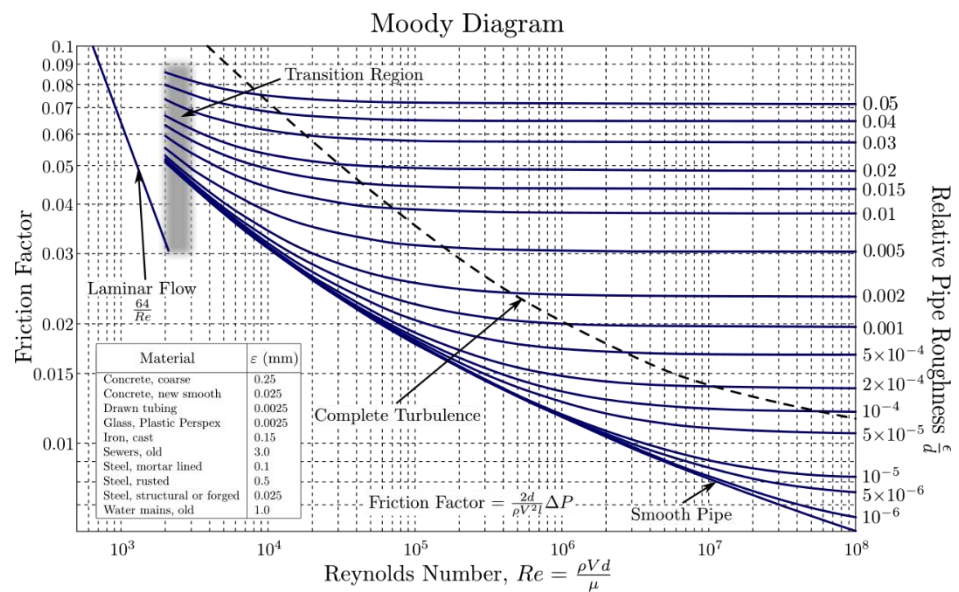


Figura I-3:

Diagrama de moody

Reemplazando en la ecuación tenemos:

$$h_f = 0.015 \times \frac{60 \times (2.72)^2}{1.40 \times 2 \times 9.81}$$

$$h_f = 0.24m$$

Lt	Vt	Dti	g	ε	μ
m	m ² /s	m	m/s ²	m	m ² /s
60.00	2.72	1.40	9.81	5.00E-05	1.15E-06
	εr	Re	f	hf	
			MOODY	m	
	3.57E-05	3.32E+06	0.0150	0.24	

- **Calculo de lasperdidas secundarias en la tubería de presión (h_i)**

La ecuación general para este caso es la siguiente:

$$h_i = k_i \times \frac{V_t^2}{2g}$$

Donde:

K_i : Perdida local

V_t: Velocidad del agua en la tubería (m/s)

g: Aceleracion de la gravedad m/s²

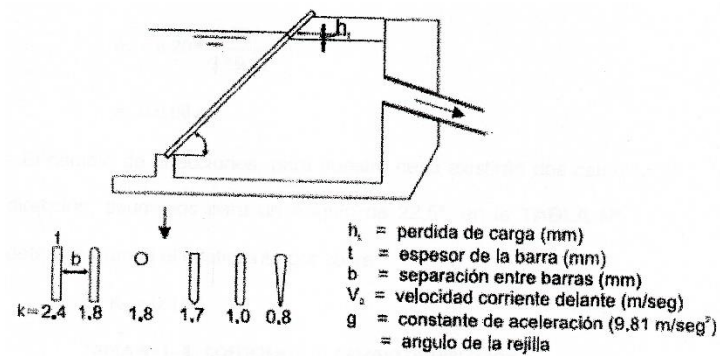
datos de diseño

V_t= 2.72m/s

g= 9.81 m/s²

determinando los valores k_i en:

- Perdidas en la rejilla, de acuerdo a la GRAFICA N°I-1, obtenemos el coeficiente de perdidas para un tipo de rejilla igual a:
K₁=1.8



Grafica I-1:
Coefficiente en rejillas

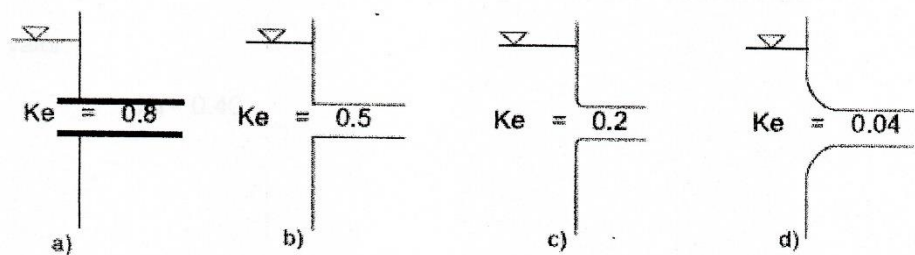
Entonces reemplazamos en la ecuación:

$$h_1 = 1.8 \times \frac{2.72^2}{2 \times 9.81}$$

$$h_1 = 0.68m$$

- La embocadura del inicio de la tubería de presión tendrá bordes redondeados de acuerdo como se indica en la GRAFICA N°I-2, asumimos

$$K_2 = 0.20$$



Grafica I-2:
Coefficiente a la entrada del tubo

Entonces reemplazamos en la ecuación:

$$h_2 = 0.20 \times \frac{2.72^2}{2 \times 9.81}$$

$$h_2 = 0.08m$$

- El cambio de direcciones para nuestro caso existirán dos cambios de dirección, asumimos para un Angulo de 22.5° en la TABLA N° I-4, determinamos el coeficiente por curva:

$$K_3 = 0.154$$

Tabla I-4:

Coeficiente de cambio de direccion

α (GRADOS)	K3	α (GRADOS)	K3
10	0.0440	45	0.32
15	0.0620	60	0.684
22.5	0.154	90	1.265
30	0.165		

Reemplazando en la ecuación:

$$h_3 = 2 \times 0.154 \times \frac{2.72^2}{2 \times 9.81}$$

$$h_3 = 0.12m$$

- La valvula de la compuerta al final de la tubería de presión, para nuestro caso se utilizara una valvula de la compuerta circular para esta forma tenemos de acuerdo a la TABLA N° I-5, asumiendo el siguiente valor

$$K_4 = 0.40$$

Tabla I-5:

Coeficiente de perdidas en valvulas

TIPO DE VALVULA	K
Valvula mariposa	0.2-0.4
Valvula esferica	0.1
Valvula anular	1.2-2.5

Reemplazamos en la ecuación:

$$h_4 = 0.40 \times \frac{2.72^2}{2 \times 9.81}$$

$$h_4 = 0.15m$$

-calculo de las perdidas totales en la tubería de presión (h_t)

$$h_t = h_f + h_{f_1} + h_{f_2} + h_{f_3} + h_{f_4}$$

$$h_t = 0.24 + 0.68 + 0.08 + 0.12 + 0.15$$

$$h_t = 1.41m$$

-calculo de la perdida porcentual en la tubería de presión ($h_t\%$)

$$h_t\% = \frac{h_t}{h_b} \times 100$$

Donde:

h_b :Altura bruta (m)

Datos:

$h_b=20m$

reemplazando:

$$h_t\% = \frac{1.41}{20} \times 100$$

$$h_t\% = 7.07\%$$

Según el libro de “ Manual de Mini y Microcentrales Hidraulicas”, ITDG, recomienda que el valor de perdida porcentual de caída debe estar entre el 3 a 11%, para que el diámetro seleccionado de tubería sea el adecuado.

El diámetro seleccionado cumple con esta condición

K1	K2	K3	K4	Vt2/2g	
1.80	0.20	0.154	0.40	0.378	
Hf1	Hf2	Hf3	Hf4	Hftotal	Ht%
0.68	0.08	0.12	0.15	1.27	6.33%

- **Calculo de Altura Neta (h_n)**

Se calculara con la siguiente ecuación:

$$h_n = h_b + h_t$$

Donde:

h_b : Altura Bruta (m)

h_t : Perdidas totales en la tubería (m)

reemplazando:

$$h_n = 20.00 - 1.27 = 18.73m$$

c. **Determinación del espesor de la tubería de presión (e).**-

segun Ramiro Ortiz en su libro "Pequeñas Centrales Hidroelectricas", el espesor de la tubería se determina mediante la formula siguiente:

$$e = \frac{(h_b + h_s) \times D_{ti}}{20 \times \delta_t + k_t} + e_s$$

Donde:

h_b : La caída bruta (m)

D_{ti} : Diametro de la tubería (mm)

h_s : sobreprosicion ejercida por el golpe de ariete (m)

δ_t : Tension de tracción del material de la tubería (kg/cm²)

k_t : coeficiente de eficiencia de uniones.

e_s : espesor adicional (mm)

Datos de diseño

$h_b = 20m$.

$h_s = 11.25m$

$\delta_t = 600 \text{ kg/cm}^2$ (Para el acero)

$k_f = 0.8$ (asumiremos este valor, ya que Ramiro Ortiz F. en su libro “Pequeñas Centrales Hidroelectricas”, da valores de $k_f = 0.8$ a 1.0)
 $e_s = 3\text{mm}$ (Valor asumido de acuerdo a Ramiro Ortiz F. en su libro “Pequeñas Centrales Hidroelectricas”)

Reemplazamos datos:

$$e = \frac{(20 + 11.25) \times 1400}{20 \times 600 + 0.8} + 3$$

$$e = 7.56 \text{ mm}$$

h_b	h_s	δ_t	k_t	e_s	e
m	m	kg/cm ²		mm	mm
20.00	11.25	600.00	0.80	3.00	7.56

d. Golpe de Ariete en la Tubería de Presión

- Cálculo de la velocidad de propagación de la onda (V_0)

De acuerdo al libro de “Pequeñas Centrales Hidroelectricas” de Ramiro Ortiz, se calculará con la siguiente fórmula:

$$V_0 = \frac{c}{\sqrt{1 + \frac{\epsilon \times D_{ti}}{E \times e}}}$$

Donde:

V_0 : Celeridad de propagación de onda (m/s).

c : Velocidad de sonido de agua (m/s).

ϵ : Módulo de elasticidad del agua (kg/m²)

E : Módulo de elasticidad del material de la tubería (kg/m²)

D_{ti} : Diámetro de la tubería (m)

e : Espesor de la tubería (m)

Datos de Diseño

$$C = 14.25 \text{ m/s}$$

$$\varepsilon = 2 \times 10^3 \text{ MPa}$$

$$E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$$

$$D_{ii} = 1.40 \text{ m}$$

$$E = 0.0076 \text{ m}$$

Reemplazando datos:

$$V_0 = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{(2 \times 10^3) \times 1.40}{(2 \times 10^5) \times 0.0076}}}$$

$$V_0 = 843.60 \text{ m/s}$$

- **Tiempo que demora la onda de presión (T_0)**

Según el libro de “Pequeñas Centrales Hidroelectricas”, Ramiro Ortiz, esta dado por la siguiente formula:

$$T_0 = \frac{2L_t}{V_0}$$

Asimismo:

Donde:

L_t : longitud de la tubería (m)

V_0 : velocidad de propagación de la onda (m/s)

Datos de diseño

$$L_t = 60 \text{ m}$$

$$V_0 = 843.60 \text{ m/s}$$

Reemplazando

$$T_0 = \frac{2 \times 60}{843.60}$$

$$T_0 = 0.14 \text{ s}$$

- **Calculo del Numero de Allievi (ρ_a)**

$$\rho_a = \frac{V_0 \times V_t}{2g \times h_b}$$

Donde:

V_0 : Velocidad de propagación de la onda (m/s)

V_t : Velocidad del agua en la tubería (m/s)

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

h_b : Altura bruta (m)

Datos de diseño

$V_0 = 843.60$ m/s

$V_t = 2.72$ m/s

$g = 9.81$ m/s^2

$h_b = 20$ m

reemplazado

$$\rho_a = \frac{843.60 \times 2.72}{2 \times 9.81 \times 20}$$

$$\rho_a = 5.85m$$

- Cálculo del Factor Sobrepresión (ϵ_{fs})

$$\epsilon_{fs} = \frac{h_b + h_s}{h_b}$$

Donde:

h_b : Altura bruta (m)

h_s : Sobrepresión ejercida por el golpe de ariete (m)

Datos de diseño:

$h_b = 20$ m.

$h_s = 11.25$ m

Reemplazando:

$$\epsilon_{fs} = 1.56$$

- **Cálculo del Tiempo de Maniobra (t)**

Se calculará con la siguiente fórmula:

$$t = \frac{2L_t \times \xi}{V_0}$$

L_t : Longitud de tubería (m)

V_0 : Velocidad de propagación de onda (m/s)

ξ : Tiempo relativo de maniobra

Datos de Diseño:

$L_t = 60$ m

$V_0 = 843.60$ m/s

Con los valores de $\rho_a=5.85$ y $\xi_{fs}=1.56$, utilizando la carta de Allievi, se obtiene $\xi=5.8$

Reemplazando:

$$t = \frac{2 \times 60 \times 4.8}{843.60}$$

$$t = 0.83s$$

c	ϵ	e	Dti	e	ξ
m/s	MPa	MPa	m	m	
1425.00	2.00E+0.3	2.00E+0.5	1.40	0.0076	5.80
V_0	T_0	ρ_a	ξ_{fs}	t	
843.60	0.14	5.85	1.56	0.83	

De acuerdo a este resultado la maniobra será lenta, de acuerdo como recomienda en el libro “Pequeñas Centrales Hidroelectricas”, de Ramiro Ortiz, donde:
 $t > T$, reemplazando $0.83s > 0.14s$

CANAL DE DESCARGA.-

a. Geometria del Canal de Descarga.-

Se recomienda que la sección debe ser tal que con el mayor caudal admisible no resulte una velocidad mayor a 1.50 m/s, además tendrá que conducir el caudal de diseño para su retorno al sistema de riego con el caudal de 4.20 m³/s, por lo que se tomara por eso las mismas características geométricas e hidráulica del canal de conducción por permitirnos una velocidad aceptable, dentro del rango recomendado.

3. CALCULO DE OBRAS ELECTROMAGNETICAS.-

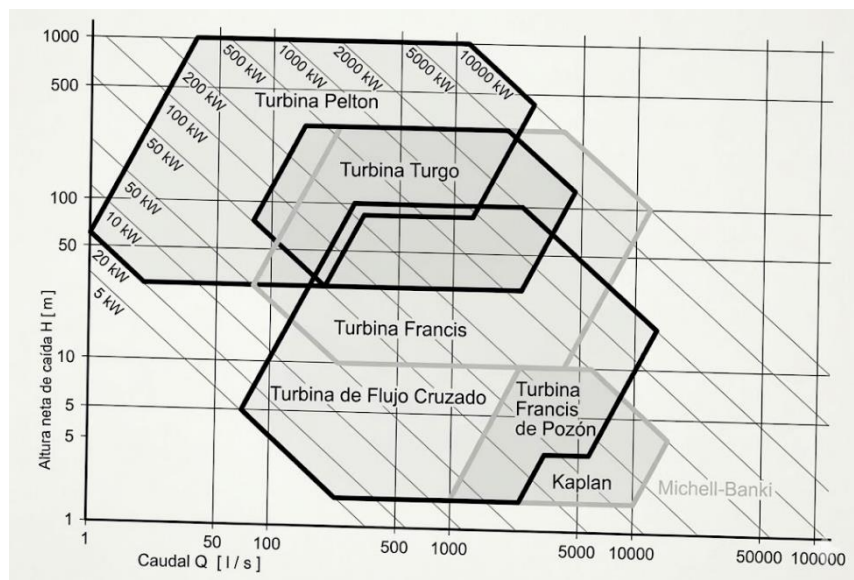
3.1.TURBINA

- Selección de la turbina.-

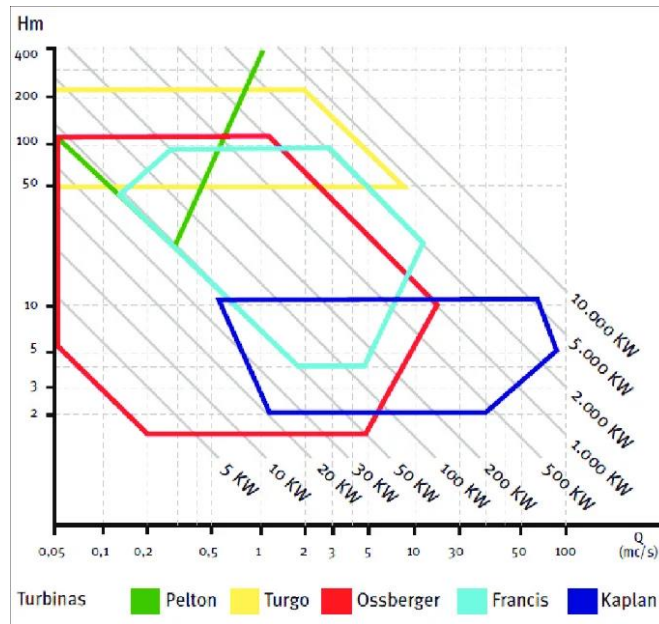
Para realizar la selección de la turbina necesitamos los siguientes parámetros:

- Altura neta (hn)=18.73m
- Caudal de diseño de las turbinas (Qdt) = 4.20m³/s

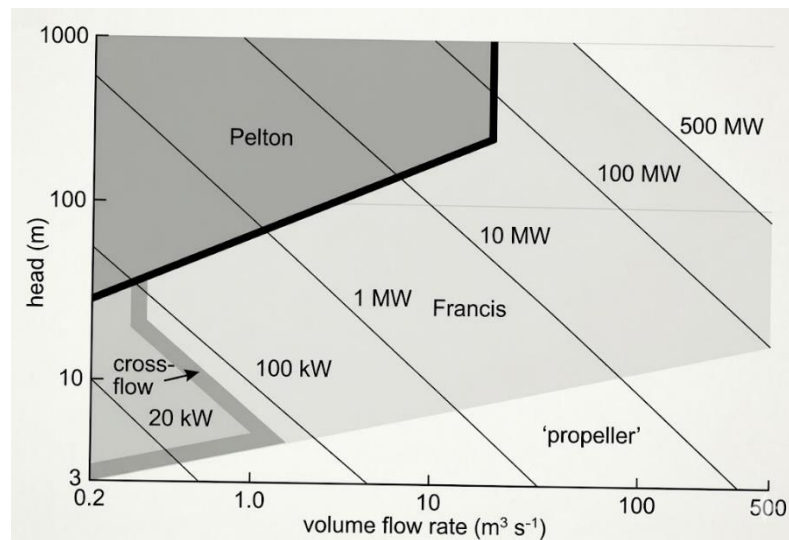
Luego con estos valores ingresamos a la GRAFICA N°I-3, GRAFICA N°I-4, GRAFICA N°I-5, GRAFICA N°I-6, y en todas las graficas referenciales indican que es recomendable el uso de una turbina de tipo Francis, con una potencia entre 500 y kW a 1000kw, además observando la TABLA N° I-6, se considera una TURBINA FRANCIS HORIZONTAL



Grafica I-3: Selección de turbinas

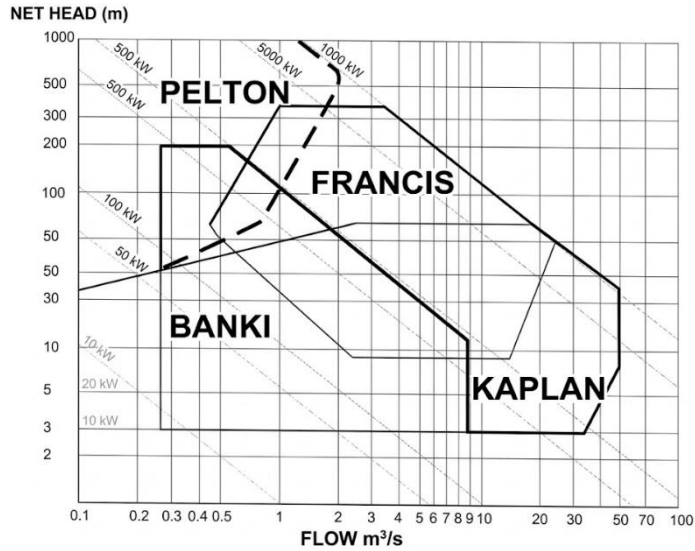


Grafica I-4:
Selección de turbinas



Fuente

Grafica I-5: Selección de turbinas



Grafica I-6: Selección de turbinas

- Cálculo de la Potencia de la Turbina (P_t)

La potencia de la turbina está dada por la siguiente ecuación:

$$P_t = Q \times \eta_t \times \rho \times g \times H_n$$

Donde:

η_t : Rendimiento

ρ : Densidad del agua (kg/m^3)

Q_{dt} : Caudal de diseño (m^3/s)

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

h_n : Altura Neta (m)

Datos de diseño

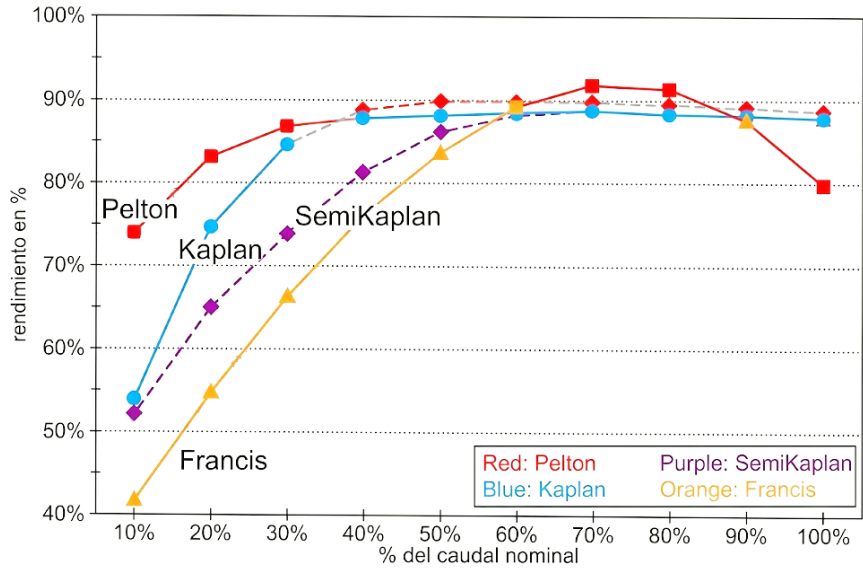
$$\rho = 1000 \text{ N/m}^3$$

$$Q_{dt} = 4.20 \text{ m}^3/\text{s}$$

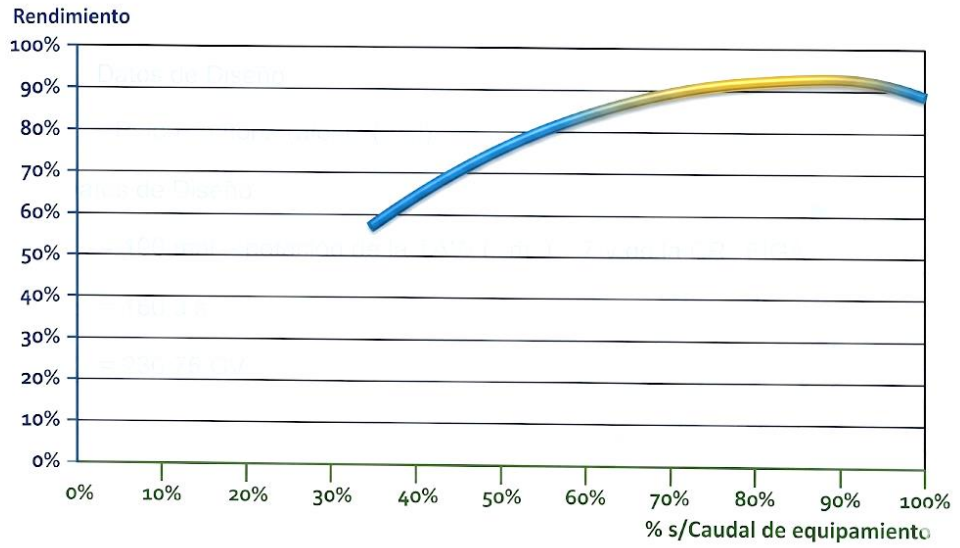
$$g: 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$h_n = 18.73 \text{ m}$$

$\eta = 88\%$ (valor considerado en referencia a la GRAFICA N° I-7 y GRAFICA N° I-8, en condiciones normales).



Grafica I-7: Rendimiento de turbinas



Grafica I-8: Rendimineto de turbinas francis

Reemplazando:

$$Pt = \frac{1000 \times 9.81 \times 4.20 \times 18.73 \times 0.87}{1000}$$

$$Pt = 671.57kw$$

$$Pt = 913.33CV$$

	ρ (Densidad)	g(Gravedad)	hn	
	1000	9.81	18.73	
η (Eficiencia)	Q(Caudal)	Hn(altura)	Pt(Potencia)	Pt(Potencia)
	m ³ /s	m	Kw	CV
0.88	4.20	18.73	679.29	923.83

- Calculo de velocidad de giro (n).-

Se calculara de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$n = \frac{n_s \times h_n^{5/4}}{P_t^{1/2}}$$

Donde:

n_s : Numero especifico de revoluciones

h_n : Altura Neta (m)

P_t : Potencia de la turbina (CV)

Datos de diseño:

$n_s = 450$ (valor obtenido de la TABLA N° I-7 y de la GRAFICA N° I-9)

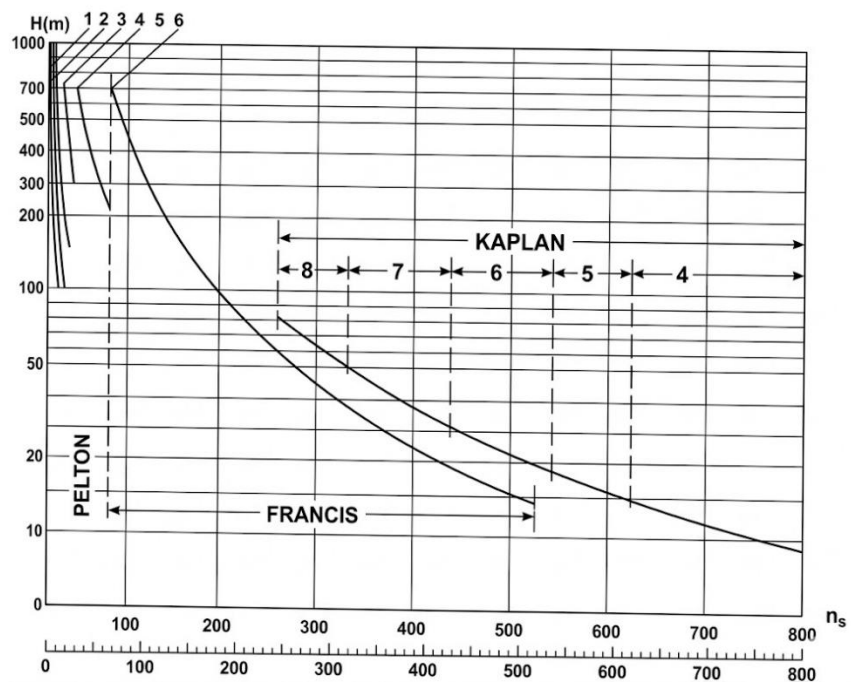
$h_n = 18.73m$

$P_t = 923.83 CV$

TABLA N°I-7: SELECCIÓN DE VELOCIDAD ESPECIFICA

Velocidad especifica (n_s)	Tipo de turbina	Altura del salto (mts)
Hasta 18	Pelton con una tobera	800

18 a 25	“	800-400
26 a 35	“	400-100
26 a 35	Pelton con dos tobera	800-400
36 a 50	“	400-100
51 a 72	Pelton con cuatro tobera	400-100
55 a 70	Francis lentísima	400-200
70 a 120	Francis lenta	200-100
120 a 200	Francis media	100-50
200 a 300	Francis veloz	50-25
300 a 450	Francis ultra velocísima	25-15
270 a 500	Hélice velocísima	Hasta 15
400 a 500	Kaplan lenta	50-15
500 a 800	Kaplan veloz	15-5
800 a 1100	Kaplan velocísima	5



Gráfica I-9: Selección de velocidades específica

reemplazando

$$n = \frac{450 \times 18.73^{5/4}}{923.83^{1/2}}$$

$$n = 577.08 \approx 600rpm$$

	h_n	n_s
	18.73	450.00
Pt(Potencial)	Pt(Potencial)	n
KW	CV	rpm
679.29	923.83	577.08

- Dimensionamiento de Turbina Francis.-

Las dimensiones generales de una turbina Francis, según la GRAFICA N°I-10, con las siguientes formulas:

$$N_q = \frac{N \times Q^{1/2}}{H^{3/4}}$$

$$K_{ule} = 0.293 + 0.0081 \times N_q$$

$$D_{le} = K_{ule} \times \frac{60 \times \sqrt{2gH}}{\pi \times N}$$

Donde:

Q: Caudal de Diseño (m^3/s)

H: Altura neta (m)

N: Velocidad de giro (RPM)

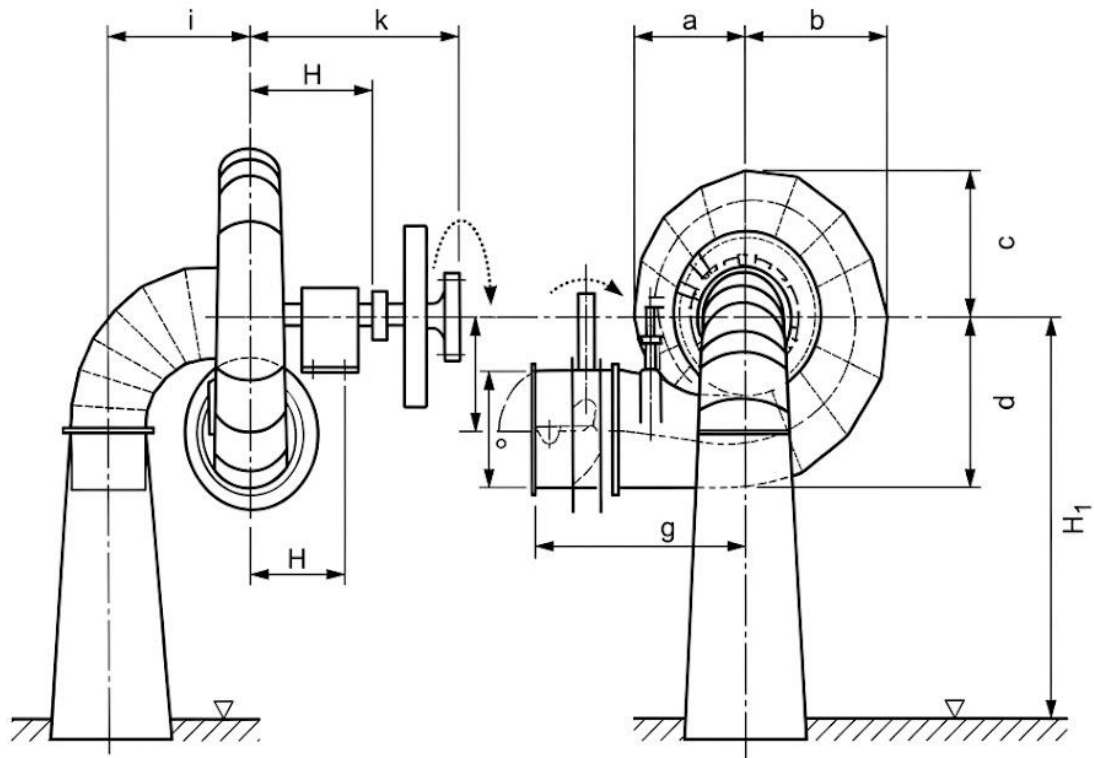
Datos de diseño:

H=18.73m

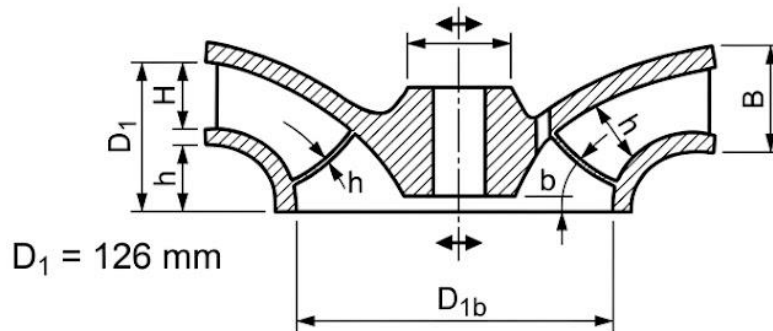
Q= 4.20 m^3/s

N=600 RPM

g= 9.81 m/s^2



$$D_1 = 126 \text{ mm}$$



Grafica I-10: Dimensiones de turbina francis

Reemplazando datos:

$$N_q = \frac{600 \times 4.20^{1/2}}{18.73^{3/4}}$$

$$K_{ule} = 0.293 \times 0.0081 \times 136.55$$

$$D_{le} = 136.55 \times \frac{60 \times \sqrt{2 \times 9.81 \times 118.73}}{\pi \times 600}$$

$$D_{le} = 0.854m$$

Para calcular el valor de la altura de succión mínima para evitar la Cavitación, usaremos la siguiente relación:

$$H_s = H_{atm} - \sigma h - H_v$$

Para turbina Francis:

$$\sigma = 7.54 \times 10^{-5} \times n_s^{1.41}$$

Donde:

H_s : Altura de succión, m

H_{atm} : Altura correspondiente a la presión atmosférica local, m

σ = coeficiente de cavitación de Thoma

H: Altura Neta, m

H_v : Altura de presión del vapor de agua, m

n_s : Velocidad específica

Datos de diseño

$$H_{atm} = 10.30m$$

$$H = 18.73m$$

$$H_v = 0.125 m$$

$$n_s = 450$$

reemplazando datos:

$$\sigma = 7.54 \times 10^{-5} \times 450^{1.41}$$

$$\sigma = 0.42$$

$$H_s = 10.30 - 0.42 \times 18.73 - 0.125$$

$$H_s = 2.394m$$

N	Q	H	Nq	Kule	σ
600.00	4.20	18.73	136.55	1.3990	0.2

Dle	a	b	c	d	e
0.854	1.281	1.622	1.451	1.708	1.110

f	g	h	i	j	K
0.896	2.476	1.195	1.708	3.244	2.394

3.2.GENERADOR

El generador será sincronico ya que la Mini Central Hidroelectrica, será de tipo aislada

Disposición del eje. Se acoplará directamente con la turbina, es decir será de tipo horizontal.

- Cálculo de la potencia Activa del Generador (P_g).-
Se calculará con la siguiente ecuación:

$$P_g = P_t \times \eta_g$$

Donde

P_t : Potencia de turbina (KW)

η_g : Eficiencia de generador

Datos de Diseño

P_t : 679.29 KW

η_g : 0.90

Reemplazo:

$$P_g = 679.29 * 0.90$$

$$P_g = 611.36 \text{ KW}$$

N	Q	H	Nq	Ku1e	σ
600.00	4.20	18.73	136.55	1.3990	0.42
D1e	a	b	c	d	e
0.854	1.281	1.622	1.451	1.708	1.110
f	g	h	i	k	Hs
0.896	2.476	1.195	1.708	3.244	2.394

3.3 GENERADOR

El generador será sincrónico ya que la Mini central Hidroeléctrica, será de tipo aislada.

Disposición del eje. Se acoplará directamente con la turbina, es decir será de tipo horizontal.

- Cálculo de la Potencia Activa del Generador (P_g)-

Se calculara con la siguiente ecuación:

$$P_g = P_t * \eta_g$$

Donde:

P_t = Potencia de la Turbina (KW)

η_g = Eficiencia del generador.

Datos de Diseño:

P_t = 679.29 KW

η_g = 0.90

Reemplazando:

$$P_g = 679.29 * 0.90$$

$$P_g = 611.36KW$$

- **Calculo de la Potencia Aparente del Generador (P_{ag}).**-

La potencia aparente será calculada de la siguiente ecuación:

$$P_{ag} = \frac{P_g}{\cos \phi}$$

Donde:

$\cos \phi$: Factor de potencia

Datos de diseño:

$\cos \phi = 0.80$ (Valor empleado en los generadores)

Reemplazando:

$$P_{ag} = \frac{611.36}{0.80}$$

$$P_{ag} = 764.20 \text{ KVA}$$

- **Calculo de número de pares de polos del generador (P).**-

El número de pares de polos del generador, se verifica en la **TABLA N° 1**

- **8**, y se calculara mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{120f}{n_g}$$

Donde:

f : frecuencia (hz)

n_g : Velocidad de giro del generador (R.P.M)

Datos de Diseño:

f = 60 Hz

$n_g = 600$ r.p.m

TABLA N° I – 8 : VELOCIDAD SINCRONA DE GENERADORES

número de polos	frecuencia		número de polos	frecuencia	
	50 Hz	60 Hz		50 Hz	60Hz
2	3000	3600	16	375	450
4	1500	1800	18	333	400
6	1000	1200	20	300	360
8	750	900	22	272	327
10	600	720	24	250	300
12	500	600	26	231	277
14	428	514	28	214	257

Reemplazando:

$$P = \frac{120(60)}{600}$$

$$P = 12$$

Pt	η_g	Pg	COS ϕ	Pag	Nº POLOS
KW		KW		KVA	
679.29	0.90	611.36	0.80	764.20	12.00
			f =	60.00	

ANEXO A – 02
MANTENIMIENTO DE
EQUIPOS

MANTENIMIENTO EN CENTRALES HIDROELECTRICAS

A) INSTALACIONES DE OBRAS CIVILES

Aquí se describen las actividades de mantenimiento a realizar en todas las instalaciones civiles, las cuales se consideran a todas aquellas estructuras o construcciones creadas por el hombre, por las cuales el recurso motriz (en este caso el agua) es transportado y sometido a tratamiento antes de llegar a la maquinaria generadora de energía.

A.1.- Inspección de Obras Civiles

El siguiente procedimiento establece las instrucciones necesarias para realizar el mantenimiento integral de las estructuras de derivación y captación del recurso hídrico, incluidos los equipos de limpieza y maniobra mecánica en la instalación civil con el fin de mantener la continuidad del servicio de la central hidráulica, asimismo mantener la calidad del agua y proteger el equipamiento mecánico (turbina, válvulas y tubería de presión) de desgastes prematuros

Alcances.- Las actividades de inspección se desarrollarán sobre las siguientes instalaciones:

- Bocatoma
- Desarenador
- Canal de conducción
- Cámara de carga
- Canal de descarga
- Canal de demasías
- Apoyos y anclajes
- Edificios y cimentaciones
- Taludes
- Accesos

Desarrollo de las actividades.- La inspección de instalaciones de obras civiles indicadas en el alcance, se realizan para verificar el estado de conservación de la infraestructura civil.

Esta actividad consiste en realizar la inspección visual y detallada de la infraestructura para determinar la cantidad de sedimentos, rajaduras, grietas, inestabilidad de taludes, roturas, etc. con la finalidad de cuantificar y programar las actividades de mantenimiento.



Fig. II.1: Inspección de Bocatoma

Se verifica acumulaciones de piedra, arena y otros materiales que son arrastrados por la corriente del río.

Se debe identificar fisuras, grietas y erosiones provocadas por la acción del agua.

Se identifica acumulaciones de sedimentos (arena, piedras, etc.) presencia de fisuras y grietas.



Fig. II.2: Inspección de Desarenador

Se verifica acumulaciones de piedra producido por derrumbes o deslizamiento de tierra. Asimismo, se debe identificar la presencia de fisuras y grietas.



Fig. II.3: Inspección de Canal

A.2.- Limpieza de Obras Civiles

Alcances.- Las actividades de limpieza se desarrollarán sobre las siguientes instalaciones:

- Bocatoma
- Desarenador
- Canal de conducción
- Cámara de carga
- Canal de descarga y demásías
- Accesos

Desarrollo de las actividades.- Esta actividad consiste en el mantenimiento preventivo de las instalaciones civiles indicadas en el alcance. Consistente en la extracción de piedras, barro, lodo, arenas y vegetación que impiden el paso continuo del agua y reducción de capacidad de conducción.



Fig. II.4: Limpieza de Bocatoma

Se realiza la limpieza de piedra, arena y otros materiales arrastrados por el río. Dependiendo de la cantidad de material colmatado, se evaluará el uso de maquinaria pesada.

Se realiza la limpieza de canal por caída de piedra, tierra y crecimiento de plantas.

Limpieza periódica de cámara de carga para evitar acumulación excesiva de sedimentos



Fig. II.5: Limpieza de Cámara

A.3.- Resane de Obras Civiles

Alcances.- Las actividades de resane se desarrollarán sobre las siguientes instalaciones:

- Bocatoma
- Desarenador
- Canal de conducción
- Cámara de carga
- Canal de descarga y demásías
- Accesos

Desarrollo de las Actividades.- La actividad de resane en las instalaciones de obras civiles indicadas en el alcance, se realizan para conservar, mantener la continuidad del servicio y vida útil de la central hidráulica. Consiste en reparar las rajaduras, grietas, roturas, etc. con el material apropiado según las características de la infraestructura intervenida (concreto armado, brea, diablo fuerte, etc.). Para ejecutar estas actividades se debe contar con el equipamiento y recursos necesarios.



Fig. II.6: Resane en el Canal

Se realiza la limpieza de canal porque suceden caídas de piedra, tierra y crecimiento de plantas.

Se realiza la limpieza de piedra, arena y otros materiales arrastrados por el río. Dependiendo de la cantidad de material colmatado, se evaluará el uso de maquinaria pesada.



Fig. II.7: Refuerzo de canal

A.4.- Reparación de Infraestructura de Obras Civiles

Alcances.- Las actividades de resane se desarrollarán sobre las siguientes instalaciones:

- Bocatoma
- Desarenador
- Canal de conducción
- Cámara de carga
- Canal de descarga y demasías
- Taludes
- Accesos

Desarrollo de las Actividades.- En el caso de reparaciones de infraestructura de obras civiles se considera en casos de rotura de paredes, pisos, etc. de infraestructura indicada en el alcance, deslizamientos de taludes, etc.

Esta actividad consiste en reparar las zonas afectadas por caídas de paredes, pisos y deslizamientos de talud en la infraestructura de obras (concreto armado y otros). Para ejecutar estas actividades se debe contar con el equipamiento y recursos necesarios.



Reparación de pared lateral en un tramo de canal de conducción. El colapso del muro se debe frecuentemente a deslizamiento de piedras y lodo durante épocas de intensas lluvias.

Fig. II.8: Reparación del Canal

A.6.- Mantenimiento de Rejillas y Compuertas

Alcances.-Las actividades de mantenimiento de rejillas y compuertas se desarrollarán sobre los siguientes componentes:

- Rejillas de bocatoma y cámara de carga
- Compuertas de bocatoma, desarenador y cámara de carga.

Desarrollo de las Actividades.- El mantenimiento de rejillas y compuerta comprendida en el alcance, se realizan para controlar los sólidos suspendidos en el agua, maniobras de operación y despacho.

Esta actividad de mantenimiento consiste en el engrase de partes móviles de compuertas, limpieza, pintado, reparación de rejillas y compuertas (soldadura o cambio de maderas).



Se realiza la limpieza y engrase de accionamientos de compuertas y rieles verificando una operación adecuada. Según su condición externa, se realiza el lijado y pintado para evitar presencia de corrosión.

Fig. II.9: Accionamiento de Compuerta

Mantenimiento y pruebas de desplazamiento de compuertas.



Fig. II.10: Compuerta



Es necesaria la limpieza general y pintada de compuertas y rejillas para eliminar zonas con corrosión.

Fig. II.11: Pintado de rejillas

A) INSTALACIONES MECANICAS

Aquí se describen las actividades de mantenimiento a realizar en todas las instalaciones mecánicas, las cuales se consideran a la tubería de presión y el equipamiento mecánico ubicado en la casa de máquinas que permite la transformación de la energía hidráulica en energía mecánica e instalaciones auxiliares complementarias.

B.1.- Inspección de Equipos

Alcances.- Las actividades de inspección se desarrollarán sobre las siguientes instalaciones:

- Tubería de presión
- Válvula principal
- Turbina
- Cojinetes y/o rodamientos
- Gobernador Mecánico
- Sistema Hidráulico
- Sistema de Transmisión
- Sistema de Refrigeración y Lubricación
- Puente Grúa

Desarrollo de las Actividades.- La inspección de la tubería de presión consiste en la inspección visual de las condiciones externas de la tubería, verificando que no exista fugas de agua en los cordones de soldadura y juntas de dilatación, asimismo se debe identificar las zonas con presencia de corrosión. El mantenimiento predictivo consiste en la medición y monitoreo del espesor del acero mediante el análisis por ultrasonido, registrando los valores de espesor para verificar la velocidad de desgaste.

En la inspección de válvula se verifica su estado externo y presencia de corrosión, se realizan pruebas de estanqueidad y fugas de agua. Para válvulas con mando automático se verifica además el sistema de mando hidráulico, controlando los tiempos de apertura y cierre para evitar fenómenos de golpe de ariete.



Fig. II.12: Tubería de presión

Inspección del estado de pintura para evitar posible formación de óxido.

Uso de pintura anticorrosiva, al final se aplica esmalte sintético.

Inspección de fugas de agua por juntas de dilatación. Se verifica estado de pernos de sujeción.

Inspección de fugas de agua por eje y bridas de acople.

Verificación del sistema de mando de apertura y cierre.



Fig. II.13: Válvula principal

La inspección de turbina consiste en la determinación de fugas de agua, condiciones externas del caracol o carcasa, sistema de distribución y estopas. El mantenimiento predictivo consiste en el monitoreo a través del análisis de vibración en apoyos y codo de descarga.

La inspección de cojinetes y/o rodamientos consiste en el control de temperatura de operación y niveles de vibración adecuados mediante el análisis termográfico y vibracional (Ver Tabla II.1)

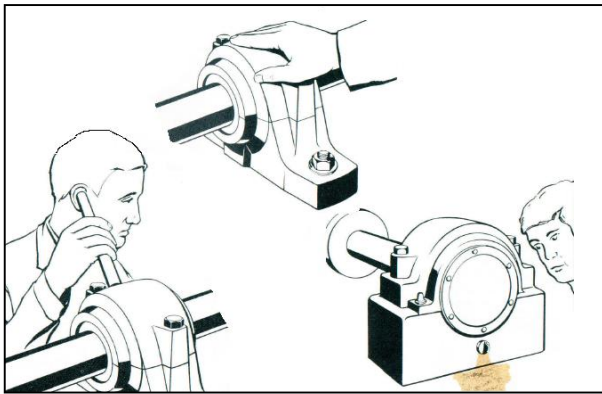


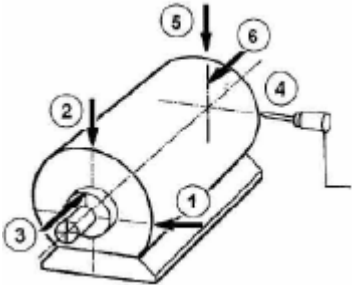
Fig. II.14: Inspección de Turbina y Cojinetes

Monitoreo de parámetros: Vibración

Temperatura de cojinetes

Verificación de fugas de aceite

Tabla II.1: Niveles de vibración en cojinetes.

SEVERIDAD DE VIBRACION RMS (mm/seg)	TIPO DE SOPORTE		PUNTOS DE MEDIDA
	RIGIDO	FLEXIBLE	
0,5	BUENA	BUENA	
0,7			
1,1			
1,8			
2,8	SATISFACTORIA	SATISFACTORIA	
4,6			
7,1	NO SATISFACTORIA	NO SATISFACTORIA	
11,2		NO SATISFACTORIA	
18,0	INACEPTABLE		
28,0			
71,0			

Fuente:

Medición y Análisis de vibraciones: Una herramienta para la predicción y evaluación de fallas.
<http://www.aeende.org.ar/ingles/sitio/biblioteca/material/CORENDE2000Raul.pdf>



Inspección de equipos y mantenimiento predictivo:
 Termografía
 Monitoreo de Vibración

Fig. II.15: Inspección de equipos

Las actividades de inspección de gobernador mecánico consisten en verificar niveles adecuados de aceite e identificación de fugas en los sistemas hidráulicos (mangueras de presión, servomotor), temperatura de operación y la condición

externa del equipo. Se realizan pruebas de operación verificando la respuesta de elastismo (droop de carga).

Se realiza la inspección de los sistemas hidráulicos mediante verificación de nivel y presión de aceite adecuados e identificación de fugas, verificación y pruebas de operación de motores, electroválvulas, etc.

En el sistema de transmisión se identifican fugas de aceite, niveles adecuados de temperatura y vibraciones mediante análisis de vibración.

En el sistema de refrigeración es importante verificar la condición y nivel adecuado de aceite, control de temperatura de operación del cojinete e inspección de la bomba de circulación.



Inspección de sistemas de mando hidráulicos, donde se verifica: Fugas de aceite

Niveles adecuados de aceite

Presión de aceite

Temperatura

Fig. II.16: Inspección de Sistema hidráulico

Se realiza la inspección del puente grúa y condiciones normales de operación.



Se verifica condición de los rieles laterales, vigas, engranajes, cadenas y ganchos de izaje.

Pruebas consisten en el deslizamiento horizontal y transversal del puente y el desplazamiento vertical del gancho de izaje.

Fig. II.17: Inspección de Puente Grúa

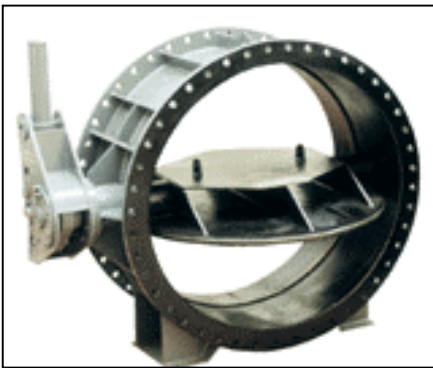
B.2.- Limpieza y Engrase de Equipos

Alcances.- Las actividades de limpieza y engrase se desarrollarán sobre las siguientes instalaciones:

- Válvula principal
- Turbina
- Cojinetes y/o rodamientos
- Puente Grúa

Desarrollo de las Actividades.- Las actividades de limpieza consisten en la eliminación de grasa, polvos y residuos depositados en las partes externas de los equipos indicados en el alcance.

El engrase de la válvula principal se realiza en los apoyos del eje del obturador y accesorios de mando de apertura y cierre.



Engrase de accionamientos de válvula. Para válvulas tipo compuerta con mando manual es necesario el engrase del tornillo sin fin.

Fig. II.18: Engrase de Válvula principal

En la turbina se realiza el engrase del sistema de accionamiento del distribuidor, alabes directrices (Turbinas Francis) e inyectores (Turbinas Pelton).



Engrase de accionamientos del sistema distribuidor (accionamiento de álabes directrices), bocinas y eje.

Fig. II.19: Bocinas de Turbina Francis

El engrase en el puente grúa se realiza en las articulaciones de las ruedas, teclé y articulaciones. Para los puente grúa eléctricos se debe realizar el engrase del cable de izaje.



Engrase de elementos del puente grúa.

Fig. II.20: Puente Grúa

B.3.- Evaluación a Maquina Abierta

Alcances.- Las actividades de evaluación involucran el desmontaje del equipo y desarrollarán sobre las siguientes instalaciones:

- Tubería de presión
- Válvula principal
- Turbina

Desarrollo de las Actividades.-

El mantenimiento preventivo de la tubería de presión consiste en realizar una prueba hidrostática que consiste en: Sellado de la tubería de presión con tapas ciega en ambos extremos, llenado de agua a presión con el uso de una bomba y se verifica con un manómetro la presión hasta llegar al doble de la presión de operación normal. Se realiza la inspección visual a lo largo de la tubería para detectar fugas de agua.

Para la evaluación detallada de la válvula principal es necesario el vaciado completo del agua y colocación de brida ciega. En la evaluación se verifica el estado de retenes, bocinas del eje y asientos del obturador. A partir de esta evaluación se programa el mantenimiento preventivo para la recuperación del equipo.



Evaluación detallada de elementos: Retenes y sellos

Bocinas

Jebes

Asientos del obturador

Fig. II.21: Válvula principal

Las actividades de evaluación detallada de turbina consisten en el desmontaje del codo y tapas verificando su estado y niveles de desgaste. Se realiza el desmontaje del rodete y alabes directrices, se realizan ensayos con tintes penetrantes para identificar fisuras y se realiza el control de desgaste mediante el uso de plantillas o control de medidas según planos.

Para la cuantificación de fisuras y grietas se puede realizar ensayos especializados de Magnaflux y Ultrasonido. Con base en esta evaluación se determinara la necesidad de reparaciones o cambio de elementos de turbina.



Evaluación detallada de rodete y álabes directrices.

Control de desgastes.

Fig. II.22: Rodete de Turbina Francis

B.4.- Mantenimiento Menor de Equipos

Alcances.- Las actividades de mantenimiento menor se desarrollarán sobre las siguientes instalaciones:

- Válvula principal
- Turbina
- Gobernador mecánico
- Sistema Hidráulico
- Sistema de refrigeración y lubricación

Desarrollo de las Actividades.- El mantenimiento menor de la válvula principal consiste en eliminar capas de corrosión, cambio de retenes y empaquetaduras, engrase de eje y asentamiento de la base del obturador.

El mantenimiento de turbina consiste en la recuperación del perfil de rodete y alabes mediante soldadura y esmerilado menor, cambio blindajes de tapas laterales, limado y engrase de bocinas de alabes, cambio de bocinas de sacrificio de eje de turbina y prensa estopa. Se debe ejecutar también de nivelación y alineamiento.

El mantenimiento del gobernador consiste en el cambio de aceite, cambio o reparación de elementos menores, calibración de varillaje. Si se requiere un mantenimiento mayor, es necesario el servicio de mantenimiento y calibración a cargo de una empresa especializada.



Fig. II.23: Gobernador Mecánico

Mantenimiento y calibración de Gobernador.

Según inspección del estado de aceite, se realiza su cambio.

El mantenimiento del sistema de refrigeración y lubricación consiste en la limpieza y sondeo del intercambiador de calor, pruebas hidrostáticas para identificar picaduras, las cuales son eliminadas mediante el proceso de soldadura, se realiza la limpieza o cambio de filtros y aceite.

En el sistema hidráulico se realiza la limpieza o cambio de filtros y aceite, ajuste de conexiones, cambio de bocinas y retenes de servomotores.

Limpieza y pruebas para verificar una adecuada hermeticidad del intercambiador.



Fig. II.24: Circuito de Refrigeración

B.5.- Mantenimiento Mayor de Equipos

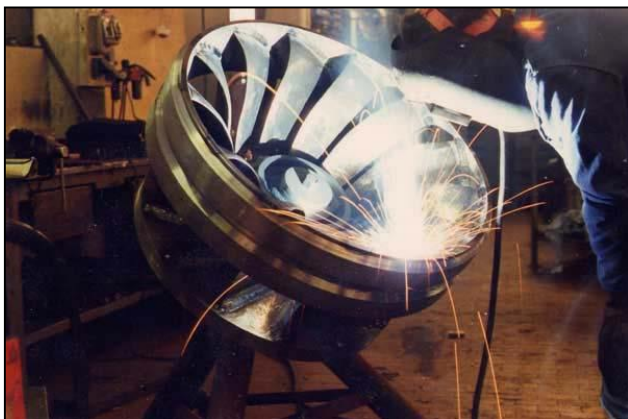
Alcances.- Estas actividades involucran trabajos especializados ejecutado por personal capacitado, se realiza sobre los siguientes equipos:

- Válvula principal
- Turbina
- Gobernador mecánico
- Cojinetes y/o rodamientos

Desarrollo de las Actividades.- El mantenimiento mayor de la válvula principal consiste en cambio de base de obturador (bronce, nitrilo o neoprene), cambio de bocinas de eje de obturador, reparación con soldadura de desgaste de eje de obturador y cambio de empaquetaduras, retenes.

El mantenimiento de turbina consiste en la recuperación de desgaste mediante soldadura en taller metal mecánica de tapas, carcaza, rodete, alabes, así como el cambio de bocinas, retenes, empaquetaduras del sistema de distribución de agua,

cambio de bocina de sacrificio, estopas, etc. Según condición severa de desgaste se procederá al cambio de rodete, alabes, agujas y tobera. El rodete es sometido a pruebas de balanceo estático – dinámico (a cargo del proveedor del servicio) y en el montaje de debe realizar la nivelación y alineamiento respectivo.



Recuperación de perfiles de diseño mediante soldadura.

Fig. II.25: Reparación de rodete Francis

El mantenimiento de cojinetes y/o rodamientos consiste en cambio de rodamiento según horas de trabajo o resultados de análisis vibracional. Según condición de este análisis, en caso de cojinetes tipo babbit, se procederá al rectificado del cojinete (rebabbitado).



Cambio de rodamientos según horas de operación o resultado del análisis vibracional y termografía.

Fig. II.26: Rodamientos de Turbina

Rectificado de cojinetes tipo babit según evaluación.



Fig. II.27: Cojinete tipo babit

B) INSTALACIONES ELECTRICAS

Aquí se describen las actividades de mantenimiento a realizar a todas las instalaciones eléctricas, las cuales comprende: el generador, Tablero de Control y Mando, con los respectivos equipos de control y protecciones, transformador de potencia y patio de llaves, los cuales permiten la transformación de la energía mecánica (rotación) en energía eléctrica y acondicionamiento para su transporte mediante las líneas de transmisión.

C.1.- INSPECCIÓN DE EQUIPOS

Alcances.- Las actividades de inspección se desarrollarán sobre las siguientes instalaciones:

- Generador
- Cable de fuerza
- Tablero de Control, Medición y Protección
- Sistema Auxiliar DC
- Celda de Protección
- Transformador de Potencia
- Equipos de Maniobra y Protección del Patio de llaves
- Puesta a Tierra

Desarrollo de las Actividades.- Estas actividades consisten en la inspección visual de los equipos descritos en el alcance.

La inspección del generador y excitatriz consiste en verificar el estado de carcasa y arrollamientos, identificar acumulación de polvo y otros elementos extraños. Se verifican

niveles adecuados de temperatura de operación de arrollamientos y niveles de vibración (Tabla III.1 y III.2).

Para generadores con excitación con diodos rectificadores, se verifica el estado de conservación de los diodos y base del puente rectificador, en el caso de generadores de excitación con escobillas, se verifica el estado de conservación de carbones, porta escobillas, anillo deslizante y conmutador, se realiza inspección de operación identificando que no exista falso contacto para evitar presencia de chisporroteo.



Fig. II.28: Generador

Inspección del Generador y sistema de excitación.

Inspección de escobillas, anillos y conmutador.



Fig. II.29: Excitación con escobillas

Tabla III.1: Valores típicos de resistencia de P.T.

TEMPERATURA (°C)			
AISLAMIENTO		ALARMA	PARADA
ESTATOR	CLASE F	140	155
	CLASE H	155	180
DESCANSOS		90	100

Fuente:
Manual de Instalación y Mantenimiento de Generadores
síncronos. WEG Industrias S.A.

Tabla III.2: Niveles de vibración en máquinas rotativas

Vibration Severity		Velocity Range Limits and Machinery Classes ISO Standard 2372			
CMVP40 in/s eq. Peak	CMVP50 mm/s RMS	Small Machines	Medium Machines	Large Machines	
		Class I	Class II	Rigid Supports Class III	Flexible Supports Class IV
0.02	0.28			Good	
0.03	0.45				
0.04	0.71				
0.06	1.12			Satisfactory	
0.10	1.80				
0.16	2.80			Unsatisfactory	
0.25	4.50				
0.39	7.10			Unacceptable	
0.62	11.20				
1.00	18.00				
1.56	28.00				
2.50	45.00				
3.95	71.00				

Support classification according to ISO 2372
Flexible Support: The fundamental natural frequency of the machine/support system is lower than its main excitation frequency.
Rigid Support: The fundamental natural frequency of the machine/support system is higher than its main excitation frequency.

Máquina Clase I : Motores Eléctricos de hasta 15 KW
Máquina Clase II : Motores Eléctricos de 15 a 75 KW
Máquina Clase III : Generadores Eléctricos 1800 rpm
Máquina Clase IV : Turbogeneradores especiales

Fuente: Manual de uso de equipo Vibration Pen CMVP40. SKF Condition Monitoring

En inspección del cable de fuerza se debe verificar niveles adecuados de temperatura de operación, identificando puntos calientes en terminales y uniones, se identifican además, acumulaciones de polvos, elementos extraños, condición externa de los cable y soportes.

La inspección general del tablero de control consiste en verificar el estado de conservación del tablero, cableados, terminales, borneras y guardas. Se debe verificar el estado y conexiones de los equipos de control (Regulador de voltaje y velocidad), equipos de protección (relés, contactores, etc.), equipos de medición (instrumentos y transformadores de medida) y los equipos de alarma y señalización (anunciadores, lámparas y bocinas).

La inspección general del sistema auxiliar consiste en verificar el estado de conservación del tablero, cableados, terminales, borneras y guardas. Se debe verificar el estado del banco de baterías y cargador. Se realiza la inspección general del grupo electrógeno y luces de emergencia.



Inspección de conexiones

Inspección de equipos de medida y protección

Inspección de Señalizaciones

Fig. II.30: Inspección de Tablero de Control

La inspección general de la celda de protección consiste en verificar el estado de conservación de la celda, cableados y terminales. Se debe verificar el estado y niveles adecuados de operación de los interruptores de potencia (nivel de aceite, presión de gas, etc) y señalizaciones.

En el transformador de potencia se verifican niveles adecuados de operación (temperatura, nivel de aceite, grado de humedad) se realiza la inspección visual para verificar el estado de conservación de carcasa, bornes y accesorios para identificar fugas de aceite, acumulación de suciedad, presencia de corrosión y picaduras.



Inspección de carcasa
Identificar fugas de aceite
Presencia de suciedad y corrosión

Fig. II.31: Inspección de Transformador de Potencia

En el patio de llaves se realiza la inspección externa de equipos de maniobra y protección para identificar fugas de aceite, asimismo se verifican niveles adecuados de operación (presión, niveles de aceite).

Verificar niveles de operación adecuados:
Presión y nivel de aceite.
Temperatura



Fig. II.32: Inspección de Patio de Llaves

La inspección de puesta a tierra se realiza verificando el estado de conservación del conductor, varilla y conectores de puesta a tierra. Asimismo se realiza la inspección visual de tapas de pozos a tierra y las respectivas señalizaciones.

C.2.- MANTENIMIENTO MENOR DE EQUIPOS

Alcances.- Las actividades de mantenimiento menor de equipos mecánicos se desarrollarán sobre las siguientes instalaciones:

- Generador
- Tablero de Control, Medición y Protección
- Sistema Auxiliar DC
- Celda de Protección
- Transformador de Potencia
- Equipos de Maniobra y Protección del Patio de llaves
- Puesta a Tierra

Desarrollo de las Actividades.- El mantenimiento menor del generador y excitatriz consiste en la limpieza general de carcasa y arrollamientos, se realiza manualmente o mediante el uso de aire comprimido y solvente dieléctrico, se realiza el ajuste general de bornes y conexiones.



Ajuste o cambio de diodos rectificadores.

Fig. II.33: Diodos rectificadores

Calibración de muelles o cambio de carbones, limpieza y ajuste de porta escobillas, anillo deslizante y conmutador.

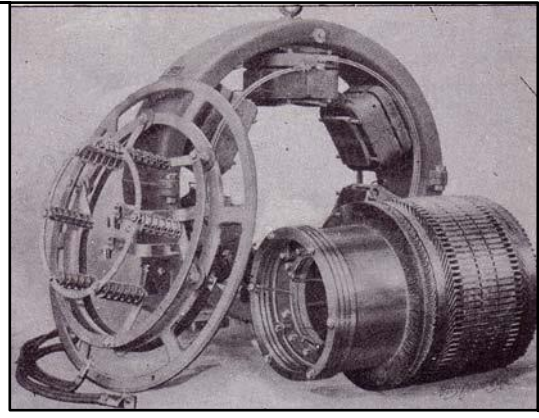


Fig. II.34: Escobillas

En el cable de fuerza se realiza la limpieza, ajuste o cambio de terminales, según condición se mejora el aislamiento en las uniones y partes deterioradas mediante el uso de cintas aislantes y vulcanizantes.

En el mantenimiento de tablero de control y protección se realiza la limpieza, ajuste o cambio de terminales, borneras, lámparas y cables. La limpieza se realiza mediante el uso de aire comprimido, solvente dieléctrico y limpiador de contactos eléctricos. Según condición externa del tablero y barras, se realizará el pintado general para evitar su deterioro por corrosión.

El mantenimiento de los tableros del sistema auxiliar se realiza las mismas actividades de mantenimiento del tablero de control y protecciones. Para el mantenimiento del banco de baterías se realiza la limpieza o cambio de bornes, medición de tensión, temperatura y densidad de electrolito. Se realiza el cambio de tapas y relleno de agua destilada para verificar su condición, según esta se realiza su cambio.

El mantenimiento menor de la celda de protección se realiza mediante la limpieza y ajuste de bornes, terminales, borneras, lámparas y cables. En el interruptor de potencia se realiza la lubricación de partes móviles, pruebas de continuidad y aislamiento.



Fig. II.35: Tablero de Control

Limpieza del Tablero de Control. Pintado para evitar formación de corrosión

Limpieza y engrase de partes móviles del interruptor.

Pruebas de continuidad y aislamiento.



Fig. II.36: Interruptor de potencia

En el transformador de potencia se realiza la limpieza exterior de carcasa, aletas de refrigeración y ajuste general de pernos y terminales de conexión de los sistemas de protección propio. Según condición se realiza el cambio de sílica gel y pintado de carcasa para evitar la formación de oxido.



Limpieza general de carcasa y elementos de protección del Transformador de Potencia.

Pintado de carcasa para evitar formación de corrosión.

Fig. II.37: Limpieza de Transformador

En el patio de llaves se realiza la limpieza exterior y ajuste en los equipos de control y protección, pintado general de estructuras y señalizaciones.

El mantenimiento de la puesta a tierra se realiza cuando los valores medidos de resistencia superan los valores permitidos. El mantenimiento consiste en la limpieza, ajuste o cambio de terminales, mejoramiento de la resistividad con agua, carbón y sales giroscópicas.

Tabla III.3: Valores típicos de resistencia de P.T.

TIPO DE INSTALACION	CONFIGURACION	VALORES TIPICOS (Ohm)
Centrales Electricas	Malla	< 1
Sub Estaciones de AT/MT	Malla	< 1
Sub Estaciones de MT/BT	Pozo	25 (P) 10 – 15 (S)
Lineas de Transmisión	Contrapeso	15
Centros de Computo	Pozo	< 5

C.3.- PRUEBAS ELECTRICAS Y EVALUACION DE EQUIPOS

Alcances.- Las pruebas eléctricas y evaluación especializada se ejecutarán por personal capacitado sobre las siguientes instalaciones:

- Generador
- Cable de fuerza
- Tablero de Control, Medición y Protección
- Celda de Protección
- Transformador de Potencia
- Equipos de Maniobra y Protección del Patio de llaves
- Puesta a Tierra

Desarrollo de las Actividades.- En el mantenimiento predictivo y preventivo que consiste en las pruebas eléctricas y evaluaciones se usan equipos especializados que deben ser manipulados por personal capacitado.

La medición de aislamiento e índice de polarización de arrollamientos del generador y excitación con megohmetro digital dependiendo del nivel de tensión del generador (Tabla III.2 Y III.3).

Medición de aislamiento e índice de polarización del generador con equipo especializado: Megohmetro



Fig. II.38: Evaluación del Generador

Tabla III.4: Índice de Polarización

INDICE DE POLARIZACION (IP)	EVALUACION DEL AISLAMIENTO
< 1,0	RUIN
1,0 a 1,5	PELIGROSO
1,5 a 2,0	REGULAR
2,0 a 3,0	BUENO
3,0 a 4,0	MUY BUENO
> 4,0	EXCELENTE

Fuente:
Manual de Instalación y Mantenimiento de Generadores síncronos.
WEG Industrias S.A.

Tabla III.5: Limites orientativos de resistencia de aislamiento.

INDICE DE POLARIZACION (IP)	EVALUACION DEL AISLAMIENTO
< 2 MΩ	RUIN
< 50 MΩ	PELIGROSO
50 a 100 MΩ	REGULAR
100 a 500 MΩ	BUENO
500 a 1000 MΩ	MUY BUENO
> 1000 MΩ	EXCELENTE

Fuente:
 Manuel de Instalación y Mantenimiento de Generadores síncronos.
 WEG Industrias S.A.

Medición de factor de potencia se realiza con el equipo de medición de factor de potencia o tangente delta con referencia a la línea a tierra, para determinar la degradación del aislamiento.

Medición de polaridad de diodos rectificadores se realiza con probador de diodos del multímetro digital para determinar su estado en estado de corte y conducción.

La medición de aislamiento en los tableros de control y protección se realiza sobre las barras con referencia a tierra y cablearía de circuitos de señal, mando y protección.

Pruebas de operación de equipos de control se realiza para comprobación de la operación de los circuitos de control, mando y protección según los planos funcionales. Se determina la operatividad de los relés auxiliares, contactores auxiliares, relés térmicos, regulador de voltaje y velocidad, etc. Además se comprueba la operación de los reguladores de tensión y velocidad mediante mediciones de tensión y corriente AC/DC en entrada y salida para comprobar los valores de operación nominales o aceptables.

Las Pruebas de operación de equipos de relés se realizan con maleta de pruebas, donde se determina la operación de contactos y tiempos de actuación de acuerdo a su programación.

Medición de relación de transformación de transformadores de medida se realiza con lo equipo de medición de relación de transformación (DTR) para comprobar la relación medida con la nominal.



Medición de la relación de transformación. Transformadores de voltaje Transformadores de Corriente

Fig. II.39: Evaluación de Trafos de medida

La medición de aislamiento de las celdas de protección se realiza con las fases a tierra y entre fases del interruptor, más la cablearía del circuito de mando y control.

Medición de resistencia de contactos se realiza en los interruptores para comprobar la resistencia de contacto por cada fase en comparación a la resistencia de contacto determina por el fabricante (Tabla III.4), medición de tiempos de apertura y cierre se realiza con la maleta de pruebas de interruptores para determinar los tiempos en milisegundos (ms) en comparación al dato del fabricante.

La medición por ultrasonido se realiza en los interruptores de potencia para determinar la fuga de gases y falso contacto.

Tabla III.6: Valores orientativos de resistencia de contacto

RESISTENCIA DE CONTACTO	EVALUACION DE CONTACTO
< 40 $\mu\Omega$	EXCELENTE
40 a 150 $\mu\Omega$	BUENO
150 a 200 $\mu\Omega$	REGULAR
200 a 1000 $\mu\Omega$	INADECUADO
> 1000 $\mu\Omega$	PELIGROSO

Fuente:
Manuel de Instalación y Mantenimiento de Generadores síncronos.
WEG Industrias S.A.

El mantenimiento predictivo del transformador consiste en la medición de temperatura para identificar puntos calientes con la cámara termográfica y se realiza el análisis por

ultrasonido para evaluar presencia de gases y descargas eléctricas.

La medición de aislamiento se realiza con el Megohmetro para determinar la resistencia de aislamiento entre fases y masa.

Medición de relación de transformación de transformadores de potencia se realiza con lo equipo de medición de relación de transformación (DTR) para comprobar la relación medida con la nominal

La medición de factor de potencia se realiza con el equipo de medición de factor de potencia o tangente delta con referencia a la fase a masa, para determinar la degradación del aislamiento.

El análisis de aceite dieléctrico se realiza las siguientes pruebas: Físico – Químico para determinar sus propiedades físicas y químicas, Cromatográfico para determinar la presencia de gases disueltos en el aceite así predecir una falla posible y el análisis de Furano para determinar la degradación del papel aislante por sobre temperaturas y sobretensiones.



Fig. II.40: Evaluación termográfica

Resultado de la evaluación termográfica.

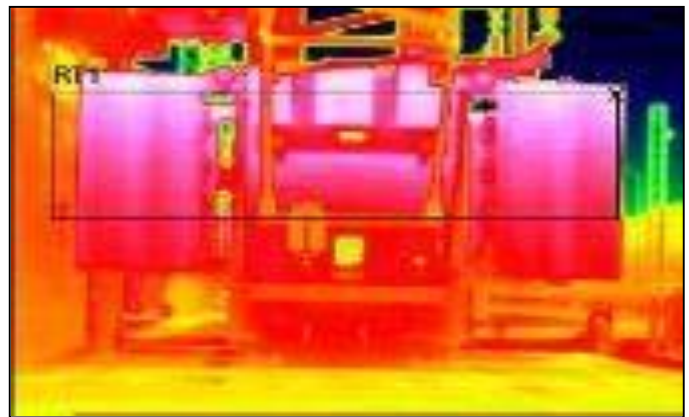


Fig. II.41: Termografía del Transformador

Medición de Aislamiento y Factor de potencia para evaluar el estado del aislamiento.

Monitoreo de Temperatura de operación.

ANEXO A – 03
PRESUPUESTO Y COSTOS
UNITARIOS

CÓDIGO : 1.1.1

PARTIDA: Limpieza de terreno - Bocatoma

UNIDAD: m2

RENDIMIENTO: 120 m2/día.

INSUMO	UND.	CUADRILLA	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						4.15
Oficial	H.H	1.00	0.10	7.57	0.76	
Peón	H.H	3.00	0.50	6.78	3.39	
HERRAMIENTAS						0.12
Desgaste de herramientas 3% de M.O					0.12	
COSTO DIRECTO						4.27

CÓDIGO : 1.2.1

PARTIDA: Excavacion de zanjas - bocatoma

UNIDAD: m3

RENDIMIENTO: 8m3/día

INSUMO	UND.	CUADRILLA	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						7.62
Operario	H.H	1.00	0.10	8.40	0.84	
Peón	H.H	3.00	1.00	6.78	6.78	
HERRAMIENTAS						0.23
Desgaste de herramientas 3% de M.O					0.23	
COSTO DIRECTO						7.85

CÓDIGO: 1.3.1

PARTIDA: Encofrado y desencofrado - bocatoma

UNIDAD: m2

RENDIMIENTO: 10 m2/día

INSUMO	UND.	CUADRILLA	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						2.68
Operario	H.H	1.00	0.10	8.40	0.84	
Oficial	H.H	1.00	0.10	7.57	0.76	
Peón	H.H	2.00	0.16	6.78	1.08	
MATERIALES						6.08
Madera	pie2		1.25	2.70	3.38	
Clavos de 4"	Kg.		0.40	4.50	1.80	
Alambre Nº 16	Kg.		0.20	4.50	0.90	
HERRAMIENTAS						0.08
Desgaste de herramientas 3% de M.O					0.08	
COSTO DIRECTO						8.84

CÓDIGO: 1.3.2

PARTIDA: Acero estructural - Bocatoma

UNIDAD: Kg.

RENDIMIENTO: 160 Kg/dia

BOCATOMA

INSUMO	UND.	CUADRILLA	CANT	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						1.60
Operario	H.H	1.00	0.10	8.40	0.84	
Oficial	H.H	1.00	0.10	7.57	0.76	
MATERIALES						4.09
Fierro corrugado 1/2"	Kg.		1.00	4.00	4.00	
Alambre N° 16	Kg.		0.02	4.50	0.09	
HERRAMIENTAS						0.05
COSTO DIRECTO						5.73

CÓDIGO: 1.3.4

PARTIDA: Concreto armado f'c= 210 Kg/cm2

UNIDAD: m3

RENDIMIENTO: 4m3/dia

INSUMO	UNID.	CUADRILLA	CANT.	C.U	PARCIAL	TOTAL
MANO DE OBRA						5.74
Operario	H.H	1.00	0.10	8.40	0.84	
Oficial	H.H	1.00	0.20	7.57	1.51	
Peón	H.H	5.00	0.50	6.78	3.39	
Cemento Pórtland Tipo 1	Bls.		10.00	18.00	180.00	221.00
Piedra chancada	m3		0.55	50.00	27.50	
Arena gruesa	m3		0.45	30.00	13.50	
HERRAMIENTAS						0.17
Desgaste de herramientas 3% de M.O						0.17
COSTO DIRECTO						226.92

CÓDIGO : 1.4.1

PARTIDA : Compuerta metalica de 0.60 x0.80 m.

UNIDAD: U.

RENDIMIENTO:8 U/dia

INSUMO	UNID.	CUADRILLA	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						121.85
Operario	H.H	1.00	10.00	8.40	84.00	
Oficial	H.H	1.00	5.00	7.57	37.85	
MATERIALES						5000.00
Compuerta metalica de 1.50 x 1.10 m. incluido accesorios	U		1.00	5,000.00	5000.00	
HERRAMIENTAS						3.66
Desgaste de herramientas 3% de M.O						3.66
COSTO DIRECTO						5125.51

BARRAJE DE DERIVACION

CÓDIGO: 2.1.1

PARTIDA: Limpieza de terreno - barraje

UNIDAD: m2

RENDIMIENTO: 120 m2/dia.

INSUMO	UNID.	CUADRILLA	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						4.15
Oficial	H.H	1.00	0.10	7.57	0.76	
Peón	H.H	3.00	0.50	6.78	3.39	
HERRAMIENTAS						0.12
Desgaste de herramientas 3% de M.O					0.12	
COSTO DIRECTO						4.27

CÓDIGO:2.2.2

PARTIDA: Excavacion manual

UNIDAD: m3

RENDIMIENTO: 8 m3/dia

INSUMO	UNID.	CUADRILLAS	CANT.	C.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						7.62
Operario	H.H	1.00	0.10	8.40	0.84	
Peón	H.H	3.00	1.00	6.78	6.78	
HERRAMIENTAS						0.23
Desgaste de herramientas 3% de M.O					0.23	
COSTO DIRECTO						7.85

CÓDIGO: 2.3.1

PARTIDA: Encofrado y desencofrado

UNIDAD: m2

RENDIMIENTO: 10 m3/dia

INSUMO	UNID.	CUADRILLAS	CANT.	C.U	PARCIAL	TOTAL
MANO DE OBRA						2.68
Operario	H.H	1.00	0.10	8.40	0.84	
Oficial	H.H	1.00	0.10	7.57	0.76	
Peón	H.H	2.00	0.16	6.78	1.08	
MATERIALES						6.08
Madera	pie2		1.25	2.70	3.38	
Clavos de 4"	Kg.		0.40	4.50	1.80	
Alambre Nº 16	Kg.		0.20	4.50	0.90	
HERRAMIENTAS						0.08
Desgaste de herramientas 3% de M.O					0.08	
COSTO DIRECTO						8.84

BARRAJE DE DERIVACION

CÓDIGO: 2.3.2

PARTIDA: Acero estructural

UNIDAD: Kg.

RENDIMIENTO: 160 Kg/dia

INSUMO	UNID.	CUADRILLA	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						1.60
Operario	H.H	1.00	0.10	8.40	0.84	
Oficial	H.H	1.00	0.10	7.57	0.76	
MATERIALES						4.09
Fierro corrugado 1/2"	Kg.		1.00	4.00	4.00	
Alambre N° 16	Kg.		0.02	4.50	0.09	
HERRAMIENTAS						0.05
Desgaste de herramientas 3% de M.O					0.05	
COSTO DIRECTO						5.73

CÓDIGO: 2.3.3

PARTIDA: Concreto armado f'c = 210 Kg/cm²UNIDAD:m³RENDIMIENTO: 4m³/dia

INSUMO	UNID.	CUADRILLA	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						5.74
Operario	H.H	1.00	0.10	8.40	0.84	
Oficial	H.H	1.00	0.20	7.57	1.51	
Peón	H.H	5.00	0.50	6.78	3.39	
MATERIALES						221.00
Cemento Pórtland Tipo 1	Bls.		10.00	18.00	180.00	
Piedra chancada	m ³		0.55	50.00	27.50	
Arena gruesa	m ³		0.45	30.00	13.50	
HERRAMIENTAS						0.17
Desgaste de herramientas 3% de M.O					0.17	
COSTO DIRECTO						226.92

CÓDIGO : 3.1.1
 PARTIDA: limpieza de terreno
 UNIDAD: m2
 RENDIMIENTO: 120 m2/día.

CANAL DE CONDUCCION

INSUMO	UND.	CUADRILLA	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						4.15
Oficial	H.H	1.00	0.10	7.57	0.76	
Peón	H.H	3.00	0.50	6.78	3.39	
HERRAMIENTAS						0.12
Desgaste de herramientas 3% de M.O					0.12	
COSTO DIRECTO						4.27

CÓDIGO : 3.2.1
 PARTIDA: Excavacion manual de material suelto
 UNIDAD: m3
 RENDIMIENTO: 4 m3/día

INSUMO	UNID.	CUADRILLA	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						7.62
Operario	H.H	1.00	0.10	8.40	0.84	
Peón	H.H	3.00	1.00	6.78	6.78	
HERRAMIENTAS						0.23
Desgaste de herramientas 3% de M.O					0.23	
COSTO DIRECTO						7.85

CÓDIGO : 3.3.1
 PARTIDA: Encofrado y desencofrado
 UNIDAD: m2
 RENDIMIENTO: 10 m2/día

INSUMO	UND.	CUADRILLA	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						2.68
Operario	H.H	1.00	0.10	8.40	0.84	
Oficial	H.H	1.00	0.10	7.57	0.76	
Peón	H.H	2.00	0.16	6.78	1.08	
MATERIALES						6.08
Madera	pie2		1.25	2.70	3.38	
Clavos de 4"	Kg.		0.40	4.50	1.80	
Alambre Nº 16	Kg.		0.20	4.50	0.90	
HERRAMIENTAS						0.08
Desgaste de herramientas 3% de M.O					0.08	
COSTO DIRECTO						8.84

CÓDIGO : 3.3.2
 PARTIDA: Concreto simple f'c = 140 Kg/cm2
 UNIDAD: m3
 RENDIMIENTO: 4 m3/día

INSUMO	UNID.	CUADRILLA	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						5.74
Operario	H.H	1.00	0.10	8.40	0.84	
Oficial	H.H	1.00	0.20	7.57	1.51	
Peón	H.H	5.00	0.50	6.78	3.39	
MATERIALES						103.92
Cemento Pórtland Tipo 1	Bls.		4.00	18.00	72.00	
Piedra Mediana	m3		0.77	36.00	27.72	
Arena gruesa	m3		0.14	30.00	4.20	
HERRAMIENTAS						0.17
Desgaste de herramientas 3% de M.O					0.17	
COSTO DIRECTO						109.84

DESARENADOR-CAMARA DE CARGA

CÓDIGO : 4.1.1
 PARTIDA: Limpieza de Terreno
 UNIDAD: m2
 RENDIMIENTO: 120 m2/dia

INSUMO	UNID.	CUADRILLA	CANT.	C.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						4.15
Oficial	H.H	1.00	0.10	7.57	0.76	
Peón	H.H	3.00	0.50	6.78	3.39	
HERRAMIENTAS						0.12
Desgaste de herramientas 3% de M.O					0.12	
COSTO DIRECTO						4.27

CÓDIGO : 4.2.1
 PARTIDA: Excavacion manual de material
 UNIDAD: m3
 RENDIMIENTO: 8 m3/dia

INSUMO	UNID.	CUADRILLA	CANT.	C.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						7.62
Operario	H.H	1.00	0.10	8.40	0.84	
Peón	H.H	3.00	1.00	6.78	6.78	
HERRAMIENTAS						0.23
Desgaste de herramientas 3% de M.O					0.23	
COSTO DIRECTO						7.85

CÓDIGO: 4.3.1
 PARTIDA: Encofrado y desencofrado - Desarenador Cámara de Carga
 UNIDAD: m3
 RENDIMIENTO: 10 m2/dia

INSUMO	UNID.	CUADRILLA	CANT.	C.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						2.68
Operario	H.H	1.00	0.10	8.40	0.84	
Oficial	H.H	1.00	0.10	7.57	0.76	
Peón	H.H	2.00	0.16	6.78	1.08	
MATERIALES						6.08
Madera	pie2		1.25	2.70	3.38	
Clavos de 4"	Kg.		0.40	4.50	1.80	
Alambre N° 16	Kg.		0.20	4.50	0.90	
HERRAMIENTAS						0.08
Desgaste de herramientas 3% de M.O					0.08	
COSTO DIRECTO						8.84

DESARENADOR-CAMARA DE CARGA

CÓDIGO: 4.3.2

PARTIDA: Acero estructural - desarenador - cámara de carga

UNIDAD: kg

RENDIMIENTO: 160 Kg/día

INSUMO	UNID.	CUADRILLA	CANT.	C.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						1.60
Operario	H.H	1.00	0.10	8.40	0.84	
Oficial	H.H	1.00	0.10	7.57	0.76	
MATERIALES						4.09
Fierro corrugado 1/2"	pie3		1.00	4.00	4.00	
Alambre N° 16	Kg.		0.02	4.50	0.09	
HERRAMIENTAS						0.05
Desgaste de herramientas 3% de M.O					0.05	
COSTO DIRECTO						5.73

CÓDIGO : 4.3.3

PARTIDA : Concreto Armado f'c= 210 Kg/cm2

UNIDAD: m3

RENDIMIENTO: 4m3/día

INSUMO	UNID.	CUADRILLA	CANT.	C.U	PARCIAL	TOTAL
MANO DE OBRA						5.74
Operario	H.H	1.00	0.10	8.40	0.84	
Oficial	H.H	1.00	0.20	7.57	1.51	
Peón	H.H	5.00	0.50	6.78	3.39	
MATERIALES						221.00
Cemento Pórtland Tipo 1	Bls.		10.00	18.00	180.00	
Piedra chancada	m3		0.55	50.00	27.50	
Arena gruesa	m3		0.45	30.00	13.50	
HERRAMIENTAS						0.17
Desgaste de herramientas 3% de M.O					0.17	
COSTO DIRECTO						226.92

CÓDIGO : 4.4.1

PARTIDA : Tubería de Desagüe Desarenador - Cámara de Carga

UNIDAD: U.

RENDIMIENTO: 16 U/día

INSUMO	UNID.	CUADRILLA	CANT.	C.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						7.99
Operario	H.H	1.00	0.50	8.40	4.20	
Oficial	H.H	1.00	0.50	7.57	3.79	
MATERIALES						207.00
Tubería de PVC 6"	U.		1.00	150.00	150.00	
Tubería de PVC 4"	U.		1.00	18.00	18.00	
Codo de PVC 6"	U.		1.00	35.00	35.00	
Codo de PVC 4"	U.		1.00	4.00	4.00	
HERRAMIENTAS						0.24
Desgaste de herramientas 3% de M.O					0.24	
COSTO DIRECTO						215.22

DESARENADOR-CAMARA DE CARGA

CÓDIGO : 4.5.1

PARTIDA : Estructura Metálica - Camara de carga

UNIDAD: U.

RENDIMIENTO:16 U/dia

INSUMO	UNID.	CUADRILLA	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						7.99
Operario	H.H	1.00	0.50	8.40	4.20	
Oficial	H.H	1.00	0.50	7.57	3.79	
MATERIALES						800.00
Rejilla de fierro corrug. 3/8" c/marco de fierro de 1/2"	U		1.00	800.00	800.00	
HERRAMIENTAS						0.24
Desgaste de herramientas 3% de M.O					0.24	
COSTO DIRECTO						808.22

DESARENADOR-CAMARA DE CARGA

CÓDIGO : 4.2.1

PARTIDA: Excavacion manual de material

UNIDAD: m3

RENDIMIENTO: 8 m3/dia

INSUMO	UNID.	CUADRILLA	CANT.	C.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						7.62
Operario	H.H	1.00	0.10	8.40	0.84	
Peón	H.H	3.00	1.00	6.78	6.78	
HERRAMIENTAS						0.23
Desgaste de herramientas 3% de M.O					0.23	
COSTO DIRECTO						7.85

CÓDIGO: 4.3.1

PARTIDA: Encofrado y desencofrado - Desarenador Cámara de Carga

UNIDAD: m3

RENDIMIENTO: 10 m2/dia

INSUMO	UNID.	CUADRILLA	CANT.	C.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						2.68
Operario	H.H	1.00	0.10	8.40	0.84	
Oficial	H.H	1.00	0.10	7.57	0.76	
Peón	H.H	2.00	0.16	6.78	1.08	
MATERIALES						6.08
Madera	pie2		1.25	2.70	3.38	
Clavos de 4"	Kg.		0.40	4.50	1.80	
Alambre N° 16	Kg.		0.20	4.50	0.90	
HERRAMIENTAS						0.08
Desgaste de herramientas 3% de M.O					0.08	
COSTO DIRECTO						8.84

TUBERIA DE PRESION

CÓDIGO : 5.1.1

PARTIDA: Limpieza de terreno

UNIDAD: m3

RENDIMIENTO: 3m3/dia

INSUMO	UND.	CUADRILLA	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						4.15
Oficial	H.H	1.00	0.10	7.57	0.76	
Peón	H.H	3.00	0.50	6.78	3.39	
HERRAMIENTAS						0.12
Desgaste de herramientas 3% de M.O					0.12	
COSTO DIRECTO						4.27

CÓDIGO : 5.2.1

PARTIDA: Excavacion manual para apoyos

UNIDAD: m3

RENDIMIENTO: 8 m3/dia

INSUMO	UND.	CUADRILLA	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						7.62
Operario	H.H	1.00	0.10	8.40	0.84	
Peón	H.H	3.00	1.00	6.78	6.78	
HERRAMIENTAS						0.23
Desgaste de herramientas 3% de M.O					0.23	
COSTO DIRECTO						7.85

CÓDIGO: 5.3.1

PARTIDA: Encofrado y desencofrado - dados de apoyo

UNIDAD: m2

RENDIMIENTO: 10 m3/dia

INSUMO	UND.	CUADRILLA	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						2.68
Operario	H.H	1.00	0.10	8.40	0.84	
Oficial	H.H	1.00	0.10	7.57	0.76	
Peón	H.H	2.00	0.16	6.78	1.08	
MATERIALES						6.08
Madera	pie2		1.25	2.70	3.38	
Clavos de 4"	Kg.		0.40	4.50	1.80	
Alambre N° 16	Kg.		0.20	4.50	0.90	
HERRAMIENTAS						0.08
Desgaste de herramientas 3% de M.O					0.08	
COSTO DIRECTO						8.84

TUBERIA DE PRESION

CÓDIGO: 5.3.2

PARTIDA: Acero dados de soporte

UNIDAD: Kg.

RENDIMIENTO: 160 Kg/dia

INSUMO	UND.	CUADRILLA	CANT	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						1.60
Operario	H.H	1.00	0.10	8.40	0.84	
Oficial	H.H	1.00	0.10	7.57	0.76	
MATERIALES						4.09
Fierro corrugado 1/2"	Kg.		1.00	4.00	4.00	
Alambre N° 16	Kg.		0.02	4.50	0.09	
HERRAMIENTAS						0.05
COSTO DIRECTO						5.73

CÓDIGO: 5.3.3

PARTIDA: Concreto armado f'c=210 Kg/cm2

UNIDAD: m3

RENDIMIENTO: 4m3/dia

INSUMO	UNID.	CUADRILLA	CANT.	C.U	PARCIAL	TOTAL
MANO DE OBRA						5.74
Operario	H.H	1.00	0.10	8.40	0.84	
Oficial	H.H	1.00	0.20	7.57	1.51	
Peón	H.H	5.00	0.50	6.78	3.39	
Cemento Pórtland Tipo 1	Bls.		10.00	18.00	180.00	221.00
Piedra chancada	m3		0.55	50.00	27.50	
Arena gruesa	m3		0.45	30.00	13.50	
HERRAMIENTAS						0.17
Desgaste de herramientas 3% de M.O					0.17	
COSTO DIRECTO						226.92

CÓDIGO : 2.6.1

PARTIDA : Elementos de Transmisión Mecánica

UNIDAD: Glb

RENDIMIENTO:

TRANSMISION MECANICA

INSUMO	UND.	CUAD	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						63.88
Operario	H.H	1.00	4.00	8.40	33.60	
Oficial	H.H	1.00	4.00	7.57	30.28	
MATERIAL						22.50
Grasa Shell Albania R3	U		1.50	15.00	22.50	
EQUIPOS						1800.00
acople mecanico	u		1.00	800.00	800.00	
Rodamiento de apoyo	u		4.00	250.00	1,000.00	
HERRAMIENTAS						1.92
Desgaste de herramientas 3% de M.O					1.92	
COSTO DIRECTO						1888.30

CÓDIGO : 2.5.1

PARTIDA : Puesta a tierra en Minicentral

UNIDAD: G1b

RENDIMIENTO:

PUESTA A TIERRA

INSUMO	UND.	CUADRILLA	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						148.56
Operario	H.H	1.00	8.00	8.40	67.20	
Peón	H.H	2.00	12.00	6.78	81.36	
MATERIAL						587.00
Varilla Cu 2.5 x 3/4"	U		1.00	250.00	250.00	
Conectores de 3/4"	U		1.00	12.00	12.00	
1 dosis de Thor-Gel	U		1.00	90.00	90.00	
Cable N° 6 AWG Cu desnudo	m		25.00	8.00	200.00	
Caja de concreto	U		1.00	35.00	35.00	
HERRAMIENTAS						4.46
Desgaste de herramientas 3% de M.O					4.46	
COSTO DIRECTO						740.02

CASA DE FUERZA

CÓDIGO : 6.1.1
PARTIDA: Limpieza de terreno
UNIDAD: m2
RENDIMIENTO: 120m2/dia

INSUMO	UND.	CUADRILLA	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						
Operario	H.H	1.00	0.10	7.57	0.76	
Oficial	H.H	1.00	0.20	7.57	1.51	
Peón	H.H	3.00	1.00	6.78	6.78	
MATERIALES						
HERRAMIENTAS						
Desgaste de herramientas 3% de M.O						0.23
COSTO DIRECTO						7.76

CÓDIGO : 6.2.1
PARTIDA: Excavacion manual de terreno
UNIDAD: m3
RENDIMIENTO: 8 m3/dia

INSUMO	UND.	CUADRILLA	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						
Operario	H.H	1.00	0.10	8.40	0.84	
Oficial	H.H	1.00	0.20	7.57	1.51	
Peón	H.H	3.00	1.00	6.78	6.78	
MATERIALES						
HERRAMIENTAS						
Desgaste de herramientas 3% de M.O						0.23
COSTO DIRECTO						7.85

CÓDIGO: 6.3.1
PARTIDA: Concreto ciclopeo 1: 8+ 30%PG
UNIDAD: m3
RENDIMIENTO: 4 m3/dia

INSUMO	UND.	CUADRILLA	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						
Operario	H.H	1.00	0.10	8.40	0.84	
Oficial	H.H	1.00	0.20	7.57	1.51	
Peón	H.H	7.00	0.50	6.78	3.39	
MATERIALES						
Cemento Portland I	Bls		8.00	18.00	144.00	
Piedra chancada	m3		0.70	50.00	35.00	
Piedra grande	m3		0.30	30.00	9.00	
Desgaste de herramientas 3% de M.O						0.17
COSTO DIRECTO						193.92

CÓDIGO: 6.4.1
PARTIDA: Encofrado y desencofrado de columnas
UNIDAD: m2
RENDIMIENTO: 10 m2/dia

INSUMO	UND.	CUADRILLA	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						
Operario	H.H	1.00	0.10	8.40	0.84	
Oficial	H.H	1.00	0.10	7.57	0.76	
Peón	H.H	2.00	0.16	6.78	1.08	
MATERIALES						
Madera	pie2		1.25	2.70	3.38	
Clavos de 4"	Kg.		0.40	4.50	1.80	
Alambre N° 16	Kg.		0.20	4.50	0.90	
HERRAMIENTAS						
Desgaste de herramientas 3% de M.O						0.08
COSTO DIRECTO						8.84

CÓDIGO: 6.4.2
PARTIDA: Acero estructural - columnas
UNIDAD: Kg.
RENDIMIENTO: 160 Kg/dia

INSUMO	UND.	CUADRILLA	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						
Operario	H.H	1.00	0.10	8.40	0.84	
Oficial	H.H	1.00	0.10	7.57	0.76	
MATERIALES						
Fierro corrugado 1/2"	Kg.		1.00	4.00	4.00	
Alambre N° 16	Kg.		0.02	4.50	0.09	
HERRAMIENTAS						
COSTO DIRECTO						5.73

CÓDIGO: 6.4.3
PARTIDA: Concreto armado de columnas f'c=210 Kg/cm2
UNIDAD: m3
RENDIMIENTO: 4m3/dia

INSUMO	UNID.	CUADRILLA	CANT.	C.U	PARCIAL	TOTAL
MANO DE OBRA						
Operario	H.H	0.20	0.10	8.40	0.84	
Oficial	H.H	1.00	0.20	7.57	1.51	
Peón	H.H	5.00	0.50	6.78	3.39	
Cemento Portland Tipo 1	Bls.		10.00	18.00	180.00	221.00
Piedra chancada	m3		0.55	50.00	27.50	
Arena gruesa	m3		0.45	30.00	13.50	
HERRAMIENTAS						
Desgaste de herramientas 3% de M.O						0.17
COSTO DIRECTO						226.92

CÓDIGO: 6.5.1

PARTIDA: Encofrado y desencofrado de vigas

UNIDAD: m2

RENDIMIENTO: 10 m2/día

INSUMO	UND.	CUADRILLA	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						2.68
Operario	H.H	1.00	0.10	8.40	0.84	
Oficial	H.H	1.00	0.10	7.57	0.76	
Peón	H.H	2.00	0.16	6.78	1.08	
MATERIALES						6.08
Madera	pie2		1.25	2.70	3.38	
Clavos de 4"	Kg.		0.40	4.50	1.80	
Alambre Nº 16	Kg.		0.20	4.50	0.90	
HERRAMIENTAS						0.08
Desgaste de herramientas 3% de M.O					0.08	
COSTO DIRECTO						8.84

CÓDIGO: 6.6.1

PARTIDA: Muro y tabiquería

UNIDAD: m2

RENDIMIENTO: 12 m2/día

INSUMO	UND.	CUADRILLA	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						3.19
Operario	H.H	1.00	0.20	8.40	1.68	
peon	H.H	1.00	0.20	7.57	1.51	
MATERIALES						30.03
cemento	Bls		0.16	18.00	2.88	
Arena gruesa	m3		0.03	30.00	0.90	
ladrillo 25 x12 x10	u		35.00	0.75	26.25	
HERRAMIENTAS						0.10
COSTO DIRECTO						33.32

CÓDIGO: 6.5.2

PARTIDA: Acero estructural - vigas

UNIDAD: Kg.

RENDIMIENTO: 160 Kg/día

INSUMO	UND.	CUADRILLA	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						0.76
Oficial	H.H	1.00	0.10	7.57	0.76	
MATERIALES						4.09
Fierro corrugado 1/2"	Kg.		1.00	4.00	4.00	
Alambre Nº 16	Kg.		0.02	4.50	0.09	
HERRAMIENTAS						0.02
COSTO DIRECTO						4.87

CÓDIGO: 6.7.1

PARTIDA: Cobertura

UNIDAD: m2

RENDIMIENTO: 40 m2/día

INSUMO	UND.	CUADRILLA	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						8.62
Operario	H.H	1.00	0.20	8.40	1.68	
Oficial	H.H	1.00	0.20	7.57	1.51	
Peon	H.H	4.00	0.80	6.78	5.42	
MATERIALES						50.30
Eternit gris 3.05x1.10	Pzas		1.00	50.00	50.00	
Tirafones	Kg		0.02	15.00	0.30	
HERRAMIENTAS						0.26
COSTO DIRECTO						59.18

CÓDIGO: 6.5.3

PARTIDA: Concreto vigas f'c=210 Kg/cm2

UNIDAD: m3

RENDIMIENTO: 4m3/día

INSUMO	UNID.	CUADRILLA	CANT.	C.U	PARCIAL	TOTAL
MANO DE OBRA						5.74
Operario	H.H	0.20	0.10	8.40	0.84	
Oficial	H.H	1.00	0.20	7.57	1.51	
Peón	H.H	5.00	0.50	6.78	3.39	
Cemento Portland Tipo 1	Bls.		10.00	18.00	180.00	221.00
Piedra chancada	m3		0.55	50.00	27.50	
Arena gruesa	m3		0.45	30.00	13.50	
HERRAMIENTAS						0.17
Desgaste de herramientas 3% de M.O					0.17	
COSTO DIRECTO						226.92

CÓDIGO: 6.8.1

PARTIDA: Piso de concreto de acabado pulido

UNIDAD: m2

RENDIMIENTO: 15 m2/día

INSUMO	UND.	CUADRILLA	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						1.89
peon	H.H	1.00	0.25	7.57	1.89	
MATERIALES						12.90
cemento	Bls		0.50	18.00	9.00	
hormigon	m3		0.13	30.00	3.90	
HERRAMIENTAS						0.06
COSTO DIRECTO						14.85

CASA DE FUERZA

CÓDIGO: 6.9.1
PARTIDA: Puerta de madera simple
UNIDAD: U
RENDIMIENTO: 2 U/día

CÓDIGO: 6.10.1
PARTIDA: Tarrajeo interior y exterior
UNIDAD: m2
RENDIMIENTO: 12 m2/día

INSUMO	UND.	CUADRILLA	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL	INSUMO	UND.	CUADRILLA	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL	
MANO DE OBRA							80.76	MANO DE OBRA						2.36
Operario	H.H	1.00	8.00	8.40	67.20		Operario	H.H	1.00	0.20	8.40	1.68		
Peón	H.H	2.00	2.00	6.78	13.56		Peón	H.H	1.00	0.10	6.78	0.68		
MATERIALES							350.00	MATERIALES						2.48
Puerta de madera de 0.80 x 2.20 m.	U		1.00	350.00	350.00		Cemento	Bls		0.12	18.00	2.16		
							Arena fina	m3		0.02	16.00	0.32		
HERRAMIENTAS							2.42	HERRAMIENTAS						0.07
Desgaste de herramientas 3% de M.O					2.42		Desgaste de herramientas 3% de M.O					0.07		
COSTO DIRECTO							433.18	COSTO DIRECTO						4.91

CÓDIGO: 6.9.2
PARTIDA: Puerta de madera hoja doble
UNIDAD: U
RENDIMIENTO: 2 U/día

CÓDIGO: 6.11.1
PARTIDA: Pintado exterior e interior
UNIDAD: m2
RENDIMIENTO: 32 m2/día

INSUMO	UND.	CUADRILLA	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL	INSUMO	UND.	CUADRILLA	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL	
MANO DE OBRA							97.56	MANO DE OBRA						2.36
Operario	H.H	1.00	10.00	8.40	84.00		Operario	H.H	1.00	0.20	8.40	1.68		
Peón	H.H	2.00	2.00	6.78	13.56		Peón	H.H	1.00	0.10	6.78	0.68		
MATERIALES							2,000.00	MATERIALES						4.26
Puerta de madera de 2.50 x 3.20 m.	U		1.00	2,000.00	2,000.00		Pintura Latex	Gln		0.04	35.00	1.40		
							Pintura imprimante	Gln		0.13	22.00	2.86		
HERRAMIENTAS							2.93	HERRAMIENTAS						0.07
Desgaste de herramientas 3% de M.O					2.93		Desgaste de herramientas 3% de M.O					0.07		
COSTO DIRECTO							2100.49	COSTO DIRECTO						6.69

CÓDIGO: 6.9.3
PARTIDA: ventana
UNIDAD: U
RENDIMIENTO: 3 U/día

INSUMO	UND.	CUADRILLA	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL	
MANO DE OBRA							48.78
Operario	H.H	1.00	5.00	8.40	42.00		
Peón	H.H	1.00	1.00	6.78	6.78		
MATERIALES							200.00
Ventana de 1.50 x 1.20 m	U		1.00	200.00	200.00		
HERRAMIENTAS							1.46
Desgaste de herramientas 3% de M.O					1.46		
COSTO DIRECTO							250.24

CÓDIGO: 2.1.1
 PARTIDA: Suministro e Instalacion de Tuberia de Presion
 UNIDAD: ml
 RENDIMIENTO: 12 ml/día

CÓDIGO: 2.1.4
 PARTIDA: Ingreso de tubería de presión a turbina
 UNIDAD: Glb
 RENDIMIENTO:

EQUIPO ELECTROMECHANICO

INSUMO	UND.	CUAD	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL	INSUMO	UND.	CUAD	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL	
MANO DE OBRA							MANO DE OBRA							
Operario	H.H	1.00	0.50	8.40	4.20	9.34							0.00	
Oficial	H.H	1.00	0.50	7.57	3.79									
Peón	H.H	3.00	0.20	6.78	1.36									
MATERIALES							MATERIALES							
Tubería de 1.40 m de diám	ml		1.00	3,000.00	3,000.00	3000.00	Ingreso a turbina francis	Glb		1.00	10,000.00	10,000.00	10000.00	
HERRAMIENTAS							HERRAMIENTAS							
Desgaste de herramientas 3% de M.O							Desgaste de herramientas 3% de M.O							
						0.28							0.00	
COSTO DIRECTO						3009.62	COSTO DIRECTO						10000.00	

CÓDIGO: 2.1.2
 PARTIDA: Suministro e Instalacion de Accesorios
 UNIDAD: U
 RENDIMIENTO: 24 U/día

CODIGO: 2.2.1
 PARTIDA: Suministro y montaje de Turbina Francis
 UNIDAD: U
 RENDIMIENTO: 0.4 U/día

INSUMO	UND.	CUAD	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL	INSUMO	UND.	CUAD	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA							MANO DE OBRA						
Operario	H.H	1.00	0.20	8.40	1.68	3.87	Operario	H.H	1.00	20.00	8.40	168.00	353.30
Oficial	H.H	1.00	0.20	7.57	1.51		Oficial	H.H	1.00	20.00	7.57	151.40	
Peón	H.H	3.00	0.10	6.78	0.68		Peón	H.H	2.00	5.00	6.78	33.90	
MATERIALES							MATERIALES						
bridas y otros accesorios	U		1.00	800.00	800.00	800.00	Turbina Francis de 680 Kw incluido valvulas de control	u		1.00	450,000.00	450,000.00	450000.00
HERRAMIENTAS							HERRAMIENTAS						
Desgaste de herramientas 3% de M.O							Desgaste de herramientas 3% de M.O						
						0.12							10.60
COSTO DIRECTO						803.99	COSTO DIRECTO						450,363.90

CÓDIGO: 2.1.3
 PARTIDA: Suministro e instalacion de amarres
 UNIDAD: U
 RENDIMIENTO: 8 U/día

CÓDIGO : 2.2.2
 PARTIDA : Regulador automatico de velocidad de rotacion
 UNIDAD: U.
 RENDIMIENTO: 0.6 U/día

INSUMO	UND.	CUAD	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL	INSUMO	UNID.	CUAD	CANT.	C.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA							MANO DE OBRA						
Operario	H.H	1.00	0.20	8.40	1.68	5.47	Operario	H.H	1.00	15.00	8.40	126.00	163.85
Oficial	H.H	1.00	0.50	7.57	3.79		Oficial	H.H	1.00	5.00	7.57	37.85	
MATERIALES							EQUIPO						
Amarres para 1.40 m	U		1.00	500.00	500.00	500.00	Regulador automatico de velocidad	U.	1.00	1.00	100,000.00	100,000.00	100,000.00
HERRAMIENTAS							HERRAMIENTAS						
Desgaste de herramientas 3% de M.O							Desgaste de herramientas 3% de M.O						
						0.16							4.92
COSTO DIRECTO						505.63	COSTO DIRECTO						100,168.77

CÓDIGO: 2.3.1
 PARTIDA: Suministro y Montaje de Generador
 UNIDAD: U
 RENDIMIENTO: 0.5 U/día

CÓDIGO: 2.7.1
 PARTIDA: Transporte Terrestre de Equipo Electromecánico
 UNIDAD: Glb

EQUIPO ELECTROMECHANICO

INSUMO	UND.	CUADRILLA	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL	INSUMO	UND.	CUAD	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						309.76	MANO DE OBRA						15000.00
Operario	H.H	1.00	16.00	8.40	134.40		Flete terrestre de Lima	Glb		1.00	15,000.00	15,000.00	
Oficial	H.H	1.00	16.00	7.57	121.12								
Peón	H.H	2.00	8.00	6.78	54.24								
MATERIALES						400000.00							
Generador de 650 Kw. sincronico	u		1.00	400,000.00	400,000.00		COSTO DIRECTO						15,000.00
HERRAMIENTAS						9.29							
Desgaste de herramientas 3% de M.O					9.29		COSTO DIRECTO						400,319.05

CÓDIGO: 2.7.2
 PARTIDA: Transporte rural de Equipo Electromecánico
 UNIDAD: Glb

CÓDIGO : 2.4.1
 PARTIDA : Suministro e Instalacion de Tablero de Control
 UNIDAD: U.
 RENDIMIENTO: 0.6 U/día

INSUMO	UND.	CUADRILLA	CANT.	C.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						198.28
Operario	H.H	1.00	20.00	8.40	168.00	
Oficial	H.H	2.00	4.00	7.57	30.28	
EQUIPO						50,000.00
Tablero de Control	U.	1.00	1.00	50,000.00	50,000.00	
HERRAMIENTAS						5.95
Desgaste de herramientas 3% de M.O					5.95	
COSTO DIRECTO						50,204.23

INSUMO	UND.	CUAD	CANT.	P.U	PARCIAL	SUB TOTAL
MANO DE OBRA						8000.00
Transporte en Obra de equip en zona trabajo	Glb		1.00	8,000.00	8,000.00	
COSTO DIRECTO						8,000.00

METRADO Y PRESUPUESTO

Proyecto : Minicentral Hidroeléctrica de Chachapoyas

Localidad: Chachapoyas-Ancash.

Fecha : Abril-2008

N ^a Partida	Descripción	METRADO		COSTOS (S/.)		
		Und	Cant.	C.Unit.	Parcial	Total
	OBRAS CIVILES					
1.00	BOCATOMA					20,032.61
1.1	Trabajos preliminares					
1.1.1	Limpieza de terreno	m ²	60.00	4.27	256.28	
1.2	Movimiento de tierra					
1.2.1	Excavacion de zanjas	m ³	50.00	7.85	392.43	
1.3	Concreto armado					
1.3.1	Encofrado y Desencofrado	m ²	70.00	8.84	618.61	
1.3.2	Acero estructural	Kg	400.00	5.73	2,293.96	
1.3.3	Concreto armado fc = 210 Kg/cm ²	m ³	50.00	226.92	11,345.82	
1.4	Estructura metalica					
1.4.1	Compuerta metalica de 1.50 x1.10 m.	U	1.00	5,125.51	5,125.51	
2.00	BARRAJE					11,396.33
2.1	Trabajos preliminares					
2.1.1	Limpieza de terreno	m ²	50.00	4.27	213.57	
2.2	Movimiento de tierra					
2.2.1	Excavacion de zanjas	m ³	35.00	7.85	274.70	
2.3	Concreto armado					
2.3.1	Encofrado y Desencofrado	m ²	45.00	8.84	397.68	
2.3.2	Acero estructural	Kg	250.00	5.73	1,433.73	
2.3.3	Concreto armado	m ³	40.00	226.92	9,076.65	
3.00	CANAL DE CONDUCCION					23,889.37
3.1	Trabajos preliminares					
3.1.1	Limpieza de terreno	m ²	150.00	4.27	640.71	
3.2	Movimiento de tierra					
3.2.1	Excavacion manual	m ³	300.00	7.85	2,354.58	
3.3	Mamposteria con cemento					
3.3.1	Encofrado y Desencofrado	m ²	500.00	8.84	4,418.63	
3.3.2	Concreto simple	m ³	150.00	109.84	16,475.45	
4.00	DESARENADOR Y CAMARA DE CARGA					127,749.08
4.1	Trabajos Preliminares					
4.1.1	Limpieza de terreno	m ²	600.00	4.27	2,562.85	
4.2	Movimiento de tierra					
4.2.1	Excavacion manual	m ³	1,500.00	7.85	11,772.90	
4.3	Concreto armado f'c=210 Kg/cm²					
4.3.1	Encofrado y desencofrado	m ²	500.00	8.84	4,418.63	
4.3.2	Acero estructural	Kg	3,000.00	5.73	17,204.73	
4.3.3	Concreto armado	m ³	400.00	226.92	90,766.53	
4.4	Tuberia de desague					
4.4.1	Tuberia de desague	u	1.00	215.22	215.22	

4.5	Estructura metalica					
4.5.1	Estructura Metalica	u	1.00	808.22	808.22	
5.00	TUBERIA DE PRESION					36,226.97
5.1	Trabajos preliminares					
5.5.1	Limpieza de terreno	m ²	250.00	4.27	1,067.85	
5.2	Movimiento de tierra					
5.2.1	Excavacion manual para apoyos	m ³	300.00	7.85	2,354.58	
5.3	Concreto armado f'c= 210 kg/cm2					
5.3.1	Encofrado y Desencofrado - Dados de apoyo	m ²	360.00	8.84	3,181.41	
5.3.2	Acero - Dados de apoyo	Kg	2,000.00	5.73	11,469.82	
5.3.3	Concreto armado para anclaje	m ³	80.00	226.92	18,153.31	
6.00	CASA DE FUERZA					46,485.49
6.1	Trabajos preliminares					
6.1.1	Limpieza de terreno	m ²	200.00	7.76	1,552.62	
6.2	Movimiento de tierra					
6.2.1	Excavacion manual de material	m ³	150.00	7.85	1,177.29	
6.3	Cimentacion					
6.3.1	Concreto ciclopeo 1:10+30%PM de 4"	m ³	25.00	193.92	4,847.91	
6.4	Concreto columnas f'c=210 Kg/cm2					
6.4.1	encofrado y desencofrado de columnas	m ²	35.00	8.84	309.30	
6.4.2	Acero estructural columnas	Kg	1,200.00	5.73	6,881.89	
6.4.3	concreto armado	m ³	10.00	226.92	2,269.16	
6.5	Concreto vigas f'c=210 Kg/cm2					
6.5.1	encofrado y desencofrado de columnas	m ²	25.00	8.84	220.93	
6.5.2	Acero estructural vigas	Kg	350.00	4.87	1,704.40	
6.5.3	Concreto vigas	m ³	8.00	226.92	1,815.33	
6.6	Muro y tabiqueria					
6.6.1	Muro y tabiqueria	m ²	120.00	33.32	3,998.38	
6.7	Cobertura					
6.7.1	Cobertura	m ²	120.00	59.18	7,101.18	
6.8	Piso y pavimento					
6.8.1	Piso de concreto de acabado pulido	m ²	150.00	14.85	2,227.39	
6.9	Carpinteria					
6.9.1	Puerta de madera simple	u	3.00	433.18	1,299.55	
6.9.2	Puerta de madera doble hoja	u	1.00	2,100.49	2,100.49	
6.9.3	ventana de 1.50 x 1.20 m.	u	12.00	250.24	3,002.92	
6.10	Revoques y Enlucido					
6.10.1	Tarrajeo interior y exterior	m ²	400.00	4.91	1,963.50	
6.11	Pintura					
6.11.1	Pintado interior y exterior	m ²	600.00	6.69	4,013.24	
7.00	OTRAS OBRAS CIVILES					2,422.83
7.1	Concreto simple f'c= 175 Kg/cm2					
7.1.1.	Concreto para base de equipos	m ³	10.00	185.92	1,859.16	
7.2	Concreto ciclopeo					
7.2.1	Canal para cables 1:10 +30%PM de 4"	m ³	4.00	140.92	563.67	
8.00	TRANSPORTE					23,000.00
8.1	Transporte terrestre de materiales para obras civiles.	Glb	1.00	15,000.00	15,000.00	
8.2	Transporte rural	Glb	1.00	8,000.00	8,000.00	
COSTO DIRECTO					S/.	291,202.67

N° Partida	Descripción	METRADO		Costos (S/.)		
		Und	Cant.	P. Unitario	Parcial	Total
	OBRAS ELECTROMECHANICAS					
1.00	TUBERIA DE PRESION					206,292.68
1.1	Suministro e instalacion					
1.1.1	Suministro e instalacion de tuberia de pres	ml	60.00	3,009.62	180,577.27	
1.1.2	Suministro e instalacion de accesorios	u	12.00	803.99	9,647.86	
1.1.3	Suministro e instalacion de zunchos	u	6.00	505.63	6,067.55	
1.1.4	Ramificación de tuberia	u	1.00	10,000.00	10,000.00	
2.00	TURBINA PELTON					550,532.66
2.1	Suministro y montaje					
2.1.1	Suministro y montaje de turbina francis	u	1.00	450,363.90	450,363.90	
2.1.2	Suministro y montaje de regulador automa	u	1.00	100,168.77	100,168.77	
3.00	GENERADOR					400,319.05
3.1	Suministro y montaje					
3.1.1	Suministro y montaje de generador	u	1.00	400,319.05	400,319.05	
4.00	TABLERO DE CONTROL					50,204.23
4.1	Suministro y montaje					
4.1.1	Suministro y montaje de tablero de control	u	1.00	50,204.23	50,204.23	
5.00	PUESTA A TIERRA					1,480.03
5.1	Suministro y montaje					
5.1.1	Puesta a tierra	u	2.00	740.02	1,480.03	
6.00	SISTEMA DE TRANSMISION					1,888.30
	MECANICA					
6.1	Suministro y montaje					
6.1.1	Elementos de transmision mecanica	u	1.00	1,888.30	1,888.30	
7.00	TRANSPORTE					23,000.00
7.1	Transporte terrestre para equipos electrom	Glb	1.00	15,000.00	15,000.00	
7.2	Transporte rural	Glb	1.00	8,000.00	8,000.00	
COSTO DIRECTO					S/.	1,233,716.95

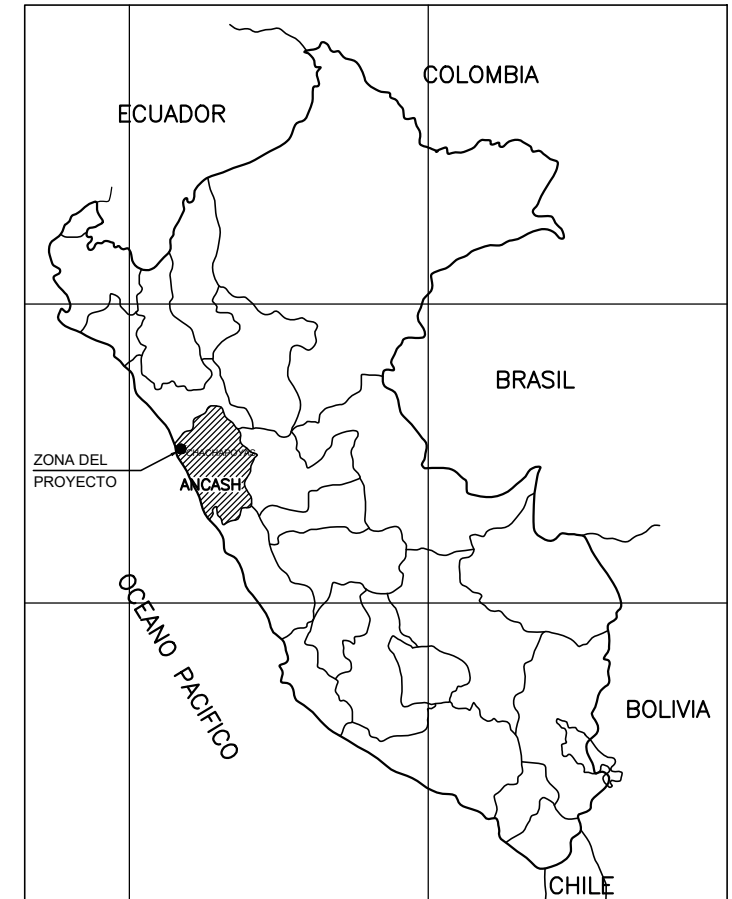
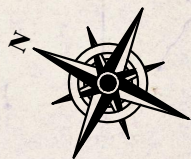
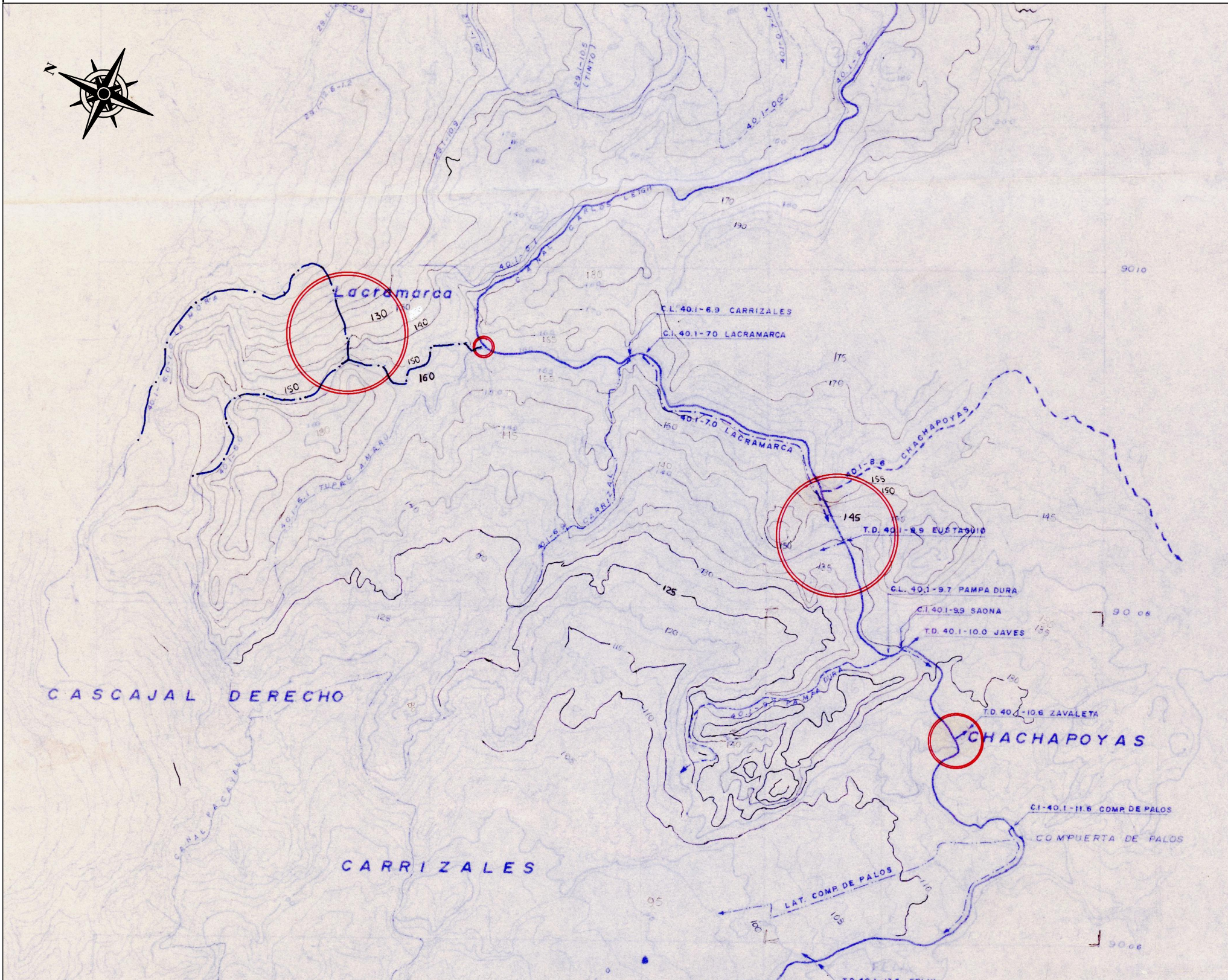
RESUMEN PRESUPUESTO

Proyecto : Minicentral Hidroeléctrica de Chachapoyas de 680 Kw.

Fecha: Abril 2008

ITEM	DESCRIPCION	COSTO DIRECTO (S/.)	TOTAL (S/.)
OBRAS CIVILES			
1.00	BOCATOMA	20,032.61	
2.00	BARRAJE	11,396.33	
3.00	CANAL DE CONDUCCION	23,889.37	
4.00	DESARENADOR Y CAMARA DE CARGA	127,749.08	
5.00	TUBERIA DE PRESION	36,226.97	
6.00	C ASA DE FUERZA	46,485.49	
7.00	OTRAS OBRAS CIVILES	2,422.83	
8.00	TRANSPORTE	23,000.00	291,202.67
OBRAS ELECTROMECANICAS			
1.00	TUBERIA DE PRESION	206,292.68	
2.00	TURBINA PELTON	550,532.66	
3.00	GENERADOR	400,319.05	
4.00	TABLERO DE CONTROL	50,204.23	
5.00	PUESTA A TIERRA	1,480.03	
6.00	SISTEMA DE TRANSMISION MECANICA	1,888.30	
7.00	TRANSPORTE	23,000.00	1,233,716.95
TOTAL COSTO DIRECTO			1,524,919.63
PRE INVERSION (5%)			30,498.39
GASTOS GENERALES (10%)			152,491.96
SUBTOTAL			1,707,909.98
IMPUESTO GENERAL A LAS VENTAS (19%)			324,502.90
PRESUPUESTO TOTAL			2,032,412.88
		NUEVOS SOLES	
		DOLARES \$	713,127.33
TIPO DE CAMBIO		2.85	

ANEXO A – 04
PLANOS



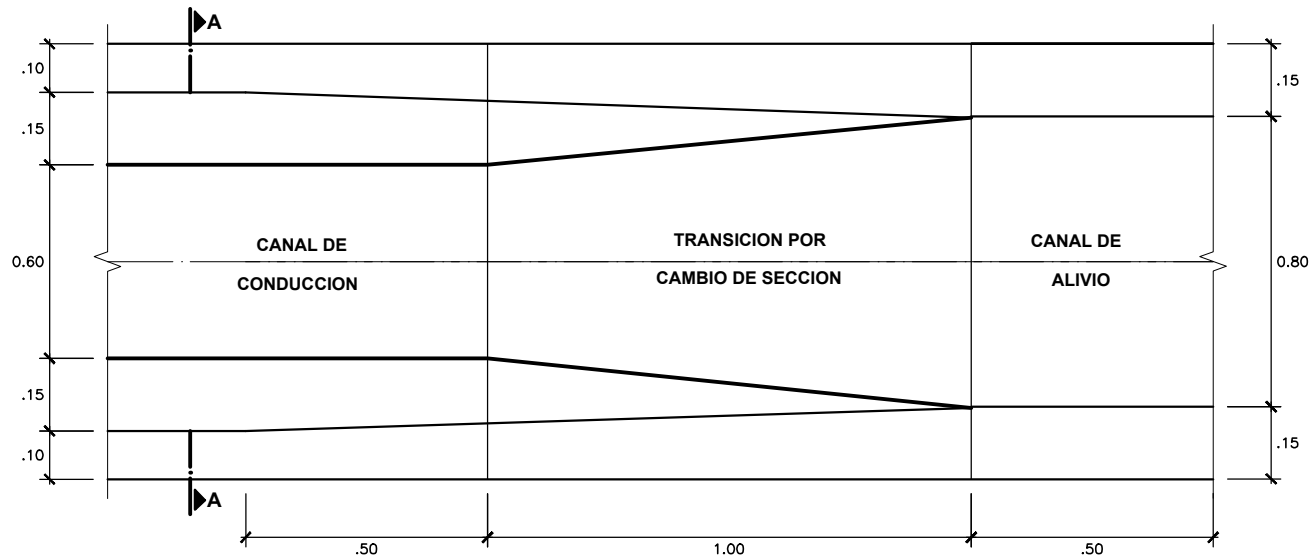
UBICACIÓN GEOGRAFICA



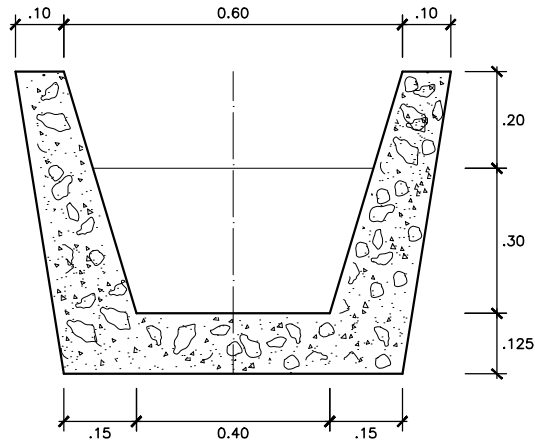
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
E. A. P. DE INGENIERIA EN ENERGIA

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO
"DISEÑO DE UNA MINICENTRAL HIDROELECTRICA CHACHAPOYAS DE 650 KW "

PLANO: UBICACION GEOGRAFICA DEL PROYECTO		PLANO N°:
RESPONSABLE:	BR. JOHNNY CALLE / BR. MARCOS ESQUIVEL	FECHA: JUNIO 2008
DEPARTAMENTO: ANCASH	PROVINCIA: DEL SANTA	DISTRITO: NVO. CHIMBOTE
		ESCALA: S/E
		01



VISTA EN PLANTA



SECCIÓN A-A



UNIVERSIDAD NACIONAL
DEL SANTA

E. A. P. DE INGENIERIA EN ENERGIA

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO

**"DISEÑO DE UNA MINICENTRAL
HIDROELECTRICA CHACHAPOYAS
DE 650 KW "**

PLANO:

DETALLES DEL CANAL DE CONDUCCION

PLANO N°:

RESPONSABLE:

BR. JOHNNY CALLE / BR. MARCOS ESQUIVEL

FECHA:

JUNIO 2008

DEPARTAMENTO:

ANCASH

PROVINCIA:

DEL SANTA

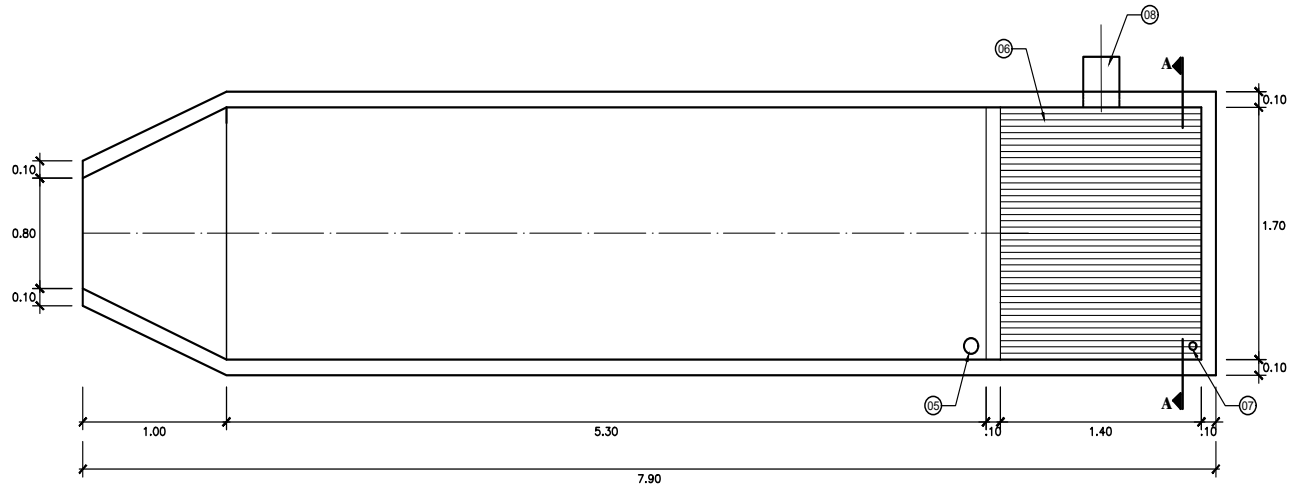
DISTRITO:

NVO. CHIMBOTE

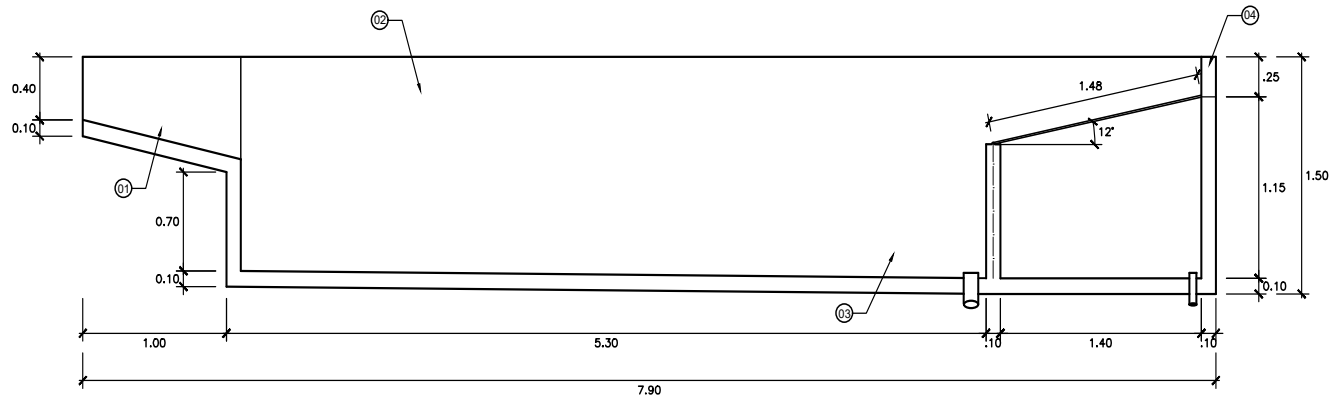
ESCALA:

S/E

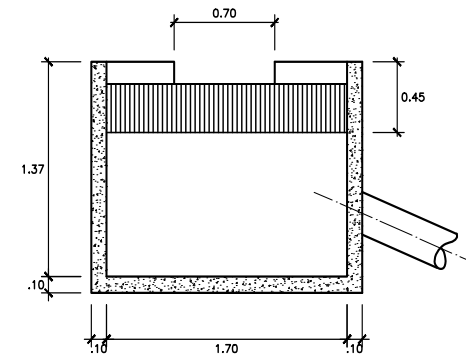
02



VISTA EN PLANTA



VISTA LATERAL



CORTE A-A

ITEM	DESCRIPCION	ITEM	DESCRIPCION
01	ZONA DE ENTRADA	05	DESAGUE DE LIMPIEZA TUBERIA DE PVC DE 4" DE DIAM.
02	ZONA DE DECANTACION	06	REJILLA DE HIERRO DE 1.60x1.48 m.
03	ZONA DE RECOLECCIONCION	07	DESAGUE DE LIMPIEZA TUBERIA DE PVC DE 2" DE DIAM.
04	ALIVIADERO	08	TUBERIA DE PRESION DE ACERO DE 10" DE DIAM. NOMINAL



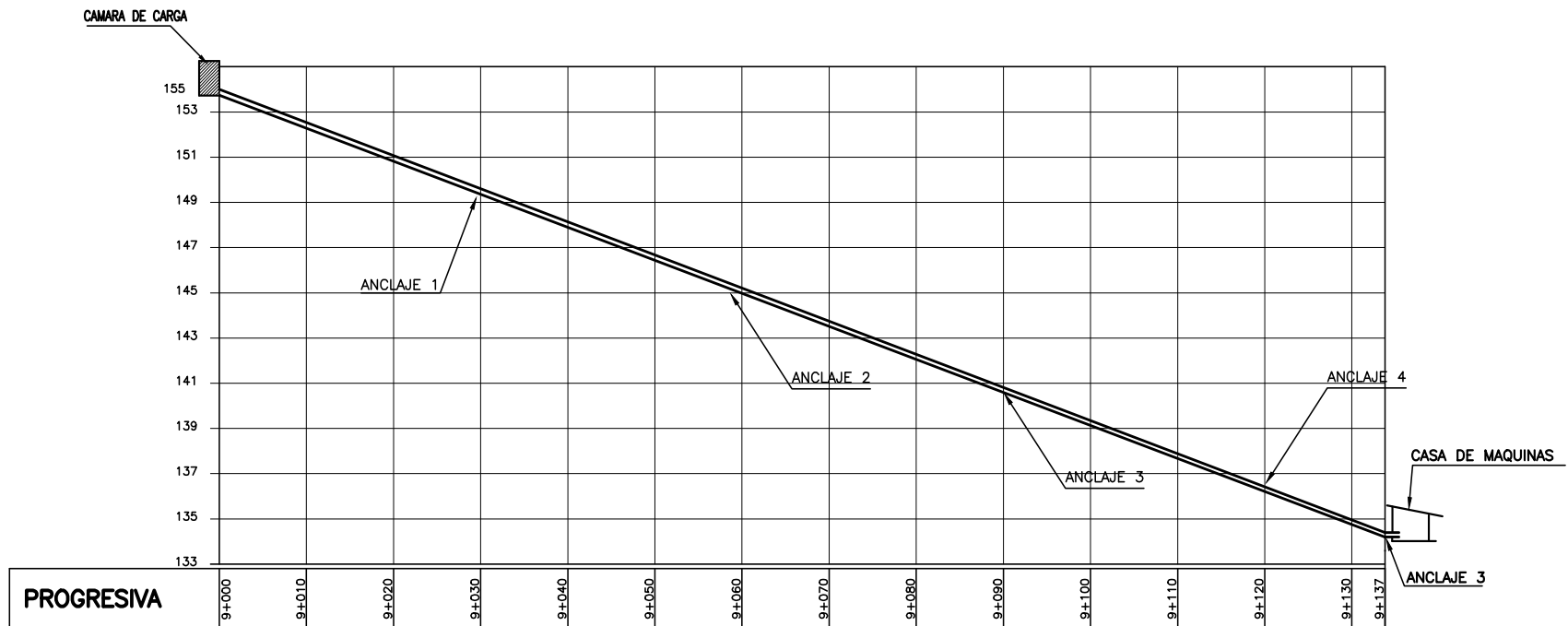
UNIVERSIDAD NACIONAL
DEL SANTA

E. A. P. DE INGENIERIA EN ENERGIA

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO

**"DISEÑO DE UNA MINICENTRAL
HIDROELECTRICA CHACHAPOYAS
DE 650 KW "**

PLANO:	DETALLE DEL DESARENADOR - CAMARA DE CARGA	PLANO N°:	03
RESPONSABLE:	BR. JOHNNY CALLE / BR. MARCOS ESQUIVEL	FECHA:	JUNIO 2008
DEPARTAMENTO:	ANCASH	PROVINCIA:	DEL SANTA
		DISTRITO:	NVO. CHIMBOTE
		ESCALA:	S/E



PERFIL LONGITUDINAL

EH. 1/1000
EV. 1/1000



UNIVERSIDAD NACIONAL
DEL SANTA

E. A. P. DE INGENIERIA EN ENERGIA

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO

**"DISEÑO DE UNA MINICENTRAL
HIDROELECTRICA CHACHAPOYAS
DE 650 KW "**

PLANO:

DETALLES DE LA TUBERIA FORZADA

PLANO N°:

04

RESPONSABLE:

BR. JOHNNY CALLE / BR. MARCOS ESQUIVEL

FECHA:

JUNIO 2008

DEPARTAMENTO:

ANCASH

PROVINCIA:

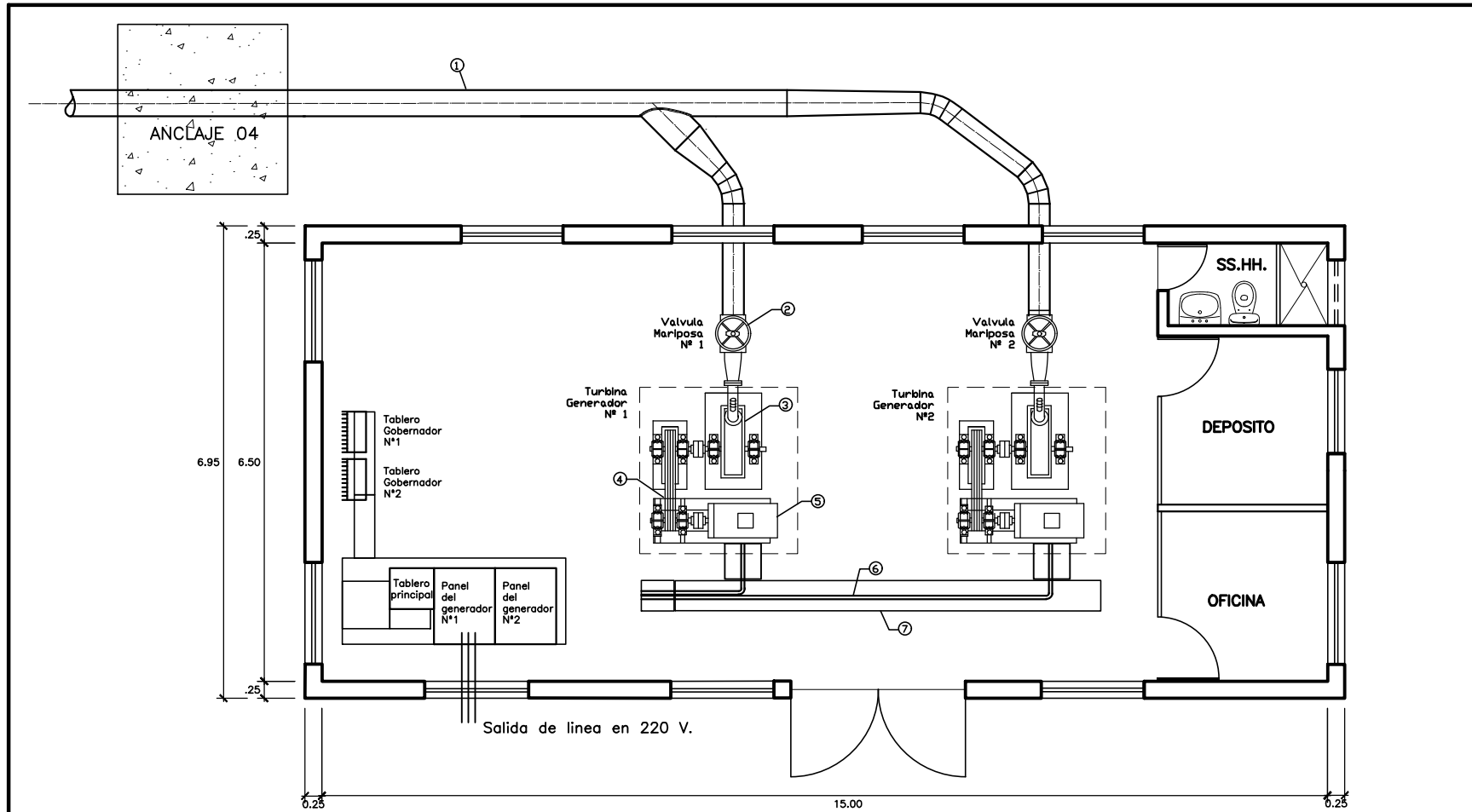
DEL SANTA

DISTRITO:

NVO. CHIMBOTE

ESCALA:

S/E



PLANTA



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

E. A. P. DE INGENIERIA EN ENERGIA

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO

"DISEÑO DE UNA MINICENTRAL HIDROELECTRICA CHACHAPOYAS DE 650 KW "

PLANO: UBICACION GEOGRAFICA DEL PROYECTO		PLANO N°:
RESPONSABLE:	BR. JOHNNY CALLE / BR. MARCOS ESQUIVEL	FECHA: JUNIO 2008
DEPARTAMENTO:	ANCASH	PROVINCIA: DEL SANTA
DISTRITO:	NVO. CHIMBOTE	ESCALA: S/E

05

ITEM	DESCRIPCION	ITEM	DESCRIPCION
01	TUBERIA DE PRESION DE 10" DIAMETRO NOMINAL	05	GENERADOR SINCRONICO DE 40 KW
02	VALVULA DE COMPUERTA DE 6"	06	TUBERIA PVC-SAP, 5/8" DIAM. + CONDUCTOR 2x16+1x16 mm2
03	TURBINA PELTON DE 71 HP	07	CANALETA PARA CABLES CON PLANCHAS ESTRIADAS
04	SISTEMA DE TRANSMISION MECANICA		