

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica
Eléctrica y Mecatrónica



“REPOTENCIACIÓN DE LA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA DE LA RAYA DE 50 KW DE POTENCIA PARA ABASTECER LAS INSTALACIONES DEL CENTRO EXPERIMENTAL CICAS LA RAYA Y DE LA COMUNIDAD DE OCCOBAMBA”

Tesis presentada por los Bachilleres:

Torres Parhuayo, Luis Henry

Valdivia Callo, Francesco Eusebio

para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Mecánico Electricista

Asesor: Ing. Chirinos Apaza, Luis

Arequipa –Perú

2018



Universidad Católica de Santa María

(51 54) 382038 Fax: (51 54) 251213 ✉ ucsm@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe Apartado: 1350

AREQUIPA - PERÚ

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA
ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA

INFORME DICTAMINATORIO

VISTO

EL BORRADOR DE TESIS TITULADO:

**“REPOTENCIACION DE LA MINICENTRAL HIDROELECTRICA DE
LA RAYA DE 50KW DE POTENCIA PARA ABASTECER LAS
INSTALACIONES DEL CENTRO EXPERIMENTAL CICAS LA RAYA
Y DE LA COMUNIDAD DE OCCOBAMBA”**

Presentado por el Bachiller:

TORRES PARHUAYO LUIS HENRY

VALDIVIA CALLO FRANCESCO EUSEBIO

Nuestro **DICTAMEN** es:

APROBADO

OBSERVACIONES:

NINGUNA

Arequipa, 22 de Noviembre 2018


ING. LUIS CHIRINOS APAZA


ING. MARCO CARPIO RIVERA

DEDICATORIA

A mí querida madre por siempre brindarme su amor y apoyo incondicional por darme esta hermosa carrera y por ser un ejemplo de superación constante en cada aspecto de mi vida, a mi hermana por nunca dejar de creer en mí, por su apoyo para llegar a alcanzar mis objetivos.

A mí querida tía Lina por su motivación y apoyo, a mi primo Frank por los consejos y el cariño que me brindo.

Luis.

DEDICATORIA

Seguramente, Olguita estaba entregando sus cartas como lo hace siempre y se dio cuenta que había una, con destinatario hacia ella y para un tal Eusebio, no dudó en ir inmediatamente a la casa de mi papa Chebo y poder abrir la carta, los gallos cantaron al mismo tiempo que ambos leían el contenido de la misma, sabían que tenían que arreglarse para una nueva ceremonia.

No tengo ni idea si es que era o no el momento, pero se dio el tiempo idóneo para cumplir con una promesa pendiente que va hasta el cielo, a ti negra, que me guías en todo momento sabes a qué me refiero, estarás con mi papa Chebo disfrutando una nueva alegría.

A mi mamá Julieta, papá, mamá y hermanos que sé, que podrán leer o escuchar este escrito, solamente darles las gracias, por estar siempre conmigo en mis aciertos y errores, por todo su apoyo y paciencia.

Francesco.

INTRODUCCIÓN

Para empezar, es pertinente aportar unos datos sobre el Centro Experimental La Raya, este es de propiedad de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco y está dedicada al estudio, crianza, reproducción y mejoramiento de camélidos, además, está ubicada en el Distrito de Marangani, provincia de Canchis, departamento del Cusco.

Anteriormente, la demanda energética que generaba el Centro Experimental era abastecida por su propia minicentral hidroeléctrica de 50kW, pero debido a la falta de mantenimiento de las redes eléctricas, equipos electromecánicos y obras civiles, y de las inclemencias climáticas a las cuales está expuesta dicha minicentral quedó inoperativa, por lo tanto, el Centro Experimental tuvo que abastecerse de energía eléctrica por medio de la empresa ElectroSur S.A. y así poder continuar con sus estudios.

Asimismo, se observó que hay varias comunidades aledañas al Centro Experimental de La Raya, siendo la Comunidad de Occobamba la más cercana, que también es abastecida por la empresa ElectroSur S.A.

Es con base a todo lo anterior que dentro de los presupuestos investigativos estuviera realizar el estudio y diseño preliminar de repotenciación de la Minicentral hidroeléctrica de La Raya y que así pudiera abastecerse la demanda actual del Centro Experimental y a su vez, de la Comunidad de Occobamba. De esta manera, se pretendió que la energía eléctrica generada fuera aportada al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) y así este pudiera obtener ingresos económicos destinados al mantenimiento de la Minicentral, beneficiando tanto al Centro Experimental como a la Comunidad.

CAPITULO I ASPECTOS GENERALES: Se detalla la ubicación, la justificación, los objetivos, recurso energético y datos técnicos generales de la Minicentral Hidroeléctrica como puntos más resaltantes.

CAPITULO II MARCO CONCEPTUAL: Se detalla el marco teórico general de Minicentrales Hidroeléctricas, como concepto, partes, tipos de turbina, métodos a utilizar entre otros.

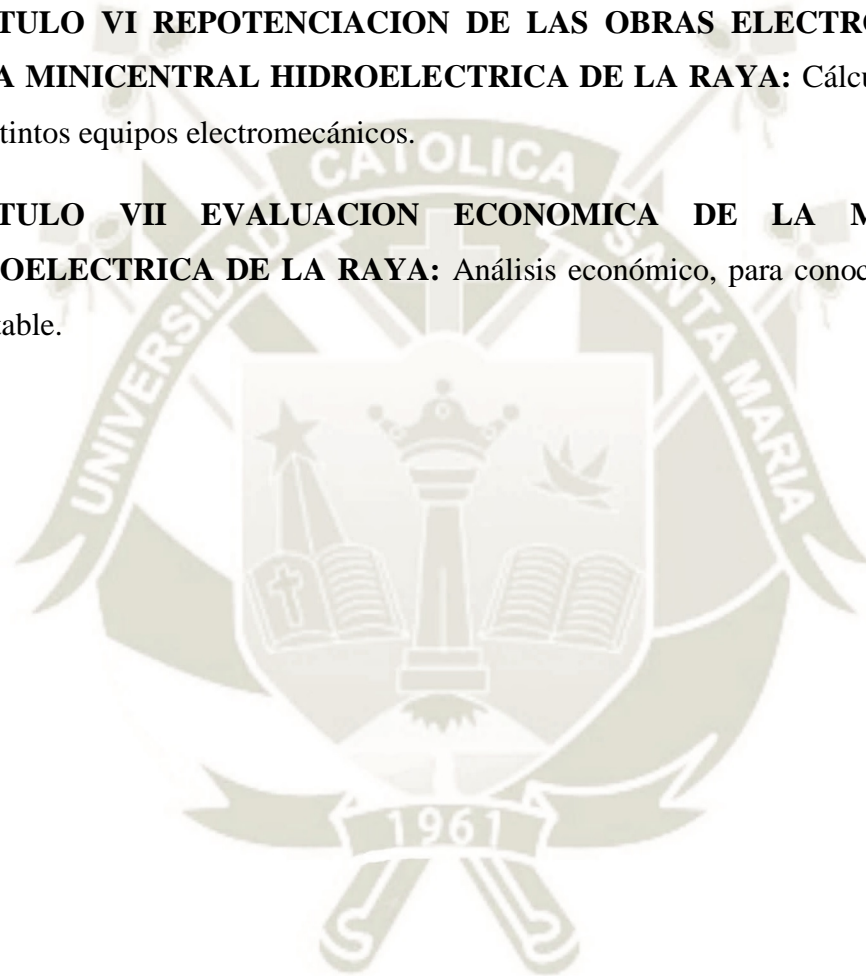
CAPITULO III DIAGNOSTICO SITUACIONAL DE LA MINICENTRAL HIDROELECTRICA DE LA RAYA: Situación actual de los equipos electromecánicos y obras civiles.

CAPITULO IV ESTUDIO DE LA DEMANDA ENERGETICA DEL PUEBLO DE OCCOBAMBA Y DEL CENTRO EXPERIMENTAL DE LA RAYA: Se desarrolla la demanda energética actual del centro experimental y de la Comunidad de Occobamba.

CAPITULO V ESTUDIO DE REINGENIERIA DE LAS OBRAS CIVILES DE LA MINICENTRAL HIDROELECTRICA DE LA RAYA: Dimensionamiento de las distintas obras civiles.

CAPITULO VI REPOTENCIACION DE LAS OBRAS ELECTROMECHANICAS DE LA MINICENTRAL HIDROELECTRICA DE LA RAYA: Cálculo y elección de los distintos equipos electromecánicos.

CAPITULO VII EVALUACION ECONOMICA DE LA MINICENTRAL HIDROELECTRICA DE LA RAYA: Análisis económico, para conocer si el proyecto es rentable.



RESUMEN

El presente proyecto enuncia y pretende realizar el diseño de la repotenciación de la Minicentral Hidroeléctrica de La Raya de 50 kw, la cual está ubicada en el Distrito de Marangani, Provincia de Canchis, Departamento del Cusco, esta abastecía al Centro Experimental de La Raya, quedando inoperativa por las inclemencias del clima y por su mal mantenimiento, se pretende con la energía remanente abastecer de energía a la Comunidad de Occobamba, para su posterior venta y cubrir los gastos que podría tener dicha minicentral.

Para lo cual, se inicia con el diagnóstico situacional de los equipos electromecánicos y obras civiles con lo que cuenta la minicentral, luego se realiza un análisis de la demanda energética actual del Centro Experimental de La Raya y de la misma forma de la Comunidad de Occobamba, con lo que posteriormente se realiza el cálculo y dimensionamiento de las obras civiles y de los demás equipos electromecánicos. Finalmente, mediante un análisis económico y financiero se evalúa la inversión inicial, la rentabilidad y el tiempo de recuperación del proyecto.

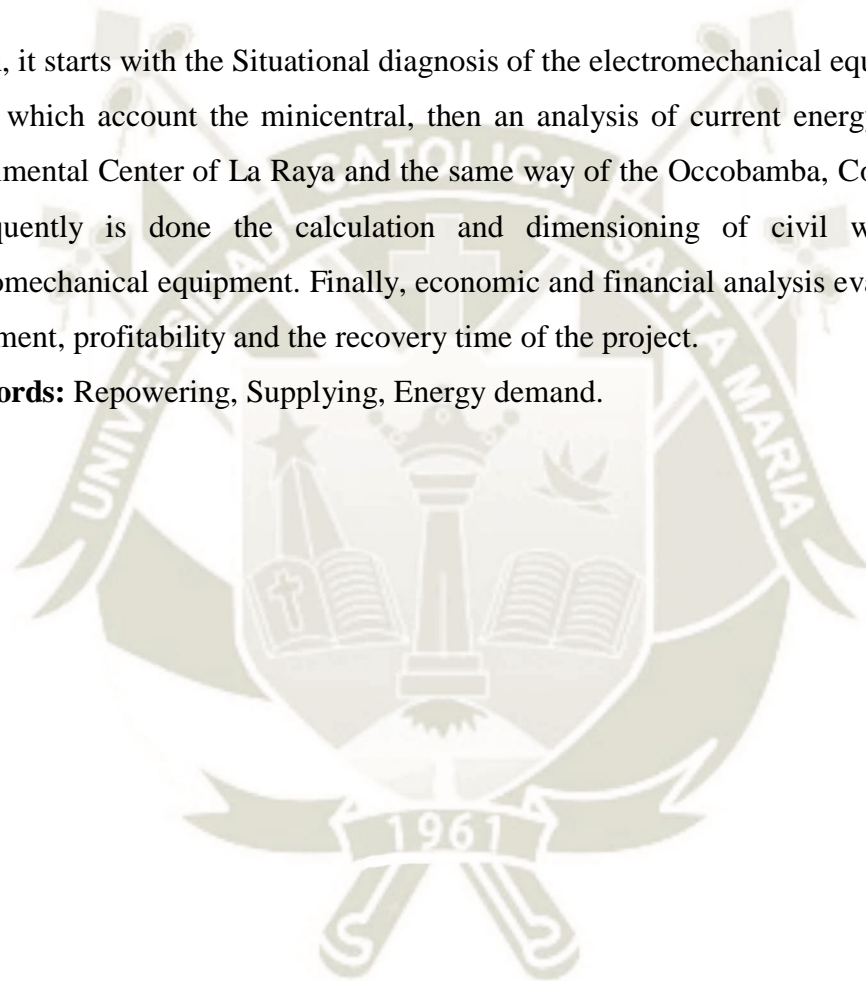
Palabras clave: Repotenciación, Abastecer, Demanda energética.

ABSTRACT

This thesis aims to undertake the design of the repowering of small hydroelectric of La Raya, which is located at Marangani district, Canchis province, Department of Cusco, is supplied to the Experimental Center of La Raya, leaving non-operating by the inclement weather and poor maintenance, is intended to the remnant energy supplying energy to the Community of Occobamba, for sale and expenses that could have such small minicentral.

Which, it starts with the Situational diagnosis of the electromechanical equipment and civil works which account the minicentral, then an analysis of current energy demand of the Experimental Center of La Raya and the same way of the Occobamba, Community, which subsequently is done the calculation and dimensioning of civil works and other electromechanical equipment. Finally, economic and financial analysis evaluates the initial investment, profitability and the recovery time of the project.

Keywords: Repowering, Supplying, Energy demand.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iv
INTRODUCCIÓN	v
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
ÍNDICE GENERAL	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
ÍNDICE DE FIGURAS	xix
CAPÍTULO I	1
1. ASPECTOS GENERALES	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos.....	2
1.3.1. Objetivo general.....	2
1.3.2. Objetivos específicos	2
1.4. Alcances.....	3
1.5. Descripción de la zona de estudio	3
1.5.1. Ubicación	3
1.5.2. Ámbito o área del proyecto.....	4
1.5.2.1. Área	4
1.5.2.2. Límites.....	4
1.5.3. Meteorología.....	5
1.6. Recurso energético y datos técnicos	5
CAPÍTULO II	7
2. MARCO CONCEPTUAL	7
2.1. Introducción.....	7
2.2. Centrales Hidroeléctricas.....	7

2.3.	Minicentrales Hidroeléctricas.....	9
2.4.	Componentes de una Minicentral Hidroeléctrica	12
2.4.1.	Obras de Captación.....	12
2.4.2.	Presa.....	14
2.4.3.	Toma de agua lateral con espigones	15
2.4.4.	Toma de agua en el lecho.....	16
2.4.5.	Toma de agua convencional.....	21
2.4.6.	Dimensionamiento de las partes más importantes de la toma	23
2.4.6.1.	Toma de agua.....	23
2.4.6.2.	Desripiador.....	27
2.5.	Obras de conducción	29
2.5.1.	Canal	29
2.5.2.	Aliviadero	33
2.5.3.	Desarenador	36
2.5.4.	Cámara de carga.....	40
2.6.	Tubería forzada.....	43
2.6.1.	Pautas para seleccionar una tubería de presión.....	44
2.6.2.	Pérdidas de presión en la tubería	45
2.6.3.	Pérdidas en la rejilla.....	46
2.6.4.	Pérdidas de entrada	46
2.6.5.	Pérdidas en codos.....	47
2.6.6.	Pérdidas por fricción en el tubo	47
2.6.7.	Pérdidas en la válvula	48
2.6.8.	Pérdidas por bifurcación	48
2.6.9.	Espesor de la tubería	50
2.6.10.	Materiales de la tubería de presión.....	52
2.7.	Accesorios	53

2.7.1.	Válvulas	53
2.7.1.1.	Válvula de compuerta	53
2.7.1.2.	Válvula mariposa	54
2.8.	Soportes	55
2.9.	Casa de máquinas	57
2.9.1.	Turbinas	57
2.9.2.	Clasificación de las turbinas hidráulicas.....	61
2.9.2.1.	Turbinas de reacción	61
2.9.2.1.1.	Turbina Kaplan.....	61
2.9.2.1.2.	Turbina Francis	62
2.9.2.2.	Turbinas de acción	63
2.9.2.2.1.	Turbina Pelton.....	64
2.9.2.2.2.	Turbina Michell-Banki.....	67
2.9.3.	Generadores eléctricos	68
2.9.3.1.	Tipos de generadores eléctricos	69
2.9.4.	Sistema de protecciones eléctricas.....	71
2.9.5.	Regulación de la velocidad	72
2.10.	Hidrología.....	73
2.10.1.	Método del recipiente.....	73
2.10.2.	Método del flotador.....	74
2.10.3.	Método con correntómetro	75
2.10.4.	Método con vertedero.....	76
CAPÍTULO III.....		77
3. DIAGNÓSTICO SITUACIONAL DE LA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA DE LA RAYA		77
3.1.	Diagnóstico de las obras civiles.....	77
3.1.1.	Bocatoma	77

3.1.2.	Canal de derivación.....	77
3.1.3.	Desarenador	78
3.1.4.	Cámara de carga.....	78
3.1.5.	Aliviaderos	78
3.2.	Diagnóstico de las obras electromecánicas de la minicentral.....	79
3.2.1.	Tubería forzada	79
3.2.2.	Determinación del espesor por método de ultrasonido.....	80
3.2.3.	Diagnóstico de la turbina Pelton	82
3.2.4.	Evaluación de la velocidad de rotación de la turbina y componentes	85
3.2.4.1.	Características del inyector	86
3.2.5.	Alternador	87
3.2.6.	Tablero de control	89
CAPÍTULO IV		90
4. ESTUDIO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DEL PUEBLO DE OCCOBAMBA Y DEL CENTRO EXPERIMENTAL DE LA RAYA		90
4.1.	Introducción.....	90
4.1.1.	Demanda actual.....	90
4.1.2.	Demanda potencial.....	90
4.1.3.	Demanda futura.....	90
4.2.	Potencia de los artefactos y equipos eléctricos.....	90
4.3.	Demanda energética del Centro Experimental de La Raya	91
4.3.1.	Zona de alimentación.....	92
4.4.	Número de habitantes del Centro Experimental.....	94
4.5.	Evaluación de la demanda potencial y de energía del Centro Experimental “CICAS” La Raya	94
4.6.	Demanda de la energía	96
4.7.	Demanda futura proyectada a 10 años del Centro Experimental	96
4.8.	Demanda energética de la comunidad de Occobamba	98

4.8.1.	Demanda residencial.....	98
4.8.2.	Alumbrado público	99
4.8.3.	Demanda institucional	100
4.8.4.	Demanda industrial	100
4.8.5.	Factores de simultaneidad y factor de uso	100
4.8.5.1.	Factor de simultaneidad	100
4.8.5.2.	Factor de uso	100
4.9.	Cálculo de la demandas de la comunidad de Occobamba.....	101
4.9.1.	Demanda residencial.....	101
4.9.2.	Demanda por alumbrado público.....	101
4.9.3.	Demanda institucional	104
4.9.4.	Demanda industrial	104
4.9.5.	Cargas diurnas y nocturnas de las demandas obtenidas.....	105
4.9.6.	Demanda total de energía en la comunidad de Occobamba	106
4.10.	Demanda futura de energía proyectada a 10 años en la comunidad de Occobamba.....	107
4.11.	Oferta y demanda.....	108
4.12.	Factor de carga.....	108
4.13.	Factor de planta o factor de capacidad	109
CAPÍTULO V		110
5. ESTUDIO DE REINGENIERÍA DE LAS OBRAS CIVILES DE LA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA DE LA RAYA		110
5.1.	Introducción.....	110
5.2.	Dimensionamiento de la bocatoma.....	110
5.2.1.	Dimensionamiento de la toma de agua	111
5.2.2.	Dimensionamiento del desripiador	114
5.3.	Dimensionamiento del canal conductor	117
5.4.	Dimensionamiento del aliviadero.....	124

5.5.	Dimensionamiento del desarenador.....	125
5.6.	Dimensionamiento de la cámara de carga	128
5.7.	Acciones de mantenimiento en las obras civiles de la minicentral	133
5.7.1.	Acciones de mantenimiento en la bocatoma.....	133
5.7.2.	Acciones de mantenimiento en canales de conducción	134
5.7.3.	Acciones de mantenimiento en el desarenador.....	135
5.7.4.	Acciones de mantenimiento en cámara de carga	135
CAPÍTULO VI.....		136
6. REPOTENCIACIÓN DE LAS OBRAS ELECTROMECÁNICAS DE LA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA DE LA RAYA		136
6.1.	Introducción.....	136
6.2.	Equipos electromecánicos	136
6.2.1.	Selección de la turbina	136
6.2.1.1.	Caudal de diseño	137
6.2.1.2.	Potencia hidráulica real	138
6.2.1.3.	Velocidad específica	138
6.2.1.4.	Potencia en eje de la turbina.....	139
6.2.1.5.	Potencia en el generador	139
6.2.2.	Tubería de presión.....	140
6.2.2.1.	Selección del material de diseño	141
6.2.2.2.	Selección de diámetro de la tubería	142
6.2.2.3.	Calculo de las pérdidas por fricción.....	142
6.2.2.4.	Velocidad de agua en la tubería	145
6.2.2.5.	Válvula tipo compuerta	145
6.2.2.6.	Cálculo del espesor de pared de la tubería forzada	147
6.2.2.7.	Juntas de expansión.....	148
6.3.	Equipos del sistema eléctrico	149

6.3.1.	Generador síncrono trifásico.....	149
6.3.1.1.	Número de pares de polos	150
6.3.2.	Regulador de velocidad.....	150
6.3.3.	Selección del transformador de potencia	150
6.3.4.	Tablero de control	151
6.3.5	Línea de transmisión	152
CAPÍTULO VII		155
7.	EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA DE LA RAYA	155
7.1.	Introducción.....	155
7.2.	Generalidades	155
7.3.	Objetivo de la evaluación económica y financiera.....	156
7.4.	Costos fijos y costos variables.....	156
7.4.1.	Costos fijos.....	156
7.4.2.	Costos variables	156
7.4.3.	Costos totales	157
7.5.	Presupuesto base de repotenciación de la minicentral hidroeléctrica.....	158
7.6.	Determinación de costos del kW instalado.....	158
7.6.1.	Costo del kW instalado en grupo generador hidroeléctrico.....	159
7.6.2.	Obtención del costo fijo	159
7.6.3.	Obtención del costo variable y costo total	159
7.7.	Análisis económico y financiero	161
7.7.1.	Indicadores económicos utilizados	161
7.7.2.	Financiamiento del proyecto.....	162
7.7.3.	Valor Agregado Neto (VAN).....	162
7.7.4.	Tasa Interna de Retorno (TIR).....	163
7.7.5.	Evaluación del flujo de caja interno.....	163

7.7.6. Previsión de venta de energía	163
7.7.7. Valor residual.....	165
7.7.8. Forma de depreciación.....	165
7.7.9. Cuadro de flujo de caja interno.....	166
7.7.10. Cálculo del VAN y el TIR.....	167
7.8. Índice de rentabilidad	167
7.9. Tiempo de recuperación (TR).....	168
CONCLUSIONES	169
RECOMENDACIONES	170
BIBLIOGRAFIA	171
ANEXOS.....	173
PLANOS	184

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. <i>Datos y componentes técnicos de la minicentral</i>	6
Tabla 2.1. <i>Clasificación de las centrales hidroeléctricas según su potencia</i>	9
Tabla 2.2. <i>Coefficientes de inclinación de la rejilla de toma de lecho</i>	19
Tabla 2.3. <i>Velocidad máxima de flujo para evitar erosión en canales</i>	31
Tabla 2.4. <i>Pendiente de las paredes de canal</i>	31
Tabla 2.5. <i>Coefficiente de pérdidas para codos de tubos circulares</i>	47
Tabla 2.6. <i>Valores de K para el coeficiente de pérdidas</i>	48
Tabla 2.7. <i>Valores usuales de coeficiente de válvula</i>	48
Tabla 2.8. <i>Coefficiente para bifurcaciones de tubos circulares de diámetros iguales</i>	50
Tabla 2.9. <i>Coefficiente para tubos en Y simétricos con $\beta=45^\circ$ y diferente admisión</i>	50
Tabla 2.10. <i>Espaciamiento entre apoyos para tuberías de acero comercial</i>	56
Tabla 2.11. <i>Rango de velocidades específicas de las turbinas hidráulicas</i>	59
Tabla 2.12. <i>Valores de velocidad media</i>	74
Tabla 3.1. <i>Datos de tubería forzada</i>	79
Tabla 3.2. <i>Mediciones de la tubería</i>	81
Tabla 3.3. <i>Datos de turbina Pelton</i>	82
Tabla 3.4. <i>Dimensiones del cangilón</i>	84
Tabla 3.5. <i>Mediciones realizadas</i>	85
Tabla 3.6. <i>Características de tobera Superior</i>	86
Tabla 3.7. <i>Características de tobera Inferior</i>	86
Tabla 4.1. <i>Potencia de equipos eléctricos</i>	91
Tabla 4.2. <i>Área de la zona de investigación</i>	92
Tabla 4.3. <i>Área de la zona de hospedaje</i>	92
Tabla 4.4. <i>Área de la zona de alimentación</i>	92
Tabla 4.5. <i>Área de la zona de corrales</i>	92
Tabla 4.6. <i>Cuadro de la demanda de energía consumida por el Centro Experimental</i> .	96
Tabla 4.7. <i>Proyección de la demanda para los próximos 10 años</i>	97
Tabla 4.8. <i>Factor de simultaneidad y factor de uso</i>	101
Tabla 4.9. <i>Demanda institucional</i>	104
Tabla 4.10. <i>Demanda industrial</i>	104
Tabla 4.11. <i>Cargas de las demandas nocturnas y diurnas</i>	105
Tabla 4.12. <i>Demanda total de energía de la comunidad de Occobamba</i>	106

Tabla 4.13. <i>Crecimiento de la demanda potencial y energética de la comunidad de Occobamba para los próximos 10 años</i>	107
Tabla 4.14. <i>Demanda del Centro Experimental y la comunidad</i>	108
Tabla 4.15. <i>Oferta y demanda total</i>	109
Tabla 5.1. <i>Talud recomendado para canales de sección trapezoidal</i>	118
Tabla 5.2. <i>Velocidad máxima del agua recomendada</i>	118
Tabla 5.3. <i>Canales de concreto</i>	119
Tabla 5.4. <i>Características de las secciones transversales</i>	119
Tabla 5.5. <i>Valores de n</i>	119
Tabla 5.6. <i>Velocidades de sedimentación de las partículas sólidas en suspensión de acuerdo con su tamaño</i>	125
Tabla 5.7. <i>Recomendaciones para rajaduras o filtraciones en el bocatoma</i>	134
Tabla 5.8. <i>Velocidades permisibles en canales de tierra</i>	135
Tabla 6.1. <i>Valores de rugosidad absoluta (K) en mm</i>	142
Tabla 6.2. <i>Características del generador</i>	149
Tabla 6.3. <i>Características del transformador</i>	151
Tabla 6.4. <i>Datos técnicos de la minicentral hidroeléctrica</i>	153
Tabla 6.5. <i>Cuadro comparativo de la minicentral hidroeléctrica</i>	153
Tabla 7.1. <i>Datos obtenidos de los distintos gastos de la minicentral</i>	160
Tabla 7.2. <i>Inversión inicial de la minicentral hidroeléctrica</i>	163
Tabla 7.3. <i>Potencia anual dentro de los próximos 10 años de la minicentral hidroeléctrica</i>	164
Tabla 7.4. <i>Ingreso económico anual dentro de los próximos 10 años de la minicentral hidroeléctrica</i>	164
Tabla 7.5. <i>Años de vida útil de los bienes de la minicentral hidroeléctrica</i>	165
Tabla 7.6. <i>Valores de la caja de flujo interno</i>	166

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1.</i> Límites del Centro Experimental.....	4
<i>Figura 1.2.</i> Ubicación geográfica.....	5
<i>Figura 2.1.</i> Esquema general de una central hidroeléctrica.....	11
<i>Figura 2.2.</i> Esquema general de una minicentral hidroeléctrica en derivación.....	12
<i>Figura 2.3.</i> Presa natural de roca.....	14
<i>Figura 2.4.</i> Presa artificial de concreto.....	15
<i>Figura 2.5.</i> Toma lateral con espigones.....	15
<i>Figura 2.6.</i> Toma de lecho.....	16
<i>Figura 2.7.</i> Rejilla de toma de lecho.....	17
<i>Figura 2.8.</i> Coeficientes de derrame según el perfil de la rejilla.....	18
<i>Figura 2.9.</i> Profundidad de rejilla en toma de lecho.....	20
<i>Figura 2.10.</i> Bocatoma convencional.....	23
<i>Figura 2.11.</i> Corte de la toma de agua de una bocatoma convencional.....	24
<i>Figura 2.12.</i> Toma de agua con vertedero sumergido.....	25
<i>Figura 2.13.</i> Vista de desripiador.....	28
<i>Figura 2.14.</i> Tipos de canales de conducción.....	30
<i>Figura 2.15.</i> Área de canal transversal en forma de trapecio.....	32
<i>Figura 2.16.</i> Coeficiente de presa.....	34
<i>Figura 2.17.</i> Aliviadero lateral.....	35
<i>Figura 2.18.</i> Proceso de sedimentación.....	36
<i>Figura 2.19.</i> Desarenador a la entrada del canal.....	37
<i>Figura 2.20.</i> Desarenador de lavado intermitente.....	37
<i>Figura 2.21.</i> Desarenador de lavado continuo.....	38
<i>Figura 2.22.</i> Diseño de transiciones de un desarenador.....	40
<i>Figura 2.23.</i> Cámara de carga.....	41
<i>Figura 2.24.</i> Tubería forzada.....	44
<i>Figura 2.25.</i> Pérdidas por fricción en la rejilla.....	46
<i>Figura 2.26.</i> Coeficiente de pérdidas a la entrada de tubería.....	46
<i>Figura 2.27.</i> Ángulo en el codo.....	47
<i>Figura 2.28.</i> Tubo en Y asimétrico.....	49
<i>Figura 2.29.</i> Tubo en Y simétrico.....	49
<i>Figura 2.30.</i> Válvula tipo compuerta.....	54

<i>Figura 2.31.</i> Válvula tipo mariposa.....	54
<i>Figura 2.32.</i> Apoyos.....	55
<i>Figura 2.33.</i> Gráfica para la selección de las turbinas hidráulicas.....	58
<i>Figura 2.34.</i> Características principales de turbinas hidráulicas.....	59
<i>Figura 2.35.</i> Gráfica para la selección de las turbinas.....	60
<i>Figura 2.36.</i> Turbina Kaplan.....	62
<i>Figura 2.37.</i> Turbina Francis.....	63
<i>Figura 2.38.</i> Turbina Pelton.....	65
<i>Figura 2.39.</i> Dimensiones básicas de turbina Pelton.....	65
<i>Figura 2.40.</i> Turbina Michell-Banki.....	68
<i>Figura 2.41.</i> Medición del caudal por método del recipiente.....	73
<i>Figura 2.42.</i> Gráfica de velocidades.....	75
<i>Figura 2.43.</i> Vector velocidad en cada área.....	76
<i>Figura 2.44.</i> Vertedero de medida.....	76
<i>Figura 3.1.</i> Presión estática del agua.....	80
<i>Figura 3.2.</i> Equipo de medición por ultrasonido EPOCH 4.....	80
<i>Figura 3.3.</i> Espesor de tubería.....	82
<i>Figura 3.4.</i> Turbina Pelton.....	83
<i>Figura 3.5.</i> Rueda de la turbina y sus cucharas.....	83
<i>Figura 3.6.</i> Geometría básica de cangilones de turbina Pelton.....	84
<i>Figura 3.7.</i> Tobera Superior con alta corrosión.....	86
<i>Figura 3.8.</i> Tobera Inferior con falta de mantenimiento.....	87
<i>Figura 3.9.</i> Aguja de inyector.....	87
<i>Figura 3.10.</i> Placa de características de alternador.....	88
<i>Figura 3.11.</i> Estado de actual del alternador.....	88
<i>Figura 3.12.</i> Estado actual del tablero de control por fuera.....	89
<i>Figura 4.1.</i> Zona de esquila.....	93
<i>Figura 4.2.</i> Zona de alimentación.....	93
<i>Figura 4.3.</i> Potencia total de cada zona de trabajo del Centro Experimental.....	95
<i>Figura 4.4.</i> Demanda potencial del Centro Experimental.....	95
<i>Figura 4.5.</i> Crecimiento de la demanda por energía.....	97
<i>Figura 4.6.</i> Crecimiento de la demanda por potencia.....	98
<i>Figura 4.7.</i> Sectores típicos.....	102
<i>Figura 4.8.</i> Factor KALP.....	102

<i>Figura 4.9.</i> Potencia de luminarias LED	103
<i>Figura 4.10.</i> Potencia consumida en un día en el pueblo de Occobamba	105
<i>Figura 4.11.</i> Demanda potencial de la comunidad de Occobamba	106
<i>Figura 5.1.</i> Toma de agua, desripiador y rebosadero de una bocatoma lateral	111
<i>Figura 5.2.</i> Toma de agua y presa de una bocatoma lateral	111
<i>Figura 5.3.</i> Canal de conducción trapezoidal	120
<i>Figura 5.4.</i> Dimensiones del desarenador	128
<i>Figura 5.5.</i> Cámara de presión	132
<i>Figura 6.1.</i> Esquema de un grupo de generación	136
<i>Figura 6.2.</i> Rendimiento de las diferentes turbinas para diferentes caudales	137
<i>Figura 6.3.</i> Selección de tipo de turbina.....	140
<i>Figura 6.5.</i> Diagrama de Moody	144
<i>Figura 6.6.</i> Pérdidas debido a turbulencias	145
<i>Figura 6.7.</i> Coeficiente de pérdidas en curvas	146
<i>Figura 6.8.</i> Propiedades físicas de materiales para tuberías.....	147
<i>Figura 7.1.</i> Presupuesto de repotenciación de la minicentral.....	158
<i>Figura 7.2.</i> Gráfica de los distintos costos de la minicentral hidroeléctrica	160

CAPÍTULO I

1. ASPECTOS GENERALES

1.1. Antecedentes

En el año 1988, la Universidad Nacional San Antonio de Abad, decidió construir la Minicentral Hidroeléctrica de La Raya para que así pudiera generar energía eléctrica y abastecer la demanda energética de su Campo Experimental de investigación de camélidos y ovinos.

Aproximadamente en el año 2001, dicha minicentral quedó inoperativa por la falta de mantenimiento de los equipos electromecánicos y de las redes eléctricas, pero además influyeron las condiciones climáticas que presentaba la zona que no eran favorables para las obras civiles de captación, de manera que quedaban muchas de ellas en mal estado, y esto teniendo en cuenta que su mantenimiento era muy precario.

Desde el año 2005 el Centro Experimental tuvo que comprarle energía eléctrica a la empresa Electrosur S.A. para continuar con sus trabajos de investigación, puesto que utilizar grupos electrógenos limitaba mucho el estudio que en su momento realizaban.

Más tarde, en el año 2011, unos alumnos de la Universidad Nacional San Antonio de Abad, realizaron una evaluación del estado actual en ese momento de todos los componentes que incluían la minicentral hidroeléctrica, proponiendo con ello una rehabilitación con la finalidad de que volviera a funcionar y a generar la energía eléctrica para el Centro Experimental.

Actualmente, se realizó una visita a la minicentral hidroeléctrica y al Centro Experimental, donde se pudo comprobar el mal estado de los componentes electromecánicos y de las obras civiles de captación que tiene la minicentral; también se observó que la demanda energética generada por el centro ha aumentado en comparación con el año 2011. Igualmente, se visitó la comunidad de Occobamba

para obtener algunos datos necesarios para el desarrollo del proyecto al ser parte de los objetivos del mismo abastecer de energía eléctrica a dicha comunidad.

1.2. Justificación

En principio hay que resaltar que el Centro Experimental de la Universidad Nacional San Antonio de Abad, a pesar de tener una minicentral hidroeléctrica que en su determinado momento servía para la iluminación y funcionamiento de los equipos electrodomésticos y electromecánicos que forman parte de las viviendas, talleres y laboratorios de investigación del Centro Experimental de La Raya, por esta encontrarse en estado inoperativo, se tiene que abastecer actualmente por medio de la empresa Electrosur S.A.

Entonces, a partir de eso y del hecho de que existen distintas comunidades entre la zona del Centro Experimental, siendo la comunidad de Occobamba la más cercana, además de haber también un aumento de la demanda energética del centro, se pretende realizar el estudio de repotenciación de la minicentral hidroeléctrica, de modo tal que la energía eléctrica generada pueda ser utilizada en la comunidad de Occobamba. Es importante también que así se pueda obtener algún ingreso económico para el mantenimiento de la minicentral, teniendo en cuenta que este fue el principal problema por el cual dicha central quedó inoperativa.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Realizar el diseño de la repotenciación de la minicentral hidroeléctrica de La Raya de 50kW de potencia para abastecer las instalaciones del Centro Experimental CICAS La Raya y de la comunidad de Occobamba.

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar el estado actual de los equipos y componentes electromecánicos y las obras de captación.
- Evaluar la demanda actual de la energía eléctrica del Centro Experimental La Raya y de la comunidad de Occobamba.

- Realizar el estudio de ingeniería para la repotenciación de la minicentral hidroeléctrica.
- Evaluar el costo económico del proyecto.

1.4. Alcances

El proyecto data desde el año 1988, en la medida en que fue ese año cuando comenzó a construirse la minicentral, pero que como se sabe, actualmente se encuentra en mal estado y dejó de funcionar; en ese sentido, para realizar el estudio de ingeniería se utilizó el levantamiento topográfico de las zonas de confluencia de los ríos Yanamayo y Vilcanota, junto a los datos técnicos de los equipos electromecánicos y a toda la información necesaria. Esto constituyó un punto de partida para realizar el estudio de ingeniería, que fue abastecer de energía eléctrica en ese momento demanda actual del Centro Experimental y de la Comunidad de Occobamba.

1.5. Descripción de la zona de estudio

1.5.1. Ubicación

El Centro Experimental CICAS La Raya es de propiedad de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco y se encuentra ubicada en el Distrito de Marangani, provincia de Canchis, departamento del Cusco, en el kilómetro 166 aproximadamente de la vía Cusco-Puno a una altura de 4200 msnm, en las coordenadas 14°30' latitud sur y 71°00' longitud oeste.

La Comunidad campesina de Occobamba es una de las 13 Comunidades del Distrito de Marangani, se encuentra al sur de la región del Cusco, de la provincia del Canchis, en el kilómetro 165 de la vía Cusco-Puno a una altura de 3946 msnm, ubicado a una latitud Sur de 14°25'54.77" y longitud Oeste 71°6'21.50", la geografía está conformada por un paisaje de lomadas, mesetas, colinas y paisajes montañosos.

1.5.2. Ámbito o área del proyecto

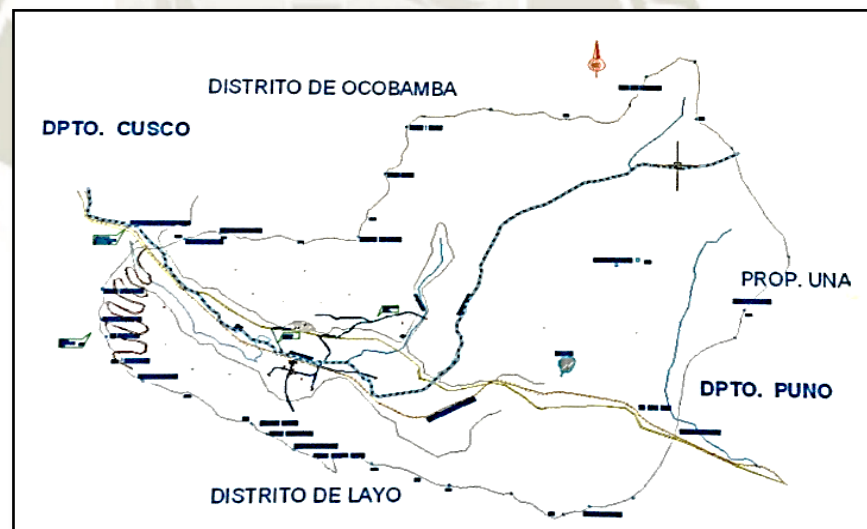
1.5.2.1. Área

El Centro Experimental tiene una extensión de 6323.134 Has y un área construida de 7305.75 m² que abarca desde las derivaciones del nudo del Vilcanota hasta la parte noreste del departamento de Puno.

1.5.2.2. Límites

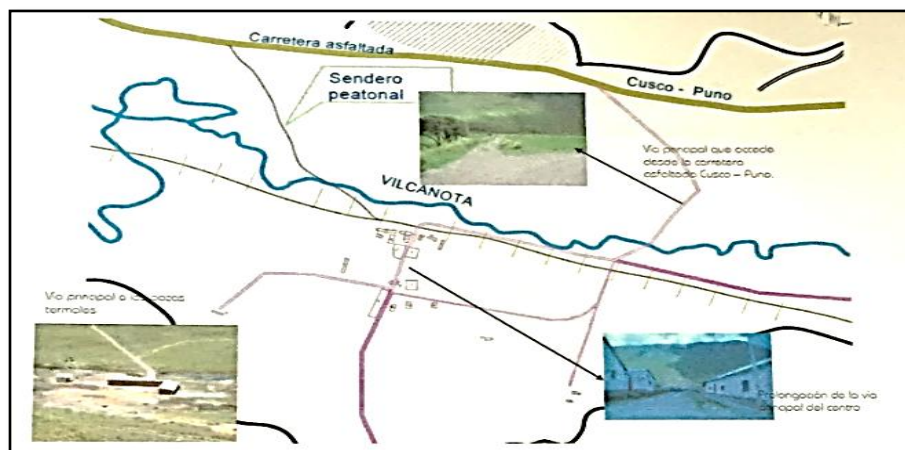
- Por el norte con la Comunidad de Occobamba.
- Por el sur por el Distrito de Layo.
- Por el este con la propiedad de la Universidad Nacional del Altiplano.
- Por el oeste con el Distrito de Layo.

Figura 1.1. Límites del Centro Experimental



Fuente: Centro Experimental CICAS La Raya

Figura 1.2. Ubicación geográfica



Fuente: Centro Experimental CICAS La Raya

1.5.3. Meteorología

La Raya posee un clima seco y frígido durante la mayor parte del año y presenta diferentes temperaturas dependiendo de la estación del año.

- Temperatura media mensual de $^{\circ}\text{C}$ a 10°C .
- Temperatura mínima mensual de -5°C .

La comunidad de Occobamba posee un clima subseco y frío-seco, las temperaturas medias anuales máxima y mínima son de 16.5°C y 1.5°C .

1.6. Recurso energético y datos técnicos

El caudal para el aprovechamiento de la minicentral de La Raya es captado de la confluencia de los ríos Vilcanota y Yanamayo, el agua de ambos ríos son derivadas al canal de conducción de aproximadamente 2.675 km, donde se hizo la medición del caudal. Los datos técnicos se detallan en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. *Datos y componentes técnicos de la minicentral*

Datos técnicos de la minicentral hidroeléctrica de La Raya	
Potencia (P)	50kW
Salto Neto (Hn)	48.65 m.
Caudal (Q)	$0.195 \frac{m^3}{seg} = 195 \frac{lt}{seg}$
Datos técnicos de los componentes de la minicentral hidroeléctrica de La Raya	
Tubería Forzada	Longitud (L): 118 m. Diámetro (Ø): 10"
Turbina	Pelton 50kW – 2 Inyectores de eje horizontal
Alternador	Marca ALGESA 62.5 KVA.
Transformador	Marca CANEPA TABINI (2200/220 19 KVA.)

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1. Introducción

La disponibilidad de la energía ha sido siempre primordial para la humanidad, que cada vez demanda más recursos energéticos para cubrir sus necesidades de consumo y bienestar. [...] Actualmente las energías renovables han dejado de ser tecnologías caras y minoritarias para ser plenamente competitivas y eficaces para cubrir las necesidades de demanda, dentro de estas energías se encuentran la energía mini hidráulica que es la principal para generar energía limpia y amigable con el medio ambiente ([IDAE, 2006, p. 5).

La existencia de grandes recursos minihidroenergéticos es producto de la existencia de un gran número de pequeños ríos y quebradas distribuidos a lo largo y ancho del territorio nacional, que se presentan como una enorme fuente de pequeños recursos y que podrían utilizarse ventajosamente para atender con energía a miles de centros poblados rurales.

2.2. Centrales Hidroeléctricas

Una central o planta hidroeléctrica se puede definir como un conjunto de obras y maquinaria destinada a convertir la energía hidráulica del agua en energía eléctrica. Esta energía se puede concebir como la combinación de la energía potencial y cinética de un caudal de agua debido a una caída de altitud, la cual es convertida por una turbina en energía mecánica y posteriormente en energía eléctrica por un generador (Ortiz, 2001).

Existen dos parámetros importantes que identifican a una central hidroeléctrica, la potencia generada y la energía que es capaz de entregar.

En el caso de la potencia, esta se obtiene a partir de la energía potencial del agua en el punto en que es introducida a la tubería que va hacia la turbina, respecto al nivel en que es liberada luego de su paso por la turbina hidráulica, la cual está dada por: (Harvey, 1998)

$$U = m * g * H$$

- U: Energía.
- m: Masa de agua.
- g: Aceleración de la gravedad.(m/s²)
- H: Caída bruta.(m)

Puesto que la masa equivale al producto del volumen por la densidad se puede reescribir la ecuación 1, así:

$$U = V * \rho * g * H$$

- V: Volumen de agua.
- ρ : Densidad del agua.(kgm³)

Si se divide la energía por el tiempo se obtiene la potencia entregada dado que la razón del volumen entre el tiempo equivale el caudal, la potencia estaría dada por lo siguiente:

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

- P: Potencia.(Kw)
- Q: Caudal del agua.(m³/s)

A partir de la disponibilidad de agua se pueden distinguir dos tipos de centrales hidroeléctricas, las de filo de agua, por un lado, y las de reserva, por otro. Las centrales con reserva cuentan con embalses de gran tamaño que bloquean el paso del río, formando así una reserva de agua que permite almacenarla en las épocas lluviosas para ser empleada posteriormente en épocas secas. En las centrales a filo de agua existen dos opciones, en primer lugar, que exista una represa de menor tamaño bloqueando el agua de modo que permita darle estabilidad a la central y una reserva de agua por un corto periodo (generalmente unas cuantas horas), o en segundo lugar, que una parte del agua del río se derive hacia un depósito de carga sin necesidad de construir una represa, este es el caso más común en centrales de pequeña escala (Rodríguez & Suárez, 2013, pp. 16-17).

2.3. Minicentrales Hidroeléctricas

En las pequeñas centrales hidroeléctricas aún no existe una clasificación mundialmente aceptada respecto a sus nombres e intervalos de potencia. Asimismo, los criterios utilizados pueden variar de país a país.

De acuerdo con la potencia instalada, la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) y la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) han clasificado las pequeñas centrales hidroeléctricas de la siguiente forma:

Tabla 2.1. *Clasificación de las centrales hidroeléctricas según su potencia*

Región	Institución	Microcentral	Minicentral	Pequeña Central
Mundial	ONUDI	< 100kW	101-2000kW	2001 – 10000kW
Latinoamérica	OLADE	< 50kW	51 – 500kW	501 – 5000kW

Fuente: (Coz et al., 1995)

En Perú, el Organismo de Supervisión de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN) indica que las pequeñas centrales hidráulicas son todas aquellas que cuentan con una potencia instalada menor a 20 MW.

De modo que una minicentral es una clasificación que se da a las plantas hidroeléctricas con una potencia menor de 500kW, son mayormente centrales a filo de agua (agua fluyente) y por lo general en derivación, mediante una toma y a través de canales o conducciones se lleva hasta la central donde será turbinada, una vez obtenida la energía eléctrica, el agua desviada es devuelta nuevamente al cauce del río.

La configuración de una minicentral difiere a la de las grandes plantas hidroeléctricas principalmente por factores de utilidad económica, es decir, que sus componentes son más sencillos ya que la inversión que se debe hacer para instalar componentes especializados que aumenten la eficiencia es excesiva en comparación con los beneficios obtenidos. Entre las ventajas que tienen las minicentrales hidroeléctricas están: (Ortiz, 2001).

- Son una solución a problemas de abastecimiento de energía en lugares alejados y a los costos crecientes de los combustibles.
- Existe un consolidado estado del arte y la tecnología es de fácil adaptación.
- Tienen un reducido costo de operación y de mantenimiento.
- La vida útil de las estructuras es larga y de simple mantenimiento.
- El impacto ambiental es reducido en comparación con otras fuentes de energía como la térmica.
- El uso del agua es compatible con otras actividades como agrícolas y de producción.

Por otro lado también cuentan con limitaciones: (Ortiz, 2001)

- Elevado costo del kW pico instalado.
- El costo de los estudios es alto en relación al costo total de la planta.
- La fuente de energía se encuentra generalmente alejada de los focos de consumo.
- La disponibilidad de la energía se afecta por fenómenos meteorológicos y climáticos.

Pueden presentarse conflictos por el uso del agua y el impacto en el ambiente. (Ortiz, 2001) (Como se citó en Rodríguez & Suárez, 2013, pp. 17-18).

El funcionamiento en una minicentral hidroeléctrica mayormente es de la siguiente forma, el caudal de agua es tomado directamente del afluente mediante una bocatoma, la cual es una barrera de desvío que permite captar parte del agua que transcurre por el río, e introducirla a un canal o tubería de conducción, este posee una baja pendiente y permite la conducción del agua derivada a un tanque.

Es posible que existan uno o varios tanques en la construcción, cada uno con una finalidad lo que hace que sus especificaciones varíen.

En primer lugar, se instala un desarenador, que es un tanque en el cual las partículas sólidas arrastradas en el agua se precipitan y decantan para evitar que dañen el resto de instalaciones como tuberías y turbinas. Cuando la calidad del agua es alta, este elemento en ocasiones se omite.

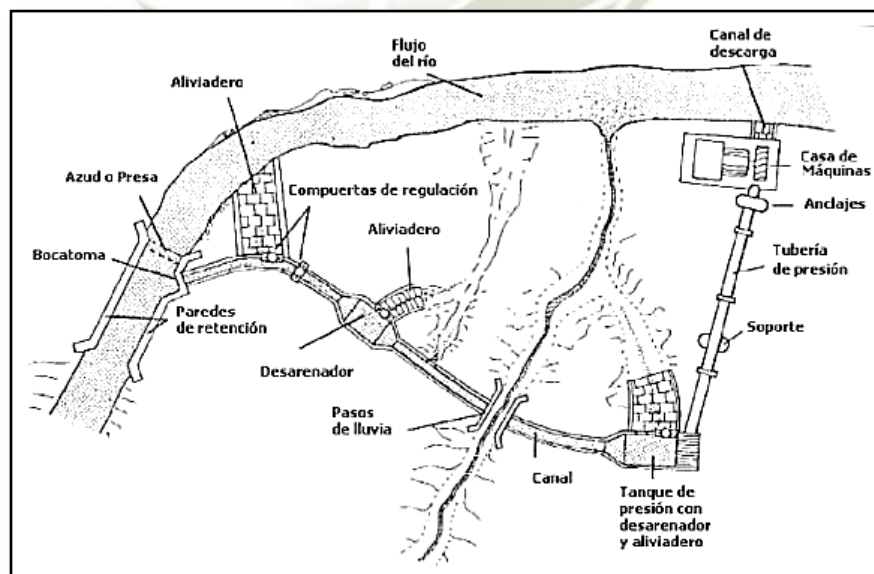
Posterior al desarenador, una tubería o canal conduce el agua a un tanque de presión o cámara de carga, este depósito le da estabilidad a la operación de la planta ya que permite amortiguar las variaciones temporales del caudal al almacenar un volumen de agua considerable y mantener el nivel de la misma estable. Además, detiene prácticamente el agua para así eliminar la turbulencia y evitar que ingresen burbujas de aire a la tubería de presión. Este tanque cuenta con un aliviadero o vertedero que se encarga de devolver el caudal excesivo que no se pueda contener al cauce del río.

Luego de la cámara de carga, se empalma la tubería de presión que conduce el caudal a la turbina, esta posee una pendiente por lo que el agua crea una gran presión en ella, lo que hace que requiera de anclajes robustos.

Por último, en la casa de máquinas se encuentra la turbina que recibe el agua de la tubería de presión y al ser impactada gira, convirtiendo la energía potencial del agua en energía mecánica cinética rotacional. Acoplado a la turbina se encuentra el generador que convierte la energía mecánica en eléctrica (Rodríguez & Suárez, 2013, pp. 18-19).

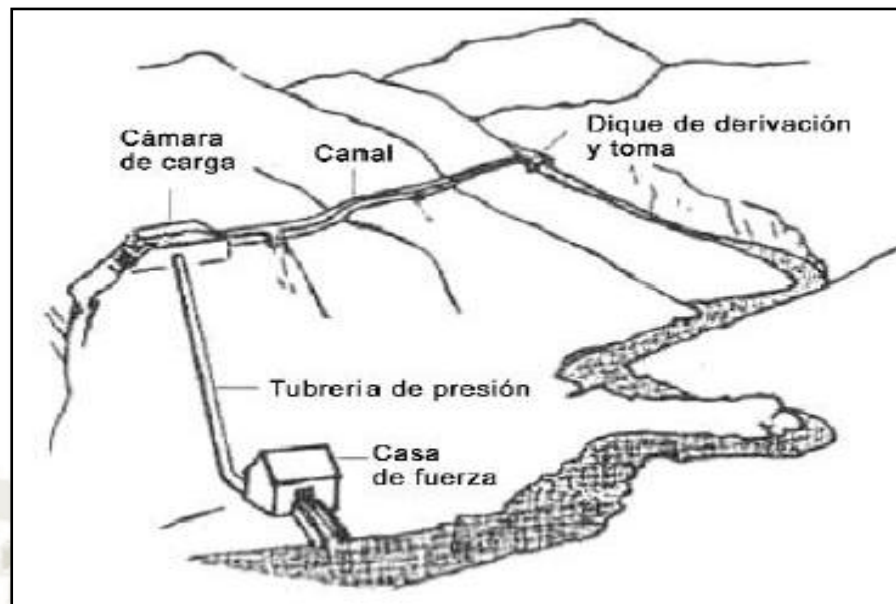
Como se verá a continuación, en las Figuras 2.1 y 2.2 se muestra un diagrama típico de una central y de una minicentral hidroeléctrica y sus principales componentes.

Figura 2.1. Esquema general de una central hidroeléctrica



Fuente: (Harvey, 1998)

Figura 2.2. Esquema general de una minicentral hidroeléctrica en derivación



Fuente: (Harvey, 1998)

2.4. Componentes de una Minicentral Hidroeléctrica

2.4.1. Obras de Captación

Las obras civiles para las minicentrales hidroeléctricas utilizan comúnmente tecnologías no convencionales para su diseño, además de eso, recurren a materiales y mano de obra locales con el fin de reducir los costos y a la vez optimizar el uso de los recursos. Esto hace que la construcción de la obra civil difiera de un lugar a otro y por lo tanto, no existan reglas generalizadas de diseño.

De acuerdo con Novillo (1981), las obras de captación por derivación a filo de agua captan el recurso del afluente sin almacenamiento, aprovechando el caudal que hay en el momento dado. Tienen como desventaja el hecho de que requieren caudales casi constantes o al menos superiores al caudal utilizado en todo momento y la ventaja de un costo reducido (como se citó en Rodríguez & Suárez, 2013, pp. 19-20).

Ahora bien, las obras de captación deben cumplir con las siguientes condiciones y requerimientos básicos según Ortiz (2001):

- Asegurar la derivación permanente del caudal de diseño.
- El agua captada debe estar libre de sólidos en lo posible y se debe contar con medios para evacuarlo.
- Proveer de un sistema adecuado que permita el paso de las avenidas que tienen gran cantidad de sólidos y material flotante.
- El tipo de construcción debe ser sencillo y económico, de forma que facilite una operación con poco mantenimiento y trabajos rápidos de relación.

Es conveniente ubicar las obras de captación en tramos rectos del río en la medida en que esto permite situar la toma evitando la acumulación de sedimentos. El eje de la boca de la toma debe formar un ángulo entre 60 grados y 90 grados respecto a la dirección del agua. (Novillo, 1981).

Si se ubican en lugares que presentan ondulaciones, se debe colocar en el sector donde termina la parte cóncava del río e inicia la parte convexa, es decir, donde termina lo que se conoce como zona de barraco o paredón y comienza la zona de playa, esto para evitar la acumulación de sólidos en la toma o que esta sea dañada durante las crecidas del río. (Ortiz, 2001)

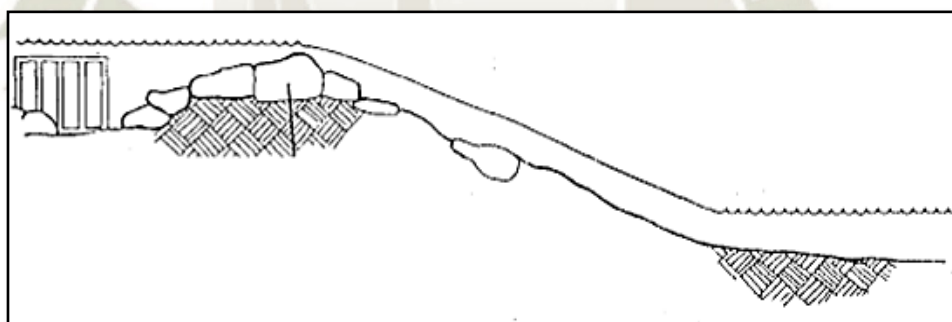
Además, se debe considerar que el terreno sea plano para ubicar el desarenador y la transición (en el caso de la toma convencional utilizada en esquemas de mayor tamaño). La existencia de formaciones firmes con rocas de tamaño adecuado no solo le da firmeza a la construcción, sino que facilita la desviación de las aguas parcialmente a la hora de la misma. Sin embargo, el factor determinante para la ubicación de la obra de captación es que se obtenga la caída neta necesaria para obtener la potencia deseada (Rodríguez & Suárez, 2013, p. 20).

2.4.2. Presa

Por otro lado, la presa o azud de la obra de captación cumple con la función de asegurar tanto un nivel del agua estable en la captación, como un caudal constante a lo largo del año de la toma. Cabe decir que esta no siempre está presente ya que la parte sumergida de la toma se puede asegurar utilizando una poza de agua natural en el río o quebrada.

Así que la presa puede construirse con materiales locales, como rocas del río; lo anterior es una práctica común en centrales de pequeño tamaño debido a que como lo propuso Harvey (1998), posee dos ventajas fundamentales, una de ellas es la reducción de costos, la otra es que son presas temporales o desechables diseñadas para que en el momento de construir una avenida esta pueda destruirse, lo cual significa que cada vez que esto suceda se construirá una nueva presa temporal (como se citó en Rodríguez & Suárez, 2013, pp. 20-21).

Figura 2.3. Presa natural de roca

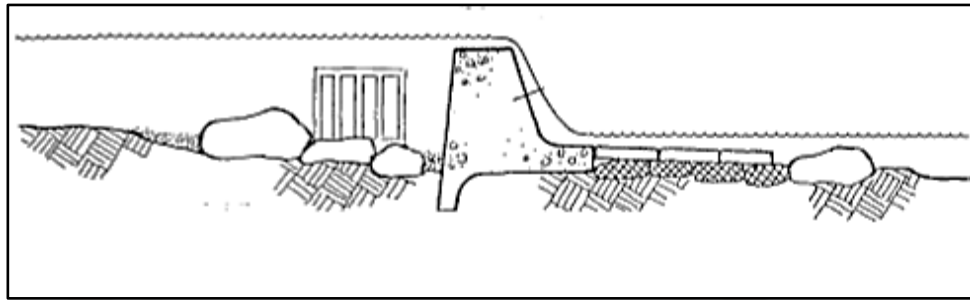


Fuente: (Harvey, 1998)

El factor primordial para diseñar en presas pequeñas es su altura ya que las otras dimensiones no son críticas, y además se debe diseñar la forma en que se descarga el agua de la presa para no socavar el lecho del río. La altura de la presa se define al dimensionar la toma de agua (Harvey, 1998).

Si se construye una presa, es importante proveerla de una compuerta de evacuación de sedimentos (como se citó en Rodríguez & Suárez, 2013, p. 21).

Figura 2.4. Presa artificial de concreto



Fuente: (Harvey, 1998)

2.4.3. Toma de agua lateral con espigones

Esta es la toma de agua más sencilla, y consiste en realizar una derivación en el afluente utilizando materiales de construcción o propios del lugar. Es una obra adecuada para proyectos muy pequeños, sin embargo, presenta la desventaja de que no restringe el ingreso de sedimentos.

La naturaleza de esta toma hace que sea difícil predecir el caudal derivado y asegurar la constancia del mismo, en ese sentido, lo adecuado es que el caudal en esta derivación sea siempre superior al caudal de diseño en toda la época del año (Ortiz, 2001 como se citó en Rodríguez & Suárez, 2013, p. 22).

Figura 2.5. Toma lateral con espigones



Fuente: (Ortiz, 2001)

2.4.4. Toma de agua en el lecho

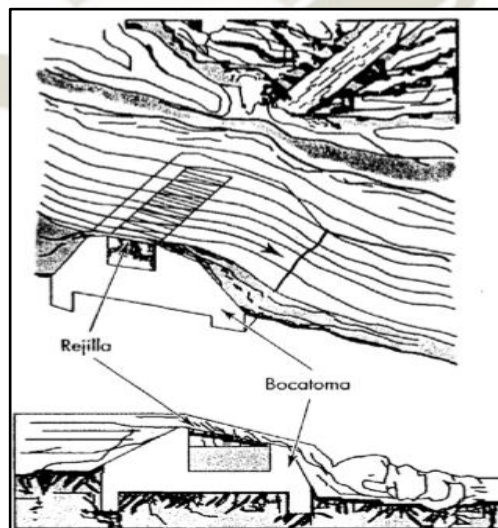
Por su parte, esta es una toma ubicada justamente en la represa de tal modo que se trata de un canal a lo largo de la represa cubierto con una rejilla que desemboca en el canal de conducción lateralmente. La rejilla debe estar orientada en el mismo sentido del flujo de agua (Ortiz, 2001).

Este tipo de toma requiere de una construcción en el lecho mismo del río, por lo que se hacen desviaciones del mismo para poder elaborarla. Para la construcción debe usarse concreto para que resista la abrasión de los sólidos suspendidos en el agua (Ortiz, 2001).

Se recomienda que se utilice esta toma cuando hay causes rectos con pendientes altas (mayores al 10 %) y que la rejilla tenga una pendiente de 5° a 35° en la dirección del flujo (Ortiz, 2001).

Por su geometría, esta toma asegura que se capte siempre el agua aun si el caudal del río disminuye y se seque el cauce aguas debajo de la toma en periodos de sequía (Ortiz, 2001 como se citó en Rodríguez & Suárez, 2013, p. 23).

Figura 2.6. Toma de lecho



Fuente: (Ortiz, 2001)

Para diseñar la toma de agua de lecho se debe determinar el caudal de diseño, el ancho del cauce y el nivel mínimo del agua en época de sequía. Se sigue el método de diseño para este tipo de tomas. (Ortiz, 2001)

$$Q = c * \mu * b * L * (2 * g * h)^{1/2}$$

Dónde:

Q: Caudal de agua captado. (m³/seg).

c: Coeficiente de contracción de la rejilla.

μ : Coeficiente de derrame de la rejilla.

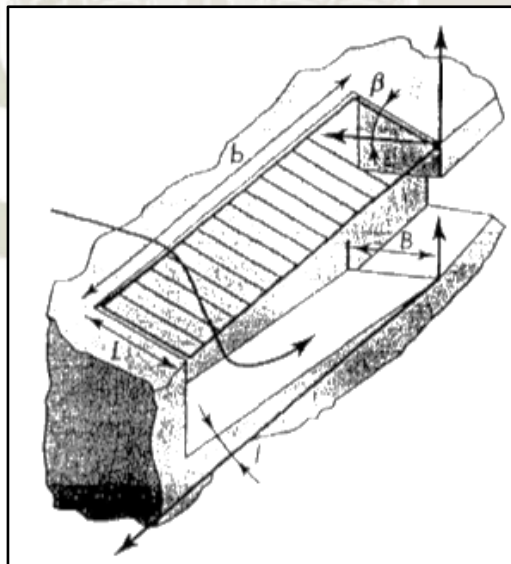
b: Ancho neto del vertedero. (m).

L: Longitud de la rejilla. (m).

g: Aceleración de la gravedad. (m/seg²).

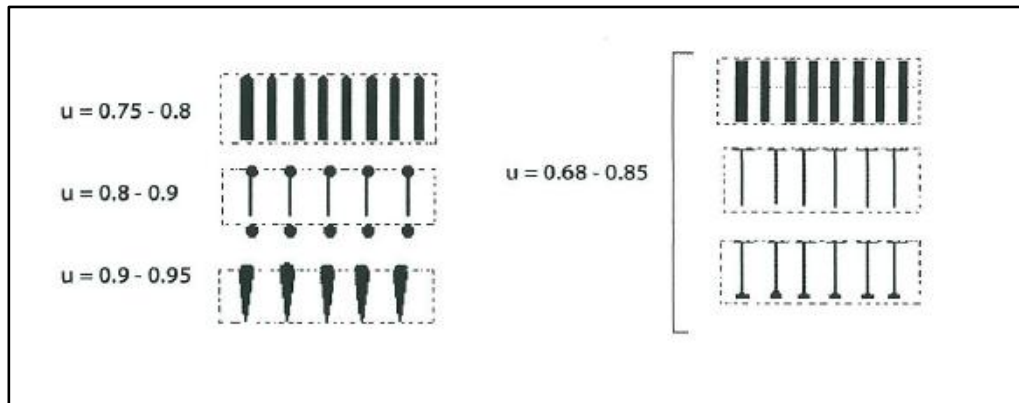
h: Altura inicial del agua. (m) (Como se citó en Rodríguez & Suárez, 2013, pp. 24-25).

Figura 2.7. Rejilla de toma de lecho



Fuente: (Ortiz, 2001)

Figura 2.8. Coeficientes de derrame según el perfil de la rejilla



Fuente: (Ortiz, 2001)

Asimismo, según Ortiz (2001) el coeficiente de contracción está dado por la siguiente fórmula:

$$c = 0.6 * \frac{a}{d} * \cos(\beta)^{3/2}$$

Dónde:

β : Ángulo de inclinación de la rejilla.

a: Abertura entre las barras de la rejilla. (m).

d: Distancia entre los ejes de las barras de la rejilla. (m).

Por su parte, la altura inicial del agua se calcula de la siguiente forma:

$$h = \frac{2}{3} * \lambda * h_0$$

- λ : Coeficiente de inclinación de la rejilla.
- h_0 : Nivel mínimo de agua en el río. (m) Como se citó en Rodríguez & Suárez, 2013, pp. 25-26).

Tabla 2.2. Coeficientes de inclinación de la rejilla de toma de lecho

β	λ	β	λ
0°	1.000	14°	0.879
2°	0.980	16°	0.865
4°	0.964	18°	0.851
6°	0.944	20°	0.837
8°	0.927	22°	0.825
10°	0.910	24°	0.812
12°	0.894	26°	0.800

Fuente: (Ortiz, 2001)

En definitiva, en la práctica, se debe construir la rejilla un 20 % más larga que el valor empleado para el diseño en las ecuaciones anteriores, esto debido a que por acumulación de hojas y otros materiales se pierde parte del área de vertido. El canal interno de esta toma tendrá un ancho dado igual al largo de la rejilla. (Ortiz, 2001)

$$B = 1.2 * L * \cos(\beta)$$

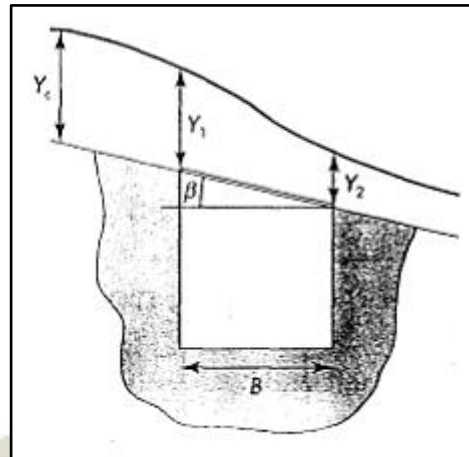
Dónde:

β : Ángulo de inclinación de la rejilla.

L: Longitud de la rejilla. (m).

La pendiente de este canal (I) debe ser de al menos 30 %. Para determinar la profundidad de este canal se debe calcular la profundidad inicial de la rejilla como se muestra en la siguiente Figura (2.8) (Ortiz, 2001 como se citó en Rodríguez & Suárez, 2013, p. 26).

Figura 2.9. Profundidad de rejilla en toma de lecho



Fuente: (Ortiz, 2001)

$$Y_c = \left(\frac{Q_d^2}{g * B^2} \right)^{1/3}$$

Dónde:

Yc: Profundidad del canal.

Qd: Caudal de diseño.(m³/s)

B: Ancho del canal del colector.(m)

G: Aceleración de la gravedad. .(m/s²)

La profundidad final del canal se define por:

$$H_2 = 1.1 * Y_c$$

Por su parte, la profundidad inicial se obtiene de la siguiente ecuación:

$$H_1 = \left(2 * \frac{Y_c^3}{H_2} + \left(H_2 - L * \frac{I}{3} \right)^2 \right)^{1/2} - 2 * L * \frac{I}{3}$$

Dónde:

I: Pendiente del canal de descarga. (30 % mínimo).

La altura del agua al final del canal equivale a:

$$H_2 = 1.1 * Y_c$$

Se define una velocidad crítica y una velocidad final, de forma tal que la final es menor que la crítica. (Ortiz, 2001)

$$V_c = (g * Y_c)^{1/2}$$

V_c: Velocidad crítica.

$$V_f = \frac{Q}{H^2 * B}$$

V_f: Velocidad final (Rodríguez & Suárez, 2013, p. 27).

Nota: si no se cumple que la velocidad final sea menor que la velocidad crítica y si el diseño no se ajusta a las condiciones locales, puede variarse la pendiente del canal I entre otros parámetros (Ortiz, 2001).

2.4.5. Toma de agua convencional

La toma convencional o lateral se caracteriza por tener una pequeña presa que no tiene la capacidad de almacenar agua, de ahí que no posea regulación. La presa obliga a que parte del caudal fluya a través de la toma de agua y el excedente se vierta por el aliviadero de la presa. Es muy usual instalarlas en ríos de montaña, con las siguientes características:

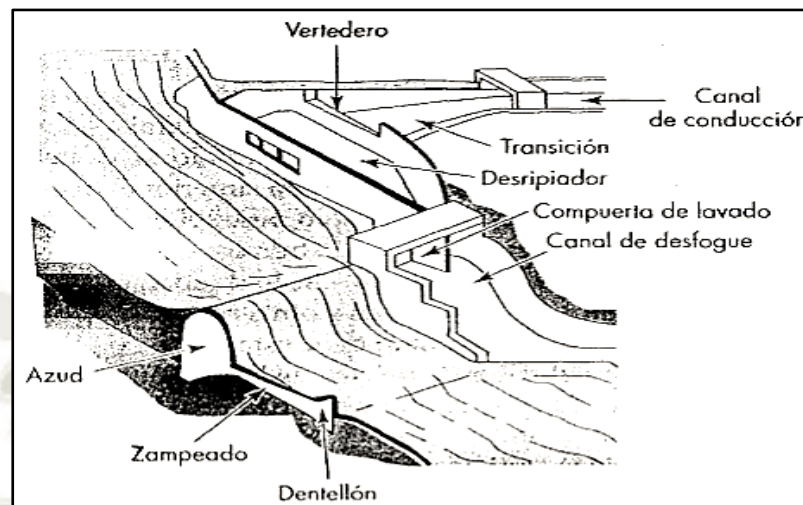
- Pendientes longitudinales fuertes que pueden llegar a 10 % o más.
- Crecientessúbitas causadas por aguaceros de corta duración y que llevan gran cantidad de piedras.
- Grandes variaciones diarias de caudal cuando provienen de nevados.
- Pequeño contenido de sedimentos finos y agua relativamente limpia en estiaje (Freire, 2010, p. 31).

Partes más importantes de la bocatoma:

- Un dique que cierra el cauce del río obligando al agua que se encuentra por debajo de la cota de su cresta a pasar a la conducción.

- En el tiempo de crecidas, las aguas de exceso pasan por encima del dique como en un vertedero, denominándose azud. Esta obra puede estar acompañada de un zampeado, el cual disminuye el exceso de la velocidad del agua, a fin de disminuir la erosión en el lugar de la bocatoma.
- Un dentellón que se construya aguas arriba y debajo del zampeado, en algunas ocasiones con drenes, para disminuir la subpresión del agua que se filtra por debajo del azud y para darle un mejor anclaje a la estructura.
- Una compuerta de purga, ubicada en un extremo del azud, al lado de la reja de entrada, con el fin de eliminar el material grueso depositado aguas arriba del azud y mantener limpio el cauce frente a la toma de agua, ya que por lo general, el material sólido acumulado reduce el caudal de captación. En época de crecientes la compuerta se abre para aliviar el trabajo del azud.
- La toma de agua es una ventana con una reja que impide el ingreso de material sólido flotante grueso, el umbral de la rejilla se coloca a cierta altura sobre el fondo del río con una separación entre barrotes de aproximadamente 20 centímetros.
- El desripiador es una cámara que recoge el material sólido que ha logrado pasar a través de la rejilla. Para lavar el material sólido depositado en el desripiador se dispone de una compuerta hacia el río para su eliminación.
- Una compuerta de admisión, ubicada en el tramo de la transición para regular o interrumpir totalmente el flujo del caudal con fines de reparación o inspección (Moncayo, 2009, pp. 32-33).

Figura 2.10. Bocatoma convencional



Fuente: (Ortiz, 2001)

2.4.6. Dimensionamiento de las partes más importantes de la toma convencional

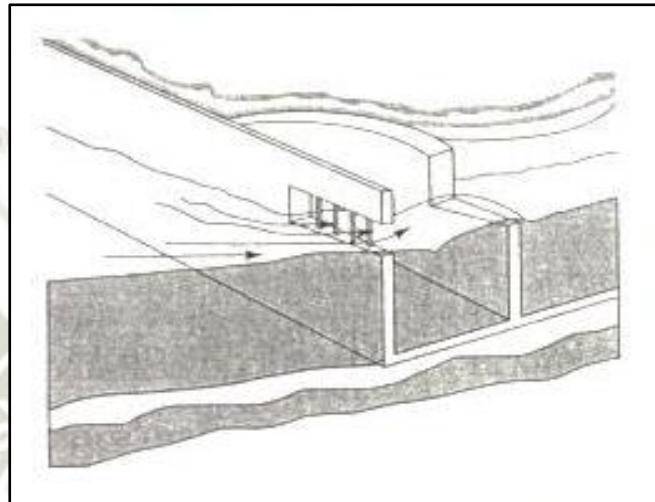
2.4.6.1. Toma de agua

El agua es captada por la toma ubicada aguas arriba del azud en el muro que separa el desripiador del río mostrada en la Figura 2.11, a una distancia suficiente que permita durante la construcción la ubicación de la ataguía, esta misma aguas abajo se prolonga hasta conectarse con la compuerta de purga. El umbral de la ventana debe estar a una altura no inferior a 0.60 - 0.80 metros del fondo; su dentil es por lo general de hormigón armado y debe estar a una altura superior a la de mayor creciente. El dintel debe soportar además de su propio peso, el empuje horizontal del agua en creciente, y todo ello estando apoyado solamente en sus extremos; en caso de que sea muy largo se construyen contrafuertes intermedios que lo dividen en varios tramos.

Dado que el azud debe tener una altura igual a la suma de la altura del umbral desde el fondo del cauce más la altura de los barrotes, la toma de agua en épocas de estiaje se comporta como un vertedero sumergido con un desnivel muy pequeño entre las dos superficies de agua. En épocas de creciente, cuando los niveles del agua suben, la toma queda sumergida

trabajando como orificio, regulando así el caudal que entra en el canal (Ortiz, 2001).

Figura 2.11. Corte de la toma de agua de una bocatoma convencional



Fuente: (Ortiz, 2001)

El dimensionamiento de la toma de agua como vertedero sumergido es el siguiente. El caudal que pasa por el vertedero sumergido se determina con la siguiente expresión:

$$Q = s * M * b1 * H^{3/2} \text{ (m}^3\text{/s)}$$

Dónde:

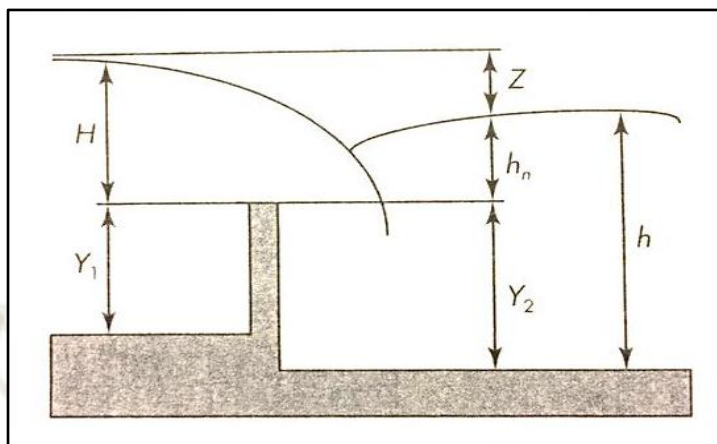
s: Coeficiente de corrección de sumersión.

M: Coeficiente.

b1: Ancho del vertedero (longitud de cresta).

H: Carga sobre la cresta.

Figura 2.12. Toma de agua con vertedero sumergido



Fuente: (Ortiz, 2001)

Según Bazin el coeficiente “s” es igual a:

$$s = 1.05 * \left(1 + 0.2 * \left(\frac{h_n}{Y_2} \right) \right) * (Z/H)^{\frac{1}{3}}$$

Según Bazin para un vertedero de cresta delgada M es igual a:

$$M = \left(1.794 + \frac{0.0133}{H_1} \right) * \left(1 + 0.55 \left(\frac{H}{H + Y_1} \right)^2 \right) * \sqrt{2g}$$

Datos para el cálculo:

H: Valor de altura de la ventana.

Z: Diferencia de elevación de las superficies de aguas arriba y debajo de la cresta.

Del mismo modo, de acuerdo con Ortiz (2001), un vertedero se considera de cresta delgada cuando la relación entre su grueso “e” y su carga “H” se mantienen en la siguiente relación:

$$\frac{H}{e} > 1.5$$

Según Ortiz (2001), para considerar que un vertedero es sumergido se deben cumplir las siguientes condiciones:

$$h > Y_2$$

$$\left(\frac{Z_0}{Y_2}\right) < 0.7$$

$$Z_0 = Z - v^2/g$$

Es importante decir que si no cumple la segunda condición el vertedero es no sumergido, además, podrá tomar varias dimensiones entre su longitud y altura; si se escoge una ventana alta, esta será más costosa para el azud y en consecuencia, la construcción del dissipador será más complicada; contrario a eso, si se decide tomar una mayor longitud, el dintel es más costoso y llevará contrafuertes. De allí que la selección de las dimensiones se haga por consideraciones económicas.

De igual manera, siguiendo a Ortiz (2001), el muro en el cual está localizada la toma debe tener una inclinación respecto al sentido del río para poder mejorar las condiciones hidráulicas. El ángulo es menor de 20° y se halla con las siguientes ecuaciones:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{V_r}{V_e}\right)$$

Dónde:

V_r : Velocidad media del río que corresponde al caudal medio anual.

V_e : Velocidad de entrada al canal.

La velocidad media equivale a:

$$V_r = \frac{Q_m}{P}$$

Dónde:

Q_m : Caudal medio anual.

P : Perímetro mojado que corresponde al caudal medio anual.

Para el cálculo según Ortiz (2001) se dan los siguientes parámetros:

Q : Caudal de diseño.

Y_1 : Altura del umbral sobre fondo del río.

H: Altura del agua.

Z: Desnivel entre superficies de agua.

Y_2 : Altura de desripiador.

a' : Ancho de barrotes.

b' : Separación entre barrotes.

Se determinan coeficientes M y “s”.

Con expresión de caudal para un vertedero sumergido se determina el ancho b_1 , considerando un coeficiente de pérdida k. (Ortiz, 2001)

$$Q = k * s * M * b_1 * H^{\frac{3}{2}} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

Se determina el número de espacios:

$$n = b_1/b'$$

El número de barrotes:

$$N = n - 1$$

Ancho de la reja:

$$B = b_1 + N * a'$$

Se determina la velocidad media anual V_r .

Se determina el ángulo α (Ortiz, 2001).

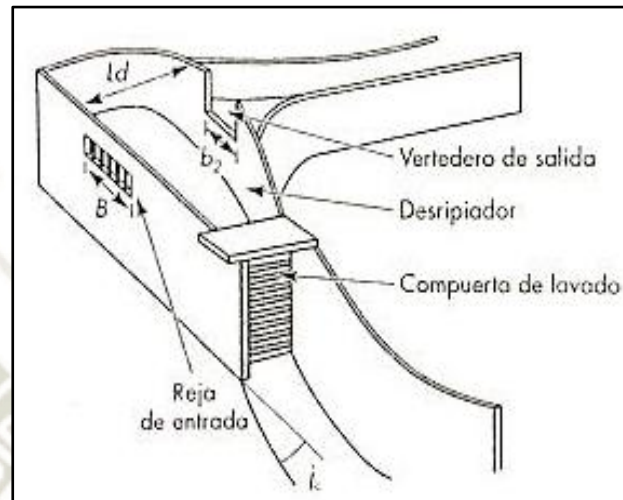
2.4.6.2. Desripiador

Se define como la cámara que sirve para detener las piedras que pasan entre los barrotes, es por esto que la velocidad del desripiador debe de ser baja y el paso hacia el canal debe hacerse mediante un aliviadero sumergido, por su parte, el ancho de este aparato puede tomarse a partir de la suma de los anchos de la reja de entrada y del vertedero.

Para eliminar las piedras que se hayan depositado el desripiador, se deja una compuerta de lavado que se comunica con un canal de desfogue que tiene

un gradiente suficiente j_c , esto para conseguir una velocidad de lavado alta capaz de arrastrar todas las piedras (Ortiz, 2001).

Figura 2.13. Vista de desripiador



Fuente: (Ortiz, 2001)

Se calcula el Ancho del Vertedero de salida (Ortiz, 2001).

$$Q = s * M * b_2 * H^{\frac{3}{2}}$$

Dónde:

b_2 : Ancho del vertedero.(m)

$$b_2 = \frac{Q}{s * M * H^{\frac{3}{2}}}$$

Según Ortiz (2001), la longitud del desripiador es aproximadamente igual a la longitud de una transición equivalente a:

$$L = (b_1 - b_2)/2 * tg(12.5)$$

Dónde:

b_1 : Ancho de toma de agua.

b_2 : Ancho del vertedero.

Al momento de abrir la compuerta de lavado, el caudal arrastra diferentes elementos, para lo cual el canal debe tener una pendiente elevada (Ortiz, 2001).

$$j_c = (v^2 * n^2) / R^{\frac{4}{3}}$$

Dónde:

v: Velocidad de agua.

n: Coeficiente de rugosidad (n=0.025).

R: Radio hidráulico.

2.5. Obras de conducción

Cuando el agua es recolectada por la toma de agua y la presa debe de ser conducida a la cámara de carga, se emplean canales de conducción, desarenadores y vertedero que sirven para los excesos de agua.

Asimismo, el caudal tiene un flujo uniforme, es decir, tiene un caudal y velocidad igual a lo largo del tramo, por tanto, el gradiente hidráulico y geométrico del cauce es constante.

La pendiente de la conducción se establece con un criterio técnico y económico tras estudiar varias alternativas. De un lado, el criterio técnico está sujeto a las características de los sitios pasibles de toma y a la variación del caudal, que generalmente disminuye aguas arriba. De otro, el criterio económico lo establece la longitud de la conducción, es decir, un aprovechamiento hidroenergético con una pequeña pendiente del recurso; esto genera una mayor longitud y mayor costo e inversamente, disminuye si la pendiente del afluente es elevada (Ortiz, 2001).

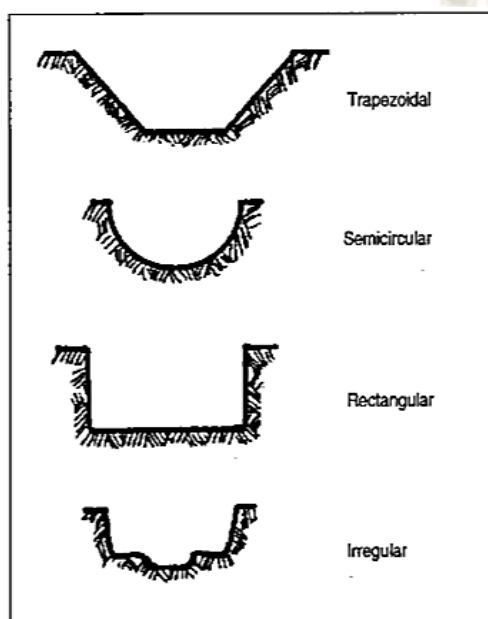
2.5.1. Canal

Este se encarga de conducir el agua a la tubería de presión, puede ser desde elaborados túneles o simplemente una excavación en la tierra dependiendo del terreno y del proyecto.

Existen distintos tipos de canales, como se muestra en la Figura 2.14, en los cuales la superficie puede ser de diferente material, como loza de concreto, cubierta de arcilla, concreto esparcido, ladrillo, etc.

Se recomienda que la velocidad oscile entre 0.7 m/s y 2.0 m/s para evitar la sedimentación en el canal y la erosión (Ortiz, 2001).

Figura 2.14. Tipos de canales de conducción



Fuente: (Coz *et al.*, 1995)

El revestimiento de los canales de conducción permite impermeabilizar y evitar la filtración, da mayor velocidad evitando así la erosión; es de este modo que se reduce el coeficiente de rugosidad que se da cuando el agua pasa por el canal y pierde energía en el proceso de deslizarse por las paredes y el lecho. Entonces, mientras más rugoso sea el material del canal, más pérdida habrá por fricción; en ese sentido, mayor será la pendiente o desnivel que se requerirá entre la entrada y la salida, por ello es necesario construirlas con coberturas de hormigón, mortero, ladrillo, revestimiento asfalto con membrana enterrada o tratamiento químico del terreno (Ortiz, 2001).

Se debe saber que para el diseño de un canal se deben seguir tres pasos:

1. Se debe seleccionar la velocidad a emplear y esta se elige de acuerdo al material del canal, los cuales ya se encuentran tabulados en rangos de velocidad recomendados.

Tabla 2.3. *Velocidad máxima de flujo para evitar erosión en canales*

Material	Menos de 0,3 m de profundidad	Menos de 1,0 m de profundidad
Sedimento de roca arenoso.	0,4 m/s	0,5 m/s
Sedimento de roca.	0,5 m/s	0,6 m/s
Sedimento de roca arcilloso.	0,6 m/s	0,7 m/s
Arcilla.	0,8 m/s	1,8 m/s
Ladrillo.	1,5 m/s	2,0 m/s
Concreto.	1,5 m/s	2,0 m/s

Fuente: (Harvey, 1998)

2. Los canales poseen áreas transversales en forma de trapecio, esto es así para evitar el deterioro de las paredes; por su parte, los canales rectangulares se usan cuando hay materiales fuertes como el concreto. No obstante, la forma más adecuada para los canales es la semicircular pero esta es el más difícil de construir. La pendiente de la pared del canal trapezoidal se encuentra tabulada de acuerdo al material con el que está construido (Harvey, 1998).

Tabla 2.4. *Pendiente de las paredes de canal*

Material	Pendiente(N)
Sedimento de roca arenoso.	2
Sedimento de roca.	1,5
Sedimento de roca arcilloso.	1
Arcilla.	0,58
Concreto.	0,58

Fuente: (Harvey, 1998)

3. El caudal del canal se obtiene considerando un sobredimensionamiento del área cubierta por el agua, que comúnmente sede un 30 %, esto permite absorber caudales superiores al de diseño y que no ocurra que el agua se derrame en las partes curvas del canal (Harvey, 1998).

$$A = \frac{Q_d - F}{v}$$

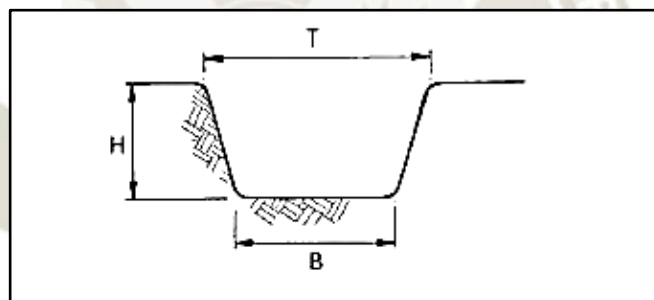
Dónde:

F: Factor de sobredimensionamiento.

v: Velocidad del agua en el canal.

A su vez, la altura, la longitud de la base y de la parte superior del trapecio, se calculan mediante un método que permita reducir pérdidas por fricción.

Figura 2.15. Área de canal transversal en forma de trapecio



Fuente: (Harvey, 1998)

Parámetro intermedio X:

$$X = 2\sqrt{(1 + N^2)} - 2 * N$$

Dónde:

N: Pendiente de las paredes del canal

En este caso, la altura, el ancho base y el ancho superior son:

$$H = \sqrt{\frac{A}{X * N}}$$

$$B = H * X$$

$$T = B + 2 * H * N$$

Según Harvey (1998), la velocidad en el canal debe ser menor a la velocidad crítica hasta un 90 %. La velocidad crítica en el canal de sección transversal de trapecio está definido por:

$$v_c = \sqrt{\frac{A * g}{T}}$$

Y la pendiente se determina por el radio hidráulico:

$$R = \frac{A}{P}$$

Dónde:

P: Perímetro del canal.

La pendiente depende de la rugosidad n del canal y se calcula por:

$$S = \left(n \frac{v}{2}\right)^2 R^3$$

2.5.2. Aliviadero

El aliviadero es un vertedero lateral en el canal con una cresta de unos centímetros de más por encima del nivel del agua.

Por su parte, los vertederos son estructuras de regulación y de protección que sirven para evacuar caudales excesivos o caudales superiores a los estipulados en el diseño. Las aguas de exceso se producen por daño y obstrucción de los pasos de aguas lluvias y por derrumbes en las laderas. Estos daños u obstrucciones hacen que gran parte de las aguas se escurran por la ladera y se desborden por las paredes del canal.

Ahora bien, su diseño define básicamente tres características: largo, altura y tipo de cresta que será definida por un coeficiente de descarga. El aliviadero debe volver el agua de exceso al río. Entonces, es recomendable construir otros aliviaderos a intervalos de 100m. a lo largo de todo el canal principal, así como tener desagües para reducir el agua de rebose lejos de la base del canal (Coz *et al.*, 1995).

El diseño de un aliviadero lateral es básicamente la estimación del caudal que se tiene en los diferentes componentes del sistema (Harvey, 1998).

El caudal del aliviadero a evacuar es:

$$Q_v = Q_M - Q_d$$

Dónde:

Q_M : Caudal máximo de la obra.(m³/s)

Q_d : Caudal de diseño de la obra. (m³/s)

El caudal que discurre por las barreras como en la pared del aliviadero es de acuerdo a Harvey (1998) el siguiente:

$$Q_v = C_w * L_v * h_v^{3/2}$$

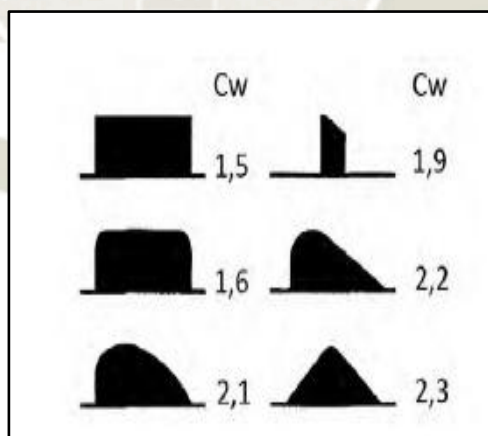
Dónde:

C_w : Coeficiente de presa o pared.

L_v : Largo del aliviadero.

h_v : Altura del caudal vertido.

Figura 2.16. Coeficiente de presa



Fuente: (Harvey, 1998)

Esta ecuación debe estar balanceada dado que si el aliviadero no tiene las dimensiones adecuadas, el agua podría elevarse por encima de las paredes del canal y así desbordarse.

Se puede considerar que en un canal, la velocidad del agua durante el máximo caudal es igual a la velocidad cuando se traslada el caudal de diseño, cambiando únicamente el nivel del agua en el canal.

Bajo la premisa anterior, y si el canal es rectangular, el nivel del agua antes del aliviadero guarda proporción con el nivel del agua después del aliviadero, esto es igual a la relación de caudales máximos de diseño (Harvey, 1998).

$$\frac{h_m}{h_d} = \frac{Q_m}{Q_d}$$

Dónde:

h_m : Nivel de agua en canal durante su máximo caudal.

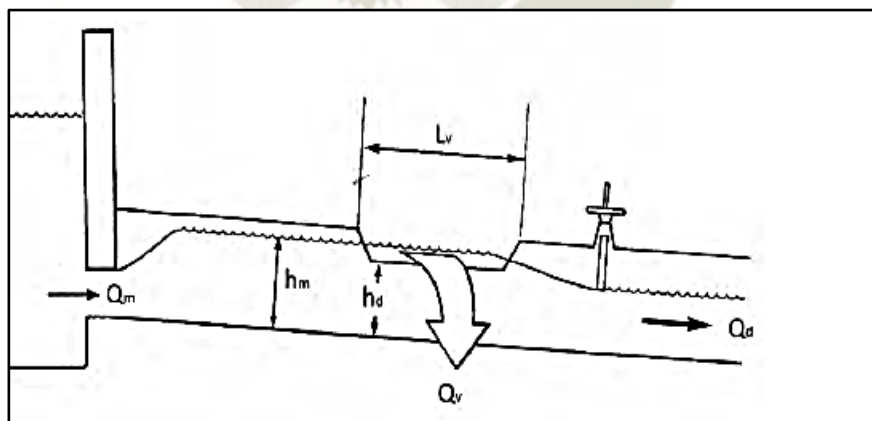
h_d : Nivel de agua en el canal durante el caudal de diseño.

La Altura del caudal vertido será:

$$h_v = h_m - h_d$$

La altura de la pared del aliviadero será definida por el nivel del agua en el canal o desarenador.

Figura 2.17. Aliviadero lateral



Fuente: (Harvey, 1998)

2.5.3. Desarenador

El agua captada por el río y conducida a la turbina transporta pequeñas partículas de materia sólida en suspensión, compuesta de materiales abrasivos (como arena), que ocasionan el rápido desgaste de los álabes de la turbina. Para eliminar este material se usan los desarenadores. En ellos la velocidad del agua es reducida con el objeto de que las partículas de arena o piedras se asienten en el fondo, de donde podrán ser removidas oportunamente (Moreno & Naranjo, 2012, p. 48).

Por otro lado, las velocidades límites por debajo de las cuales el agua deja de arrastrar esos materiales de acuerdo con Ortiz (2001) son las que se mencionan a continuación:

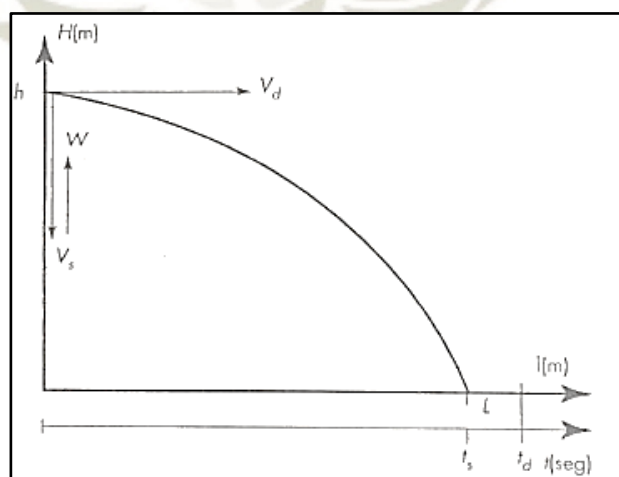
Para arcilla: 0.081m/s.

Para arena fina: 0.16 m/s.

Para arena gruesa: 0.216 m/s.

Cabe añadir que es necesario que el sedimento se asiente tanto en la entrada del canal como en la entrada de la tubería o cámara de carga.

Figura 2.18. Proceso de sedimentación

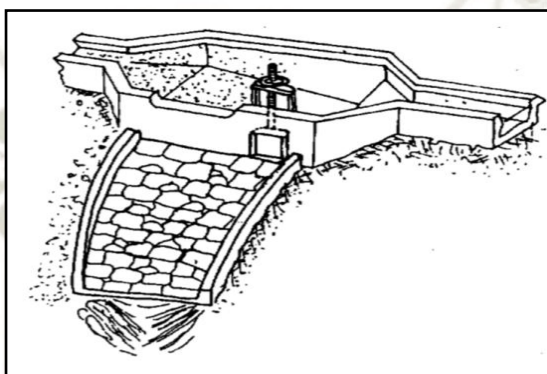


Fuente: (Ortiz, 2001)

A partir de Ortiz (2001), en el desarenador se deben cumplir los siguientes principios:

- Debe tener un ancho y longitud adecuados para que los sedimentos se depositen sin ser demasiado voluminosos y caros.
- Debe permitir una fácil eliminación de los depósitos.
- Tener la capacidad necesaria para permitir la acumulación de sedimentos.

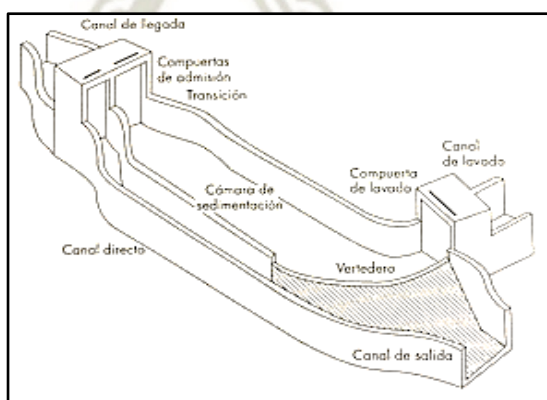
Figura 2.19. Desarenador a la entrada del canal



Fuente: (Harvey, 1998)

Además de lo anterior, existen dos tipos de desarenadores: de lavado intermitente y de lavado continuo. El primero se caracteriza porque se lava periódicamente y trata de que dicha operación, dependiendo de la cantidad de sedimentos que traiga el agua (Ortiz, 2001).

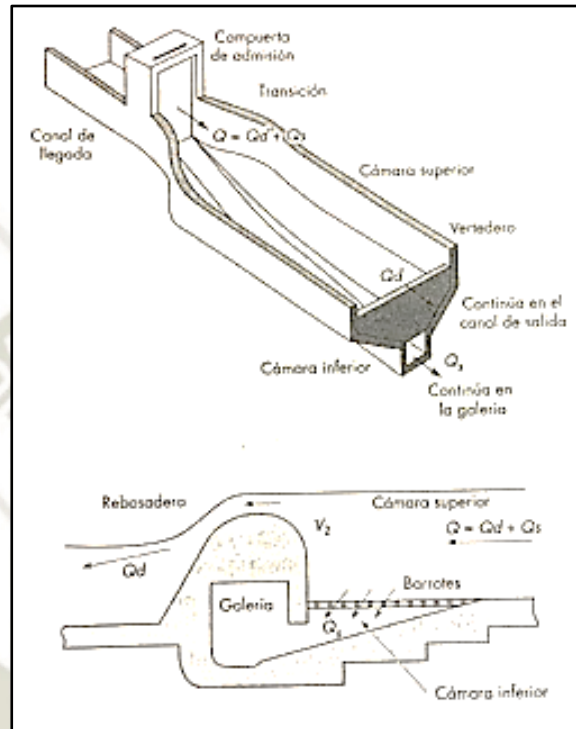
Figura 2.20. Desarenador de lavado intermitente



Fuente: (Ortiz, 2001)

Por su lado, el segundo elimina las partículas de forma continua y para ello necesita que su caudal disponible sea mayor que el caudal de diseño (Ortiz, 2001).

Figura 2.21. Desarenador de lavado continuo



Fuente: (Ortiz, 2001)

De acuerdo con Ortiz (2001), el fondo de la cámara se cubre con diferentes sedimentos, lo cual conlleva a que se cree una superficie rugosa que origina turbulencias y un empuje ascensional, este último está dado por:

$$W = 0.152V_s$$

Dónde:

V_s : velocidad vertical de sedimentación.

Siguiendo a Novillo (1998), el tiempo que demora la partícula en recorrer toda la longitud de la cámara hasta el fondo está designado por:

$$t_d = \frac{L}{V_d}$$

Dónde:

t_d : Tiempo de desplazamiento.

L : Longitud efectiva del desarenador.

V_d : Velocidad horizontal de corriente en el desarenador.

La velocidad horizontal en la cámara debe ser entre 0.1 m/s y 0.4 m/ y tener una profundidad entre 1,5 m y 4m (Novillo, 1998).

Por otro lado, el tiempo de sedimentación es el tiempo que demora la partícula en llegar al fondo y está dada por:

$$t_d = \frac{h}{V_s}$$

Dónde:

h : Altura de la cámara.

V_s : Velocidad efectiva de sedimentación.

$$V_s = V_c - W$$

Igualando las ecuaciones de sedimentación y decantación, se obtiene la longitud mínima del desarenador, de esta manera:

$$L = \frac{V_d * h}{V_s}$$

Para los desarenadores de lavado continuo se tienen velocidades diferentes tanto en la entrada como en la salida por el hecho de tener una diferencia de caudales; el empuje ascensional dinámico está dado por:

$$W = \frac{Q_s}{B_{med} * L}$$

Dónde:

Q_s : Caudal de lavado continuo.

L : Longitud de la cámara.

B_{med} : Ancho medio del desarenador.

La sedimentación de las partículas en el desarenador es más rápida y su longitud esta da por:

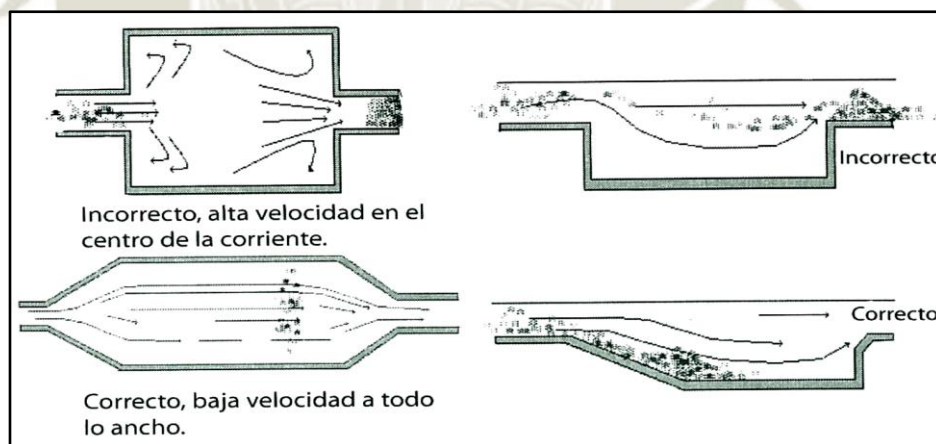
$$L = \frac{h}{V_s * W} * \frac{V_1 + V_2}{2}$$

Mientras que el ancho de acuerdo al caudal de diseño está dado por:

$$B = \frac{Q}{V_d * h}$$

Es prioritario asegurar una distribución uniforme de velocidades en las secciones transversales y longitudinales dentro de la cámara de sedimentación, como se muestra en la Figura 2,21. Se logra una transición de entrada que une el canal con el desarenador, esta puede encontrarse al final uniendo el desarenador con el canal, esto si se dispone de un aliviadero. En la transición debe tener un ángulo de divergencia suave entre 12° y 30°, y si es factible, las paredes curvas tangentes en todo punto a la dirección del agua (Ortiz, 2001).

Figura 2.22. Diseño de transiciones de un desarenador



Fuente: (Ortiz, 2001)

2.5.4. Cámara de carga

La cámara de carga es un tanque con capacidad suficiente para garantizar la partida o paradas bruscas de la turbina, está conectada por medio de una

transición, de la cual el agua pasa a la tubería de presión a través de una rejilla que evita la entrada de elementos sólidos flotantes.

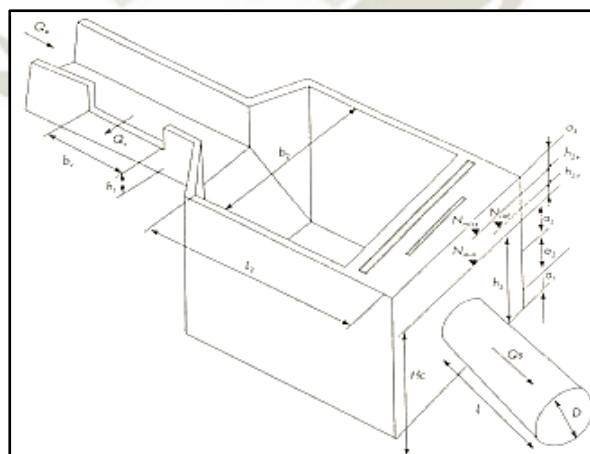
Los excesos de agua en la cámara se vierten a través de un aliviadero ubicado en unas de las paredes.

La cámara de carga cumple las siguientes funciones según Ortiz (2001):

- Crear un volumen de reserva de agua que satisfaga las necesidades de la turbina en caso de paradas y partidas bruscas.
- Impide el ingreso de sedimentos a la turbina.
- Dispone un volumen de agua que le permite amortiguar el golpe de ariete originado por las paradas bruscas.

Las variaciones de la demanda de energía eléctrica en una minicentral hidroeléctrica obligan a una regulación del caudal que pasa por una turbina, la cual crea ondas de oscilación en la tubería de presión que deben ser amortiguadas en la cámara de carga. Estas ondas de oscilación son mayores en el momento de arranque de la turbina o en su parada total por rechazo de la energía. (Ortiz, 2001).

Figura 2.23. Cámara de carga



Fuente: (Ortiz, 2001)

Para el diseño se debe fijar un valor de altura que evite el ingreso de sedimentos a la tubería de presión, eso está dado por Ortiz (2001):

Se considera la medida del diámetro equivalente a la altura de la tubería de presión.

$$a_2=D$$

Dónde:

D: Diámetro de la tubería de presión.(mm)

Por posibles torbellinos que generan cavitación se debe dejar un nivel mínimo de 0.3 m.

$$0.5*D < a_3 < 1.5*D$$

Por el posible golpe de ariete es que se debe también considerar un nivel de agua en el tanque de presión (Ortiz, 2001).

$$a_{4min}=0.30m$$

A partir de Ortiz (2001), la velocidad media de la cámara se establece en los siguientes rangos:

$$V_2=0.6\sim 1.0 \text{ (m/s)}$$

Determinamos el ancho del tanque:

$$b_2 = \frac{Q}{V_2 * h_2} \text{ (m)}$$

Dónde:

Q: Caudal de diseño (m³/s).

Por su parte, la altura de volumen necesaria en el tanque para el arranque es:

$$h_{2d} = \frac{Q}{7 * b_2 * \sqrt{h_2}}$$

Asimismo, para obtener el largo de la cámara se relacionan el caudal, las alturas y el diámetro (Ortiz, 2001).

$$L_2 = 0.304 * Q * L * \frac{\sqrt{h_2}}{H_c * D^2}$$

H_c: Altura total de (m).

2.6. Tubería forzada

La tubería forzada debe ser casi recta, aunque en algunas ocasiones es difícil debido a las condiciones del terreno. Este obliga ajustarse al perfil topográfico de su trazado, con el apoyo de estructuras de concreto que ayudan a sostenerse (apoyos) y a variar de pendientes (anclajes) (Ortiz, 2001). Cabe decir que la tubería de presión consta de los siguientes componentes de acuerdo a Ortiz (2001):

- Toma de agua que está acompañada de una rejilla.
- Los codos para variación de pendiente.
- Las juntas de unión.
- Las juntas de expansión que están ubicadas entre anclajes, las cuales asimilan la contracción del material por variación de temperatura.
- Bifurcaciones que permiten dividir el caudal para varias unidades.
- Válvulas independientes a la tubería de presión ubicadas entre el final de la tubería y la turbina.

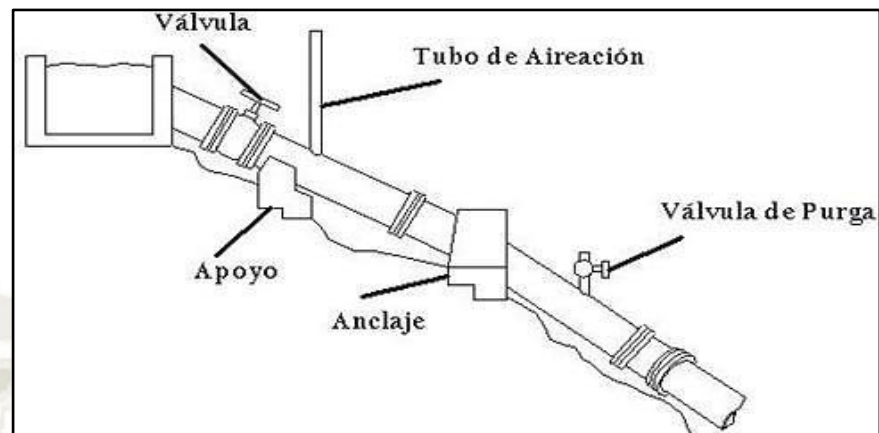
De lo propuesto por Ortiz (2001) se deduce que para elegir el material que se emplea en un proyecto tienen que ser considerados los siguientes factores:

- Presión de diseño.
- Tipo de unión.
- Diámetro y pérdida por fricción.
- Peso y grado de dificultad de la instalación.
- Accesibilidad al sitio.
- Terreno y tipo de suelo.
- Mantenimiento y vida esperada de la instalación.

Materiales utilizados en la tubería de presión son según Ortiz (2001):

- Acero comercial.
- Policloruro de vinilo (PVC).
- Polietileno de alta densidad.
- Hierro dúctil centrifugado.

Figura 2.24. Tubería forzada

Fuente: (Coz *et al.*, 1995)

Para que los costos de mantenimiento sean bajos hay que colocar los soportes y anclajes de la tubería en pendientes estables y encontrar buenos cimientos. No deberá haber peligro de erosión por desprendimientos en las laderas, pero sí acceso seguro para hacer los trabajos de mantenimiento y reparación. (Ortiz, 2001)

2.6.1. Pautas para seleccionar una tubería de presión

1. Considerar las diferentes clases de materiales disponibles, como los tipos de uniones, comparar formas y costos de mantenimiento, considerar también los diámetros de la tubería y los espesores de pared disponibles.
2. Calcular la pérdida de altura por fricción del 4% al 10 % para una serie de materiales y diámetros.
3. Calcular la probable presión adicional por golpe de ariete en caso de un cierre brusco del paso de agua a la tubería, y sumarla a la presión estática. Calcular espesores de pared adecuados para los tamaños de tubería que se prefieran tabular.
4. Diseñar los soportes, anclajes y uniones para la tubería de presión.
5. Preparar una tabla de opciones calculando el costo total de cada una y ver si los componentes están disponibles en el mercado.
6. La selección del diámetro se hará tratando de obtener el menor costo y las menores pérdidas de energía (Coz *et al.*, 1995, p. 75).

2.6.2. Pérdidas de presión en la tubería

Las pérdidas de carga o altura son generadas por fricción de los componentes de la a tubería, las pérdidas por fricción representan aproximadamente el 90 % por efecto de la longitud de la tubería y aproximadamente un 10 % por la caída bruta. (Ortiz, 2001)

La pérdida de la tubería forzada está definida por:

$$\text{Pérdida de la tubería} = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

Dónde:

f: Coeficiente de Darcy adimensional.

D: Diámetro de la tubería (mm).

L: Longitud de la tubería.(m)

v: Velocidad en la tubería (m/s).

El coeficiente de Darcy se calcula por:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{k}{3,71D} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}}\right)$$

Dónde:

Re: Numero de Reynolds adimensional.

k: Rugosidad absoluta en la tubería (m).

El número de Reynolds se determina mediante la ecuación:

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

Dónde:

V: Velocidad de flujo del agua en tubería (m/s).

ν : Viscosidad cinemática (m²/s).

2.6.3. Pérdidas en la rejilla

$$h_r = \xi_R \frac{V^2}{2g} \text{ (m)}$$

Dónde:

ξ_R : Coeficiente de pérdidas.

V: Velocidad del agua a la entrada de la rejilla (m/s).

Figura 2.25. Pérdidas por fricción en la rejilla



Fuente: (Ortiz, 2001)

2.6.4. Pérdidas de entrada






$$h_E = \xi_E \frac{V^2}{2g} \text{ (m)}$$

Dónde:

ξ_E : Coeficiente de pérdidas dependiendo de la forma de entrada.

V: Velocidad en el tubo (m/s).

Figura 2.26. Coeficiente de pérdidas a la entrada de tubería

E_E	Tipo de entrada
1.0	
0.8	
0.5	
0.2	
0.04	

Fuente: (Ortiz, 2001)

2.6.5. Pérdidas en codos

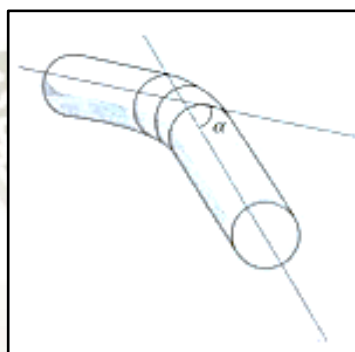
$$h_k = \xi_k \frac{V^2}{2g} \text{ (m)}$$

Dónde:

ξ_k : Coeficiente de pérdidas depende del ángulo de codo que se vaya a utilizar.

V: Velocidad en el tubo (m/s).

Figura 2.27. Ángulo en el codo



Fuente: (Ortiz, 2001)

Tabla 2.5. Coeficiente de pérdidas para codos de tubos circulares

α°	10	15	22.5	30	45	60	90
ξ_k	0.044	0.062	0.154	0.165	0.320	0.684	1.265

Fuente: (Ortiz, 2001)

2.6.6. Pérdidas por fricción en el tubo

$$h_{fricc} = \lambda \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} \text{ (m)}$$

Dónde:

λ : Coeficiente de pérdidas.

L: Longitud de la tubería.(m)

D: Diámetro interno de la tubería.(mm)

V: Velocidad dentro del tubo (m/s).

El coeficiente de pérdida es equivalente a:

$$\lambda = 0.01 * \left(\frac{K}{D}\right)^{0.134}$$

Aquí, la constante K es determinada en función del material.

Tabla 2.6. Valores de K para el coeficiente de pérdidas

Materia del tubo	K
Tubo de acero.	1.15
Tubo de hierro fundido.	2.50
Tubo de acero corroído en operación.	5.00
Tubo plástico.	0.50

Fuente: (Ortiz, 2001)

2.6.7. Pérdidas en la válvula

$$h_v = \xi_v \frac{v^2}{2g} \text{ (m)}$$

Dónde:

ξ_v : Coeficiente de pérdidas dependiendo del tipo de válvula.

V: Velocidad en el tubo (m/s).

Tabla 2.7. Valores usuales de coeficiente de válvula

Válvula	ξ_v
Válvula mariposa.	0.2 – 0.4
Válvula esférica.	0.1
Válvula anular.	1.2 – 2.5

Fuente: (Ortiz, 2001)

2.6.8. Pérdidas por bifurcación

Estas pérdidas se dan cuando la tubería se divide para alimentar de dos a más turbinas paralelas, o cuando una turbina Pelton tiene varias toberas (Ortiz, 2001). La ecuación respectiva es la siguiente:

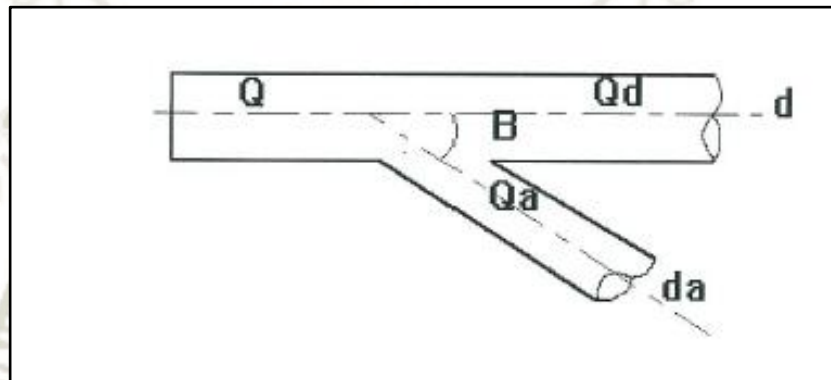
$$h_{ram} = \xi_{ram} \frac{V^2}{2g} \text{ (m)}$$

Dónde:

ξ_{ram} : Coeficiente de pérdidas dependiendo de la velocidad de las corrientes parciales, diámetros y ángulo del ramal.

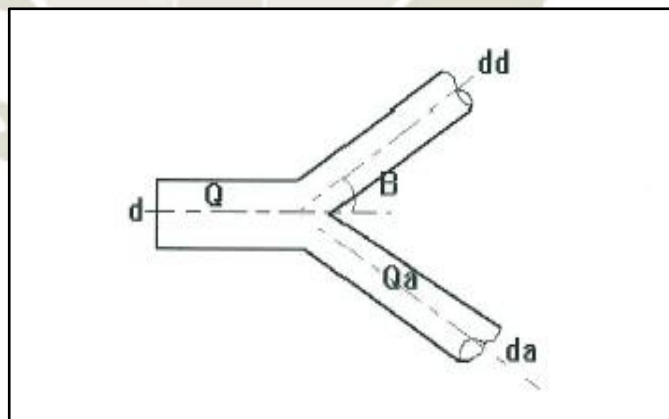
V: Velocidad el agua dentro de tubo antes de su bifurcación (m/s).

Figura 2.28. Tubo en Y asimétrico



Fuente: (Ortiz, 2001)

Figura 2.29. Tubo en Y simétrico



Fuente: (Ortiz, 2001)

Tabla 2.8. Coeficiente para bifurcaciones de tubos circulares de diámetros iguales

Ángulo de desviación β	90°		45°	
	$\xi_{ram\ a}$	$\xi_{ram\ d}$	$\xi_{ram\ a}$	$\xi_{ram\ d}$
$Q_a/Q=0$	0.95	0.04	0.90	0.04
0.2	0.88	0.08	0.68	0.06
0.4	0.89	0.05	0.50	0.04
0.6	0.95	0.07	0.38	0.07
0.8	1.10	0.21	0.35	0.20
1.0	1.28	0.35	0.48	0.33

Fuente: (Ortiz, 2001)

Tabla 2.9. Coeficiente para tubos en Y simétricos con $\beta=45^\circ$ y diferente admisión

da/d	1.0		0.707	
	$\xi_{ram'}$	ξ_{ram}	$\xi_{ram'}$	ξ_{ram}
Qa/Q				
0.5	0.55	2.20	0.75	0.75
1.0	0.50	0.50	1.35	0.34

Fuente: (Ortiz, 2001)

Se debe considerar que ξ_{ram} se refiere a la velocidad del agua en tubo ramal y $\xi_{ram'}$ a la velocidad delante del tubo ramal (Ortiz, 2001).

2.6.9. Espesor de la tubería

El espesor de la tubería se determina con base en el golpe de ariete, es una oscilación que se originó al rechazar el agua en la tubería ya sea por la turbina o por el cierre de la válvula. Al cierre la energía cinética del agua, esto se convierte en presión ocasionando que el líquido se comprima y la tubería se expanda, este fenómeno se da a lo largo de la tubería conforme se van comprimiendo las secciones del agua en ella.

Eventualmente, el golpe de ariete puede destruir la tubería y a este caso se le conoce como golpe de ariete positivo, mientras que el golpe de ariete negativo inicia con una apertura de la válvula de la turbina, creando succión en la tubería y luego la sobrepresión (Ortiz, 2001). Así:

$$h_s = 0.3H_B$$

Dónde:

H_b : Salto bruto (m).

H_s : Sobrepresión por golpe de ariete.

Así, se halla la sobrepresión con la siguiente fórmula de acuerdo a Ortiz (2001):

$$h_s = \frac{2 * L * V}{gt}$$

El tiempo que demora la onda de presión desde la turbina a la cámara de carga es:

$$t = \frac{2 * L}{V_s}$$

En ese sentido, la velocidad de onda de expansión V_s :

$$V_s = \frac{1,425}{\sqrt{1 + \frac{E_0}{E_e}}}$$

Dónde:

E_0 : Elasticidad del agua (2×10^3 MPa).

E : Elasticidad de la turbina.

e : Espesor de la turbina.

El cierre o apertura se hace en un tiempo mayor al tiempo de oscilación para no comprometer la estructura (Ortiz, 2001).

Entonces, según Ortiz (2001) se calcula el espesor de la tubería después de obtener la sobrepresión, de la siguiente manera:

$$e = \frac{(H + h_s)d}{2\delta_t K_f} + e_s$$

Dónde:

δ_t : Tensión de tracción del material en kg/cm^2

K_f : Eficiencia de uniones (0.8-1.0).

e_s : Espesor adicional (3mm).

2.6.10. Materiales de la tubería de presión

Para decidir el material a utilizar en la tubería se tienen que tener en cuenta algunos parámetros, como los que se han de mencionar a continuación:

- Presión de diseño.
- Pérdidas por fricción.
- Tipo de suelo.
- Condiciones climáticas, etc.

Por otra parte, es conveniente mencionar los materiales más utilizados en la tubería, estos son:

- Acero comercial: es el material más usado para las tuberías de presión, estas tuberías son de fácil fabricación ya que no necesitan de maquinarias especializadas para hacerlas, se fabrican con planchas de acero roladas y soldadas, son unidas mediante una soldadura o ya sean las bridas. Algunas tuberías de este material que son enterradas corren el riesgo de corroerse (Ortiz, 2011).
- Tubería de Policloruro de vinilo (PVC): Es el material más usado ya que su costo no es tan elevado en comparación con otros, es un material de fácil transporte, liviano y de fácil instalación, pero este material al ser frágil puede dañarse muy fácilmente por los golpes de piedras u otro tipo de material en especial a bajas temperaturas. Debe estar protegida de la luz solar ya que se acelera su deterioro, ya sea enterrándola, pintarla o cubrirla con algún tipo de vegetación (Ortiz, 2011).

- Hierro dúctil: este tipo de tubería están revestidas en el interior con cemento, lo que hace que sea muy difícil de corroerse y que tenga una baja pérdida por fricción. Su instalación es difícil ya que es muy pesado y esto hace que su costo sea más elevado (Ortiz, 2011).
- Cemento reforzado con asbesto: este tipo de tubería es muy frágil ya que con un golpe podría quebrarse, y están hechas para trabajar a una presión controlada y moderada. Este tipo de material en su fabricación genera mucho polvo lo que sería perjudicial para la salud así como para el medio ambiente (Ortiz, 2011).
- Polietileno de alta densidad: son sumamente útiles para centrales pequeñas ya que es de fácil instalación, lo que a su vez es su principal desventaja ya que se necesita de un equipo especial para calentarla y unirla a presión, son resistentes a la luz solar y a la corrosión (Ortiz, 2011).

2.7. Accesorios

2.7.1. Válvulas

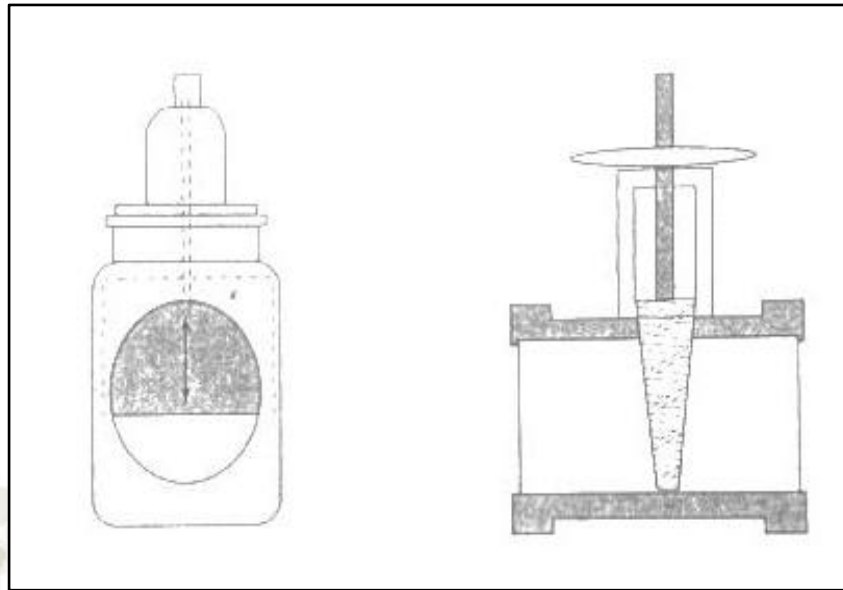
Las válvulas se usan para controlar el cierre de caudal a través de la turbina y para operaciones de reparación; en las minicentrales hidroeléctricas se utilizan básicamente las siguientes válvulas para la apertura y cierre del agua.

Antes de eso, es menester decir que por lo general las válvulas están instaladas inmediatamente antes de la turbina, pero en ciertos casos se encuentran en la entrada de la tubería (Ortiz, 2001).

2.7.1.1. Válvula de compuerta

Consiste básicamente en un disco metálico que sube y baja y está ubicado en la válvula, esta no debe ser utilizada como medio de regulación ya que su trabajo es específicamente de apertura y cierre; estas válvulas son las más usadas (Ortiz, 2001).

Figura 2.30. Válvula tipo compuerta

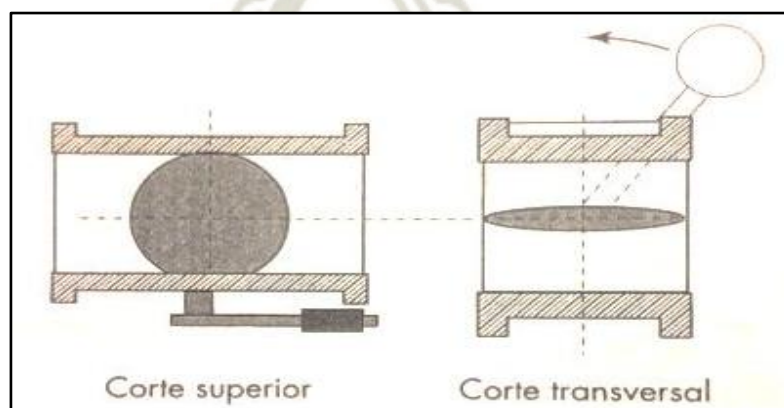


Fuente: (Ortiz, 2001)

2.7.1.2. Válvula mariposa

Se trata de una extensión de la tubería dentro de la cual se coloca un disco en forma de lenteja montada en un eje central, por su diseño requiere menor esfuerzo para ser maniobrada, la principal desventaja de que su cierre no sea completamente estacionario y de que si se opera muy rápido pueda causar cavitación y golpe de ariete (Ortiz, 2001).

Figura 2.31. Válvula tipo mariposa

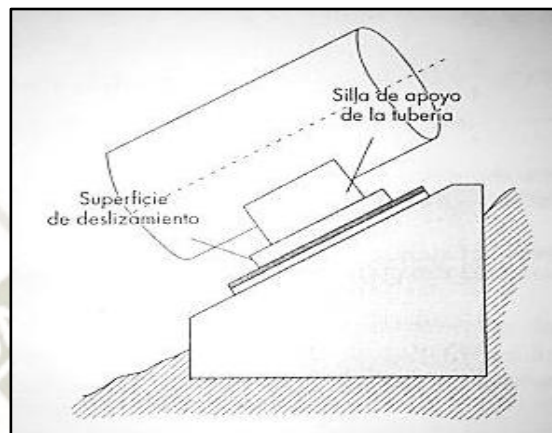


Fuente: (Ortiz, 2001)

2.8. Soportes

Su principal función es evitar el movimiento de la tubería y deformaciones debido al agua que contiene.

Figura 2.32. Apoyos



Fuente: (Ortiz, 2001)

La fuerza transmitida al soporte, peso (F_1) y una tangencial por la fricción (F_2):

$$F_1 = (W_t + W_a)L\cos(\alpha)$$

Dónde:

W_t : Peso de tubo por unidad de longitud.

W_a : Peso del agua contenida en el tubo.

α : Ángulo de inclinación de la tubería.

L : Longitud entre apoyos.

$$F_2 = f(W_t + W_a)L\cos(\alpha)$$

De acuerdo con Inversin (1986) la función de los anclajes es envolver la tubería, por lo que su condición es más compleja; estos tienen las siguientes fuerzas:

Componentes perpendiculares:

$$F_1 = (W_t + W_a)L\cos(\alpha)$$

Fricción entre la tubería y el anclaje:

$$F_2 = f(W_t + W_a)L\cos(\alpha)$$

Peso del anclaje:

$$W_b = Vol_b\rho_b g$$

Dónde:

Vol_b: Volumen de bloque.

P_b: Densidad de bloque.

Para que el bloque no se hunda, la presión de su base debe ser menor a la capacidad de carga del suelo y los soportes y anclajes deben cumplir ciertas condiciones que eviten que se deslicen o vuelquen en el suelo (Inversin, 1986).

$$P_{base} = \frac{\sum F_v}{A_{base}} \left(1 + \frac{6 * e}{L_{base}}\right)$$

Dónde:

F_v: Fuerzas verticales.

A_{base}: Área de base del bloque.

e: Excentricidad de la resultante de las fuerzas verticales.

L_{base}: Longitud de base de bloque.

Tabla 2.10. *Espaciamiento entre apoyos para tuberías de acero comercial*

Espesor	Diámetro (mm)				
	100	200	300	400	500
2 mm	2	2	2.5	3	3
4 mm	3	3	3	4	4
6 mm	4	4.5	5	6	6

Fuente: (Harvey, 1998)

2.9. Casa de máquinas

Con estas palabras se hace referencia a una construcción civil que alberga la mayor parte de equipos de conversión de energía hidráulica a mecánica y finalmente a eléctrica.

Su ubicación es prioritaria para el adecuado funcionamiento de la minicentral y se decide según los siguientes parámetros:

- Debe estar cerca al afluente al cual se le entregara el agua.
- Debe estar ubicada en un terreno estable.
- Debe existir un fácil acceso para instalación de equipos y mantenimiento.

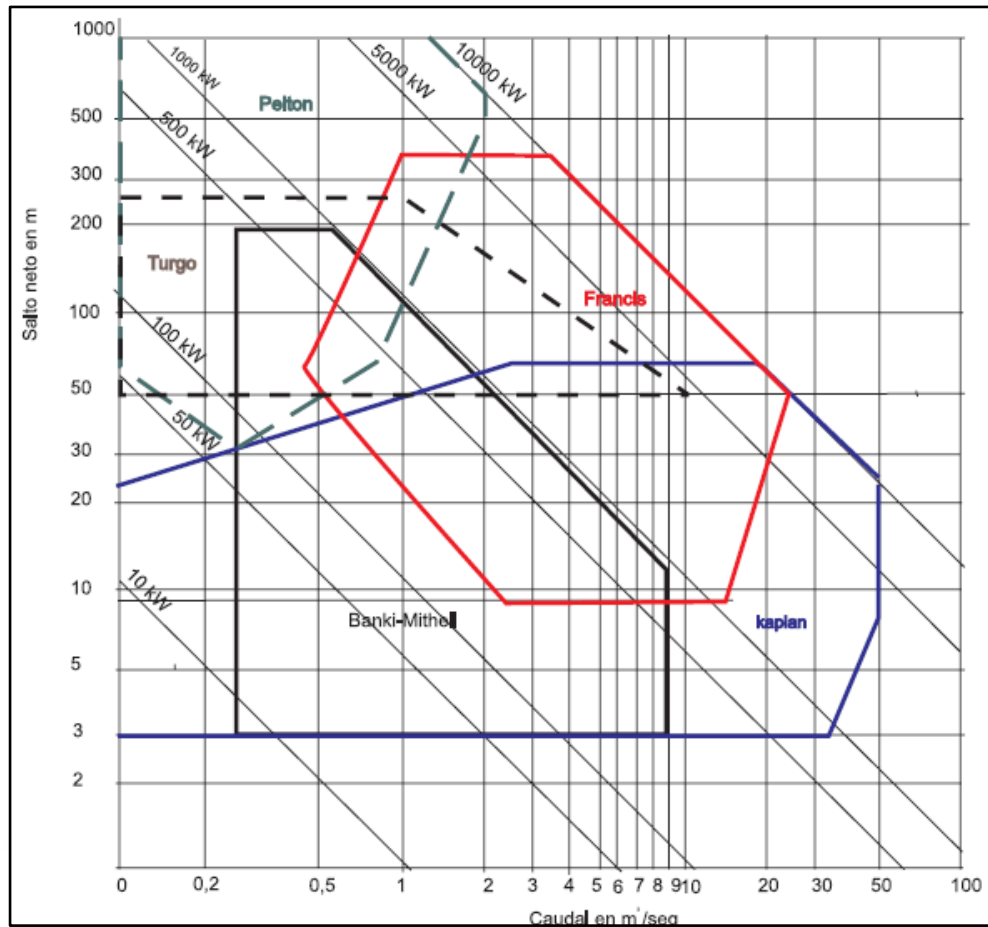
Además, a pequeña escala se usan sistemas de generación de eje horizontal. (Ortiz, 2001)

2.9.1. Turbinas

Las turbinas hidráulicas son los equipos encargados de convertir la energía hidráulica en energía mecánica, que es transferida mediante un eje al generador; para la selección de la turbina se debe tener en cuenta su rendimiento, influenciado este por el caudal y el salto con el que se cuenta en la minicentral (Ortiz, 2001).

Las turbinas hidráulicas según su caudal y altura se pueden usar específicamente en el proyecto, partiendo de estas premisas se procede a la selección de la turbina que mejor se adecue a la minicentral, utilizando el diagrama de la Figura siguiente que muestra las diversas turbinas más usadas.

Figura 2.33. Gráfica para la selección de las turbinas hidráulicas



Fuente: (Comisión Europea, 1998)

Como se muestra en la Figura 2.33 y basados en los datos obtenidos de este estudio, se optó por usar la turbina Pelton ya que puede ser utilizada en saltos de gran altura con caudales pequeños. Para la correcta selección del tipo de turbina se requiere hallar la velocidad específica del equipo que está definida por:

$$N_q = N \left(\frac{Q_d^{1/2}}{H_n^{3/4}} \right)$$

Dónde:

N: Velocidad de giro en (RPM).

Q_d: Caudal de diseño (m³/s).

H_n: Caída neta en (m).

Tabla 2.11. Rango de velocidades específicas de las turbinas hidráulicas

Tipo de turbina	Velocidad específica
Pelton	12-30
Michell-Banki	20-80
Francis	80-400
Kaplan	340-1000

Fuente: (Ortiz, 2001)

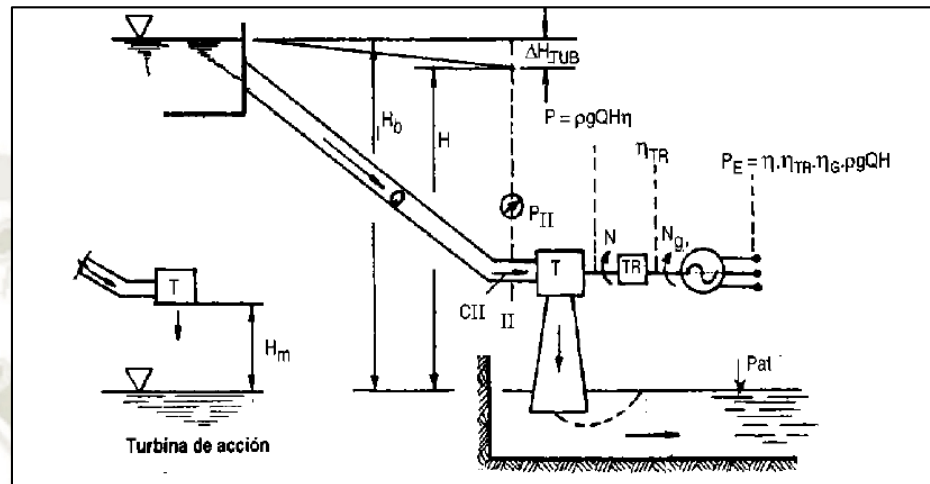
Figura 2.34. Características principales de turbinas hidráulicas

TURBINA	Inventor y año de patente	N_s (rpm, HP, m) rpm	Q m^3/seg	H m	P KW	$\eta_{m\acute{a}x}$ %	
A C C I O N	PELTON	Lester Pelton (EE.UU) 1880	1 Ch: 30 2 Ch: 30 - 50 3 Ch: 30 - 50 4 Ch: 50 - 70	0.05 - 50	30 - 1800	2 - 300000	91
	TURGO	Eric Crewdson (G. Bretaña) 1920	60 - 260	0.025 - 10	15 - 300	5 - 800	85
	MICHELL-BANKI	A. G. Michel (Australia) 1903 D. Banki (Hung) 1689	40 - 160	0.025 - 5	1 - 50 (200)	1 - 750	82
R E A C C I O N	Bomba Rotodinámica	Dionisio Papin (Francia) 1689	31 - 170	0.05 - 0.25	10 - 250	5 - 500	80
	FRANCIS	James Francis (G. Bretaña) 1848	L: 60 - 150 N: 150 - 250 R: 250 - 400	1 - 500	2 - 750	2 - 750000	92
	DERIAZ	P. Deriaz (Suiza) 1956	60 - 400	500	30 - 130	100000	92
	KAPLAN y de HELICE	V. Kaplan (Austria) 1912	300 - 800	1000	5 - 80	2 - 200000	93
	AXIALES: * Tubular * Bulbo * Generador periférico	Kuhne - 1930 Hugein - 1933 Harza - 1919	300 - 800	600	5 - 30	100000	93

Fuente: (Coz et al., 1995)

También es posible obtener la potencia generada de la fórmula detallada a continuación:

Figura 2.35. Gráfica para la selección de las turbinas



Fuente: (Coz *et al.*, 1995)

$$P_E = P * \eta_{TR} * \eta_G$$

$$P = \frac{\rho * g * Q * H_\eta}{K} = \frac{H_\eta * Q}{102} = \frac{P_E}{\eta_{TR} * \eta_G}$$

$$\eta_{GR} = \eta * \eta_{TR} * \eta_G$$

Dónde:

P_E : Potencia eléctrica en los bornes del generador, (KW).

P : Potencia al eje de la turbina, (KW).

η_{TR} : Eficiencia de la transmisión, adimensional.

η_G : Eficiencia del generador, adimensional.

Q : Caudal de la turbina, (m^3/s)

H : Salto neto, (m)

ρ : Densidad del agua, $1000(kg/m^3)$

η : Eficiencia de la turbina, adimensional.

η_{GR} : Eficiencia del grupo de generación, adimensional.

K : Constante, $K = 1000 W/KW$

g : Gravedad.

Para la determinación del salto neto, se sigue el Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas, (1995). Así:

- Para las turbinas de reacción:

$$H = H_b - \Delta H_T$$

- Para las turbinas de acción:

$$H = H_b - \Delta H_T - H_m$$

Dónde:

H_b : Salto neto en (m).

ΔH_T : Altura de pérdidas en la tubería de presión (m).

H_m : Altura de montaje de la turbina en (m).

2.9.2. Clasificación de las turbinas hidráulicas

2.9.2.1. Turbinas de reacción

Este tipo de turbinas cuentan con un diseño de rotor que permite obtener beneficios de la presión que le queda al agua en su entrada, esto hace que esta misma al salir del rotor tenga una presión menor que la atmosférica. Un dato significativo es que las turbinas de reacción más comerciales son la Kaplan y la Francis.

2.9.2.1.1. Turbina Kaplan

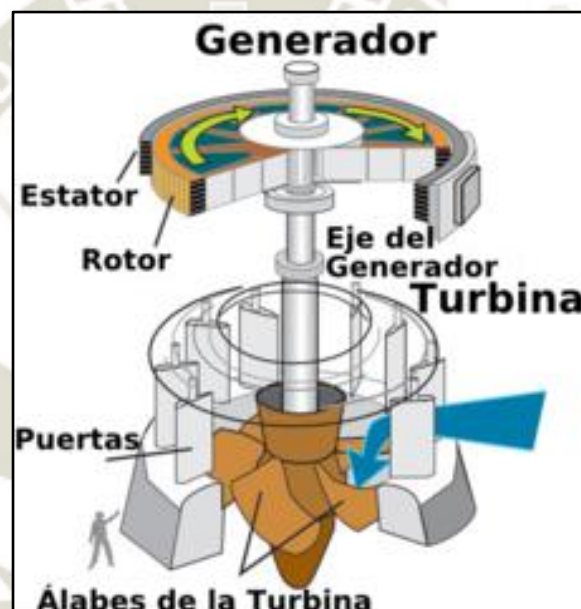
Esta turbina fue desarrollada por Víctor Kaplan (Austria 1876 - 1934) en la Universidad de Burno (Checoslovaquia) y fue patentada en 1912.

La turbina Kaplan puede definirse como una turbina de flujo axial, de reacción y de admisión total. Las turbinas Kaplan es [sic] una variante de la turbina de Hélice con diferentes grados de regulación. Posee el rodete con pala ajustable que le proporciona la posibilidad de funcionar en un rango de mayor caudal (Vásquez, 2014, p. 11).

Esta turbina incorpora un distribuidor regulable que le da un mayor rango de funcionamiento con un mejor rendimiento a cambio con un mejor rendimiento [sic] y un costo más elevado, el rendimiento aproximado es del 90 %.

Este tipo de turbina se emplean generalmente para saltos pequeños y caudales variables o grandes, la implementación de esta turbina suele ser con eje vertical, en cámara abierta o cerrada, aunque a veces es preferible otro tipo de instalación (Morales, 2017, pp. 18-19).

Figura 2.36. Turbina Kaplan



Fuente: (Escalona, 2013)

2.9.2.1.2. Turbina Francis

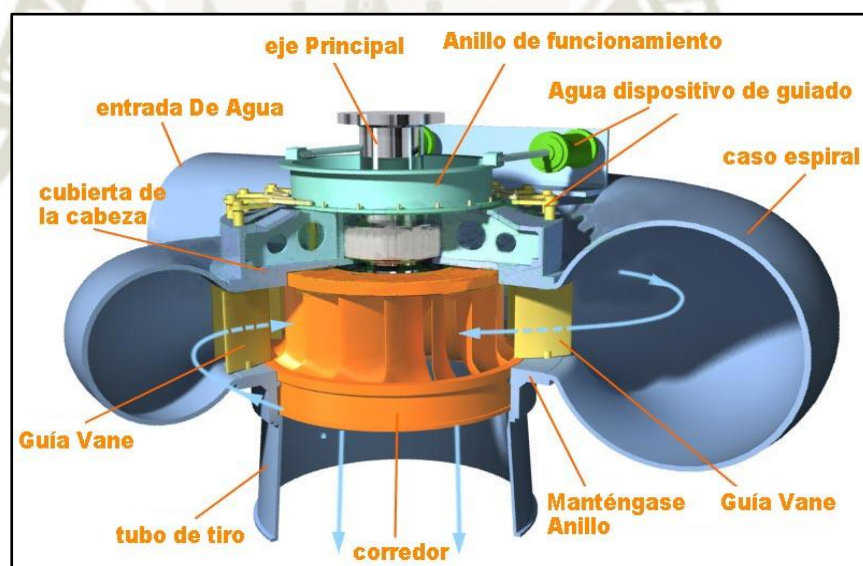
Esta turbina fue inventada en 1838 por Samuel Howd (EE.UU.); posteriormente fue perfeccionada por James B. Francis (Gran Bretaña, 1815 - 1892), hacia 1848, en los Estados Unidos.

La turbina Francis puede definirse como de reacción, de flujo mixto, centrípeto y de admisión total (Vásquez, 2014, p. 10).

Su rendimiento es superior al 90 % en condiciones ideales de trabajo también nos permite variaciones de caudales entre el 40 % y el 105 % y su caudal entre 60 % y 125 %. Sus elementos que lo componen son los siguientes:

- Distribuidor, cuenta con una serie de alabes de posesión variable y fijos que dirigen el agua hacia el rodete.
- El rodete está conformado por una serie de alabes fijas, con una disposición que puedan cambiar la dirección del agua de radial a axial.
- El tubo de aspiración puede ser de tipo acodado o recto, su función es la de mantener la diferencia de presiones para el correcto funcionamiento de la turbina (Morales, 2017, pp. 17-18).

Figura 2.37. Turbina Francis



Fuente: (Eternoo Machinery CO. LTD., s.f.)

2.9.2.2. Turbinas de acción

Son las que aprovechan únicamente la velocidad del flujo de agua para hacer girar la turbina, las turbinas de acción más conocidas son las Pelton, Turgo con inacción lateral y las Michell-Banki.

2.9.2.2.1. Turbina Pelton

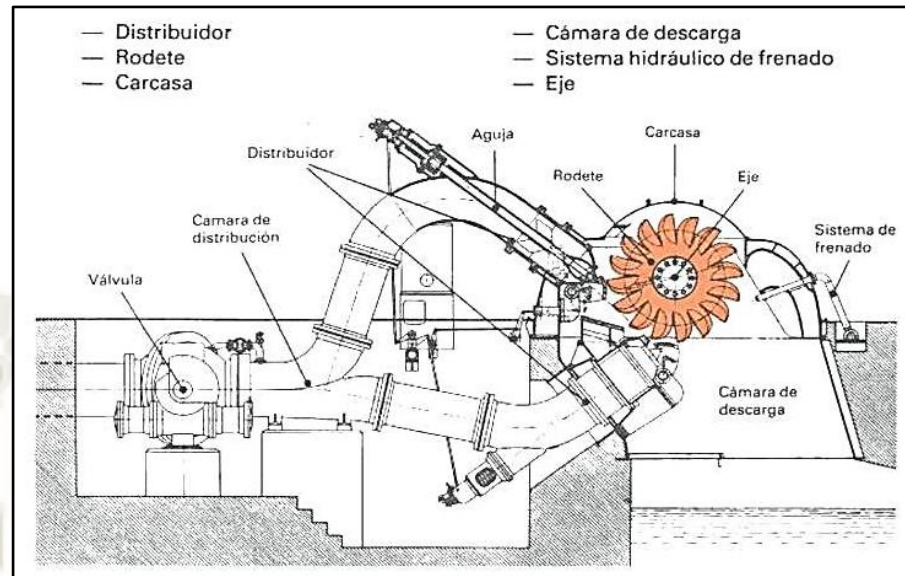
“La turbina Pelton fue inventada por Lester Allan Pelton. Esta turbina se define como turbina de acción, de flujo tangencial y de admisión parcial. Opera más eficientemente en condiciones de grandes saltos, bajos caudales y cargas parciales” (Vásquez, 2014, p. 16).

La potencia se regula a través de los inyectores que aumentan o disminuyen el caudal del agua, estos son los encargados de incrementar o disminuir el caudal del agua (Ortiz, 2001).

El proceso de flujo se realiza a presión atmosférica.

- Distribuidor.- Está constituido por un inyector o por varios inyectores, que pueden llegar a seis. Un inyector consta por lo general de una tobera de sección circular provista de una aguja de regulación que se mueve axialmente. En caso de que se requiera una acción rápida para dejar al rodete sin la acción del chorro, se adiciona una placa deflectora, de este modo la aguja se cierra en un tiempo más largo, reduciendo así los efectos del golpe de ariete.
- Rodete.- Es de admisión parcial, lo cual depende del número de chorros o de inyectores. Consta de un disco provisto de cucharas montadas en su periferia, las cucharas pueden estar unidas al disco mediante pernos, unidas por soldadura o fundidas en una sola pieza con el disco. La turbina Pelton puede instalarse con el eje horizontal con 1 o 2 inyectores, y con el eje vertical con 3 hasta 6 inyectores, este se emplea en pequeñas y grandes centrales (Vásquez, 2014, pp. 16-17).

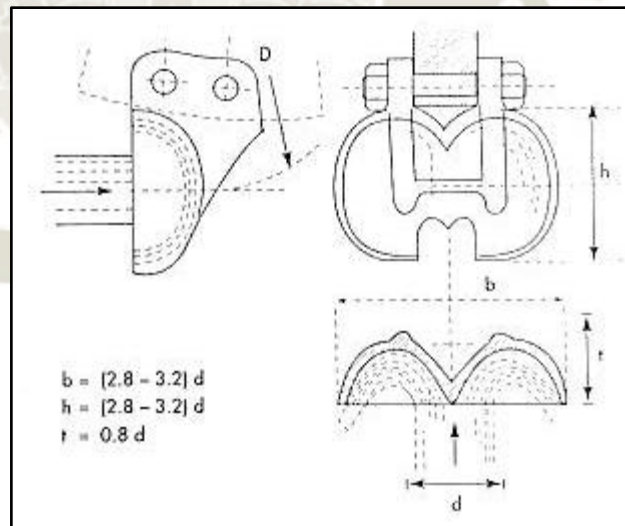
Figura 2.38. Turbina Pelton



Fuente: (Energías Eléctricas, s.f.)

- **Dimensionamiento preliminar de la turbina Pelton**

Figura 2.39. Dimensiones básicas de turbina Pelton



Fuente: (Ortiz, 2001)

- **Velocidad de chorro a la salida del inyector**

Por ser una turbina de acción y ya que todo el salto neto se convierte en energía cinética, la velocidad será:

$$C = \varphi * \sqrt{2 * g * H}$$

$$\phi = \sqrt{1 - \frac{\Delta H_i}{H}}$$

Dónde:

C: Velocidad está en (m/s).

ϕ : Coeficiente de velocidad, depende de las pérdidas del inyector.

ΔH_i : Oscila entre los valores de 0.95 y 0.99 (m).

- **Diámetro de chorro**

Este valor se obtiene por:

$$d = 0.55 \left(\frac{Q}{\sqrt{H}} \right)^{1/2}$$

Dónde:

d: Diámetro en (m).

Q: Caudal en (m³/s).

ϕ : Coeficiente de velocidad promedio de 0.97.

- **Diámetro Pelton**

Este es el diámetro correspondiente a la circunferencia media de las cucharas que es tangente a la línea media del chorro.

$$D = (37 \text{ a } 39) \frac{\sqrt{H}}{N}$$

Dónde:

D: Diámetro Pelton el (m).

N: Número de revoluciones en RPM.

η : Eficiencia promedio 0.88.

Relación D/d para un chorro:

D/d=7.0 para N_s=30

D/d=15.0 para N_s=15

- **Velocidad específica (Ortiz, 2001)**

$$N_s = 240 \left(\frac{d}{D} \right)$$

- **Número de cucharas. Diámetro Pelton (Ortiz, 2001)**

$$Z = \frac{1}{2} * (D + d) + (14 a 16)$$

- **Altura de montaje mínima. Diámetro Pelton (Ortiz, 2001)**

$$H_m = 10 * d * \left(\frac{H}{2000}\right)$$

Para el dimensionamiento de las cucharas, los valores bajos se emplean cuando su máxima eficiencia se da a cargas parciales y los valores superiores cuando se desea que su máxima eficiencia ocurra a plena carga como muestran los valores de la Figura anterior, Diámetro Pelton (Ortiz, 2001).

2.9.2.2.2. Turbina Michell-Banki

“Esta turbina fue inventada por A. G. Michell (Australia) y patentada en 1903. Posteriormente, entre 1917 y 1919, fue estudiada por DonatBanki (Hungría), en la Universidad de Budapest” (Vásquez, 2014, p. 21).

Dicha turbina consta de un inyector de sección rectangular provisto de un alabe longitudinal que se encarga de regular y orientar el caudal que ingresa a la turbina; tiene un campo de aplicación muy extenso ya que se pueden instalar con saltos comprendidos entre 1 y 200 metros con un rango de variación de caudales muy grandes.

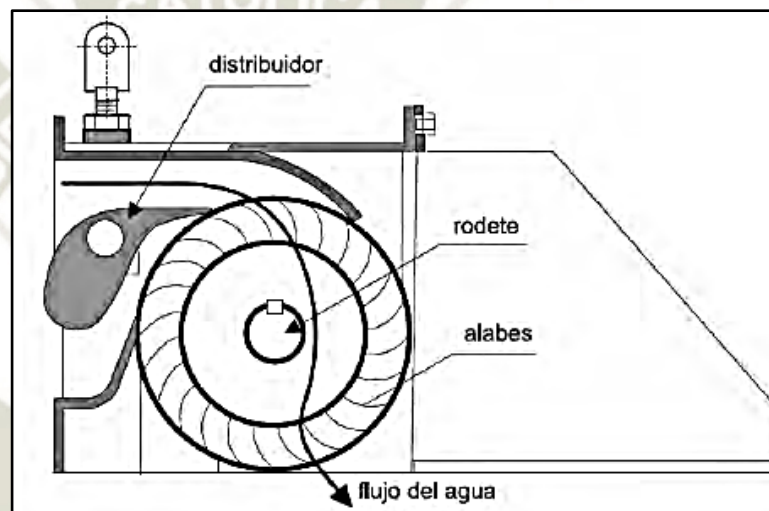
En general, la eficiencia es buena dentro de un amplio rango de caudal, aunque no muy alta si se la compara con las turbinas Pelton y Francis. Sin embargo, debido a su bajo costo y fácil construcción local, es una alternativa interesante para las pequeñas centrales (Ortiz. 2001).

- *Distribuidor* es una tobera de sección rectangular que abarca al rodete en cierto ángulo de admisión parcial.
- *Rodete* tiene forma de tambor o cilindro y está compuesta por un par de discos, entre los cuales se fijan periféricamente una cierta

cantidad de alabes de perfil circular y de simple curvatura, los alabes se fijan a los discos mediante un proceso de soldadura. Para grandes caudales y bajas alturas de instalación. Se construyen con discos intermedios.

La forma cilíndrica del rodete permite que la turbina pueda trabajar dentro de grandes rangos de variación de caudal con solo darle la longitud conveniente (Vásquez, 2014, pp. 20-21).

Figura 2.40. Turbina Michell-Banki



Fuente: (Comisión Europea, 1998)

2.9.3. Generadores eléctricos

Los generadores eléctricos se encargan de transformar la energía mecánica que proporciona la turbina en energía eléctrica, esto se da por las leyes de campo magnético.

La generación de energía eléctrica se puede realizar de dos formas, esto es, en corriente continua o corriente alterna, con la corriente continua se tiene la ventaja de usar equipos de poco valor económico que pueden ser almacenados en bancos de baterías, por su parte, la corriente alterna permite la transmisión de potencia con pocas pérdidas, de hecho, la mayoría de los equipos eléctricos funcionan con corriente alterna.

Por otro lado, los generadores de corriente continua se encuentran en capacidades por lo usual menores a 1kW y los de corriente alterna se encuentran en todo rango de potencia. Lo más usual es que la generación sea en corriente alterna para potencias mayores a los 5kW (Inversin, 1986).

Igualmente, la ley de inducción electromagnética o ley de Faraday establece que un campo magnético variable induce la tensión eléctrica en un circuito expuesto a él. Cualquier generador eléctrico de corriente alterna cuenta con un rotor, donde se produce la variabilidad del campo magnético y un estator, que consiste en un circuito embobinado.

El campo magnético del generador se produce mediante un circuito eléctrico o mediante los imanes permanentes en el rotor que hay en el estator, esto ocasiona un campo magnético constante, de esta manera, la variación del campo magnético se logra gracias al movimiento de rotación del eje del rotor del generador, que está unido al eje de rotores de la turbina (Ortiz, 2001).

2.9.3.1. Tipos de generadores eléctricos

- **Máquinas asíncronas**

En esta máquina el rotor gira con una velocidad diferente al campo magnético del estator, entonces, puede funcionar como generador de tensión o como motor; si la velocidad del rotor es mayor a la del campo magnético en el estator, esta funcionará como generador y su deslizamiento será negativo. Este generador tiene la ventaja de poder soportar sobre velocidades de hasta un 200 %, esto permite tener un buen control de la velocidad de la turbina; aun así, tiene una desventaja al requerir de una fuente de potencia reactiva externa para poder producir el campo magnético no solo al inicio sino también durante toda la operación (Ortiz, 2001).

- **Máquinas síncronas**

En este caso, el rotor gira a la misma velocidad que el campo magnético; estos son generadores mucho más grandes y complejos que los anteriores, lo que implica que su costo sea mucho más elevado y por lo tanto, estas máquinas son menos usadas.

El generador síncrono es la máquina de uso prioritario en las unidades de generación, este tiene el bobinado de campo excitado por corriente continua y la tensión desarrollada en la armadura es alterna, de ahí que también se denomina alternador (Ortiz, 2001).

Los generadores se pueden distinguir por el número de fases eléctricas ya sean monofásicas o trifásicas, en esa medida, la selección del generador que se vaya a utilizar dependerá de las cargas eléctricas que se vayan a alimentar. Cabe mencionar que las cargas trifásicas son típicas en las grandes industrias en vista de que estas usan componentes como el motor; contrario a eso, las cargas monofásicas son más restringidas para usos residenciales; por lo general, para rangos inferiores a 10kW, si el tipo de carga lo permite, se pueden utilizar generadores monofásicos por ser más económicos (Inversin, 1986).

Ahora bien, después de lo dicho se debe decir que el sistema trifásico es el más difundido por lo siguiente:

- Es el método más simple y económico para producir energía eléctrica; su transporte es más liviano (alternador 75 % de peso y conductor 87 % de peso del equivalente monofásico).
- Es el método más imple y económico de consumo de energía eléctrica (5 % de pérdidas en la conducción, dispositivos por lo menos 2 % más eficientes que el monofásico equivalente).
- Motor eléctrico más simple (no usan condensadores para el arranque), menos pesados, más eficientes que el monofásico equivalente y con amplia difusión comercial.

- La tensión eléctrica residencial es de 120 V y 240 V, esto lleva a que se requiera un generador de 240 V de tres hilos, con una fase de 60 Hz ya que es la frecuencia establecida en Perú.

Ahora bien, la velocidad de rotación del generador está establecida por:

$$N = \frac{120 * f}{p}$$

Dónde:

f: Frecuencia eléctrica.(Hz)

p: Número de polos del generador.

Por estar limitado el número de polos a números pares, las velocidades se restringen a 450, 900, 1200 y 600 RPM, esto ayuda a establecer la velocidad de rotación para la que se diseñó la turbina.

En definitiva, la potencia final generada es inferior al potencial eléctrico disponible, esto ocurre debido a los malos funcionamientos de la turbina, al sistema de transmisión y hasta por el mismo generador. Se tiene entonces:

$$P_e = g * \rho * H_n * \eta * Q_d$$

η : Factor global de eficiencia de la central.

Es importante señalar que la frecuencia es una condición muy importante en un sistema energético, ese que deben cumplir todos los generadores a una frecuencia de 50 o 60 Hz (Ortiz, 2011).

2.9.4. Sistema de protecciones eléctricas

Estas son utilizadas para evitar daños a los equipos que se hallen en la minicentral. La protección básica que se utiliza son los acoples eléctricos, como los interruptores por ejemplo, que son controlados tanto térmicamente como electromagnéticamente; son estos los que interrumpen el circuito de alimentación cuando hay un aumento de corriente excesiva, lo que se da por cortocircuito, por falla a tierra o por el exceso de carga del generador.

Respecto a ello, conviene anotar cuáles son las principales causas que ocasionan el accionamiento de los sistemas de protección, estas son las siguientes:

- Intensidad máxima.
- Retorno de potencia (máxima admitida es el 5 %).
- Calentamiento del generador.
- Derivación al estator.
- Emisión de gases en el transformador.
- Nivel de tensión (entre el 85 % y el 100 % de su tensión nominal).
- El nivel de frecuencia.

Ante el hecho de que los generadores pequeños puedan ser incapaces de proporcionar la corriente de falla durante el tiempo suficiente para accionar los interruptores antes de que el generador se dañe, la protección más eficaz sería el uso de relevadores para el sistema general y de interruptores para los circuitos ramales de consumo de energía (Inversin, 1986).

2.9.5. Regulación de la velocidad

Los sistemas de regulación de velocidad se encargan de controlar la velocidad de giro de acuerdo a las necesidades de carga del sistema y a la capacidad del recurso hídrico con el que se cuenta; las variaciones de los parámetros para la tensión eléctrica y la frecuencia están definidas por el requerimiento de los equipos que utilizan la energía, hay que decir que los parámetros de variabilidad para el requerimiento eléctrico son un 10 % en la tensión y un 0.5 % en la frecuencia.

Esto puede hacerse de manera manual o automática. En primer lugar, en la Regulación manual se adiciona la carga eléctrica y es necesario obtener básicamente un banco de resistencias al agua o al aire que permita aprovechar el calor generado para diferentes usos con el fin de realizar este control es vital estar pendientes de las variaciones de carga. En segundo lugar, la Regulación automática es la que se encarga de censar la frecuencia del generador y de acoplar o desacoplar la carga eléctrica de forma que la carga del sistema se

mantenga constante; la energía no consumida deriva a través de unas válvulas electrónicas a un sistema de disipación de energía y hace que haya una ineficiencia mayor en el sistema. (Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas, 1995)

2.10. Hidrología

Es necesario establecer un método de medición para determinar el caudal del río donde se vaya a ejecutar la minicentral; en tal sentido, existen diferentes tipos de medición que se detallan a continuación.

2.10.1. Método del recipiente

Para realizar este método, se debe ubicar en principio el tramo o sección donde se realizará la medición y luego se debe intentar desviar el río o canal formando una catarata; es así como este método consiste en medir el tiempo de llenado de un balde o cilindro con el agua del río o canal, para esto es necesario realizar varias medidas, en diferentes épocas del año (Ortiz, 2001).

$$Q = \frac{V_r}{T}$$

Dónde:

V_r : Volumen de recipiente.

t : Tiempo de llenado.(Seg)

Q : Caudal (m^3/s).

Figura 2.41. Medición del caudal por método del recipiente



Fuente: (Dávila, Vilar, Villanueva, & Quiroz, 2010)

2.10.2. Método del flotador

Es un método muy práctico, mayormente utilizado en partes rectas de la cuenca, que permite medir el caudal de forma puntual; específicamente, se basa en medir el tiempo de un recorrido de volumen de agua; lo anterior se puede conseguir de la siguiente forma:

En primer lugar, se elige un tramo de medida de sección que sea recta y homogénea, luego se procede a medir la longitud de dicho tramo, paralelo a ello, se mide la sección transversal del trecho, asimismo, se introduce en el punto a medir un flotador de botella o madera, que sea llenada a un equivalente de 1/3 de su volumen, esto con el propósito de tomar del cauce tanto las velocidades superficiales como las internas; finalmente, se introduce el flotador algunos metros antes del trecho que se seleccione y se procede a cronometrar el tiempo de desplazamiento entre dos puntos.

Dado que la velocidad no es homogénea en la sección transversal, para determinar una velocidad media conviene apoyarse en la siguiente Tabla, que muestra coeficientes de flotación para diferentes lechos en función de la relación entre la sección transversal y el perímetro (Ortiz, 2001).

Tabla 2.12. *Valores de velocidad media*

S/P	Madera lisa o cemento	Madera áspera o ladrillo	Pared de piedra	Tierra
0.1	0.860	0.840	0.748	0.565
0.2	0.865	0.858	0.792	0.645
0.3	0.870	0.865	0.812	0.685
0.4	0.875	0.868	0.822	0.712
0.5	0.880	0.870	0.830	0.730
0.6	0.885	0.871	0.835	0.745
0.7	0.890	0.872	0.837	0.755
0.8	0.892	0.873	0.839	0.763
0.9	0.895	0.874	0.842	0.771

Fuente: (Ortiz, 2001)

Dónde:

S: Sección transversal.

P: Perímetro de sección.

Por su parte, el caudal de aprovechamiento se obtiene de la siguiente fórmula.

$$Q = c * V * A$$

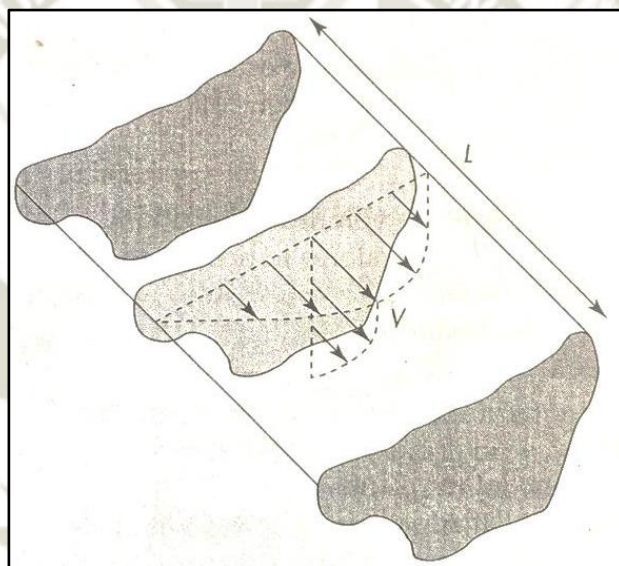
Dónde:

V: Velocidad en (m/s).

A: Área de la sección transversal (m²/s).

c: Coeficiente.

Figura 2.42. Gráfica de velocidades

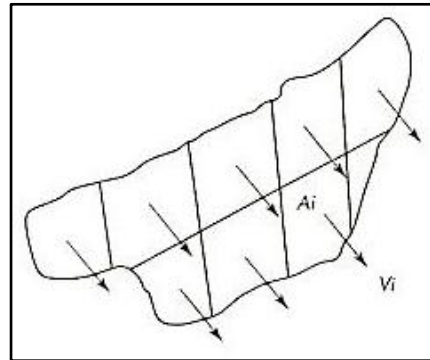


Fuente: (Ortiz, 2001)

2.10.3. Método con correntómetro

Este método requiere de un equipo especial llamado correntómetro con el cual se obtiene la velocidad del agua; para la determinación del caudal se divide la sección transversal del cauce en varias partes más pequeñas y en el centro de estas se toma la medida de velocidad con el correntómetro; es recomendable realizar varias medidas en diferentes puntos (Ortiz, 2001).

Figura 2.43. Vector velocidad en cada área



Fuente: (Ortiz, 2001)

Asimismo, se determina el caudal con la siguiente fórmula:

$$Q = \sum A_i * V_i$$

Dónde:

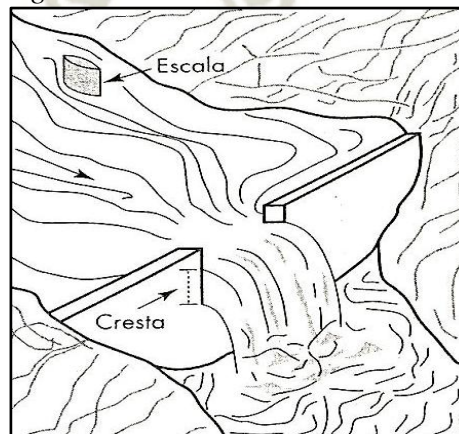
A_i : Área de cada sección.

V_i : Velocidad del área.

2.10.4. Método con vertedero

Existen vertederos de tipo rectangular, triangular y trapezoidal; este método permite dar una lectura periódica del caudal y es recomendable para el seguimiento de los caudales; se trata de construir una presa pequeña por la cual fluye el caudal; la magnitud es obtenida por la altura de la cresta, como se muestra a continuación según Ortiz (2001).

Figura 2.44. Vertedero de medida



Fuente: (Ortiz, 2001)

CAPÍTULO III

3. DIAGNÓSTICO SITUACIONAL DE LA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA DE LA RAYA

3.1. Diagnóstico de las obras civiles

En la actualidad, la minicentral hidroeléctrica cuenta con obras civiles inconclusas que se encuentran en estado de precariedad por la falta de mantenimiento y las inclemencias del tiempo, todas las obras civiles que tiene la minicentral requieren de trabajos de mantenimiento y recuperación. Cabe señalar que la función principal de las obras civiles de la minicentral es la de asegurar un caudal de agua óptimo, se encargan también de la conducción de agua por medio del canal, hasta la cámara de carga por donde ingresa a la tubería de fuerza para llegar finalmente a la turbina. Por otro lado, los componentes principales son: la bocatoma, el canal de derivación, el desarenador y la cámara de carga.

3.1.1. Bocatoma

El agua aprovechada para el abastecimiento de este proyecto es captada de los ríos Yanamayo y Vilcanota, el agua que proviene del río Vilcanota es atrapada en su mayoría mientras que en menor cantidad el agua del río Yanamayo. El proyecto no tiene la construcción de la bocatoma necesaria, puesto que esta cuenta con piedras que dan forma de una bocatoma artesanal; por ende, para el proyecto se propone la construcción de una bocatoma, pues puede ser una obra sencilla y de bajo presupuesto, esto servirá para garantizar un caudal necesario.

3.1.2. Canal de derivación

Una vez captada el agua, esta es llevada por un canal de derivación dado que aún no se cuenta con la bocatoma. Actualmente, el canal de derivación no está diseñado de la forma más eficiente, debido a que no tiene ningún tipo de revestimiento del material adecuado, teniendo en cuenta que es un canal de tajo abierto y esto lleva a que no sea uniforme y no cuente con una sección transversal adecuada. De esa manera, se realizó el estudio de todo el canal de

conducción que va desde las confluencias de los ríos Yanamayo y Vilcanota hacia la cámara de carga, durante el trayecto se evidenció que hay pérdidas por rebalses de agua y filtración por el mal estado de conservación del canal de derivación, y esto conlleva a que no se tenga el caudal necesario para llevar a la cámara.

3.1.3. Desarenador

En la época de lluvias, los ríos traen muchos materiales como piedras y otro tipo de sedimentos de suspensión debido a la erosión que se causa en el recorrido. Es de vital importancia que se cuenten con desarenadores en la minicentral hidroeléctrica, las partículas con un diámetro por encima de 0.2 mm generan daños en la turbina, por lo cual es necesario que sean atrapadas y posteriormente eliminados. Por otra parte, la minicentral no cuenta actualmente con un desarenador óptimo, por lo tanto, el proyecto también propone el diseño de un desarenador que vaya de acuerdo con las necesidades de la minicentral.

3.1.4. Cámara de carga

La cámara de carga actual presenta las siguientes deficiencias:

- No cuenta con la compuerta de fondo necesaria para la eliminación de sedimentos, por lo que la cámara muestra gran cantidad de sedimentos en las paredes y en el fondo se puede ver lodo y mucha arena.
- No tiene la válvula de compuerta necesaria para el control del caudal de ingreso a la tubería, tampoco posee las rejillas para la captación de sólidos en flotación.
- Tiene filtraciones por las paredes y en la unión con la tubería, por lo que se observa que la construcción que está hecha de concreto se encuentra en mal estado por inclemencias del tiempo y por la falta de mantenimiento.

3.1.5. Aliviaderos

- Los dos aliviaderos con los que se cuenta en la minicentral no tienen una compuerta adecuada para el control.

- El diseño tampoco es el más correcto, por lo cual se propone el diseño de unos nuevos aliviaderos en todo el tramo del canal de conducción, siendo más favorable en el aspecto económico puesto que es más beneficioso, tomando en cuenta que se pueden evitar daños en el canal y en la cámara de carga.

3.2. Diagnóstico de las obras electromecánicas de la minicentral

3.2.1. Tubería forzada

Los datos existentes de la tubería forzada son ofrecidos por la misma información de la minicentral.

Tabla 3.1. *Datos de tubería forzada*

Diámetro	10''
Espesor	3/16''
Longitud	118m
Material	Acero estructural A36 (rolado y soldado)
Tipo de apoyos	Concreto
Tipo de uniones en los tramos	Tipo brida

Fuente: Centro Experimental CICAS La Raya

Los datos obtenidos en campo de la tubería forzada son:

La presión del agua en la tubería se obtuvo realizando una prueba, se procedió a desmontar el antiguo manómetro instalado, pues estaba en mal estado; se instaló un nuevo manómetro, se procedió a la prueba cerrando los inyectores con la tubería llena de agua, además se hizo una lectura que arrojó una presión de 4.7 Bar de presión estática, con un salto neto de 48,6 metros.

Figura 3.1. Presión estática del agua



Fuente: Centro Experimental CICAS La Raya

3.2.2. Determinación del espesor por método de ultrasonido

Para la prueba se contó con el siguiente equipo:

- Marca: Panametrics
- Modelo: EPOCH 4 de última generación

Figura 3.2. Equipo de medición por ultrasonido EPOCH 4



Fuente: Centro Experimental CICAS La Raya

En primer lugar, se hizo la calibración respectiva del equipo para proceder a la medición de la tubería, las medidas se tomaron cada 5 metros. Dicha medición se realizó en toda la tubería, la medición se inició en la casa de máquinas y se tomaron 19 mediciones, las cuales se exponen en la siguiente tabla.

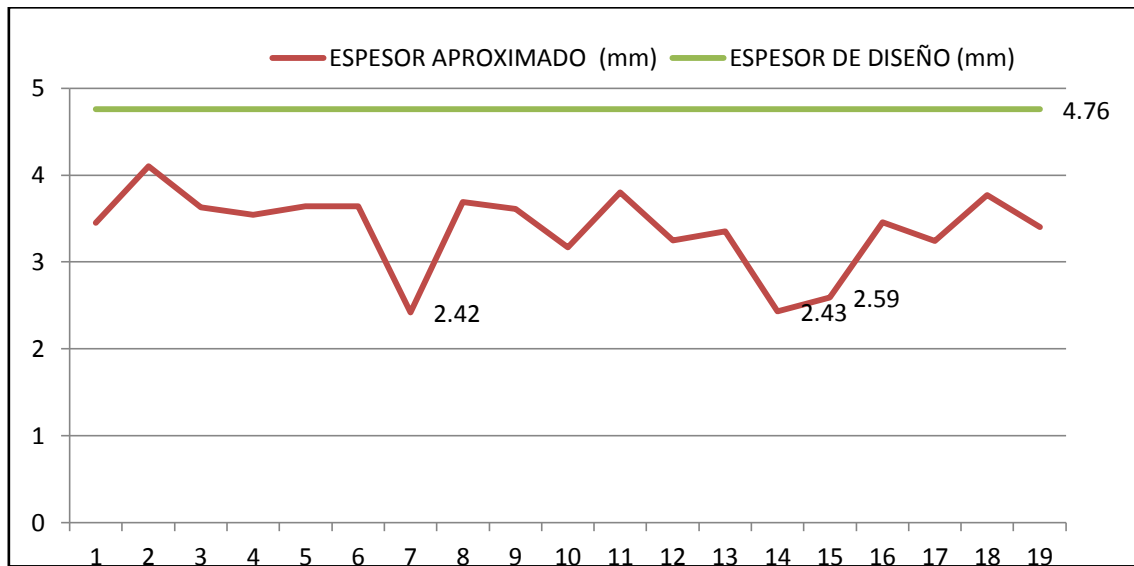
Tabla 3.2. *Mediciones de la tubería*

Medida	Espesor de la tubería (mm)
1	3.45
2	4.10
3	3.63
4	3.54
5	3.64
6	3.64
7	2.42
8	3.69
9	3.61
10	3.17
11	3.80
12	3.25
13	3.35
14	2.43
15	2.59
16	3.46
17	3.24
18	3.77
19	3.40

Fuente: Centro Experimental CICAS La Raya

Como puede evidenciarse, los resultados encontrados muestran claramente que el espesor de la tubería se mantiene en la mayoría de puntos con espesores aceptables, excepto en tres puntos donde se nota que el espesor disminuyó considerablemente. Por lo tanto, se establece que es un espesor aceptable dado que el espesor de la tubería al principio era de 4.76 mm o 3/16” en el año 1986.

Figura 3.3. Espesor de tubería



Fuente: Elaboración propia

3.2.3. Diagnóstico de la turbina Pelton

La información obtenida de la turbina es la siguiente:

Tabla 3.3. Datos de turbina Pelton

Tipo	Eje	Regulación	Altura neta	Caudal nominal	Velocidad nominal de rotación	Fabricación	Norma
Pelton 2 chorros	Horizontal	Manual	42 m	158 l/s	550 rpm	Cusco	DIN

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.4. Turbina Pelton



Fuente: Centro Experimental CICAS La Raya

Se debe señalar que se procedió al desmontaje de la turbina para proceder a realizar las mediciones de la rueda, la cuchara, el eje de la tubería y las características del inyector.

- **Rueda de turbina y cucharas**

Diámetro exterior: 670 mm

Diámetro de Pelton: 614 mm

Diámetro de eje de turbina: 60 mm

Diámetro del chorro: 75 mm

Número de cucharas: 17

Figura 3.5. Rueda de la turbina y sus cucharas



Fuente: Centro Experimental CICAS La Raya

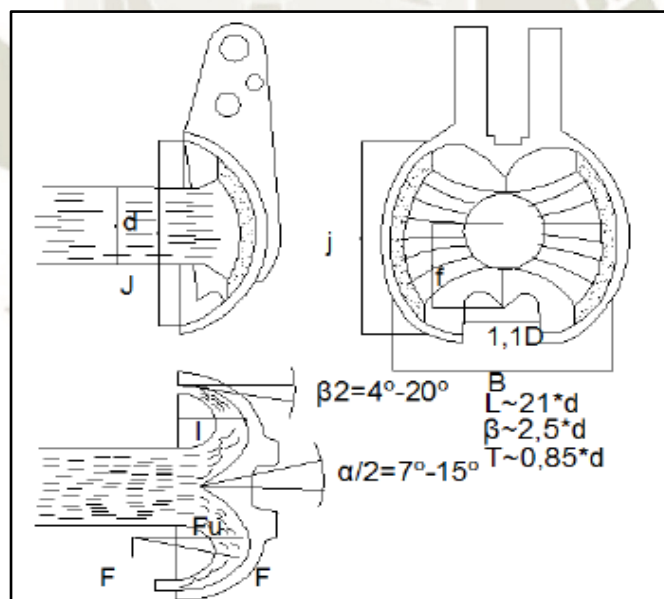
En la revisión de la turbina se pudo observar que la rueda Pelton es de hierro fundido, y tiene poca corrosión; si la rueda presentara desgaste producido por la cavitación no se podría mejorar el perfil hidráulico por las características del material del que está hecho la rueda. El perfil de los cangilones no es tan eficiente, dado que la embocadura donde da el chorro no tiene la profundidad necesaria; por otro lado, presenta un cangilón achatado en la superficie donde da el chorro.

Tabla 3.4. Dimensiones del cangilón

H	B	T	d	1.1D
168 mm	181 mm	38 mm	75 mm	80 mm

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.6. Geometría básica de cangilones de turbina Pelton



Fuente: (Ortiz, 2001)

3.2.4. Evaluación de la velocidad de rotación de la turbina y sus diferentes componentes

- Se realizó la medición de las revoluciones de la turbina y del generador en sus respectivos ejes, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 3.5. *Mediciones realizadas*

	Eje del alternador	Eje de turbina
Apertura media del inyector	1800 RPM	540 RPM
Apertura completa del inyector	1950 RPM	600 RPM

Fuente: Elaboración propia

Relación de transmisión de turbina – generador

- Diámetro de polea de turbina: 790
- Diámetro de polea de generador: 242
- RPM de turbina: 550
- RPM de generador: 1800

$$\frac{D_{mayor}}{D_{menor}} = \frac{RPM_{mayor}}{RPM_{menor}}$$

$$\frac{790}{242} = \frac{1800}{550} \Rightarrow 3.27$$

3.2.4.1. Características del inyector

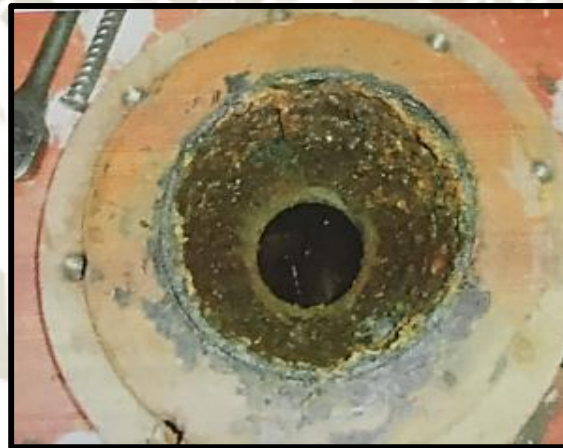
- **Tobera superior**

Tabla 3.6. *Características de tobera Superior*

Diámetro exterior de tubería	160 mm
Diámetro del eje de aguja del inyector	25,4 mm
Diámetro del chorro de agua	75 mm
Angulo de aguja	55°

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.7. Tobera Superior con alta corrosión



Fuente: Centro Experimental CICAS La Raya

- **Tobera inferior**

Tabla 3.7. *Características de tobera Inferior*

Diámetro exterior de tubería	160 mm
Diámetro del eje de aguja del inyector	25,4 mm
Diámetro del chorro de agua	75 mm
Angulo de aguja	55°

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.8. Tobera Inferior con falta de mantenimiento



Fuente: Centro Experimental CICAS La Raya

Como puede apreciarse, el inyector superior y las toberas Superior e Inferior, en las cuales se notó corrosión; dichas toberas son geoméricamente diferentes, la tobera Superior es achatada y solo es semejante en el diámetro del chorro. También se observó que la aguja del inyector no hace el cierre por completo, permitiendo que se den pérdidas; además de que necesita mantenimiento por las condiciones en las que se encuentra.

Figura 3.9. Aguja de inyector



Fuente: Centro Experimental CICAS La Raya

3.2.5. Alternador

Al momento de poner en funcionamiento la turbina de la minicentral se observó que el alternador no llegó a generar los 220 V, sino solo 180 V, por lo que

muestra una reducción de su capacidad. Se pudo ver también que la eficiencia se redujo por la altura a la que está trabajando, puesto que en la placa se observó que el alternador está para trabajar a una altura de 1000 msnm.

Figura 3.10. Placa de características de alternador



Fuente: Centro Experimental CICAS La Raya

Figura 3.11. Estado de actual del alternador



Fuente: Centro Experimental CICAS La Raya

3.2.6. Tablero de control

El tablero de control con el que cuenta la minicentral consta de instrumentos de medición analógicos, los cuales se encuentran deteriorados por su antigüedad y por su falta de mantenimiento. Esa es la principal causa por la cual no se pudo medir el amperaje y la frecuencia del equipo en funcionamiento.

Figura 3.12. Estado actual del tablero de control por fuera



Fuente: Centro Experimental CICAS La Raya

CAPÍTULO IV

4. ESTUDIO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DEL PUEBLO DE OCCOBAMBA Y DEL CENTRO EXPERIMENTAL DE LA RAYA

4.1. Introducción

El análisis de la demanda energética es fundamental y prioritario para el estudio de la pequeña central hidroeléctrica, estos resultados deben aportar el consumo actual en kW de la población de Occobamba y del Centro Experimental, a la cual se desea proveer de energía, y proyectar la demanda durante un periodo que puede ser 5, 10, 15, o 20 años, según la necesidad (Ortiz, 2001).

4.1.1. Demanda actual

Representa la potencia instalada de la comunidad y en el Centro Experimental de La Raya, ya sea por familia o por vivienda, identificando los diferentes instrumentos eléctricos que usan y la potencia que utilizan dichos equipos (Ortiz, 2001).

4.1.2. Demanda potencial

La demanda potencial muestra el uso de los instrumentos y equipos eléctricos durante un día representativo, indicando dentro de un horario su uso, reflejándose como el consumo por día (Ortiz, 2001).

4.1.3. Demanda futura

Es la proyección de la demanda potencial para un determinado tiempo en años que se ha establecido (Ortiz, 2001).

4.2. Potencia de los artefactos y equipos eléctricos

Equipos más usados en una residencia; vale aclarar que la potencia depende de la marca y el modelo del artefacto.

Tabla 4.1. *Potencia de equipos eléctricos*

Potencia de equipos eléctricos de una residencia	
Equipo	Potencia
Televisor 20"	120 w
Terma	1500 w
Ventilador	50 w
Licuadora	300 w
Refrigeradora	350 w
Plancha	1000 w
Lavadora	500 w
Ducha eléctrica	3500 w
Microondas	1100 w
Cocina eléctrica de 4 ornillas	4500 w
Dvd	20 w
Computadora	300 w
Aspiradora	600 w
Equipo de sonido	80 w
Incandescente	100 w
Fluorescente	40 w
Ahorrador	20 w
Radio grabadora	30 w
Cafetera	800 w
Olla arrocera	1000 w

Fuente: Osinergmin

4.3. Demanda energética del Centro Experimental de La Raya

La infraestructura con la que cuenta el Centro Experimental está diseñada para establos, laboratorios, residencias de los doctores y de los estudiantes, el comedor, entre otros. Dicha infraestructura se encuentra deteriorada por el paso del tiempo y por las mismas inclemencias del tiempo. Por otra parte, este estudio básicamente cuenta con cuatro zonas primordiales:

- Zona de investigación
- Zona de alimentación
- Zona de corrales
- Zona de hospedaje

Además de las vías de acceso, veredas y el paradero de buses, el área de construcción del Centro Experimental es de **3957.55 m²**, distribuida de la siguiente manera.

Tabla 4.2. Área de la zona de investigación

Laboratorio de sanidad animal	264.47 m ²
Laboratorio de necropsia y patología	121.19 m ²
Laboratorio de virología y bacteriología	121.19 m ²
Laboratorio de parasitología e inmunología	121.19 m ²
Laboratorio reproducción	266.65 m ²
Laboratorio de nutrición animal	669.88 m ²
Laboratorio de mejoramiento genético y fibras	539.98 m ²
Aulas y auditorio	564.35 m ²

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.3. Área de la zona de hospedaje

Hospedaje doctores	309.66 m ²
Hospedaje estudiantes	405.26 m ²

Fuente: Elaboración propia

4.3.1. Zona de alimentación

Tabla 4.4. Área de la zona de alimentación

Comedor	116.13 m ²
Cocina	10.60 m ²

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.5. Área de la zona de corrales

Pabellón De Esquila Y Depósitos	447.00 m ²
---------------------------------	-----------------------

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1. Zona de esquila



Fuente: Centro Experimental CICAS La Raya

Figura 4.2. Zona de alimentación



Fuente: Centro Experimental CICAS La Raya

En las figuras anteriores se muestran las áreas construidas y en las cuales se procede a hacer el estudio de la demanda energética del Centro Experimental.

4.4. Número de habitantes del Centro Experimental

El Centro Experimental cuenta con 30 personas entre trabajadores, docentes y adicional a ellos se encuentran viviendo 10 alumnos; este número puede variar hasta 15 dependiendo de la época del año, pues los alumnos se quedan como máximo 6 meses.

4.5. Evaluación de la demanda potencial y de energía del Centro Experimental “CICAS” La Raya

Para el análisis de la demanda de energía del Centro Experimental se tomó en cuenta el proyecto de ampliación de la infraestructura, en el cual se incrementan las áreas construidas, lo que conlleva a que se deba iluminar una mayor cantidad de ambientes como laboratorios y aulas para los estudiantes. Se toman también en cuenta los equipos de los laboratorios, las oficinas y las áreas residenciales y también las horas en las que funcionarán.

De ese modo, se muestra el procedimiento del cálculo de la demanda por el método de Ramiro Ortiz; así, se tienen en cuenta el número de equipos o ambientes y CS, el coeficiente de simultaneidad que representa la posibilidad de que un número de usuarios utilicen el mismo equipo en el mismo momento (Ortiz, 2001). Es de mencionar que la minicentral funcionará todos los días del año, en condiciones óptimas de operación para poder abastecer la demanda energética del Centro Experimental y de la comunidad de Occobamba.

Así pues, los cálculos de consumo de energía total se muestran en el Anexo 1, en el cual se puede observar el consumo de energía residencial que involucra tanto la zona de investigación, la zona de hospedaje, la zona de alimentación y la zona de esquila de corrales; así como el consumo de energía industrial y comercial, y el consumo de energía del alumbrado público. En dicho anexo están detalladas las áreas de cada zona multiplicada por la potencia de iluminación (Watt/m^2), lo que da como resultado la potencia instalada en Watts; también se observan las horas de consumo de cada zona. Resulta necesario hacer este tipo de evaluación porque ayuda a saber el consumo de potencia necesaria en determinada hora. Por ello, en la Figura 4.6 se

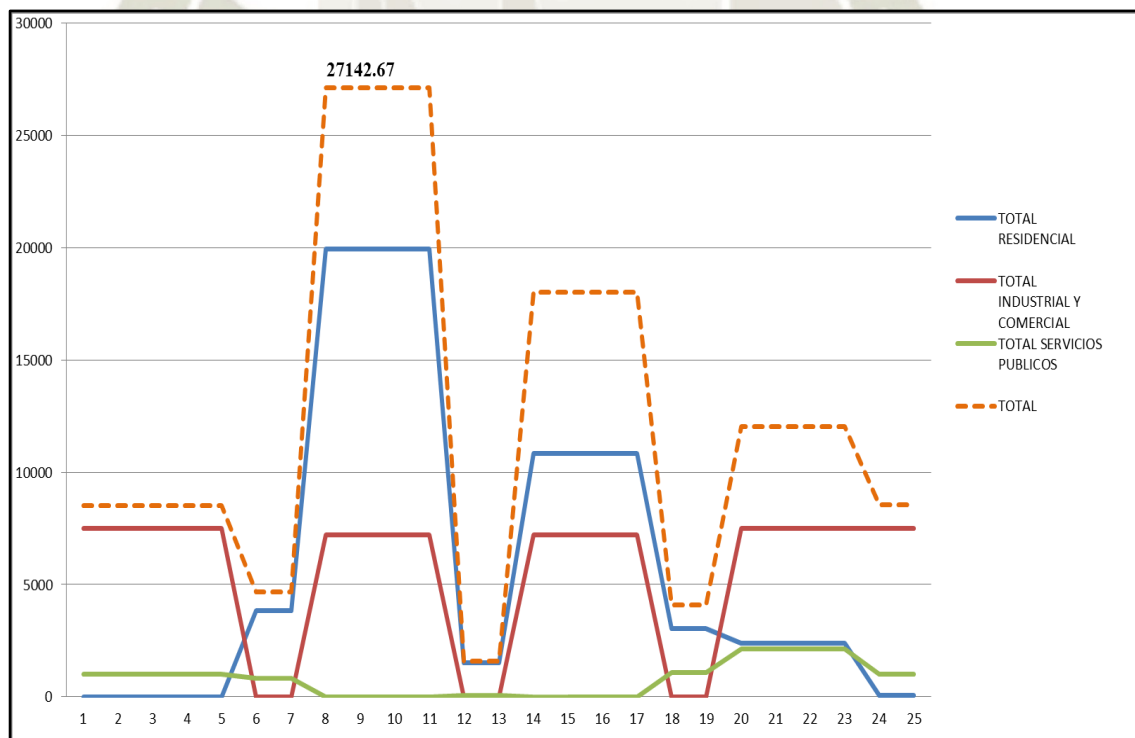
evidencian las horas de consumo, así como la demanda potencial y la energía en un día y un año.

Figura 4.3. Potencia total de cada zona de trabajo del Centro Experimental

UTILIDAD	HORA DE USO (hr)								Energía en KWH	
	0 - 5 am	5 - 7 am	7 - 11 am	11 - 1 pm	1 - 5 pm	5 - 7 pm	7 - 10 pm	10 - 12 pm	Día	Año
TOTAL RESIDENCIAL	0	3842.9975	19927.673	1508.5675	10823.515	3023.2475	2399.96	60.6	147.07546	53682.541
TOTA INDUSTRIAL Y COMERCIAL	7500	0	7215	0	7215	0	7500	7500	132.72	48442.8
TOTAL SERVICIOS PUBLICOS	1000	812.5	0	62.5	0	1062.5	2150	1000	17.2	6278
TOTAL	8500	4655.4975	27142.673	1571.0675	18038.515	4085.7475	12049.96	8560.6	296.99546	108403.34

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4. Demanda potencial del Centro Experimental



Fuente: Elaboración propia

4.6. Demanda de la energía

El estudio de la demanda se realiza desde el año 2016, se proyecta la demanda durante un periodo de tiempo de 10 años de generación de la minicentral, con un caudal de $0.195 \frac{n^3}{s}$.

Tabla 4.6. Cuadro de la demanda de energía consumida por el Centro Experimental

Utilidad	Energía en kWh	
	Día	Año
Total residencial	147.07546	53682.541
Tota industrial y comercial	132.72	48442.8
Total servicios públicos	17.2	6278
Total	296.99546	108403.34

Fuente: Elaboración propia

Entonces, la demanda necesaria para abastecer el Centro Experimental es de 27 kW, según el consumo diario que muestra la Figura 4.7.

4.7. Demanda futura de energía proyectada a 10 años del Centro Experimental de La Raya

Para esto, se consideró una tasa de crecimiento poblacional de 1 %, el método para esta estimación son las fórmulas estadísticas, que consideran variables de demanda actual el número de años a proyectar y la tasa de crecimiento poblacional; este método estima un crecimiento uniforme a lo largo del tiempo considerado.

$$P_n = P_o(1 + i)^n$$

Dónde:

P_n : Potencia proyectada al año “n” (kW)

P_o : Potencia estimada para el año “0” (kW)

i: Tasa de crecimiento poblacional considerado

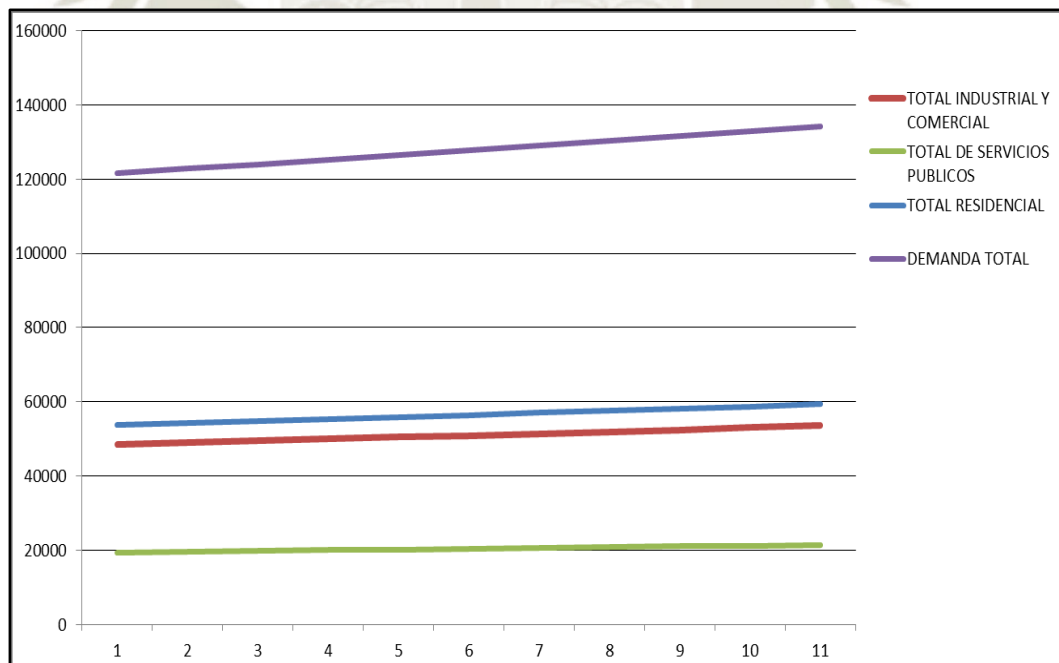
n: Número de años proyectados

Tabla 4.7. Proyección de la demanda energética y potencial para los próximos 10 años

Año	Total residencial		Total industrial y comercial		Total de servicios públicos		Demanda total	
	Energía (kwh)	Potencia (w)	Energía (kwh)	Potencia (w)	Energía (kwh)	Potencia (w)	Energía (kwh)	Potencia (w)
0	53682.54	19927.67	48442.8	7500	19418	5150	121543.34	32577.67
1	54219.37	20126.95	48927.23	7575.00	19612.18	5201.50	122758.77	32903.45
2	54761.56	20328.22	49416.50	7650.75	19808.30	5253.52	123986.36	33232.48
3	55309.18	20531.50	49910.67	7727.26	20006.38	5306.05	125226.23	33564.81
4	55862.27	20736.82	50409.77	7804.53	20206.45	5359.11	126478.49	33900.46
5	56420.89	20944.18	50913.87	7882.58	20408.51	5412.70	127743.27	34239.46
6	56985.10	21153.63	51423.01	7961.40	20612.60	5466.83	129020.71	34581.86
7	57554.95	21365.16	51937.24	8041.02	20818.72	5521.50	130310.91	34927.67
8	58130.50	21578.81	52456.61	8121.43	21026.91	5576.71	131614.02	35276.95
9	58711.80	21794.60	52981.18	8202.64	21237.18	5632.48	132930.16	35629.72
10	59298.92	22012.55	53510.99	8284.67	21449.55	5688.80	134259.46	35986.02

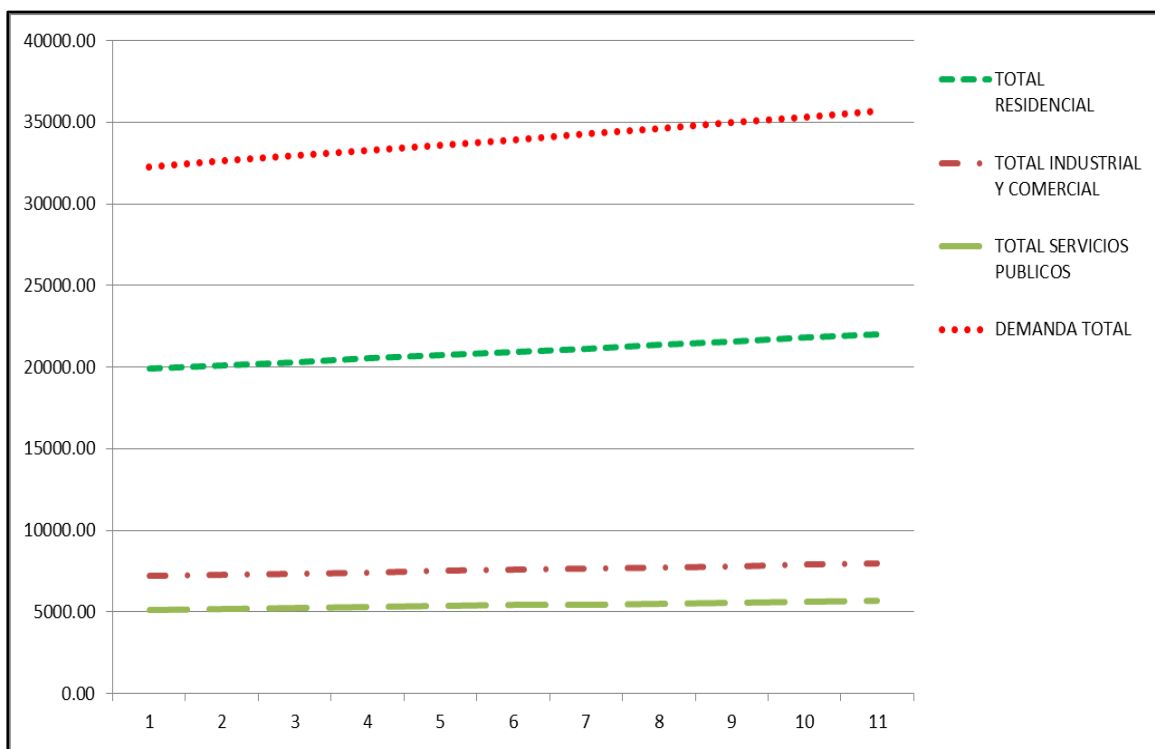
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5. Crecimiento de la demanda por energía



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6. Crecimiento de la demanda por potencia



Fuente: Elaboración propia

4.8. Demanda energética de la comunidad de Occobamba

Para la obtención de la demanda actual de la comunidad de Occobamba, se tuvo en cuenta la información que muestra el consumo de energía. Para realizar el estudio de la demanda actual, se considera el número de pobladores que son 310 habitantes, y la tasa de crecimiento considerada por INEI que es de 1 % para esta parte del país, la cantidad de viviendas es de 100; también consta de un colegio, una capilla y una posta. Así, la obtención de la demanda se da en función de la máxima demanda de potencia, para este desarrollo se consideraran cuatro tipos de cargas con sus respectivas consideraciones.

4.8.1. Demanda residencial

Se estima una potencia de 400 W por lote o vivienda, dado que la comunidad se encuentra ubicada en zona rural, no presenta una configuración urbana, las viviendas se encuentran dentro de chacras y a lo largo de la carretera. Por ende,

se toma en cuenta la ubicación geografía y el tamaño promedio de las viviendas, la cantidad de focos utilizados y otros equipos electrodomésticos.

$$DR = V * PIV$$

Dónde:

DR: Demanda residencial

V: Número de viviendas

PIV: Potencia instalada por vivienda

4.8.2. Alumbrado público

Esta carga está compuesta por el número de luminarias que se pretenden instalar en la comunidad y la demanda necesaria.

$$CMAP = KALP * NU$$

Dónde:

CMAP: Consumo mensual de alumbrado público en kWh

KALP: Factor de AP en kWh/usuarios- mes

NU: Número de usuarios

El número de puntos de iluminación se determina de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$PI = \frac{CMAP}{0.360 * PPL}$$

Dónde:

PI: Puntos de iluminación

CMAP: Consumo mensual de alumbrado público en kW.h

PPL: Potencia nominal promedio de lámpara en AP en watt

El número de horas de servicio mensuales del AP es 360 horas/mes que son de 12 horas por 30 días al mes, en caso de que la cantidad de puntos a iluminar sea decimal se debe redondear al entero inferior (Osinergmin). Luego se procede con el cálculo en watts de la iluminación pública y se obtiene mediante la fórmula:

$$AP = L * PL$$

Dónde:

AP: Demanda de alumbrado público

L: Número de focos de alumbrado público

PL: Potencia de cada lámpara

4.8.3. Demanda institucional

Se proyecta una potencia con base en las instituciones existentes ya sean la posta, la iglesia o los colegios.

4.8.4. Demanda industrial

Constan de las industrias con las que cuenta el centro poblado, en las comunidades este tipo de demanda es mínima por las características de las mismas. La información recabada se coloca en una tabla donde se incluyen factores de simultaneidad y uso. Se consideran también un horario diurno y otro nocturno, dado que el consumo varía durante la noche y el día y se consideran dos factores.

4.8.5. Factores de simultaneidad y factor de uso

4.8.5.1. Factor de simultaneidad

Es la posibilidad de que un número de usuarios utilice el mismo equipo en el mismo momento y varía entre 0 y 1 (Soluciones prácticas, 2010).

4.8.5.2. Factor de uso

Es la intensidad en el uso de los equipos y varía entre 0 y 1 (Soluciones prácticas, 2010).

Tabla 4.8. Factor de simultaneidad y factor de uso

Cargas	Carga diurna		Carga nocturna	
	Fs	Fu	Fs	Fu
Demanda residencial	0.20	0.20	0.70	0.70
Alumbrado público	0	0	1	1
Demanda institucional	0.40	0.40	0.15	0.15
Demanda industrial	0.70	0.90	0	0

Fuente: Elaboración propia

4.9. Cálculo de la demandas de la comunidad de Occobamba

4.9.1. Demanda residencial

- Contamos con 100 viviendas
- Potencia de 400W por lote (norma DGE)

$$DR = V * PIV$$

$$DR = 100 * 400$$

$$DR = 40000 W$$

Se obtiene una demanda residencial de 40000 W.

4.9.2. Demanda por alumbrado público

$$CMAP = KALP * NU$$

El factor KALP se determina de las siguientes tablas.

- Primero se seleccionó el sector típico de la siguiente tabla, se escogió el sector típico 4 porque es urbano-rural.

Figura 4.7. Sectores típicos

Sector de Distribución Típico	Descripción
1	Urbano de alta densidad
2	Urbano de media densidad
3	Urbano de baja densidad
4	Urbano rural
5	Rural de Media Densidad
6	Rural de Baja Densidad
Sistemas Eléctricos Rurales (SER)	SER calificados según la Ley General de Electrificación Rural
Especial	Coelvisac (Villacurí)

Fuente: Osinergmin

- Luego de la siguiente tabla se obtiene el factor KALP con el sector típico 4, el cual es 3.3 kW.h/Usuario-mes

Figura 4.8. Factor KALP

Factores KALP	
Sector-Segmento	KALP kW.h/Usuario-mes
Sector 2 Segmento A	11
Sector 2 Segmento B	10,3
Sector 3 Segmento A	6,1
Sector 3 Segmento B	4,5
Sector 4	3,3

Fuente: Osinergmin

$$CMAP = KALP * NU$$

$$CMAP = 3.3 * 310$$

$$CMAP = 1023 \text{ kW.h}$$

- Número de puntos de iluminación

$$PI = \frac{CMAP}{0.360 * PPL}$$

Así, se utilizarán luminarias LED debido a que tienen un consumo menor que las tradicionales, se agrega una potencia nominal de accesorios de encendido un promedio de 10W.

Figura 4.9. Potencia de luminarias LED

	ONI - LED 2036
Color de luz	Blanco frio
Vida estimada (h)	50
Tension(V)	230
Potencia (W)	45.5
Horas encendidas al dia	12
Intensidad luminica 7 m altura (lux)	14
Potencia consumida al dia (Wh)	546

Fuente: SolCan Soluciones Ambientales

$$PI = \frac{1023 \text{ kW.h}}{0.360 * 55.5}$$

$$PI = 51.2$$

$$PI = 51 \text{ Puntos de iluminación}$$

Teniendo el número de lámparas necesarias para la comunidad, se procede a hallar la demanda de alumbrado público diaria.

$$AP = L * PL$$

$$AP = 51 * 45.5$$

$$AP = 2320.5 \text{ W}$$

4.9.3. Demanda institucional

La comunidad cuenta con un colegio y una capilla, para la demanda se usa la siguiente tabla con datos proporcionados por la comunidad.

Tabla 4.9. *Demanda institucional*

Institución	Potencia
Colegio	2000 w
Posta	5000 w
Capilla	500 w
Total	7500 w

Fuente: Elaboración propia

4.9.4. Demanda industrial

La comunidad cuenta con un solo taller de carpintería, su potencia está dada en la siguiente tabla.

Tabla 4.10. *Demanda industrial*

Industria	Potencia
Taller de carpintería	3000 w
Total	3000 w

Fuente: Elaboración propia

4.9.5. Cargas diurnas y nocturnas de las demandas obtenidas

Estas son detalladas en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11. *Cargas de las demandas nocturnas y diurnas*

Cargas	Carga diurna				Carga nocturna				
	Potencia	Fs	Fu	Dd (w)	Potencia	Fs	Fu	DN (W)	
Demanda residencial	40000	0.2	0.2	1600	40000	0.7	0.6	16800	
Alumbrado público	2320.5	0	0	0	2320.5	1	1	2320.5	
Demanda institucional	7500	0.4	0.4	1200	7500	0.15	0.15	168.75	
Demanda industrial	3000	0.7	0.9	189	3000	0	0	0	
Total				2989	Total				19289.25

Fuente: Elaboración propia

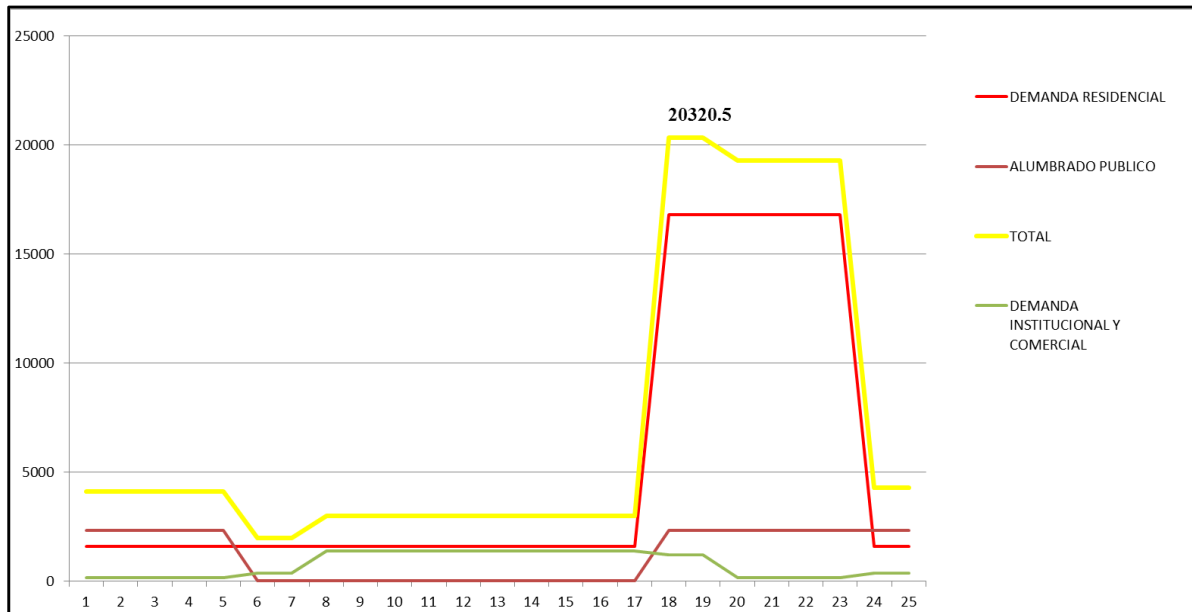
Estas son cargas y horas a las cuales funcionan, pues son necesarias para elaborar el diagrama de carga diaria de la comunidad.

Figura 4.10. Potencia consumida en un día en el pueblo de Occobamba

CARGAS	HORA DE USO (hr)							
	0 - 5 am	5 - 7 am	7 - 11 am	11 - 1 pm	1 - 5 pm	5 - 7 pm	7 - 10 pm	10 - 12 pm
DEMANDA RESIDENCIAL	1600	1600	1600	1600	1600	16800	16800	1600
ALUMBRADO PUBLICO	2320.5	0	0	0	0	2320.5	2320.5	2320.5
DEMANDA INSTITUCIONAL	168.75	168.75	1200	1200	1200	1200	168.75	168.75
DEMANDA INDUSTRIAL	0	189	189	189	189	0	0	189
TOTAL (W)	4089.25	1957.75	2989	2989	2989	20320.5	19289.25	4278.25

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11. Demanda potencial de la comunidad de Occobamba



Fuente: Elaboración propia

4.9.6. Demanda total de energía en la comunidad de Occobamba

De acuerdo con el diagrama anterior se obtiene una máxima demanda de 20320 W, al resultado se le debe que agregar un 5 % por pérdidas en redes eléctricas, la cual sería la demanda actual a tomar en cuenta.

$$\text{Demanda máxima} = 20320 * 0.05$$

$$\text{Demanda máxima} = 21336 \text{ W}$$

Tabla 4.12. Demanda total de energía de la comunidad de Occobamba

Utilidad	Energía en kwh	
	Día	Año
Total residencial	114.4	41756
Alumbrado público	46.41	16939.65
Demanda institucional y comercial	32.1	11716.5
Total	192.91	70412.15

Fuente: Elaboración propia

4.10. Demanda futura de energía proyectada a 10 años en la comunidad de Occobamba

Para ello, se consideró una tasa de crecimiento poblacional de 1 % por causa de la migración, se usa el mismo método estadístico que se utilizó para el cálculo de la demanda futura del Centro Experimental.

$$P_n = P_o(1 + i)^n$$

Dónde:

P_n : potencia proyectada al año “n” (kW)

P_o : potencia estimada para el año “0” (kW)

i = tasa de crecimiento poblacional considerado

n : número de años proyectados

Tabla 4.13. *Crecimiento de la demanda potencial y energética de la comunidad de Occobamba para los próximos 10 años*

Año	Total residencial		Total alumbrado público		Total demanda institucional y comercial		Demanda total	
	Energía (kwh)	Potencia (w)	Energía (kwh)	Potencia (w)	Energía (kwh)	Potencia (w)	Energía (kwh)	Potencia (w)
0	41756	16800	16939.65	2320.5	11716.5	1389	70412.15	20509.50
1	42173.56	16968.00	17109.05	2343.71	11833.67	1402.89	71116.27	20714.60
2	42595.30	17137.68	17280.14	2367.14	11952.00	1416.92	71827.43	20921.74
3	43021.25	17309.06	17452.94	2390.81	12071.52	1431.09	72545.71	21130.96
4	43451.46	17482.15	17627.47	2414.72	12192.24	1445.40	73271.17	21342.27
5	43885.98	17656.97	17803.74	2438.87	12314.16	1459.85	74003.88	21555.69
6	44324.84	17833.54	17981.78	2463.26	12437.30	1474.45	74743.92	21771.25
7	44768.08	18011.87	18161.60	2487.89	12561.67	1489.20	75491.36	21988.96
8	45215.76	18191.99	18343.21	2512.77	12687.29	1504.09	76246.27	22208.85
9	45667.92	18373.91	18526.65	2537.90	12814.16	1519.13	77008.73	22430.94
10	46124.60	18557.65	18711.91	2563.28	12942.31	1534.32	77778.82	22655.25

Fuente: Elaboración propia

4.11. Oferta y demanda

La oferta de la Minicentral Hidroeléctrica de La Raya es de 50 kW y la demanda para satisfacer al Centro Experimental de La Raya y a la Comunidad de Occobamba es la siguiente:

Tabla 4.14. *Demanda del Centro Experimental y la comunidad*

Lugar	Demanda
Centro experimental de la raya	27 kw
Comunidad de occobamba	22 kw
Total	49 kw

Fuente: Elaboración propia

4.12. Factor de carga

Es el cociente de potencia promedio durante un periodo de tiempo sobre la potencia pico presentada en un periodo de tiempo.

$$F_c = \frac{PCP}{PMD}$$

Dónde:

PCP: potencia de carga promedio del día (kW)

PMD: potencia de máxima demanda del día (kW)

Datos para la obtención del factor de carga:

Energía producida: 296.99 kW.h

Potencia máxima demanda del día 27.14 kW

Horas: 24 horas

$$PCP = \frac{296.99}{24}$$

$$PCP = 12.37$$

$$F_c = \frac{12.37}{27.14}$$

$$F_c = 0.45$$

$$F_c = 45\%$$

Con el cálculo del factor de carga, se pudo observar que el Centro Experimental de La Raya consume solo un 45 % de la energía producida, gracias a este cálculo se tomó la decisión de abastecer con el remanente de energía a la Comunidad de Occobamba que sería casi un 55 %.

4.13. Factor de planta o factor de capacidad

Indica lo que se va a utilizar del total de la capacidad de la planta en el tiempo. Es el resultado de dividir la energía generada en un determinado tiempo, y la energía que genera la minicentral a carga plena en el periodo de tiempo considerado (Coz *et al.*, 1995).

$$Fp\% = \frac{kWh}{PMP * HP} * 100$$

Dónde:

PMP: potencia efectiva instalada del grupo (kW)

HP: horas del periodo

Tabla 4.15. *Oferta y demanda total*

Utilidad	Energía en kwh	
	Día	Año
Total residencial	261.475455	95438.54108
Total industrial y comercial	179.13	65382.45
Total servicios públicos	78.51	28656.15
Total	519.115455	189477.1411

Fuente: Elaboración propia

$$Fp\% = \frac{519.12}{50 * 24} * 100$$

$$Fp\% = 43.26\%$$

CAPÍTULO V

5. ESTUDIO DE REINGENIERÍA DE LAS OBRAS CIVILES DE LA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA DE LA RAYA

5.1. Introducción

En la actualidad, la minicentral de La Raya cuenta con un aproximado del 50 % de las obras civiles, teniendo muchas de ellas en estado incompleto y con un deterioro que aumenta con el paso del tiempo. La captación del agua en los ríos de Yanamayo y Vilcanota que va dirigida hacia el canal de conducción es muy deficiente, ocasionando una pésima producción de energía en dicha central; sabiendo que el caudal utilizable debe ser un caudal garantizado de $0.129 \text{ m}^3/\text{s}$, siendo el requerido para la instalación y dichos ríos, lo proporcionarán a lo largo de todo el año. El resto de obras civiles como el canal de agua, desarenador, cámara de carga, casa de máquinas y entre otros, están en un estado regular de conservación.

Además, todas las obras civiles requieren una rehabilitación, mantenimiento y construcción, teniendo siempre en consideración la importancia que tienen para una correcta generación de energía en la minicentral. Por lo tanto, en el presente capítulo se realiza la descripción y el rediseño de todas las obras civiles que son necesarias.

5.2. Dimensionamiento de la bocatoma

Las bocatomas deben cumplir las siguientes funciones:

- Garantizar la captación de una cantidad constante de agua, especialmente en época de estiaje.
- Impedir, hasta donde sea posible, el ingreso de materiales sólidos y flotante; haciendo que estos sigan el curso del río o facilitando la limpieza.
- Proteger el resto del sistema de obras hidráulicas del ingreso de avenida o embalses que pudieran producirse en las épocas lluviosas o en avenidas.

Así, se procede a realizar los cálculos correspondientes para el diseño de la bocatoma que será una estructura básica que permitirá la derivación de las aguas hacia la

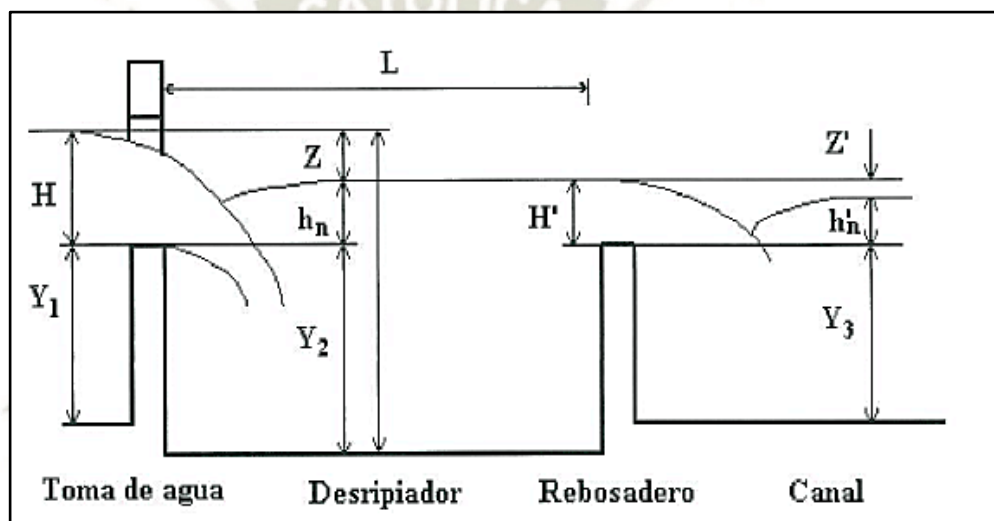
minicentral hidroeléctrica. El caudal necesario según los estudios realizados en capítulos anteriores es de:

$$Q = 0.13 \frac{m^3}{seg}$$

5.2.1. Dimensionamiento de la toma de agua

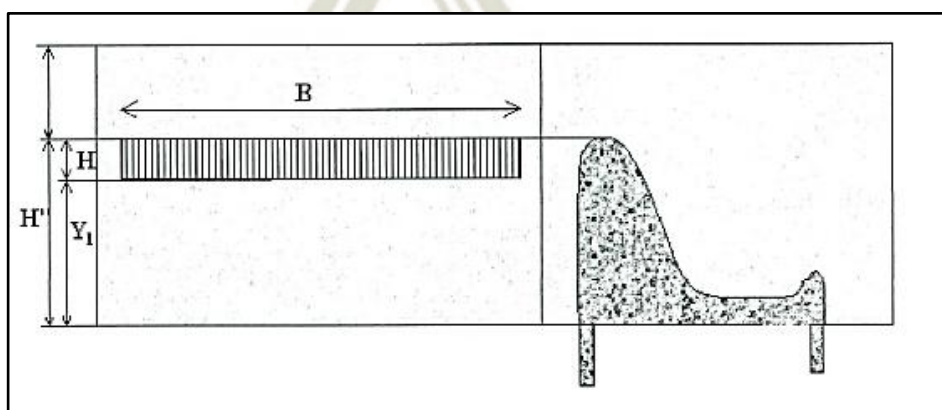
Para el dimensionamiento de la toma de agua se toman los siguientes valores.

Figura 5.1. Toma de agua, desripiador y rebosadero de una bocatoma lateral



Fuente: (Ortiz, 2001)

Figura 5.2. Toma de agua y presa de una bocatoma lateral



Fuente: (Ortiz, 2001)

La altura sobre el umbral debe ser (0.6m-0.8m) como mínimo, se toma el valor de:

$$Y_1 = 0.8 \text{ m}$$

La altura del agua es:

$$H = 0.15 \text{ m.}$$

La altura del desripiador es:

$$Y_2 = 1 \text{ m}$$

El ancho de los barrotes es:

$$a' = 0.05 \text{ m}$$

La velocidad de entrada a los barrotes es:

$$V_e = 0.85 \text{ m/seg}$$

El desnivel entre las superficies de agua es:

$$Z = 0.05 \text{ m}$$

La separación entre los barrotes es:

$$b' = 0.2 \text{ m}$$

La altura de la ventana de la toma de agua es:

$$h' = 1 \text{ m}$$

La elevación del agua bajo el vertedero sobre la cresta es:

$$\begin{aligned} h_n &= H - Z \\ h_n &= 0.15 \text{ m} - 0.05 \text{ m} \\ h_n &= 0.1 \text{ m} \end{aligned}$$

La altura de agua en el desripiador es:

$$\begin{aligned} h &= Y_2 + h_n \\ h &= 1 \text{ m} + 0.1 \text{ m} \\ h &= 1.1 \text{ m} \end{aligned}$$

Según Bazin, “s” es el coeficiente de corrección de sumersión y es igual a:

$$\begin{aligned} s &= 1.05 * \left(1 + 0.2 * \left(\frac{h_n}{Y_2} \right) \right) * \left(\frac{Z}{H} \right)^{\frac{1}{3}} \\ s &= 1.05 * \left(1 + 0.2 * \left(\frac{0.1 \text{ m}}{1 \text{ m}} \right) \right) * \left(\frac{0.05 \text{ m}}{0.15 \text{ m}} \right)^{\frac{1}{3}} \end{aligned}$$

$$s = 0.7425$$

De acuerdo con Konovalov, “M” es un coeficiente y viene a ser:

$$M = \left(0.407 + \frac{0.045 * H}{H + Y_1}\right) * \left(1 + 0.285 * \left(\frac{H}{H + Y_1}\right)^2\right) * \sqrt{2 * g}$$

$$M = \left(0.407 + \frac{0.045 * 0.15 \text{ m}}{0.15 \text{ m} + 0.8 \text{ m}}\right) * \left(1 + 0.285 * \left(\frac{0.15 \text{ m}}{0.15 \text{ m} + 0.8 \text{ m}}\right)^2\right) * \sqrt{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}}$$

$$M = 1.847$$

El ancho de la toma del agua es igual, sabiendo que $k=0.95$:

$$Q = k * s * M * b_1 * H^{\frac{3}{2}}$$

$$0.129 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} = 0.95 * 0.7425 * 1.844 * b_1 * 0.15^{\frac{3}{2}}$$

$$b_1 = 1.704 \text{ m}$$

Se determina el número de espacios:

$$n = \frac{b_1}{b'}$$

$$n = \frac{1.704 \text{ m}}{0.2}$$

$$n = 09 \text{ espacios}$$

Se determina el número de barrotes:

$$N = n - 1$$

$$N = 9 - 1$$

$$N = 8 \text{ barrotes}$$

El ancho total de la reja de la toma de agua es igual a:

$$B = b_1 + N * a'$$

$$B = 1.704 \text{ m} + 8 * 0.05 \text{ m}$$

$$B = 2.104 \text{ m}$$

La altura del azud es igual a:

$$H'' = Y_1 + H$$

$$H'' = 0.8 \text{ m} + 0.15 \text{ m}$$

$$H'' = 0.95 \text{ m}$$

5.2.2. Dimensionamiento del desripiador

Para el cálculo del desripiador se tomó como guía las Figuras 5.1 y 5.2. Para el dimensionamiento del desripiador se toman los siguientes valores.

$$h_n' = 0.050 \text{ m}$$

$$H' = 0.1 \text{ m}$$

$$Y_3 = 0.8 \text{ m}$$

$$Z' = 0.050 \text{ m}$$

$$Y_2 = 1.0 \text{ m}$$

El caudal que se debe verter a través del rebosadero ubicado en el desripiador debe tener un ancho igual a:

$$b_2 = \frac{Q}{s * M * H'^{\frac{3}{2}}}$$

Según Bazin, “s” es el coeficiente de corrección de sumersión y es igual a:

$$s = 1.05 * \left(1 + 0.2 * \left(\frac{h_n'}{Y_2} \right) \right) * \left(\frac{Z'}{H'} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$s = 1.05 * \left(1 + 0.2 * \left(\frac{0.05 \text{ m}}{0.8 \text{ m}} \right) \right) * \left(\frac{0.05 \text{ m}}{0.1 \text{ m}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$s = 0.8438$$

De acuerdo con Konovalov, M es igual a:

$$M = \left(0.407 + \frac{0.045 * H'}{H' + Y_2} \right) * \left(1 + 0.285 * \left(\frac{H'}{H' + Y_2} \right)^2 \right) * \sqrt{2 * g}$$

$$M = \left(0.407 + \frac{0.045 * 0.1 \text{ m}}{0.1 \text{ m} + 1 \text{ m}} \right) * \left(1 + 0.285 * \left(\frac{0.1 \text{ m}}{0.1 \text{ m} + 1 \text{ m}} \right)^2 \right) * \sqrt{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}}$$

$$M = 3.1456$$

De tal forma, el ancho del vertedero es igual a:

$$b_2 = \frac{Q}{s * M * H^{\frac{3}{2}}}$$

$$b_2 = \frac{0.129 \frac{m^3}{seg}}{0.8438 * 3.5456 * 0.1^{\frac{3}{2}}}$$

$$b_2 = 1.3635 m$$

La longitud del desripiador es aproximadamente igual a la longitud de una transición, y equivale a:

$$L_d = \frac{(b_1 - b_2)}{(2 * \tan(12.5^\circ))}$$

$$L_d = \frac{(1.704 m - 1.3635 m)}{(2 * \tan(12.5^\circ))}$$

$$L_d = 0.7679 m$$

La pendiente del canal del desripiador, la cual debe ser elevada para arrastrar piedras y otros elementos que han quedado, se determina de la siguiente manera:

$$j_c = \frac{v^2 * n^2}{R^{\frac{4}{3}}}$$

De ese modo, el canal se comunica con una compuerta que vierte directamente estos elementos sólidos al afluente, para la cual de acuerdo con las medidas halladas para el desripiador, se tienen las siguientes medidas.

Altura: 1.0 m

Ancho: 1.365 m

Área del canal A: 1.365 m^2

Calado del desripador d: 0.6 m

Coefficiente “m”: 0.018

Coefficiente de rugosidad “n”: 0.025 (fondo con piedras)

Se determina la velocidad de evacuación:

$$Q = V * A$$

$$0.129 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} = V * 1.365 \text{ m}^2$$

$$V = 0.0945 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

Se encuentra el perímetro mojado, mediante la siguiente fórmula:

$$p = b + 2 * d * \sqrt{1 + m^2}$$

$$p = 1.365 \text{ m} + 2 * 0.6 \text{ m} * \sqrt{1 + 0.018^2}$$

$$p = 2.56 \text{ m}$$

Se encuentra el radio hidráulico, a través de la siguiente fórmula:

$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{1.365 \text{ m}^2}{2.56 \text{ m}}$$

$$R = 0.53 \text{ m}$$

En este caso, la pendiente del canal es:

$$jc = \frac{v^2 * n^2}{R^{\frac{4}{3}}}$$

$$jc = \frac{0.0945^2 * 0.025^2}{0.53^{\frac{4}{3}}}$$

$$jc = 0.000130$$

Además, la compuerta en el momento de su apertura debe eliminar el mayor número de sólidos, para lo cual requiere un caudal superior al captado.

La compuerta se abrirá en 0.3 m-

$$\frac{a}{H} = \frac{0.3}{1} = 0.3$$

El coeficiente “e” será de un valor de 0.625

$$Q = K * e * a * b * \sqrt{\left(2 * g * \left(H + \frac{v^2}{2 * g} - e * a\right)\right)}$$

$$Q = 0.95 * 0.625 * 0.3 \text{ m} * 1.36 \text{ m} * \sqrt{\left(2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2} * \left(1 + \frac{\left(0.0945 \frac{\text{m}}{\text{seg}}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}} - 0.625 * 0.3\text{m}\right)\right)}$$

$$Q = 0.96 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

Este valor es superior al caudal captado y por lo tanto, las dimensiones de la compuerta y la pendiente de canal son aceptables.

5.3. Dimensionamiento del canal conductor

En la obra de conducción, el caudal tiene un flujo uniforme, lo que indica que tendrá un calado y velocidad igual a lo largo de todo el tramo; por lo tanto, el gradiente hidráulico y geométrico del cauce es constante. Por ende, se recomienda que la velocidad oscile entre 0.7 m/s y 2.0 m/s para evitar la sedimentación en el canal y la erosión, por lo tanto el área mojada sería en función de la velocidad.

De igual modo, las dimensiones más ventajosas para distintas formas de canales se determinan teniendo en cuenta que el caudal es mayor, cuanto mayor sea el radio hidráulico o cuanto menor sea el perímetro. Así pues, se realizará el dimensionamiento de un canal conducción abierta de sección transversal trapezoidal

con revestimiento de concreto. Las siguientes tablas se utilizarán para el desarrollo de dimensionamiento del canal de conducción:

Tabla 5.1. *Talud recomendado para canales de sección trapezoidal*

Material	Talud ($Z=\cotan$)
Arena	3.0
Arena y greda	2.0
Greda	1.5
Greda y arcilla	1.0
Arcilla	0.58
Concreto	0.58

Fuente: (Coz *et al.*, 1995)

Tabla 5.2. *Velocidad máxima del agua recomendada*

Material	Velocidad máxima	
	Menos de 0.3 m de profundidad	Menos de 1.0 m de profundidad
Arena	0.3 m/s	0.5 m/s
Greda arenosa	0.4 m/s	0.7 m/s
Greda	0.5 m/s	0.8 m/s
Greda de arcilla	0.6 m/s	0.9 m/s
Arcilla	0.8 m/s	2.0 m/s
Mampostería	1.5 m/s	2.0 m/s
Concreto	1.5 m/s	2.0 m/s

Fuente: (Coz *et al.*, 1995)

Tabla 5.3. *Canales de concreto*

Material	
Buen acabado con cemento (enlucido)	0.0100
Concreto no enlucido	0.0149
Revestimiento de concreto irregular	0.0200
Superficies de concreto irregular	0.0200

Fuente: (Coz *et al.*, 1995)

Tabla 5.4. *Características de las secciones transversales*

Tipo de sección transversal	Perímetro mojado (p)	Base mayor (w)
Rectangular	$B + 2 * H$	B
Trapezoidal	$B + 2 * H * \sqrt{1 + Z^2}$	$B + 2 * H * Z$
Triangular	$2 * H * \sqrt{1 + Z^2}$	$2 * H * Z$

Fuente: (Coz *et al.*, 1995)

Tabla 5.5. Valores de n

Material del cauce	Min.	Med.	Max.
Roca áspera	-	0.040	0.045
Canales grandes en mal estado	0.025	0.0275	0.030
Canal irregular con vegetación	0.033	0.035	0.040
Hormigón sin alisado con buen encofrado	0.013	0.014	0.015
Hormigón alisado	0.011	0.012	0.013
Mampostería, piedra	0.017	0.0225	0.030
Gaviones	0.025	0.027	0.032

Fuente: (Ortiz, 2001)

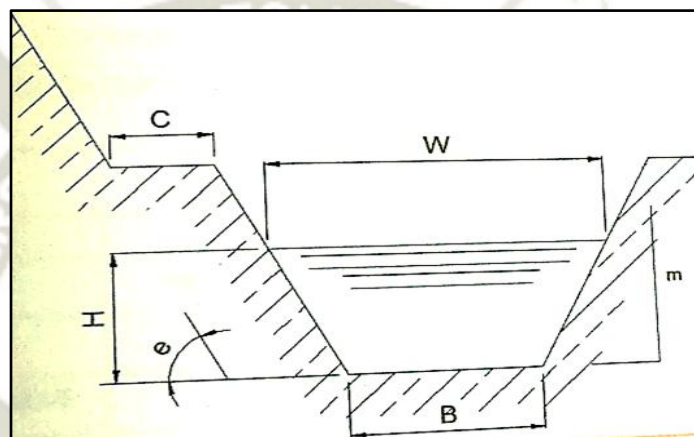
Para el dimensionamiento del canal de conducción se aumentará el caudal de diseño un porcentaje de 20 %.

$$Q'd = 1.2 * Qd$$

$$Q'd = 1.2 * 0.129 \frac{m^3}{seg}$$

$$Q'd = 0.1548 \frac{m^3}{seg}$$

Figura 5.3. Canal de conducción trapezoidal



Fuente: (Ortiz, 2011)

Dónde:

- C: Corona interior del canal
- B: Base mojada
- H: Altura del canal o del borde
- D: Tirante de agua
- B: Ancho de la plantilla

Mediante la Tabla 5.2 se selecciona una velocidad de:

$$V = 1.5 \frac{m}{seg}$$

La sección a utilizar será:

$$Q = V * A$$

$$0.1548 \frac{m^3}{seg} = 1.5 \frac{m}{seg} * A$$

$$A = 0.1032 m^2$$

Se procede a encontrar el ancho “b” y el tirante del canal “d”:

$$b = 0.87 * \sqrt{A}$$

$$b = 0.87 * \sqrt{0.1032 m^2}$$

$$b = 0.2794 m$$

$$d = 0.75984 * \sqrt{A}$$

$$d = 0.75984 * \sqrt{0.1032 m^2}$$

$$d = 0.244 m$$

Por medio de la Tabla 5.1 se elige el talud “Z”:

$$Z = 0.58$$

A través de la Tabla 3 se elige el coeficiente de rugosidad para un canal de concreto no enlucido:

$$n = 0.0149$$

Se procede a calcular la sección más eficiente del canal trapezoidal:

Primero se calcula la altura “H” mediante esta fórmula:

$$H = \sqrt{\frac{A}{2 * \sqrt{1 + Z^2} - Z}}$$

$$H = \sqrt{\frac{0.1032 \text{ m}^2}{2 * \sqrt{1 + 0.58^2} - 0.58}}$$

$$H = 0.2435 \text{ m}$$

Luego, se calcula el ancho de la plantilla del canal “B” por medio de esta fórmula:

$$B = H * (2 * \sqrt{1 + Z^2} - 2 * Z)$$

$$B = 0.2435 \text{ m} * (2 * \sqrt{1 + 0.58^2} - 2 * 0.58)$$

$$B = 0.28 \text{ m}$$

Finalmente, se calcula el ancho de la lámina de agua “W” mediante estas fórmulas:

$$W = B + 2 * H * Z$$

$$W = 2 * H * \sqrt{1 + Z^2}$$

$$W = 0.28 \text{ m} + 2 * 0.2435 \text{ m} * 0.58$$

$$W = 0.56 \text{ m}$$

Se procede a calcular el perímetro mojado por medio de esta fórmula:

$$p = B + 2 * H * \sqrt{1 + Z^2}$$

$$p = 0.28 + 2 * 0.2435 * \sqrt{1 + 0.58^2}$$

$$p = 0.892 \text{ m}$$

El radio hidráulico es igual a:

$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{0.1032 \text{ m}^2}{0.892 \text{ m}}$$

$$R = 0.1156 \text{ m}$$

Seguidamente, se determina el gradiente para el canal “j”, mediante esta fórmula; con base en la Tabla 5.5 se selecciona el coeficiente “n” para un canal de mampostería, piedra:

$$j = \left(\frac{n * V^2}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2$$

$$j = \left(\frac{0.017 * 1.5 \frac{\text{m}^2}{\text{seg}}}{0.1156 \text{ m}^{\frac{2}{3}}} \right)^2$$

$$j = 0.00115$$

Se procede a encontrar la velocidad real en el canal trapezoidal:

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * j^{\frac{1}{2}}$$

$$V = \frac{1}{0.017} * 0.1156 \text{ m}^{\frac{2}{3}} * 0.00115^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 0.4734 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

Esta velocidad es menor que la velocidad máxima permitida $1.5 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$, esto indica que las dimensiones del canal trapezoidal son las adecuadas.

5.4. Dimensionamiento del aliviadero

El aliviadero es una obra de seguridad que se encarga de verter las aguas de exceso que suelen presentarse por una demanda baja y en un caso crítico, por obstrucción de la conducción. El aliviadero tendrá una cresta redonda, lo que indica que el coeficiente “M” será:

$$M = 0.7$$

Se procede a encontrar el ancho del aliviadero, mediante la siguiente fórmula:

$$Qv = \frac{2}{3} * M * B * \sqrt{2 * g * H^3}$$

$$0.1548 \frac{m^3}{seg} = \frac{2}{3} * 0.7 * B * \sqrt{2 * 9.81 \frac{m}{seg^2} * 0.2435m^3}$$

$$B = 0.6232 m$$

Seguidamente, se procede a realizar el cálculo de la altura de seguridad del canal, por medio de esta fórmula:

$$S = j * L + H + C + 0.05$$

El canal de conducción de la minicentral hidroeléctrica La Raya tiene 2.7 km de longitud, suponiendo que cada aliviadero estará situado cada 200 m, y despreciando la onda de traslación C, se tiene que la altura de seguridad es de:

$$S = j * L + H + C + 0.05$$

$$S = 0.00115 * 200 m + 0.245 m + 0 + 0.05$$

$$S = 0.595 m$$

5.5. Dimensionamiento del desarenador

El agua captada del río y conducida a la turbina siempre transporta pequeñas partículas de materia sólida en suspensión, mayormente compuesta de materiales abrasivos que ocasionan el rápido desgaste de los alabes de la turbina. El propósito del desarenador consiste en sedimentar dichas partículas suspendidas en el agua, con el objetivo de que las partículas de arena o piedras se asienten en el fondo para que así puedan ser removidas oportunamente. Por lo tanto, debe cumplir los siguientes principios importantes:

- Tener una longitud y un ancho adecuados para que los sedimentos se depositen.
- Permitir una fácil eliminación de los depósitos.
- La eliminación de sedimentos a través de la compuerta debe hacerse cuidadosamente para evitar la erosión del suelo que rodea y soporta del depósito.
- Impedir la turbulencia del agua causada por cambios del terreno o recodos que harían que los sedimentos pasen hacia la cámara de carga y por consiguiente, a la tubería de presión.
- Tener capacidad suficiente para permitir la acumulación de sedimentos.

Tabla 5.6. *Velocidades de sedimentación de las partículas sólidas en suspensión de acuerdo con su tamaño*

d (mm)	Vs (m/s)
0.05	0.178
0.10	0.692
0.15	1.560
0.20	2.160
0.25	2.700
0.30	3.240
0.35	3.78
0.40	4.32
0.45	4.86
0.50	5.40
0.55	5.94

Fuente: (Ortiz, 2001)

El caudal de diseño y altura neta a utilizar es:

$$Qd = 0.129 \frac{m^3}{seg}; H = 49 m$$

Para la condición de altura existente, se requiere captar un grano límite del siguiente diámetro:

$$d_{lim} = (0.1 - 0.2)mm$$

$$d_{lim} = 0.15 mm$$

Utilizando Tabla 5.6, la velocidad de sedimentación para este tamaño de partícula será el siguiente:

$$V_s = 1.560 \frac{m}{seg}$$

La velocidad horizontal será la siguiente:

$$V_d = (0.1 - 0.4) \frac{m}{seg}$$

$$V_d = 0.2 \frac{m}{seg}$$

La profundidad media del desarenador será la siguiente:

$$h = (1.5 - 4.0)m$$

$$h = 1.5 m$$

Luego, se procede a encontrar el empuje ascensional que es igual a:

$$W = 0152 * V_s$$

$$W = 0.152 * 1.560 \frac{m}{seg}$$

$$W = 0.23712 \frac{m}{seg}$$

Ahora, se encuentra la longitud del desarenador que es igual a:

$$L = \frac{Vd * h}{Vs - W}$$

$$L = \frac{0.2 \frac{m}{seg} * 1.5 m}{1.56 \frac{m}{seg} - 0.237 \frac{m}{seg}}$$

$$L = 0.226 m$$

El tiempo de decantación de la partícula será de:

$$t_d = \frac{L}{Vd}$$

$$t_d = \frac{0.226 m}{0.2 \frac{m}{seg}}$$

$$t_d = 2.26 Seg$$

El tiempo de sedimentación de la partícula será de:

$$t_s = \frac{h}{Vs - W}$$

$$t_s = \frac{1.5 m}{1.56 \frac{m}{seg} - 0.237 \frac{m}{seg}}$$

$$t_s = 1.13 seg$$

Al ser mayor $t_d > t_s$ la condición de tiempo se cumple, las partículas se decantarán en el desarenador.

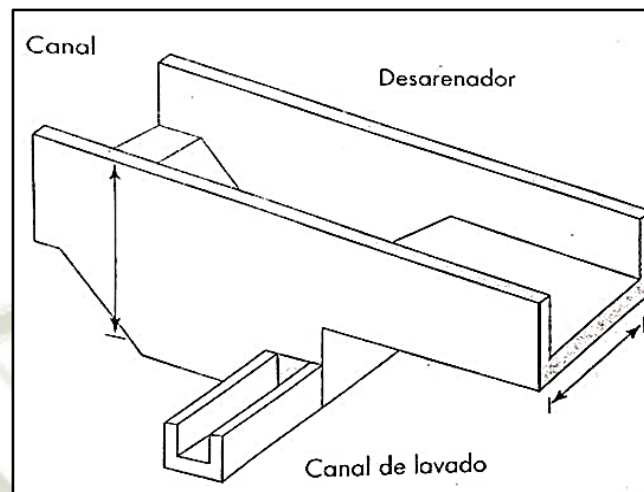
Finalmente, se halla el ancho del desarenador:

$$B = \frac{Q}{h * Vd}$$

$$B = \frac{0.129 \frac{m^3}{seg}}{0.5 m * 0.2 \frac{m}{seg}}$$

$$B = 0.645 m$$

Figura 5.4. Dimensiones del desarenador



Fuente: (Ortiz, 2001)

5.6. Dimensionamiento de la cámara de carga

Las variaciones en la demanda de energía eléctrica en las minicentrales hidroeléctricas obligan a una regulación del caudal que pasa por la turbina, la cual crea ondas de oscilación en la tubería de presión que deben ser amortiguadas en la cámara de presión. Estas ondas de oscilación son mayores en el momento de arranque de la turbina o en su parada total por rechazo de carga. Dependiendo del momento en que originan tales ondas pueden ser positivas o negativas, denominándoseles golpe de ariete.

De tal forma, por sus características, la cámara de carga o de presión son estructuras que unen un sistema de baja presión con uno de alta presión y deben ser dimensionadas para que cumplan con las condiciones críticas de operación, es decir, partida brusca y parada brusca. Además, debe cumplir con las siguientes funciones:

- Crear un volumen de reserva de agua que permita satisfacer las necesidades de las turbinas durante los aumentos bruscos de demanda.
- Impedir la entrada a la tubería de presión de elementos sólidos de arrastre y flotantes.
- Producir sedimentación de los materiales sólidos en suspensión en el canal y permitir su eliminación.

- Desalojar el exceso de agua en las horas en las que el caudal de agua, consumido por las turbinas, es inferior al caudal de diseño.
- Mantener una altura de agua suficiente sobre la tubería, para evitar la entrada de aire.
- Disponer de un volumen que le permita amortiguar el golpe de ariete, originado por paradas bruscas.

Cabe anotar que se tomarán en consideración los siguientes datos:

$$\text{Caudal de diseño: } Qd = 0.129 \frac{m^3}{seg}$$

$$\text{La altura neta: } H_C = 49 \text{ m}$$

$$\text{La altura de la conducción: } h_1 = 0.2435 \text{ m}$$

$$\text{El ancho de la conducción: } b_1 = 0.2794 \text{ m}$$

$$\text{La longitud de la tubería de presión: } L = 118 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro de la tubería de presión: } D = 0.254 \text{ m}$$

Se fija un valor de altura que evita el ingreso de posibles sedimentos a la tubería de presión:

$$0.3 < a_1 < 0.5 \text{ (m)}$$

$$a_1 = 0.3 \text{ m}$$

Se toma un valor de altura equivalente al diámetro de la tubería de presión:

$$a_2 \cong D$$

$$a_2 = 0.254 \text{ m}$$

Para que el torbellino creado por el flujo del caudal no genere cavitación debe dejarse un nivel mínimo equivalente a:

$$0.5 * D < a_3 < 1.5 * D$$

$$a_3 = 1.00 * D$$

$$a_3 = 1.00 * 0.254 \text{ m}$$

$$a_3 = 0.254 \text{ m}$$

Por efecto del golpe de ariete se crea una elevación del nivel del agua en el tanque de presión, como seguridad se toma el siguiente valor:

$$a_{4min} = 0.30 \text{ m}$$

Igualmente, por efecto de golpe de ariete se crea una elevación del nivel de agua en el tanque de presión, como seguridad se toma el siguiente valor:

$$h_2 = 1.10 \text{ m}$$

Se fijan los valores posibles para la velocidad media de la cámara de presión:

$$V_2 = (0.6 < 1.0) \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

$$V_2 = 0.6 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

Además, se procede a determinar el ancho del tanque de presión:

$$b_2 = \frac{Q}{V_2 * h_2}$$

$$b_2 = \frac{0.129 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}}{0.6 \frac{\text{m}}{\text{seg}} * 1.10 \text{ m}}$$

$$b_2 = 0.195 \text{ m}$$

Dado que el ancho de la cámara es menor que el ancho del canal de conducción se opta por el valor de este último:

$$b_2 = 0.2794$$

Esta condición indica que no se requiere transición horizontal.

Se procede a determinar la altura del volumen de agua en el tanque para el arranque:

$$h_{2d} = \frac{Q}{7 * b_2 * \sqrt{h_2}}$$

$$h_{2d} = \frac{0.129 \frac{m^3}{seg}}{7 * 0.2794 m * \sqrt{1.10 m}}$$

$$h_{2d} = 0.0628 m$$

Se determina:

$$h'_{2e} = a_1 + a_2 + a_3 + h_{2d}$$

$$h'_{2e} = 0.3 m + 0.254 m + 0.254 m + 0.0628 m$$

$$h'_{2e} = 0.87 m$$

$$h'_{2e} < h_2$$

$$0.87m < 1.10 m$$

Cabe aclarar que sí cumple, por ende, los valores tomados son correctos.

Se procede a hallar la longitud de la cámara de presión, por medio de la siguiente fórmula:

$$L_2 = 0.304 * \frac{Q * L * \sqrt{h_2}}{H_c * D^2}$$

$$L_2 = 0.304 * \frac{0.129 \frac{m^3}{seg} * 118 m * \sqrt{1.10 m}}{49 m * (0.254 m)^2}$$

$$L_2 = 1.53 m$$

Ahora, se calcula la altura del nivel máximo mediante la siguiente fórmula:

$$h_{2e} = \frac{0.25 * Q}{b_2 * \sqrt{h_2}}$$

$$h_{2e} = \frac{0.25 * 0.129 \frac{m^3}{seg}}{0.195 m * \sqrt{1.10 m}}$$

$$h_{2e} = 0.157 m$$

Para encontrar el ancho del vertedero se utilizará el siguiente caudal:

$$Qv = 0.1548 \frac{m^3}{seg}$$

Se procede a encontrar el ancho del vertedero:

$$b = \frac{5 * b_2^{\frac{3}{2}} * h_2^{\frac{3}{4}}}{\sqrt{Q}}$$

$$b = \frac{5 * 0.195^{\frac{3}{2}} * 1.10^{\frac{3}{4}}}{\sqrt{0.1548 \frac{m^3}{seg}}}$$

$$b = 1.17 \text{ m}$$

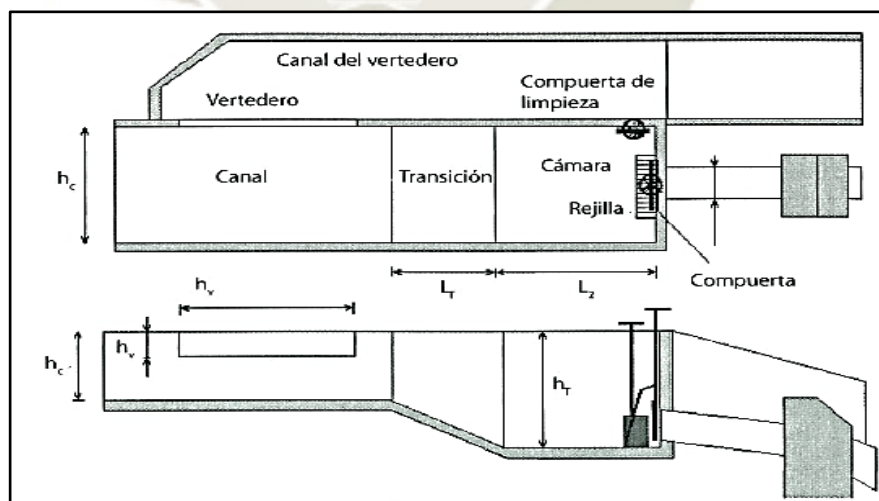
Se determina la altura de la cámara de presión:

$$h_{2c} = h_2 + h_{2e} + a_4$$

$$h_{2c} = 1.10 \text{ m} + 0.157 \text{ m} + 0.30 \text{ m}$$

$$h_{2c} = 1.557 \text{ m}$$

Figura 5.5. Cámara de presión



Fuente: (Ortiz, 2001)

Finalmente, se calcula el ancho de la compuerta de purga:

$$Q = K * e * a * b * \sqrt{\left(2 * g * \left(H + \frac{v^2}{2 * g} - e * a\right)\right)}$$

$$0.129 \frac{m^3}{seg} = 0.95 * 0.625 * 0.3 m * b_c * \sqrt{\left(2 * 9.81 \frac{m}{seg^2} * \left(1.10m + \frac{\left(0.6 \frac{m}{seg}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{seg^2}} - 0.625 * 0.3m\right)\right)}$$

$$b_c = 0.170 m$$

5.7. Acciones de mantenimiento en las obras civiles de la minicentral

Implementar una minicentral hidroeléctrica requiere de una inversión considerable, con la finalidad que se recupere esta inversión en el plazo previsto en un análisis económico de rentabilidad, la central trabaja 8760 horas al año; la nueva minicentral se prevé que trabaje un promedio de 7200 horas anuales.

Entonces, con una adecuada operación del sistema y un programa de mantenimiento planificados se garantizaría una disponibilidad alta de la central, los ingresos adicionales por venta de energía de la minicentral hacia la comunidad Occobamba servirían para poder realizar acciones de mantenimiento que garanticen el buen estado de conservación y operación. A continuación se indican unas acciones de mantenimiento comunes en función de cada elemento de las obras civiles (Coz *et al.*, 1995).

5.7.1. Acciones de mantenimiento en la bocatoma

La bocatoma con la que contaría la central es una estructura de concreto que requiere por lo general de poco mantenimiento, generalmente esta se da en las temporadas de lluvias; estas épocas el agua se torna turbia y trae consigo elementos en suspensión que podrían perjudicar a la central. Las reparaciones se deben realizar en la época de estiaje. Se debe tener en cuenta que con el paso del tiempo se presentarán rajaduras y posibles filtraciones, las cuales se deberán tratar de la siguiente manera, según la Tabla 5.7, con base en (Coz *et al.*, 1995).

Tabla 5.7. Recomendaciones para rajaduras o filtraciones en el bocatoma

Recomendado por:	Cemento	Arena	Otros materiales
Reparación de fugas de agua debido a rajaduras en paredes de canales, presas, etc.	Una parte	Dos a tres partes	5 % de cemento blanco, para fraguado rápido
Resane de superficies que estén en contacto permanentemente con agua canales, bocatoma, cámara de carga, desarenador, etc.	Una parte	Tres partes de arena tamizada	Ninguno
Superficies externas que no estén en contacto con el agua, dependiendo del grado de resistencia requerido.	Una parte	Cuatro partes Cinco partes Seis partes	ninguno
Superficies que estén en contacto con agua.	Una parte	Una y media partes	
Trabajos de recomposición estructural.	Una parte	Dos partes	Cuatro partes de fierro de construcción

Fuente: (Coz *et al.*, 1995)

Se debe señalar que la bocatoma tiene como una de sus partes el desripiador, su función principal es la de reducir la velocidad de ingreso del agua, así como retener las partículas que podrían pasar, lo que ocasionara la acumulación de partículas en la base.

5.7.2. Acciones de mantenimiento en canales de conducción

Se recomienda cambiar por un canal trapezoidal de conducción, como se dimensionó en este proyecto, pero por costos de construcción y la longitud del mismo, sería un poco complicada por el momento realizarlo. Por otro lado, se podría ampliar el canal de tierra ya existente y mejorar su profundidad y ancho, para así poder garantizar el caudal necesario; se sugiere realizar la limpieza del canal de las plantas acuáticas, así como de posibles derrumbes de manera periódica en época de estiaje, preparando el canal para las épocas de lluvia. Vale

destacar que la velocidad en el canal es de un promedio 1.3 m/s, lo cual está dentro de los parámetros que evitan la erosión y sedimentación de partículas en el canal, según (Coz *et al.*, 1995).

Tabla 5.8. *Velocidades permisibles en canales de tierra*

Tipo de Suelo	Velocidad en m/s
Arena fina	0.3-0.4
Arena + Arcilla	0.4-0.6
Arcilla	0.6-0.8
Arcilla Compacta	0.8-2.0

Fuente: (Coz *et al.*, 1995)

5.7.3. Acciones de mantenimiento en el desarenador

El desarenador es una parte muy importante en todas las minicentrales hidroeléctricas, puesto que evita el deterioro por erosión de las cucharas de turbina, lo cual podría ocasionar una cavitación a futuro. El mantenimiento periódico semanal consiste en la limpieza de sedimentos; también de manera ocasional se procederá a reparar las paredes en épocas de estiaje, de acuerdo con (Coz *et al.*, 1995).

5.7.4. Acciones de mantenimiento en cámara de carga

Este proyecto propone la recuperación y mejora de la estructura ya existente de la cámara de carga, de esa manera se procederá a la limpieza periódica de las rejillas; el tiempo podrá variar dependiendo del buen funcionamiento del desarenador, evitando que pasen los sedimentos.

Así también en épocas de estiaje se revisará la hermeticidad de la unión entre cámara y tubería forzada, para sellar las posibles filtraciones boceando la cámara de carga y proceder a resanar las paredes desgastadas; de acuerdo con (Coz *et al.*, 1995).

CAPÍTULO VI

6. REPOTENCIACIÓN DE LAS OBRAS ELECTROMECAÑICAS DE LA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA DE LA RAYA

6.1. Introducción

Los equipos de la minicentral hidroeléctrica se encuentran actualmente poco conservados, la tubería de presión se encuentra en un estado de conservación favorable para su uso; no obstante, se hará verificar las condiciones en la que puede operar. En este capítulo se realiza el diseño y la selección de los quipos mecánicos y eléctricos que se involucran en la central.

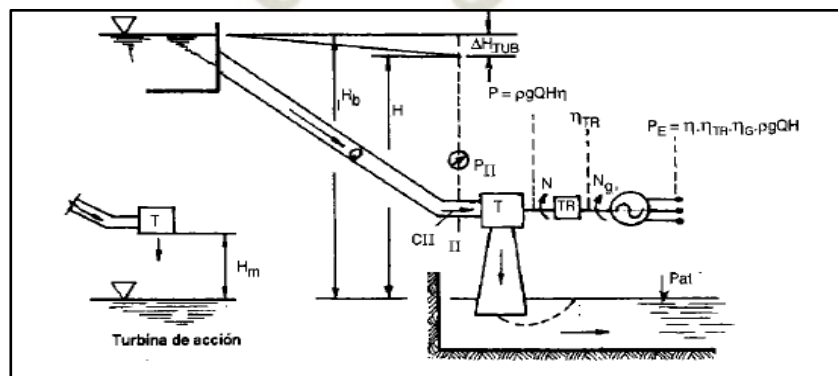
- Turbina
- Tubería de presión
- Generador
- Transformador

Se determinará el estado de la tubería de fuerza y se verificará la resistencia al golpe de ariete. También se determinará la potencia real de operación de la turbina, según los datos obtenidos.

6.2. Equipos electromecánicos

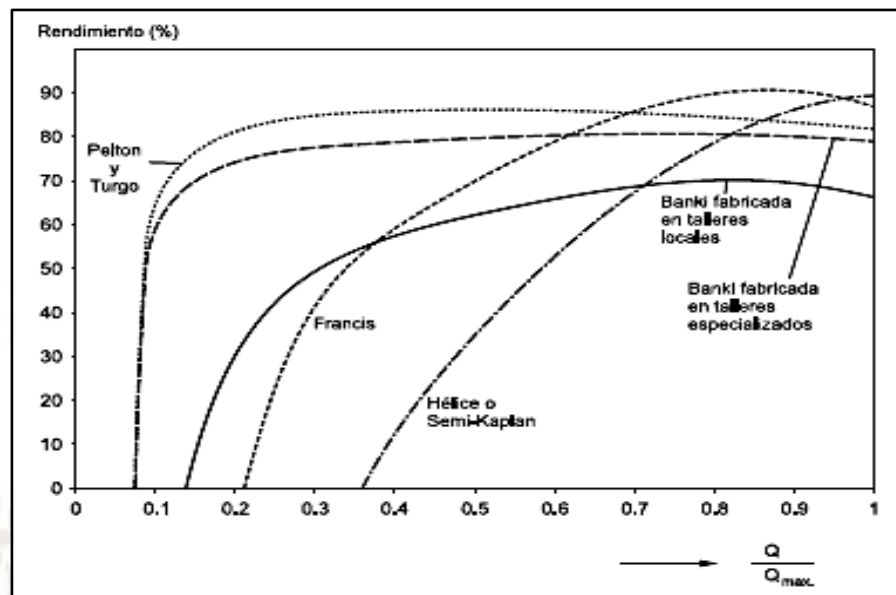
6.2.1. Selección de la turbina

Figura 6.1. Esquema de un grupo de generación



Fuente: (Coz *et al.*, 1995)

Figura 6.2. Rendimiento de las diferentes turbinas para diferentes caudales



Fuente: (Dávila, Vilar, Villanueva, & Quiroz, 2010)

Ahora bien, determinada la capacidad a instalar en la minicentral hidroeléctrica se tiene que especificar la potencia de diseño, el caudal y la altura; todos valores de diseño, para lo cual se procede a hallar el caudal.

6.2.1.1. Caudal de diseño

Para el cálculo del caudal de diseño, se toma en cuenta el diámetro de chorro y la altura neta.

$$d = 0.55 * \left(\frac{Q}{\sqrt{H}}\right)^{\frac{1}{2}}$$

Dónde:

Q: Caudal de la turbina m^3/s

H: Salto neto (m)= 48.65

d: Diametro real de chorro (0.075m)

Para una altura neta de 48.65m y un diámetro de chorro de 75 mm se obtiene un caudal de $0.13 m^3/s$, con el caudal ya hallado se realiza el cálculo de la potencia hidráulica real de la turbina.

6.2.1.2. Potencia hidráulica real

$$P = \frac{Q * H * g * \eta}{K}$$

Dónde:

η : Eficiencia de la turbina (90 %)

Q: Caudal de la turbina m³/s

H: Salto neto (m)

g: Gravedad

K: Constante (1000W/kW)

ρ : Densidad del agua (kg/m³)

Para el caudal de 0.13 m³/s y la altura neta de 48.65 m y la eficiencia de la turbina del 90 %, se obtiene la potencia hidráulica real de 55.71 kW.

$$P = 55.71 \text{ kW}$$

6.2.1.3. Velocidad específica

Para el cálculo de la velocidad específica se toman en cuenta los datos de placa de la turbina Pelton que tiene una velocidad de rotación de 550 rpm y una altura de 48.65 m.

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

Dónde:

N: Velocidad de rotación de la turbina RPM

P_e: Potencia al eje de la turbina kW

H: Salto neto (m)

$$N_s = 36.99$$

6.2.1.4. Potencia en eje de la turbina

$$P_E = Q * g * H * \eta_t$$

Dónde:

η_t : Eficiencia de la turbina (90 %)

Q: Caudal de la turbina m³/s

H: Salto neto (m)

g: Gravedad

Se obtiene una potencia al eje de $P_E = 55.71$ kW

6.2.1.5. Potencia en el generador

$$P_G = Q * g * H * \eta_t * \eta_{tr}$$

Dónde:

η_{tr} : Eficiencia de transmisión (90 %)

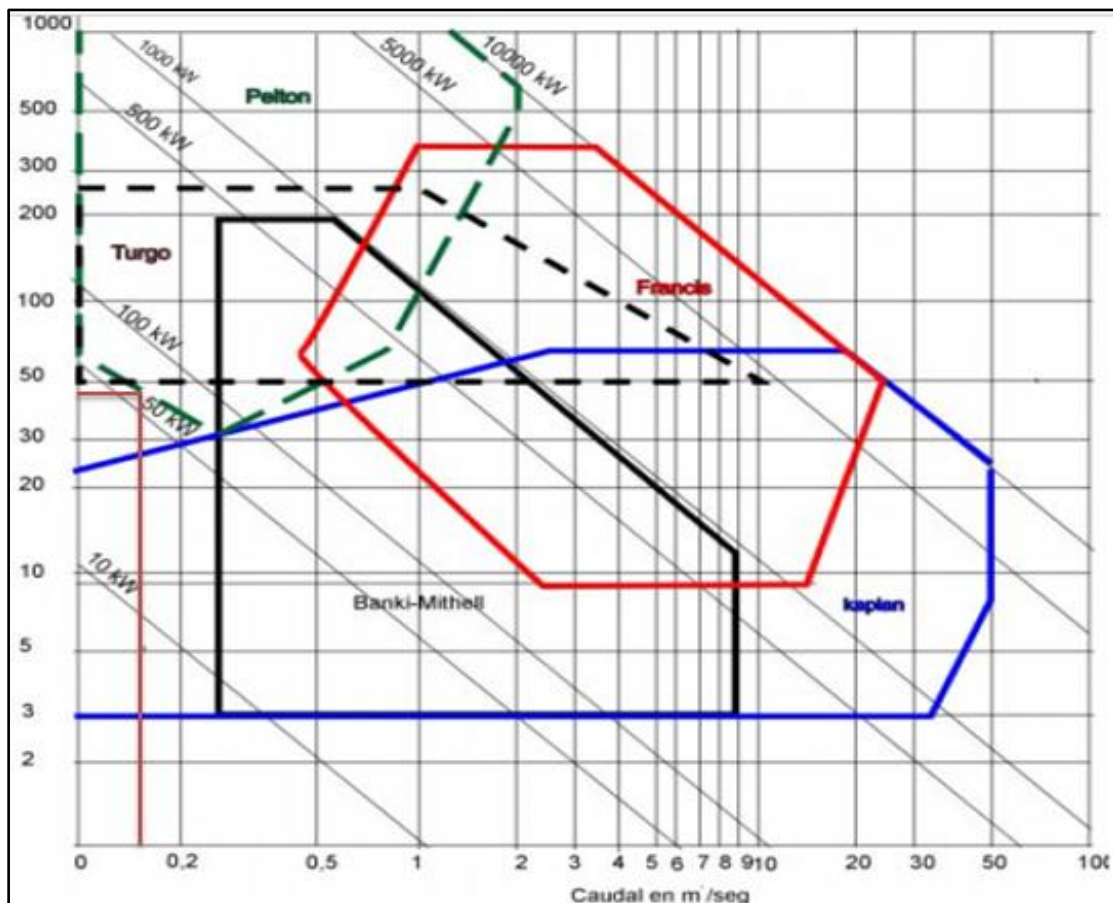
La potencia en el generador será de $P_G = 50.13$ Kw

La Figura 6.3 muestra un diagrama que indica las zonas recomendadas para los diferentes tipos de turbinas y están en función de la altura de operación y del caudal, las cuales corresponden a las turbinas Pelton, Francis, Kaplan, Turgo y las Michel Banki. Dicho diagrama ayuda a la comprobación de que la turbina necesaria para la minicentral es una turbina Pelton, con los siguientes datos de diseño.

$$Q = 0.13 \frac{m^3}{s}$$

$$H = 48.65 \text{ m}$$

Figura 6.3. Selección de tipo de turbina



Fuente: (Comisión Europea, 1998)

Mediante la velocidad específica ($N_s=36.99$), se puede observar que la mejor selección es la turbina Pelton de doble chorro, dado que las otras turbinas exigen una mayor velocidad específica. Esto comprueba que la turbina con la cuenta la minicentral es la más adecuada y cumple con la potencia necesaria para abastecer la demanda del Centro Experimental y de la comunidad.

6.2.2. Tubería de presión

Es de señalar que actualmente existe una tubería, por lo que se considera usar la misma tubería con un mantenimiento previo o cambiarla dependiendo de su evaluación, hacer la evaluación por un posible golpe de ariete. Con el cálculo del espesor de la tubería se puede saber si la tubería podrá soportar la onda de

presión generada por el golpe de ariete. La tubería con la cual cuenta la minicentral se encuentra bridada con una válvula tipo compuerta.

Por otra parte, el material es de tipo acero rolado, resistente a la compresión y tracción, la tubería está adaptada al terreno con un pendiente, hace un solo cambio de dirección y está anclada con dos bloques, dichos bloques son de concreto, la cimentación de los anclajes evita un posible deslizamiento.

Entre tanto, los cálculos para la comprobación del estado de la tubería forzada y sus condiciones hidráulicas se detallan a continuación. Para el diseño y selección de la tubería de presión se debe tener en cuenta lo siguiente, puesto que incidirá en el costo final del proyecto y hacer que este varíe de forma sustancial.

- Características y tipo de material.
- Pérdidas a causa de la fricción y diámetro.
- Espesor de la tubería.

6.2.2.1. Selección del material de diseño

Es vital escoger el material más adecuado pues un largo ducto y con su elevado costo afecta sustancialmente en los costos de la minicentral, se denominan tubería de alta presión cuando cumple la siguiente fórmula; y si no llega a cumplir, se denomina tubería de baja presión.

$$\frac{Hb}{Qd^{1/3}} \geq 100$$

Dónde:

Hb: Altura bruta (48.65)

Qd: Caudal de diseño (0.116m³/s)

El resultado de la relación da un valor de 96.11, esto quiere decir que la instalación es de baja presión y ayuda a seleccionar los materiales más aptos para la tubería. El material más adecuado será un acero comercial, acero estructural hecho con plancha rolada y soldada. Se escoge este tipo de

material porque la minicentral está ubicada a 4200 msnm y es necesario que resista a los cambios de temperatura bruscos que suceden en el lugar.

6.2.2.2. Selección de diámetro de la tubería

$$D = \sqrt[7]{0.052 * Q^3}$$

Dónde:

D: Diámetro (m)

Q: Caudal de diseño (m³/s)

Con un caudal de 0.13 m³/s, se tiene una diámetro de D=0.273 m (10.7”).

Con este cálculo se puede comprobar que el diámetro de la tubería forzada seleccionado para la minicentral es el más adecuado.

6.2.2.3. Calculo de las pérdidas por fricción

Para la tubería del material seleccionado se procede a seleccionar el valor de rugosidad absoluta con la siguiente tabla.

Tabla 6.1. Valores de rugosidad absoluta (K) en mm

Material	Estado		
	Bueno	Normal	Malo
Tuberías lisas de PVC		0.003	
Polietileno		0.003	
Resina de poliéster con fibra de vidrio		0.003	
Concreto	0.6	0.15	0.6
Acero comercial			
• No Pintadas	0.015	0.03	0.06
• Pintadas	0.03	0.06	0.15
• Galvanizadas	0.05	0.15	0.3
Hierro fundido			
• Nuevas	0.015	0.3	0.6
• Viejas			
Corrosión leve	0.6	1.5	3.0
Corrosión moderada	1.5	3.0	6.0

Fuente: (Coz et al., 1995)

$$K= 0.06$$

De esa manera, se procede con el cálculo de rugosidad relativa que es una relación entre el diámetro de la tubería de presión y el valor de la rugosidad K/d , con el diámetro de 10,7" (273 mm); el resultado de la relación sería:

$$\frac{K}{d}$$

Dónde:

d: Diámetro de la tubería

K: Valor de rugosidad absoluta

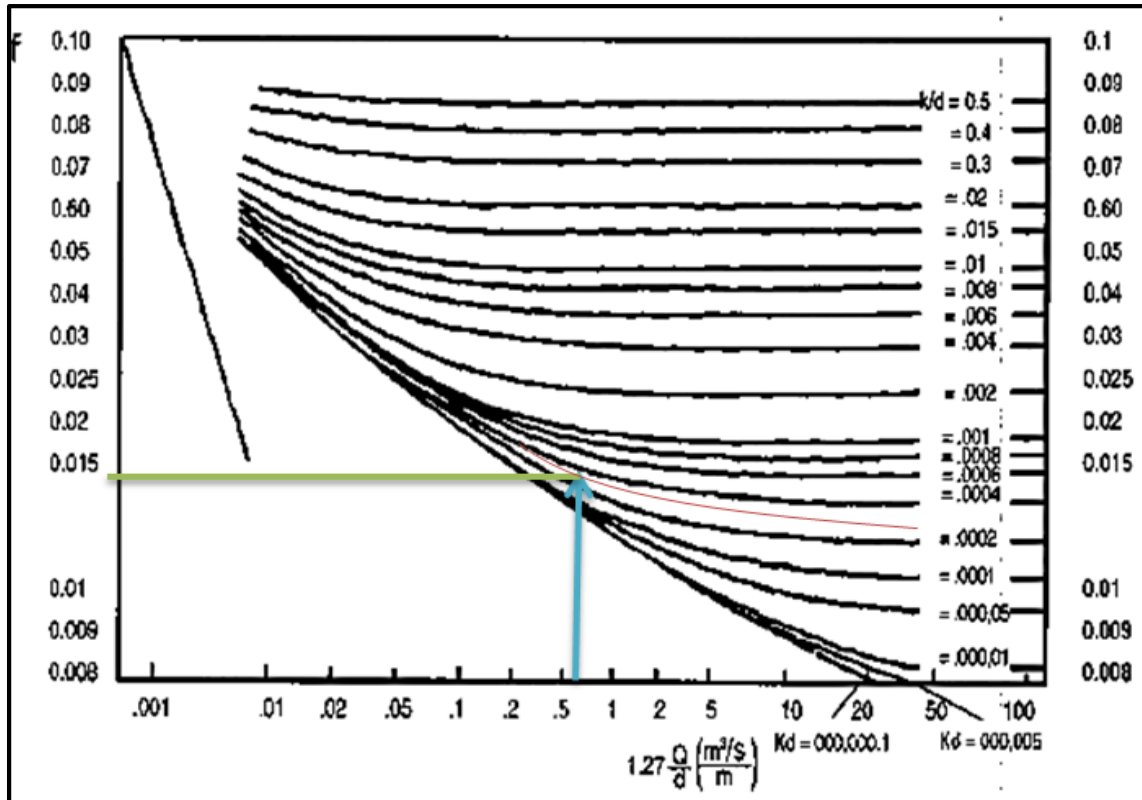
$$\frac{K}{d}=0.00021$$

Luego se procede con el cálculo de la relación $1.27*(Q/d)$, conociendo el caudal de dimensionamiento ($Q= 0.13 \text{ m}^3/\text{s}$), el resultado es:

$$1.27 * \frac{Q}{d} = 0.6047$$

Con ayuda del diagrama de Moody y los resultados obtenidos se halla al factor de fricción.

Figura 6.4. Diagrama de Moody



Fuente: (Coz et al., 1995)

El factor de fricción es:

$$f=0.015$$

Obtenido el factor de fricción se pueden calcular las pérdidas de fricción. Se calcula la pérdida por fricción en la pared de la tubería, conociendo la longitud total de la tubería; y se realiza de la siguiente manera:

$$h_f = 0.08 * \frac{f * L * Q^2}{d^5}$$

Dónde:

f: Factor de fricción

L: Longitud de la tubería (118 m)

Q: Caudal de diseño (m^3/s)

El cálculo de la pérdida por fricción da como resultado $h_f=1.57$ columnas de agua.

6.2.2.4. Velocidad de agua en la tubería

$$Q = A * V$$

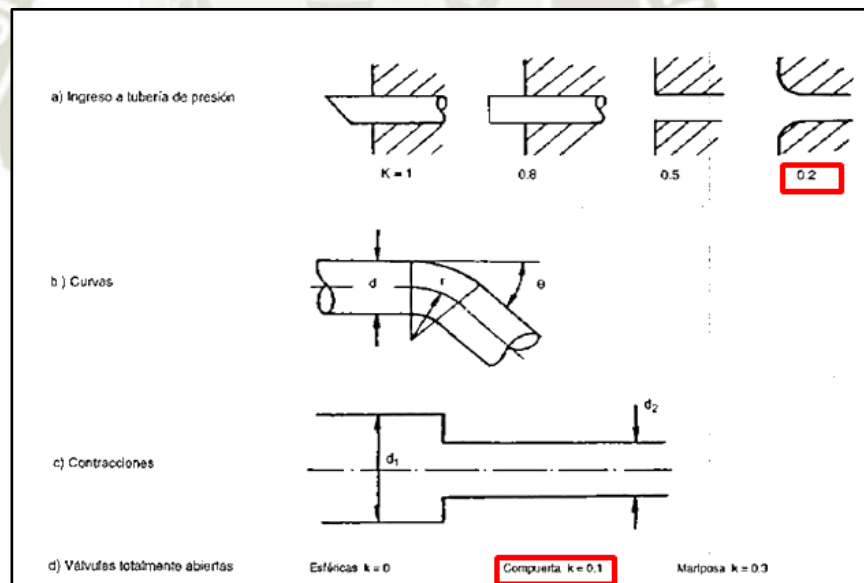
$$A = \pi * \frac{D^2}{4}$$

(Área para tuberías de sección transversal circular)

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * d^2}$$

Para un caudal de 0.1297m³/s y un diámetro de 273 mm se tiene una velocidad en la tubería de V=2.22 m/s. De tal modo, se procede a determinar las pérdidas a la entrada de la tubería, así como de las pérdidas por turbulencias en accesorios, codo de 45° de derivación y la válvula tipo compuerta que se ubica en la casa de máquinas, con ayuda de la Figura 6.6.

Figura 6.5. Pérdidas debido a turbulencias



Fuente: (Coz *et al.*, 1995)

6.2.2.5. Válvula tipo compuerta

De acuerdo con las necesidades de la minicentral se procede con la selección de una válvula tipo compuerta de ANSI 150 de unión tipo brida,

marca FIMACA –AVK (datos proporcionados por el Centro Experimental de La Raya).

Figura 6.6. Coeficiente de pérdidas en curvas

θ	r/d			
	1	2	3	5
20°	0.36	0.25	0.20	0.15
45°	0.45	0.38	0.30	0.23
90°	0.60	0.50	0.40	0.30

Fuente: (Coz *et al.*, 1995)

Con los valores ya conocidos de la Figura 6.7 se procede a calcular las pérdidas por turbulencia, con ayuda la siguiente fórmula.

$$h_t = \frac{V^2}{2g} (K_1 + K_2 + K_3)$$

Dónde:

K: Factor asociado a accesorios por pérdidas de turbulencia

V: Velocidad del agua en la tubería

g: Gravedad

Coeficientes de pérdidas para el inicio de la tubería y la válvula de compuerta.

- Ingreso a la tubería de presión, $K_1=0.2$
- Codo de 45°, $K_2=0.3$
- Válvula tipo compuerta, $K_3=0.1$

Las pérdidas por fricción en los accesorios dan como resultado $h_t=0.200$ m

La pérdida de carga total estará dada por la fórmula:

$$h_T = h_f + h_t$$

$$h_T = 1.57 + 0.200$$

Se obtiene una pérdida total de $h_T= 1.77$ m

Se procede al cálculo de la pérdida porcentual de caída por fricción.

$$\text{pérdidas}\% = \frac{h_T * 100}{h_B}$$

Dónde:

h_B: Altura bruta

h_T: Pérdidas totales por fricción

$$\text{Pérdidas \%} = 3.63 \%$$

Con este dato se puede confirmar que el diámetro seleccionado es el más adecuado, puesto que hay un rango entre porcentual que indica que si las pérdidas se encuentran entre 3 % y 11 % indica que la tubería es la adecuada (Coz *et al.*, 1995).

6.2.2.6. Cálculo del espesor de pared de la tubería forzada

El espesor de la tubería viene dada por la fórmula.

$$t = \frac{5 * f_s * H_t * 10^6 * d * k_j}{S} + K_c$$

Dónde:

f_s: Factor de seguridad (f_s=3)

S: Esfuerzo de rotura del acero bajo % C, (ver Figura 6.8)

k_j: Factor de corrección para planchas roladas y soldadas (k_j=1.2)

k_c: Factor de corrosión (1mm por cada 10 años de vida) (k_c= 2 mm)

d: Diámetro interno de la tubería forzada(d=0.273 m)

Figura 6.7. Propiedades físicas de materiales para tuberías

Material	Módulo de Young GN/m ²	Coef. exp. lineal m/m°C	Esfuerzo de rotura MN/m ²	Densidad kN/m ³
Acero bajo %C	207	12 x 10 ⁻⁶	350	78.6
PVC	2.75	54 x 10 ⁻⁶	28	14
Polietileno	0.19-0.78	140 x 10 ⁻⁶	5.9-8.8	9.4
Hierro dúctil	170	11 x 10 ⁻⁶	310-520	70

Fuente: (Ortiz, 2001)

$$t = \frac{5 * 3 * 48.65 * 10^6 * 0.273 * 1.2}{350 * 10^6} + 2$$

Ahora bien, el espesor de la tubería estará en (mm), $t = 2.68$ mm, con este espesor de la tubería se observa que la tubería podrá soportar ondas de presión por golpe de ariete, dado que por los datos de espesor por ultrasonido proporcionados por el Centro Experimental se puede evidenciar un espesor mínimo de 2.41mm.

6.2.2.7. Juntas de expansión

En las tuberías de presión de acero se crean esfuerzos por contracción y dilatación, ocasionada por las variaciones de temperatura, las cuales deben ser soportar por juntas de expansión. Por lo general existe una inmediatamente debajo de la cámara de presión. La dilatación de la tubería será calculada con la siguiente formula.

$$E = \alpha * \Delta T * L$$

Dónde:

E: Dilatacion en metros

α : Coeficiente de dilatacion, para el acero se toma como $(1.5 \times 10^{-5} \text{ m/m } ^\circ\text{C})$

ΔT : Cambio de temperatura experimentada por la tuberia $^\circ\text{C}$ ($15 \text{ }^\circ\text{C}$)

L: Longitud de la tuberia (m)

$$E = 1.5 * 10^{-5} * 15 * 118$$

$$E = 0.026 \text{ m}$$

Se obtiene una dilatación de la tubería de 0.026 m

6.3. Equipos del sistema eléctrico

Los equipos de eléctricos de una minicentral tienen la misma importancia que los sistemas mecánicos y las obras civiles, los equipos eléctricos transforman la energía mecánica proveniente de la turbina en energía eléctrica por medio del generador. Los equipos eléctricos que comprenden en la minicentral son:

- Generador
- Sistema de regulación de carga
- Sistemas auxiliares
- Transformador
- Tablero de control y medida

6.3.1. Generador síncrono trifásico

El generador síncrono trifásico es de eje horizontal con polos salientes, el generador esta acoplado a la turbina Pelton mediante fajas de transmision, el generador cuenta con los siguientes datos de placa.

Tabla 6.2. *Características del generador*

Modelo	A4150
Velocidad de rotación	1800 RPM
Potencia Aparente	62.5
Factor de Potencia (Cosφ)	0.8
Frecuencia	60 Hz
Número de fases	3
Potencia Activa	50 kW
Amperios	184
Tensión	220
Norma	BSS 2613
Aislamiento	Clase F

Fuente: Elaboración propia

Aislamiento: Clase F (hecho de fibra de vidrio, poliéster y trabaja a una temperatura máxima de 155 °C).

6.3.1.1. Número de pares de polos

$$P' = \frac{f * 60}{RPM}$$

Dónde:

f: Frecuencia eléctrica

p': Número de pares de polos

Con una frecuencia de 60 Hz y 1800 RPM, tenemos como resultado $P' = 2$ pares de polos para el generador. Dicho generador se encuentra en estado de precariedad pero con un mantenimiento adecuado y se podrá volver a poner operativo.

6.3.2. Regulador de velocidad

Es sumamente importante contar con un regulador de velocidad dado que ayudará a evitar desperfectos en todo el sistema. Por lo tanto, se propone la instalación de un sistema de regulación de la velocidad por regulación de carga, dicho regulador mantendrá al generador a una potencia estable y constante, en las horas que no se necesita toda la potencia generada.

Este tipo de regulación hará que el remanente se disipe en forma de calor a las resistencias balastro, esto ayudará a evitar el embalamiento de la turbina cuando se generen caídas de tensión. Este tipo de regulación compara la frecuencia generada con un valor de referencia establecido, si la frecuencia generada es menor al valor de referencia establecido se deriva poca energía a la resistencia balastro; y si la frecuencia generada es mucho mayor que la establecida el sistema derivará menos energía a los balastros.

6.3.3. Selección del transformador de potencia

Para la selección del transformador a utilizar se usarán los siguientes parámetros.

Potencia = 50 kW

Cálculo de potencia aparente

$$\text{Cos}\phi = 0.85$$

$$S = P / \text{COS}\phi$$

$$S = 50 / 0.85$$

$$S = 59 \text{ KVA}$$

Según los transformadores comerciales se usaría un transformador de 75 KVA, el cual también servirá como un factor de seguridad para el transformador.

Tabla 6.3. *Características del transformador*

Potencia	50 KVA
Relación de transformación	2300/230 V
Servicio	Continuo
Refrigeración	Natural en aceite
Frecuencia	60 Hz
Fases	3
Conexión	Estrella/ Delta

Fuente: Elaboración propia

6.3.4. Tablero de control

Condiciones que deberá cumplir el tablero de control.

Medición: Constituida por todos los aparatos de medida en lo referente las magnitudes eléctricas, mecánicas y de temperatura.

Control: Constituida por todos los aparatos de control de carga y generación, tales como flujo de corriente y frecuencia.

Señalización: Constituida por un sistema de señales acústicas y luminosas de control y alarma.

Protección: Constituidas por una alarma y un termo magnético de control para un amperaje máximo de 50 A.

Los circuitos deben tener una tensión nominal con respecto al neutro no superior a 220 voltios y deben soportar tensión de prueba a 60 Hz durante un minuto de un kv.

Instrumentos con los que debe contar el tablero de control

- Voltímetro con un rango de 0 a 400 voltios
- Frecuencímetro con rango de trabajo de 0 a 90 Hz
- Amperímetro con un rango de medida de 0 a 120 A.
- Conmutador voltimetrico de tres fases.
- Conmutador Amperimetrico de tres fases
- Termo magnético de control para un amperaje máximo de 60 A.

También debe tener internamente fusibles, bases para fusibles, aisladores. Barra de conexión y todo el cableado correspondiente y opcionalmente un reóstato de excitación.

6.3.5 Línea de transmisión

Como se tiene ya el conocimiento, esta Minicentral Hidroeléctrica abastecía al Centro Experimental de La Raya, por lo cual se cuenta con la parte de transmisión mediante postes y líneas de media tensión, teniendo un recorrido de 500 metros.

Las líneas y postes de transmisión se encuentran en regular estado, pudiendo todavía cumplir con su finalidad. En la visita que se realizó a las instalaciones, se pudo evaluar su condición mediante el arranque de la minicentral por medio de baterías eléctricas, observando que la energía generada llegó a ser transportada hasta el centro experimental.

En el caso para abastecer a la Comunidad de Occobamba, al no contar con la parte de transmisión, se tendría que realizar el diseño, teniendo un recorrido aproximado de 6 Km.

Tabla 6.4. Datos técnicos de la minicentral hidroeléctrica

DATOS TECNICOS MINICENTRAL HIDROELECTRICA LA RAYA		
Item	Descripción	Datos
1	Caudal	0.13 m ³ /seg
2	Salto Bruto	49 m
3	Potencia	50 Kw
4	Frecuencia	60 Hz
5	Diámetro tubería	10"
6	Espesor tubería	3/16"
7	Longitud tubería	118 m
8	Turbina	Pelton 50 Kw, 02 inyectores
9	Potencia Aparente Generador	62,5 KVA
10	Potencia Aparente Transformador	19 KVA
11	Relación de Transformación Transformador	2200/220 V.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.5. Cuadro comparativo de la minicentral hidroeléctrica

CUADRO COMPARATIVO				
Item	Descripción	Diagnóstico Situacional	Solución de Ingeniería	Recomendaciones
1	Bocatoma	No cuenta	Se realizó el cálculo del dimensionamiento.	Se recomienda la construcción de una bocatoma.
2	Canal de Conducción	Es de sección rectangular	Se realizó el cálculo del dimensionamiento con una sección trapezoidal.	Se recomienda la construcción de un nuevo diseño con sección trapezoidal y con revestimiento, caso contrario realizar un mantenimiento a todas las zonas dañadas.
		No tiene revestimiento	Se realizó el cálculo del dimensionamiento con un revestimiento de concreto.	
		Filtraciones por mal estado	Resanar las zonas donde haya filtración.	
3	Desarenador	No cuenta	Se realizó el cálculo del dimensionamiento.	Se recomienda la construcción de un desarenador.
4	Cámara de carga	Filtraciones por mal estado	Resanar las zonas donde haya filtración.	Se recomienda realizar un mantenimiento a toda la cámara de carga y aumentarle su compuerta de fondo para eliminar los sedimentos.
		No cuenta con compuerta	Se realizó el cálculo del dimensionamiento.	

5	Válvula de compuerta (Entrada Turbina)	No cierra al 100%.	Se realizó la selección de una nueva válvula.	Se recomienda realizarle un mantenimiento, caso contrario cambiar la válvula.
6	Válvula de compuerta (Entrada Tubería)	No cuenta	Se realizó la selección de una nueva válvula.	Se recomienda que se instale una válvula para que se pueda realizar un mantenimiento a la tubería.
7	Tubería de fuerza	03 puntos críticos en su espesor	Se realizó el cálculo de su diámetro y espesor.	Se recomienda el cambio de la tubería, caso contrario realizar un mantenimiento exterior e interior a toda la tubería y en el caso de los tramos críticos estos deberían ser cambiados.
		Presencia de óxido en la superficie	Se realizó la selección de una nueva tubería de fuerza de 12" con SCH 40.	
8	Turbina	Presencia de óxido en la carcasa, inyectores, cucharas y rodete.	Se comprobó selección de turbina mediante grafica de caudal y altura.	Se recomienda utilizar la misma turbina al estar en buenas condiciones, previo un mantenimiento.
	Se comprobó selección de turbina mediante tabla de Ns.			
9	Generador Eléctrico	No genera los 220 V.	Se realizó la selección de un nuevo generador.	Se recomienda realizar un mantenimiento, caso contrario cambiar.
10	Transformador	Buenas condiciones.	Realizar un mantenimiento antes de ponerlo en marcha.	Se recomienda utilizar el mismo transformador.
11	Tablero Eléctrico	Equipos de medición y protección en malas condiciones.	Se realizó la selección de un voltímetro, amperímetro, frecuencímetro, conmutadores y termomagnético.	Se recomienda el cambio de todos los equipos de medición y protección.

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO VII

7. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA DE LA RAYA

7.1. Introducción

Para seleccionar e iniciar un proyecto, el principal criterio económico y financiero es la eficiencia. Esto se mide en términos de maximización de las ganancias o minimización de los costos de mercado en el caso del análisis financiero y la maximización de los beneficios sociales netos cuando se emplea el análisis económico. El análisis financiero y el análisis económico coinciden en asumir que las personas y las empresas puedan medir y maximizar su utilidad. (ESAN, 2016, párr. 1-2)

Vale destacar que la evaluación económica y financiera del diseño o repotenciación de una minicentral hidroeléctrica, se realiza para tener bien definido si es que es rentable o no llevarlo a cabo; teniendo en consideración el costo y beneficio y el impacto social que el proyecto podría generar. Por otro lado, económicamente, un proyecto es una fuente de costo y beneficio que ocurre en diferentes periodos de tiempo.

7.2. Generalidades

Se sabe de la importancia que tendría la repotenciación de la minicentral para mejorar el desarrollo y nivel de vida del Centro Experimental y de la comunidad, teniendo ya en cuenta el soporte productivo que cumple en la economía y función social que ayuda a desempeñar. Además, la repotenciación de energía que se está planteando pretende satisfacer los requerimientos de demanda del Complejo Experimental de La Raya, pudiendo vender a al sistema eléctrico interconectado (SEIN) la energía remanente, la cual también cubriría la demanda de la comunidad de Occobamba y obtener un ingreso económico, que servirá para diversas actividades en dicha minicentral hidroeléctrica.

7.3. Objetivo de la evaluación económica y financiera

El objetivo de la presente evaluación económica y financiera es calcular y presentar los indicadores económicos del sistema de generación que se está planteando, teniendo el propósito de determinar los costos totales de instalación por kW instalado y del kW-h producido de acuerdo con la ingeniería utilizada y compararlo con el precio del sistema interconectado actual y con la rentabilidad del proyecto. Asimismo, se pretende rehabilitar el grupo turbogenerador que se encuentra actualmente, para así presentar los precios por kW-h generados.

7.4. Costos fijos y costos variables

El precio de la potencia eléctrica en las líneas de salida del sistema de generación planteado está determinado por el gasto necesario para su producción, los cuales se componen de un costo fijo y uno variable, los cuales dependerán de la carga suministrada y la potencia instalada del sistema planteado.

7.4.1. Costos fijos

Se refieren a aquellos costos que están directamente relacionados con el costo del equipamiento, transporte, impuestos, montaje, obras civiles y mecánicas, y que debe considerar los siguientes aspectos.

- Amortización del capital, cargas tributarias e intereses.
- Costos de equipos de generación eléctrica (grupo turbogenerador).

7.4.2. Costos variables

Los costos variables son compras o gastos que varían o cambian directamente, según los resultados. Estos costos están asociados con la producción o con pedidos para ventas de los servicios o productos que la empresa ofrece o elabora.

- Los gastos que estarán asociados al grupo turbogenerador, dependiendo a la carga con la cual trabajará diariamente (mano de obra y materia prima).

7.4.3. Costos totales

Los costos totales o gastos anuales serán la suma de los gastos fijos y variables. Los gastos fijos anuales que incluyen la renta de capital de amortización están dados por la siguiente relación:

$$G_f = P_{max} * i * p$$

Dónde:

G_f : Gastos fijos

P_{max} : Potencia máxima de la central (kW)

I : Coeficiente de interés y amortización de capital

P : Costo de instalación de potencia por kW instalado (US\$/kW)

Por otro lado, los costos variables están relacionados al gasto de dinero en combustible para producir 1 kW-h y a la duración del aprovechamiento de la central durante un año, definido por el número de horas de utilización, los cuales están dados por la siguiente relación:

$$G_v = P_{max} * c * h$$

Dónde:

G_v : Gastos variables

P_{max} : Potencia máxima de la central (kW)

c : Costo de combustible en US\$/kW-h

h : Número de horas de utilización anual

Los gastos totales que denotan el funcionamiento de las centrales durante un año serán:

$$G_t = G_f + G_v$$

$$G_t = (P_{max} * i * p) + (P_{max} * c * h)$$

Ahora, si se refieren los gastos totales a 1 kW de potencia instalada el gasto anual unitario en dólares por kilowatt hora instalado (US\$/kW_i) será:

$$\frac{G_t}{P_{max}} = (i * p) + (c * h)$$

Si la ecuación anterior se divide entre el número de horas de utilización anual, el gasto en dólares por kilowatt hora generado (US\$/kWh) estará dado por:

$$g = \frac{G_t}{P_{max} * h} = \frac{i * p}{h} + c$$

g: Gasto en dólares por kW-h generado

A continuación, se detallan los cuadros de los cálculos de los costos fijos de la repotenciación de las obras civiles y mecánicas.

7.5. Presupuesto base de repotenciación de la minicentral hidroeléctrica

Costos detallados en el anexo 2

Figura 7.1. Presupuesto de repotenciación de la minicentral

OBRAS CIVILES	45706.64
OBRAS ELECTROMECHANICAS	75597.56
TOTAL	121304.2

Fuente: Elaboración propia

7.6. Determinación de costos del kW instalado

El análisis graficado permite evaluar la tendencia de la variación de los costos fijos y costos variables respecto al kilowatt instalado, el cual permite evaluar el costo del kilowatt hora generado a lo largo de un periodo de funcionamiento, que depende del número de horas de utilización del sistema de generación planteado a lo largo del año.

De esa manera, el análisis del costo por kW instalado y kW-h generado para el sistema planteado se evaluará de la siguiente forma:

- Planta de grupo hidroeléctrico (turbina Pelton), modalidad de operación de generación con grupo hidroeléctrico rehabilitado.

7.6.1. Costo del kW instalado en grupo generador hidroeléctrico

Se determinarán los costos del kW instalado para la minicentral hidroeléctrica.

Costo del kW instalado, considerando el costo del dólar 3.29 soles.

$$C.KW_{INST} = \frac{COSTO_{repotencion}}{POTENCIA_{Maxima}}$$

$$C.KW_{INST} = \frac{121304.20}{50}$$

$$C.KW_{INST} = 2426.084 \frac{S/}{KW}$$

$$C.KW_{INST} = 737.41 \frac{U\$/}{KW}$$

7.6.2. Obtención del costo fijo

Se tomará un valor de coeficiente de interés (i) del 14 %.

$$G_f = P_{max} * i * p$$

$$G_f = 50 KW * 0.14 * 737.41 \frac{U\$/}{KW}$$

$$G_f = 5161.87 U\$/.$$

7.6.3. Obtención del costo variable y costo total

Se tomará un valor de costo de combustible (c) de $0.00066 \frac{U\$/}{KW}$. (Valor obtenido como referencia en valores variables vigentes del año 2004 en el sector eléctrico peruano).

$$G_v = P_{max} * c * h$$

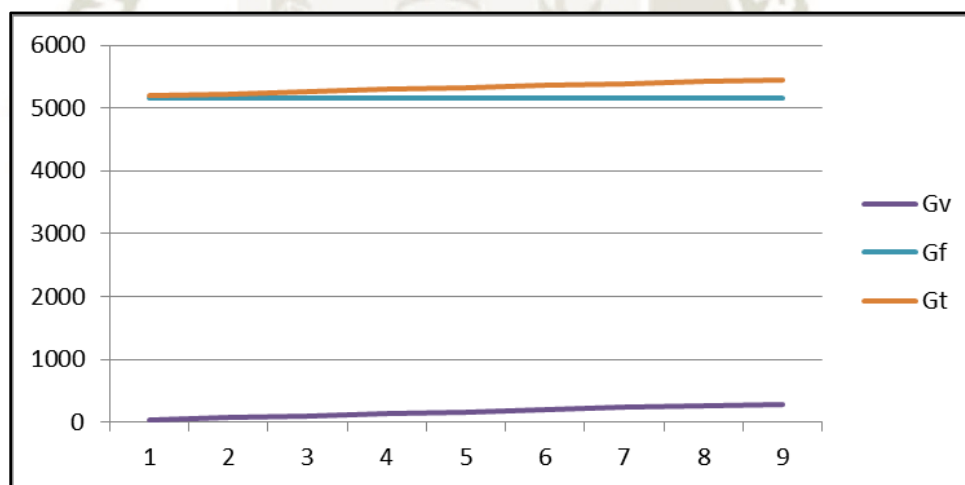
$$G_t = G_f + G_v$$

Tabla 7.1. Datos obtenidos de los distintos gastos de la minicentral

h	Pmax	c	Gv	Gf	Gt
1000	50	0.00066	33	5161.87	5194.87
2000	50	0.00066	66	5161.87	5227.87
3000	50	0.00066	99	5161.87	5260.87
4000	50	0.00066	132	5161.87	5293.87
5000	50	0.00066	165	5161.87	5326.87
6000	50	0.00066	198	5161.87	5359.87
7000	50	0.00066	231	5161.87	5392.87
8000	50	0.00066	264	5161.87	5425.87
8760	50	0.00066	289.09	5161.87	5450.96

Fuente: Elaboración propia

Figura 7.2. Gráfica de los distintos costos de la minicentral hidroeléctrica



Fuente: Elaboración propia

De esa forma, se observa lo siguiente mediante la gráfica:

- El costo fijo es un valor constante durante todo el año, puesto que no depende de las horas de utilización.
- El costo variable es un valor menor a comparación del fijo, dado que en el caso de las centrales hidroeléctricas, el costo de combustibles o lubricantes es casi despreciable.

- El costo total asciende en relación al tiempo, debido a que el costo variable también depende del mismo.

7.7. Análisis económico y financiero

7.7.1. Indicadores económicos utilizados

Para el análisis económico y financiero del proyecto, se necesita efectuar una proyección de todos los ingresos y egresos que sucedan a lo largo de la vida útil del proyecto, que en este caso se aproxima a 10 años por tratarse de una repotenciación. De ese modo, los gastos e ingresos serán determinados por el precio del kW-h en barras según la tarifa dada por Osinergmin, los egresos del proyecto corresponden a todos los gastos operativos, como son los gastos de mantenimiento.

Cabe señalar que en el presente análisis económico del proyecto se usará el método dinámico para el cálculo de rentabilidad del proyecto, dicho método vincula todos los pagos a la inversión a la fecha de puesta de marcha significando tiempo cero. Las variables que se utilizarán serán las siguientes.

- **Tasa de descuento:** en los cálculos económicos a realizarse, se tomará el dólar como unidad monetaria, por lo que se fijará una tasa de interés comercial de 14 %.
- **Vida útil de la planta:** este parámetro es importante y sirve para el análisis de la rentabilidad del proyecto, la vida útil de la planta se tomará teniendo en cuenta datos reales de vida útil de otras plantas que están en operación, esta variable dependerá de la calidad de los equipos y obras civiles. Para este caso se tomará una vida útil de 10 años por tratarse de una repotenciación.
- **Gastos de inversión:** indica el volumen de las inversiones necesarias efectuadas para echar a funcionar el proyecto.
- **Valor residual de la planta:** se debe asignar un valor residual de la planta, una vez que ha concluido la vida útil y/o del periodo de operación previsto en el proyecto.

- **Costos de mantenimiento y de operación:** es difícil estimar con exactitud el gasto que podría ascender el mantenimiento y reparación de la planta para mantenerse operativa. En este caso se estima un gasto de 3 % del costo de la inversión, cubriendo todas estas necesidades de forma confiable.
- **Costos de recursos energéticos:** en el caso de las centrales termoeléctricas este rubro representa el costo del combustible por cada kW-h producido, en el caso de la central hidráulica este gasto se hace cero porque se tiene el recurso hidráulico disponible directa y gratuitamente en la calidad y cantidad requerida.
- **Ingresos del proyecto de inversión:** para este caso se obtiene los siguientes ingresos, los cuales serán del ahorro de energía procedente de no utilizar grupos diésel y de la comercialización o uso propio de bienes producidos (energía producida).

Es de resaltar que estos ingresos se podrán calcular efectuando una proyección de las ventas de la energía durante la vida útil del proyecto, energía que será vendida parcialmente a la red para abastecer a la comunidad de Occobamba.

7.7.2. Financiamiento del proyecto

Para este caso, el financiamiento se dará mediante los recursos propios de la universidad UNSAAC.

7.7.3. Valor Agregado Neto (VAN)

El valor agregado neto de la inversión para la repotenciación de la minicentral hidroeléctrica de La Raya será calculado por medio de la siguiente fórmula:

$$VAN = -I + \sum_I^n \frac{F_i}{(1+r)^i}$$

Dónde:

I: Inversión inicial

F_i: Flujo de caja por periodo

i: Periodo

r: Tasa de interés bancario (14.0%)

7.7.4. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa interna de retorno (TIR) está dada por la siguiente fórmula:

$$VAN = -I + \sum_{i=1}^n \frac{F_i}{(1 + TIR)^i} = 0$$

Si esta tasa fuera menor que la tasa de interés, el proyecto empezaría a no ser rentable, puesto que el VAN empezaría a ser menor que la inversión; en caso de que la tasa fuera menor de interés bancario, el proyecto sería cada vez más rentable.

7.7.5. Evaluación del flujo de caja interno

Se considerará el dólar un valor de 3.29 soles y la habilitación nuevamente de la minicentral se demorará un año. Para el costo de operación y mantenimiento se considerará el 3 % anual del costo de la inversión, lo cual garantizará una operación continua de la minicentral, teniendo un valor de U\$ 1106.11, como factor de seguridad se tomará un valor de U\$ 2000 en dichos costos.

Tabla 7.2. *Inversión inicial de la minicentral hidroeléctrica*

Tabla	Inversión en la minicentral hidroeléctrica la raya			
	8 Meses	4 Meses	Total S/.	Total U\$
Inversiones	8 Meses	4 Meses	Total S/.	Total U\$
Obras civiles	45706.64	0	45706.64	13892.59
Electromecánicos	0	75597.56	75597.56	22977.98
			121304.20	36870.57

Fuente: Elaboración propia

7.7.6. Previsión de venta de energía

Para los cálculos se tomará una operación continua de la minicentral hidroeléctrica de 360 días, siendo el resto utilizados para mantenimientos preventivos o correctivos y paradas imprevistas correspondientes al funcionamiento de la minicentral hidroeléctrica.

Tabla 7.3. *Potencia anual dentro de los próximos 10 años de la minicentral hidroeléctrica*

	Potencia remanente para la venta a la red del interconectado (kw.)	Venta anual de energía
Año	kW.	kW-h
1	0	0
2	24	184320
3	24	184320
4	24	184320
5	24	184320
6	24	184320
7	24	184320
8	24	184320
9	24	184320
10	24	184320

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.4. *Ingreso económico anual dentro de los próximos 10 años de la minicentral hidroeléctrica*

	Ingreso por venta de energía	
	Costo kW-h en S/.	-
	Costo kW-h en U\$.	0.11
Años	kW-h	Ingreso por venta de energía U\$
1	0	0
2	184320	20275.2
3	184320	20275.2
4	184320	20275.2
5	184320	20275.2
6	184320	20275.2
7	184320	20275.2
8	184320	20275.2
9	184320	20275.2
10	184320	20275.2

Fuente: Elaboración propia

7.7.7. Valor residual

Es el valor de los bienes en el último año de la vida útil del proyecto. Para calcular este valor se debe tener en cuenta la depreciación o pérdida de valor de los bienes durante su uso en el proyecto, la cual se determina teniendo en cuenta el criterio de tiempo de vida útil.

Tabla 7.5. Años de vida útil de los bienes de la minicentral hidroeléctrica

Valores residuales	Años (vida útil)	Años (uso)
Obras civiles	20	10
Equipos electromecánicos	12	10

Fuente: Elaboración propia

7.7.8. Forma de depreciación

Una forma adecuada de depreciación es considerar que el bien pierda su valor anualmente de manera uniforme, desde su valor inicial en el año de su instalación hasta cero en el último año de su vida útil (depreciación lineal). El valor residual se puede calcular con la siguiente expresión:

$$VR_n = V_i - V_i * \frac{n}{N}$$

Dónde:

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

V: Valor inicial del bien, en el año de su instalación, en US\$

N: Vida útil del bien, en años.

n: Año en que se calcula el valor residual, en años.

Valor residual de las obras civiles

$$VR_n = V_i - V_i * \frac{n}{N}$$

$$VR_n = 13892.60 - 13892.60 * \frac{10}{20}$$

$$VR_n = 6946.3 \text{ US\$}$$

Valor residual de los equipos electromecánicos

$$VR_n = V_i - V_i * \frac{n}{N}$$

$$VR_n = 22977.98 - 22977.98 * \frac{10}{12}$$

$$VR_n = 3829.6 \text{ US\$}$$

Valor residual total

$$VR_T = VR_C + VR_e$$

$$VR_T = 6946.3 \text{ US\$} + 3829.6 \text{ US\$}$$

$$VR_T = 10775.9 \text{ US\$}$$

7.7.9. Cuadro de flujo de caja interno

Este cuadro se elabora considerando los siguientes rubros:

Ingresos

- Venta de energía
- Valor residual

Egresos

- Costo de operación y mantenimiento

Tabla 7.6. Valores de la caja de flujo interno

Año	Beneficio			Costos				Flujo de caja	Flujo de caja acumulado
	Valor de energía	Valor residual	Beneficio total	Inversión	Op. y Mtto.	Amort.	Costo Total		
1	0	0		36870.57	0	0	36870.57	(36870.57)	(36870.57)
2	20275.2	0	20275.2	0	2000	0	2000	18275.2	18275.2
3	20275.2	0	20275.2	0	2000	0	2000	18275.2	36550.4
4	20275.2	0	20275.2	0	2000	0	2000	18275.2	54825.6
5	20275.2	0	20275.2	0	2000	0	2000	18275.2	73100.8
6	20275.2	0	20275.2	0	2000	0	2000	18275.2	91376.0
7	20275.2	0	20275.2	0	2000	0	2000	18275.2	109651.2
8	20275.2	0	20275.2	0	2000	0	2000	18275.2	127926.4
9	20275.2	0	20275.2	0	2000	0	2000	18275.2	146201.6
10	20275.2	12616.695	32891.8	0	2000	0	2000	30891.8	177093.4

Fuente: Elaboración propia

7.7.10. Cálculo del VAN y el TIR

$$VAN = -I + \sum_I^n \frac{F_i}{(1+r)^i}$$

$$VAN = -36870.57 + \frac{18275.2}{(1+0.14)^1} + \frac{18275.2}{(1+0.14)^2} + \frac{18275.2}{(1+0.14)^3} + \frac{18275.2}{(1+0.14)^4} + \frac{18275.2}{(1+0.14)^5}$$

$$+ \frac{18275.2}{(1+0.14)^6} + \frac{18275.2}{(1+0.14)^7} + \frac{18275.2}{(1+0.14)^8} + \frac{30891.8}{(1+0.14)^9}$$

$$VAN = 37405.06 \text{ US\$}$$

$$VAN = -I + \sum_I^n \frac{F_i}{(1+TIR)^i} = 0$$

$$0 = -36870.57 + \frac{18275.2}{(1+TIR)^1} + \frac{18275.2}{(1+TIR)^2} + \frac{18275.2}{(1+TIR)^3} + \frac{18275.2}{(1+TIR)^4} + \frac{18275.2}{(1+TIR)^5}$$

$$+ \frac{18275.2}{(1+TIR)^6} + \frac{18275.2}{(1+TIR)^7} + \frac{18275.2}{(1+TIR)^8} + \frac{30891.8}{(1+TIR)^9}$$

$$TIR = 0.38 = 38\%$$

El valor del VAN de 37405.06 US\$ indica el valor de la utilidad en el último año de su vida útil, al salir el resultado positivo se recomienda que realicemos la inversión. Por su parte, el valor del TIR, que es de 38 %, es mayor a la tasa de interés, evidenciando que el proyecto es rentable y que el tiempo de recuperación se dará aproximadamente en el 3er año.

7.8. Índice de rentabilidad

$$\frac{B}{C} = \frac{FCA}{INV_{inicial}}$$

$$\frac{B}{C} = \frac{177093.4}{36870.57}$$

$$\frac{B}{C} = 4.80$$

Este valor de 4.80 indica que por cada dólar que se invirtió al inicio se está recuperando un valor de 3.80.

7.9. Tiempo de recuperación (TR)

$$TR = a + \frac{(b - c)}{d}$$

Dónde:

- a: Año anterior inmediato a que se recupera la inversión.
- b: Inversión inicial
- c: Suma de los flujos de efectivo anterior
- d: Flujo del año en que satisface la inversión

$$TR = a + \frac{(b - c)}{d}$$

$$TR = 3 + \frac{(36870.57 - 36550.4)}{18275.2}$$

$$TR = 3.01$$

El tiempo de recuperación de la inversión inicial se realizará en 3 años con 1 mes y 6 días.

CONCLUSIONES

- Mediante el análisis de la demanda energética del centro experimental de La Raya y de la Comunidad de Occobamba, se obtuvo una demanda de 27 Kw y 22 Kw respectivamente, teniendo un total de 49 kW, la cual podrá ser abastecida con la potencia actual de la mini central hidroeléctrica.
- La evaluación de la turbina pelton, muestra que a pesar de su antigüedad se encuentra en condiciones de operación óptima y garantiza la generación de 50 Kw de potencia necesaria para abastecer al centro experimental y a la comunidad, en época de estiaje el caudal que alcanza la derivación del río Yanamayo es de $0.195 \text{ m}^3/\text{s}$, lo cual garantiza la generación de potencia necesaria durante todo el año, puesto que para llegar a dicha potencia se debe garantizar un caudal de $0.129 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Mediante los cálculos de las obras civiles, se desarrolló el redimensionamiento de las obras de captación y conducción, de esta forma aseguramos el caudal necesario con el que ingresará a la turbina para que pueda trabajar a la demanda requerida, según los datos otorgados por el Centro Experimental La Raya, con respecto al análisis de ultrasonido realizado a la tubería de presión, se pudo analizar que existen tramos con espesores mínimos de 2.41 mm y otros que exceden los 3.10 mm, lo que indica que actualmente la tubería podría garantizar de una forma confiable la operación de la minicentral.
- La inversión necesaria en la minicentral hidroeléctrica de la raya es rentable; puesto que se logra recuperar la inversión aproximadamente en 3 años, luego de los cuales el ingreso por venta de la energía remanente serviría para el mantenimiento de la misma.

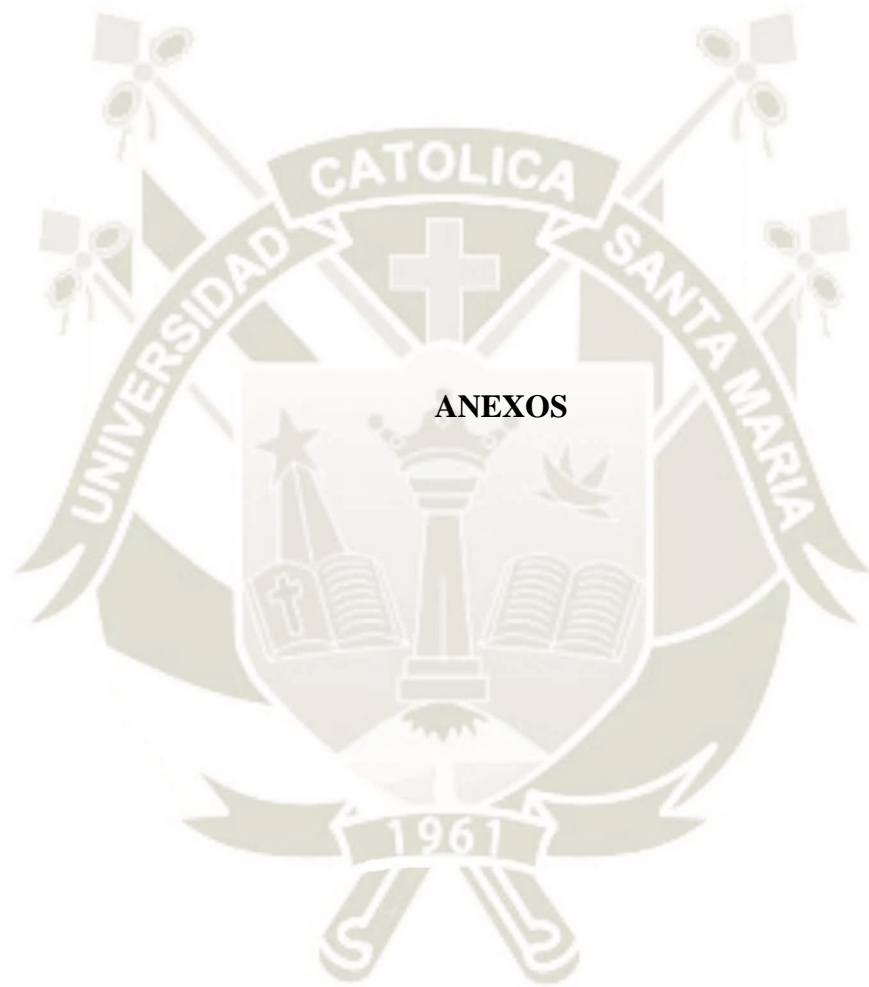
RECOMENDACIONES

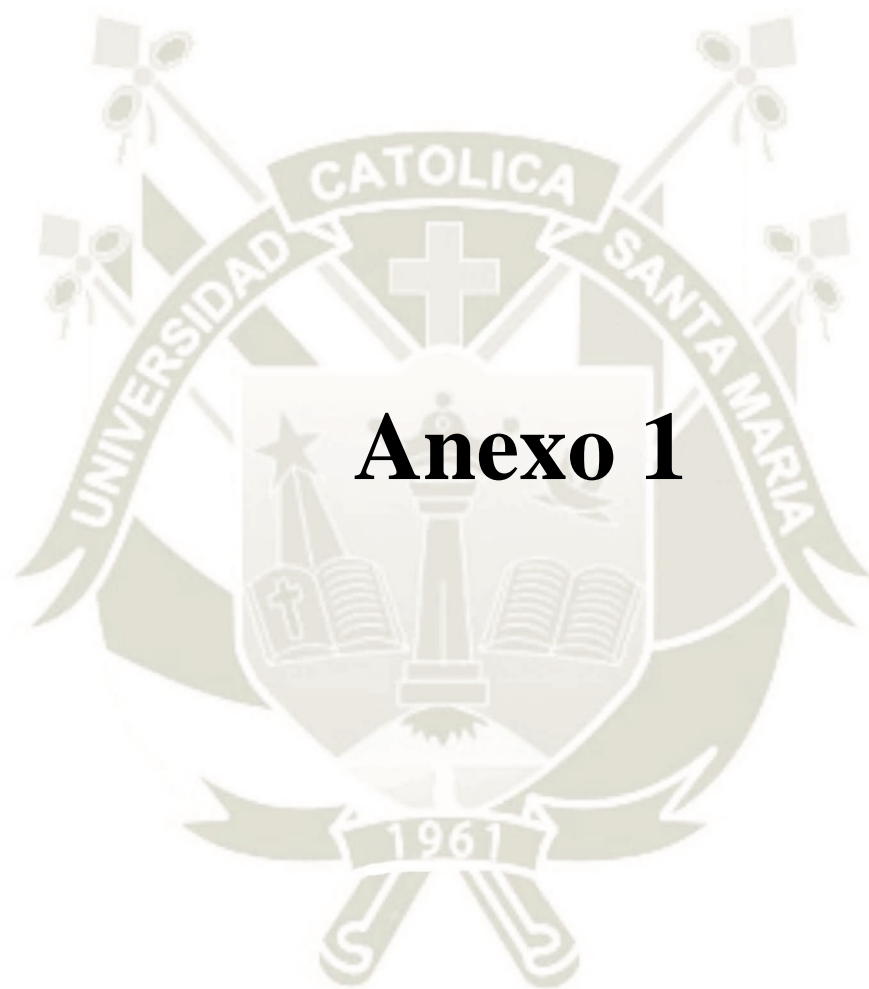
- Antes de energizar la línea de transmisión es necesario la rehabilitarla completamente, puesto que se encuentran en malas condiciones y el diseño de la nueva línea de transmisión hacia la comunidad de Occobamba, para que pueda llevarse a cabo la etapa de transmisión y el objetivo final sea completado.
- Se recomienda una evaluación periódica programada a los tramos más críticos de la tubería para que tenga un tiempo mayor de vida útil.
- Se recomienda realizar un mantenimiento programado de estricto cumplimiento a los equipos electromecánicos tales como la turbina, generador y transformador con la finalidad de alargar su tiempo de vida útil y garantice un correcto funcionamiento durante los próximos años.
- Compartir y hacer extensivo el presente estudio a la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, para que puedan tener en consideración puesto que esto haría que mejore la calidad y funcionamiento del centro experimental.

BIBLIOGRAFIA

1. Comisión Europea. (1998). *Manual de pequeña hidráulica. Cómo llevar a buen fin un proyecto de minicentral hidroeléctrica* Editado por Dr. Ingeniero de Minas Sr. Celso Penche., . Bruselas: Comisión Europea.
2. Coz, F., Sánchez, T., Viani, B., Segura, J., Rodríguez, L., Miranda, H., . . . Muñoz, I. (1995). *Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas. Una guía para el desarrollo de proyectos* . Limá, Perú: ITDG.
3. Dávila, C., Vilar, D., Villanueva, G., & Quiroz, L. (2010). *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*. Lima: Soluciones Prácticas.
4. Energías Eléctricas. (s.f.). *Turbinas*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/electrienergiacomc/central-electrica/turbina>
5. ESAN. (2016). *Evaluación económica y financiera de proyectos*. Obtenido de <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2016/09/evaluacion-economica-y-financiera-de-proyectos/>
6. Escalona, C. (2013). *Turbinas hidráulicas*. Obtenido de <http://cristianescalona540.blogspot.com/2013/09/turbinas-hidraulicas.html>
7. Eternoo Machinery CO. LTD. (s.f.). *Turbinas Francias*. Obtenido de <http://es.eternoohydro.com/turbines/francis-turbines.html>
8. Freire, E. (2010). *Elaboración e implementación de un software para el diseño de centrales hidroeléctricas hasta 10 MW [Tesis de grado]*. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/906/1/15T00447.pdf>
9. Harvey, A. (1998). *Micro-Hydro Design Manual*. London: It publications.
10. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía [IDAE]. (2006). *Minicentrales hidroeléctricas (6)*. Madrid: IDAE.
11. Inversin, A. R. (1986). *Micro-Hydropower Sourcebook*. Washington, D.C.: NRECA International Fundation.

12. Moncayo, L. (2009). *Estudio para la rehabilitación de la minicentral hidroeléctrica Valladolid [Tesis de grado]*. Obtenido de <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/16912/1/Moncayo%20Escobar%2C%20Luis%20Alberto.pdf>
13. Morales, A. (2017). *Diseño del sistema electromecánico de una microcentral hidroeléctrica en la localidad de Palca del departamento de La Paz [Tesis de grado]*. Obtenido de <http://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/15718/PG-1932-Morales%20Ergueta%2C%20Amilkar%20Roberto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
14. Moreno, R., & Naranjo, J. (2012). *Diseño de un parque de microcentrales hidroeléctricas para la cuenca baja del río San Francisco del Cantón Gualaceo provincia del Azuay*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3300/1/UPS-CT002539.pdf>
15. Ortiz, R. (2001). *Pequeñas centrales hidroeléctricas*. México, D.F.: Ed. Mc Graw – Hill.
16. Rodríguez, L., & Suárez, L. (2013). *Diseño de un micro central hidroeléctrica para la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes [Tesis de grado]*. Obtenido de Universidad de Costa Rica: <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/2313/1/35345.pdf>
17. Vásquez, M. (2014). *Turbinas hidráulicas*. Obtenido de https://es.slideshare.net/buti_81/hidraulica-turbinas





Anexo 1

CONSUMO DE ENERGIA RESIDENCIAL

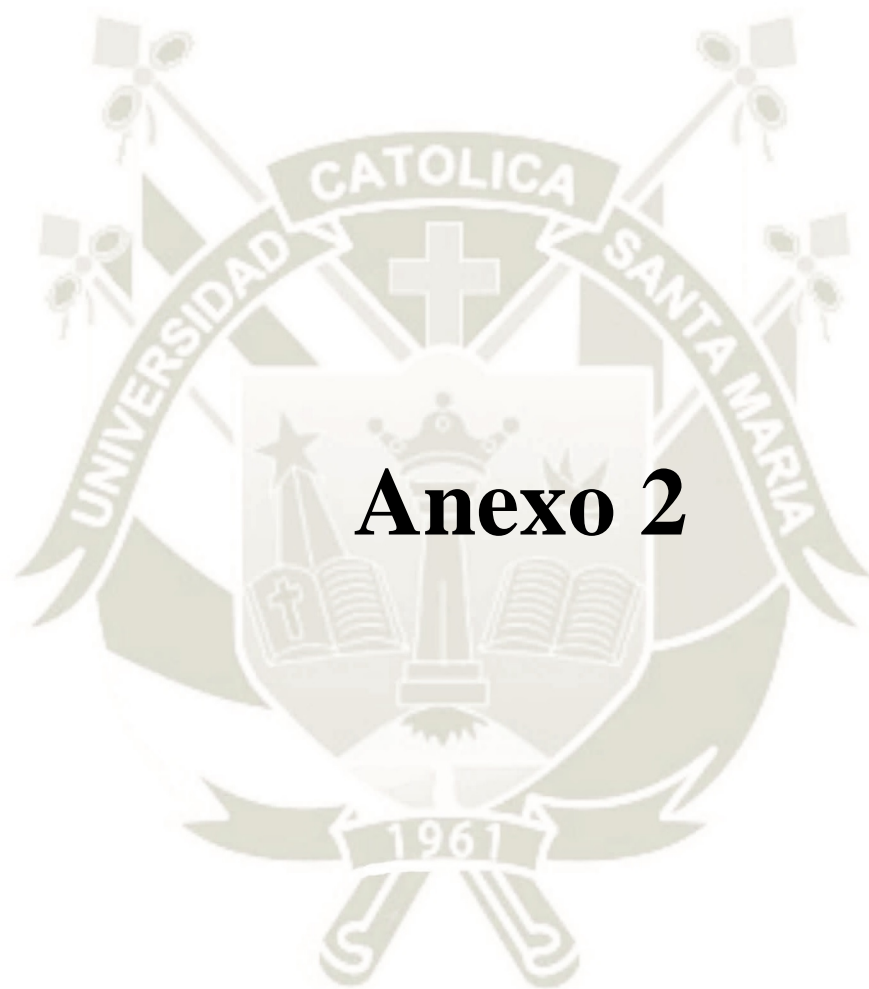
UTILIDAD	Potencia de Iluminación Watts/m2	Area (m2)	Potencia Instalada Watts	N°	CS %	HORA DE USO (hr)						Energía en KWH				
						0 - 5 am	5 - 7 am	7 - 11 am	11 - 1 pm	1 - 5 pm	5 - 7 pm	7 - 10 pm	10 - 12 pm	Día	Año	
Residencial																
ZONA DE INVESTIGACION																
Laboratorio de sanidad animal	15	238.98	3584.7		0.5		1792.35									
2 SS.HH.	10	25.49	254.9		0.1		25.49									
Computadora			300	1	0.75		225		225							
Impresora			200	1	0.25		50		50							
Otros			250	1	0.25					62.5						
Laboratorio de virología y bacteriología	15	119.11	1786.65		0.5		893.325									
1 SS.HH.	10	2.08	20.8		0.1		2.08									
Computadora			300	1	0.5		150									
Impresora			200	1	0.25		50									
Otros			250	2	0.2											
Laboratorio de necropsia	15	119.11	1786.65		0.5		893.325									
1 SS.HH.	10	2.08	20.8		0.1		2.08									
Otros			250	1	0.2		50									
Laboratorio de parasitología	15	119.11	1786.65		0.5		893.325									
1 SS.HH.	10	2.08	20.8		0.1		2.08									
Computadora			300	1	0.75		225									
Impresora			200	1	0.25		50									
Otros			250	1	0.2											
Laboratorio de reproducción	15	264.57	3968.55		0.5		1984.275									
1 SS.HH.	10	2.08	20.8		0.1											
Computadora			300	1	0.75											
Impresora			200	1	0.25											
Otros			250	1	0.2											
Laboratorio de nutrición animal	15	667.8	10017		0.5		5008.5									
1 SS.HH.	10	2.08	20.8		0.1											
Computadora			300	1	0.75		225									
Impresora			200	1	0.25		50									
Otros			500	1	0.2											

CONSUMO DE ENERGIA INDUSTRIAL Y COMERCIAL

UTILIDAD	Potencia de Iluminación	Area (m2)	Potencia Instalada Watts	N°	CS %	HORA DE USO (hr)							Energía en KWH			
						0 - 5 am	5 - 7 am	7 - 11 am	11 - 1 pm	1 - 5 pm	5 - 7 pm	7 - 10 pm	10 - 12 pm	Día	Año	
INDUSTRIAL Y COMERCIAL																
Motores			1500	10	0.3			4500		4500						
Estufas			1500	10	0.5	7500					7500					
Centrifugas			700	4	0.3			840		840						
Equipos de procesamiento de lana de alpaca			1500	5	0.25			1875		1875						
Total Industrial y Comercial			5200			7500	0	7215	0	7215	0	7500	7500	0	0	0
						37500	0	28860	0	28860	0	22500	15000	132.72	48442.8	

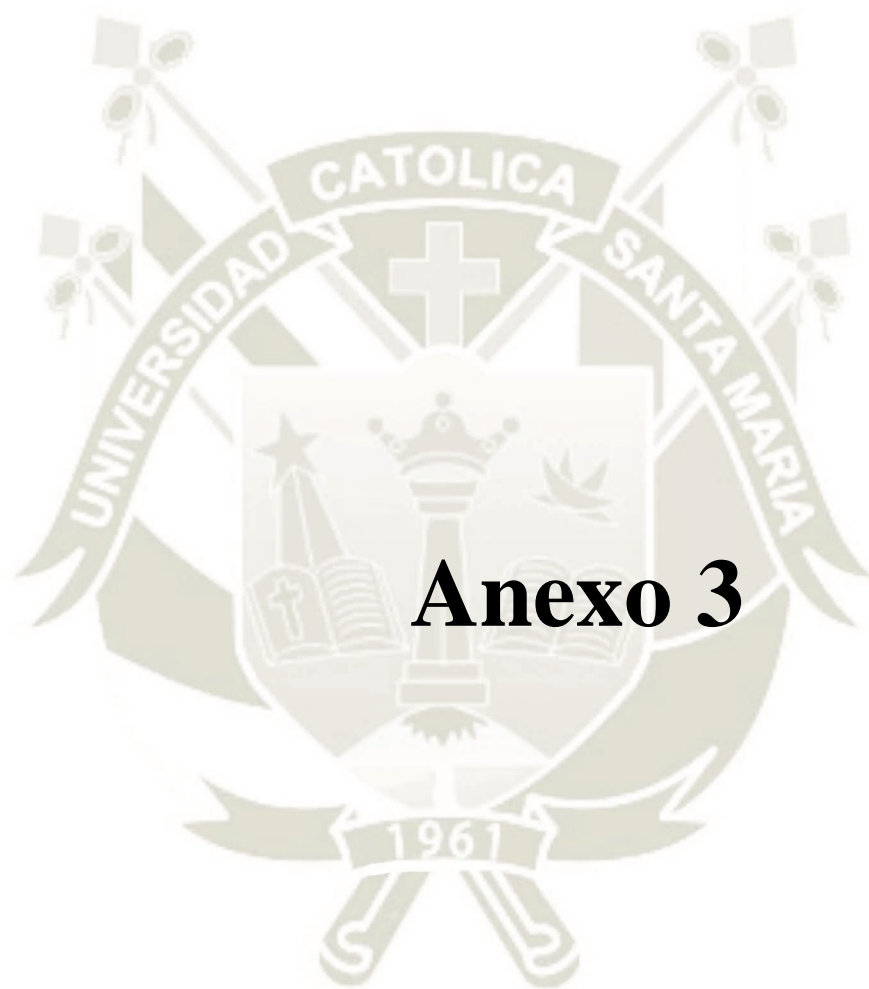
CONSUMO DE ENERGÍA DE ALUMBRADO PÚBLICO

UTILIDAD	Potencia de Iluminación	Area (m2)	Potencia Instalada Watts	N°	CS %	HORA DE USO (hr)							Energía en KWH				
						0 - 5 am	5 - 7 am	7 - 11 am	11 - 1 pm	1 - 5 pm	5 - 7 pm	7 - 10 pm	10 - 12 pm	Día	Año		
Usuario																	
SERVICIOS PUBLICOS																	
Comunicación			250	1	0.25		62.5		62.5		62.5						
Alumbrado publico de exteriores residenciales			50	20	1	1000				1000		1000					
Alumbrado de loza deportiva			400	4	0.25							400					
Otros servicios			1500	2	0.25		750					750					
Total de servicios publicos			2200			1000	812.5	0	62.5	0	1062.5	2150	1000	0	0	0	0
						5000	1625	0	0	0	2125	6450	2000	17.2	6278		



Anexo 2

PARTIDAS	PRESUPUESTO			
	UNIDAD	METRADO	PRECIO (S/)	PARCIAL(S./.)
OBRAS CIVILES				45706.64
OBRAS PROVISIONALES Y PRELIMINARES				6700
MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	d	3	240	720
TRAZO Y REPLANTEO DE OBRAS DE REHABILITACION	glb	1	1500	1500
TRANSPORTE DE MATERIALES	glb	10	448	4480
MOVIMIENTO DE TIERRAS				30250
EXCAVACION DE TERRENO PARA ADECUACION DE CANAL DE CONDUCCION	m3	700	40	28000
EXCAVACION DE TERRENO PARA LA CONSTRUCCION DE LA BOCATOMA	m3	15	50	750
EXCAVACION DE TERRENO PARA LA CONSTRUCCION DEL DESARENADOR	m3	20	50	1000
DEMOLICION DEL DESARENADOR	glb	1	500	500
CONCRETO SIMPLE				8756.64
CONCRETO 1:10 PARA SOLADOS Y/O SUB BASES	m3	6.5	172.65	1122.2
CONCRETO 1:10 + 30%PG PARA CIMIENTO CORRIDO (CEMENTO PV)	m3	7.65	145.02	1109.43
CONCRETO 1:10 + 30 % PG PARA CIMEINTO CORRIO DE CANAL CONDUCTOR DESARENADOR CAMARA DE CARGA	m3	20	145	2900
CONCRETO 1:10 + 30% PG PARA MANPOSTERIA DE CANAL DE CONDUCCION	m3	25	145	3625
EQUIPOS ELECTROMECHANICOS				75597.56
GRUPO TURBINA - GENERADOR				38986.5
MANTENIMIENTO DEL ALTERNADOR	Unid	1	3000	3000
MANTENIMIENTO DE CANGILONES	Unid	17	84.5	1436.5
MANTENIMIENTO DEL INYECTOR (ESMERILADO)	glb	2	150	300
MANTENIMIENTO CARCAZA TURBINA(ESMERILADO)	glb	1	250	250
MANTENIMIENTO COMPUERTA DE 10"	Unid	1	2000	2000
VALVULA MARIPOSA DE 10"	Unid	1	2000	2000
REGULAOR ELECTRONICO DE CARGA, EQUIPO SERVOMOTOR	Unid	1	30000	30000
SUMINISTRO MATERIALES MENORES PARA MANTENIMIENTO MECANICO				7332.9
SUMINISTRO DE JUNTA DE MONTAJE DE JUNTA DE ACERO A-36 DN 10"	Unid	1	2000	2000
PLANCHA DE ACERO DE 1/4" 1.2x2 4M	Unid	2	408.5	817
PLANCHA DE ACERO DE 3/16 DE 1.2x2 4M	Unid	5	309.8	1549
ANGULAR DE 2x2x1/4"	m	12	16	192
ANGULAR DE 1x1x1/4"	m	8	12	96
FABRICACION DE COMPUERTA DE PURGA	Unid	3	500	1500
EJE DE ACERO DE 1 1/2" DE DIA	Kg	20	7	140
PLANCHA DE JEBE CON NAYLON DE 1/8"	m2	1	25	25
RODAMIENTO DE BOLAS	Unid	2	90	180
PERNOS DE 1/2"x 41/2"	und	48	3	144
SOLDADURA CELLOPCORD 1/8"	kg	10	8	80
SOLDADURA SUPERCITO 1/8"	kg	10	10	100
TUBO DE 6" DE ACERO SCH 40	m	6	41.65	249.9
PINTURA ANTICORROSIVA	gal	1	30	30
PINTURA ESMALTE ACABADO	gal	1	30	30
THINER	gal	2	25	50
OTROS MENORES	glb	1	150	150
TRANSPORTE DE EQUIPOS				789.25
TRANPORTE DE SUMINISTRO DE EQUIPOS	glb	5	157.85	789.25
MONTAJE JUNTAS DE EXPANSION				2265
MONTAJE DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO (ALMENARA)	und	1	250	250
MONTAJE DE LA COMPIUERTA DE LIMPIEZA	und	3	255	765
MONTAJE DE JUNTA DE EXPANSION ACERO A - 36 DN 10"	und	1	1250	1250
PRUEBAS DE SOLDADURA				1955
PRUEBA DE SOLDADURA POR ULTRASONIDO (UT) TUBERIA FORZADA	m	20	50	1000
PRUEBA DE SOLDADURA POR ULTRASONIDO (UT) CUCHARAS DE TURBINA	und	1	955.5	955.5
PRUEBAS				7768.41
PRUEBA HIDRAULICA				768.41
PRUEBA HIDRAULICA	glb	1	768.41	768.41
PRUEBA DE EQUIPO MECANICO (TURBINA-GENERADOR)				3000
PRUEBA DE EQUIPO ELECTROMECHANICOS	glb	1	3000	3000
POZO A TIERRA				4000
POZO CONEXIÓN A TIERRA	glb	2	2000	4000
MONTAJE DE EQUIPOS ELECTRICOS				6500
INSTALACION DE TABLEROS				4500
TABLERO DE CONTROL	und	1	2000	2000
TABLERO DE PROTECCION 22.9 KV	und	1	1000	1000
INSTALACION DE MEDIDOR MULTIFUNCION	glb	1	1500	1500
PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO DE LA SUBESTACION				2000
PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO	glb	1	2000	2000
OBRAS CIVILES				45706.64
OBRAS ELECTROMECHANICAS				75597.56
TOTAL				121304.2

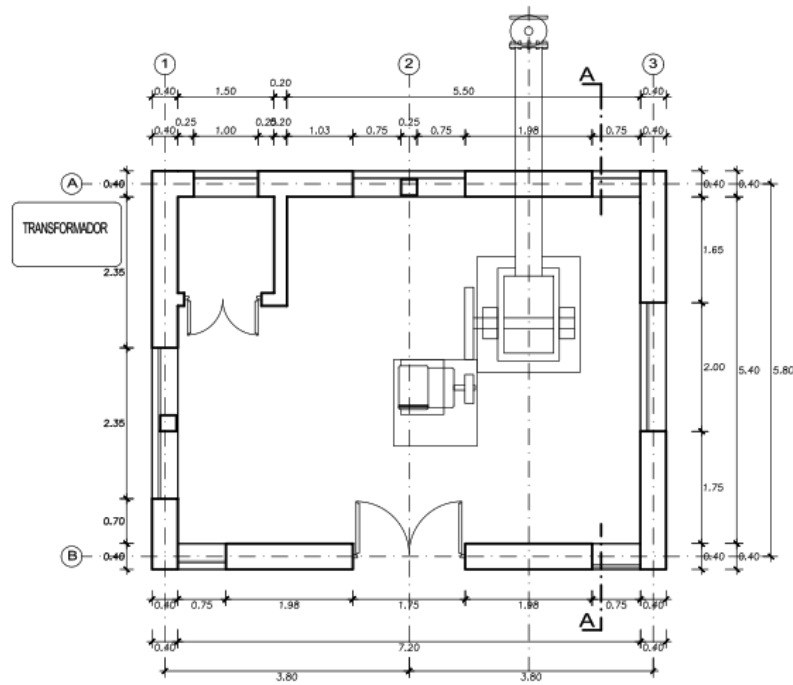


Anexo 3

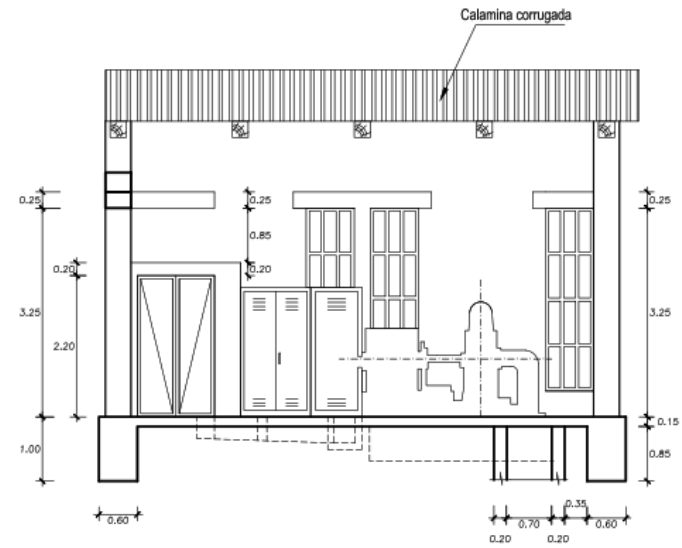






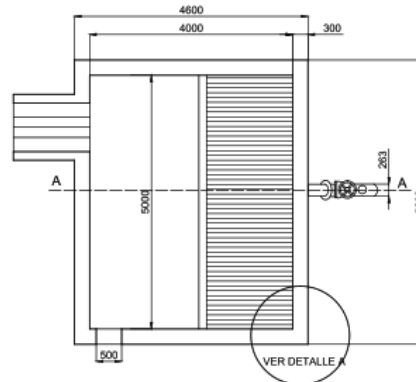
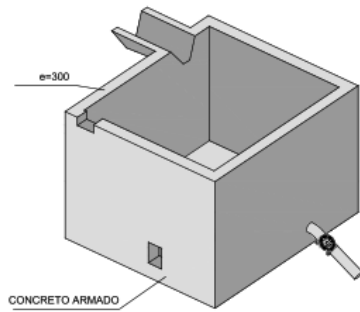


PLANTA GENERAL
ESCALA: 1/75

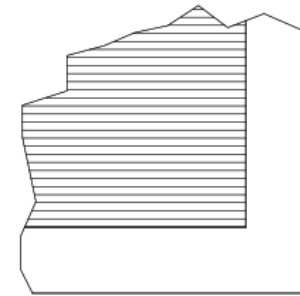


CORTE A-A
ESCALA: 1/75

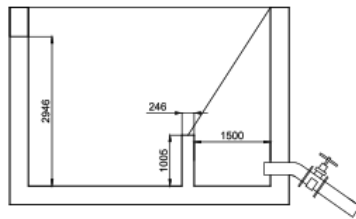
	UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA	
	FACULTAD DE CIENCIAS Y INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES	
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA, MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA	
	<small>PROYECTO DE REPOTEBERACION DE LA MINICENTRAL HIDROELECTRICA DE LA RAYA DE BOKW DE POTENCIA PARA ABASTECER LAS INSTALACIONES DEL CENTRO EXPERIMENTAL CIGAS LA RAYA Y DE LA COMUNIDAD DE OCCOBANBA.</small>	
<small>Nombre:</small> Bach. LUIS HENRY TORRES PARRILAYO Bach. FRANCISCO EUSEBIO VALDIVIA CALLO	<small>Fecha:</small> 16/05/2018	<small>Curso:</small> INDICADA A-01
<small>PLANTA, CORTE - CASA DE MAQUINA</small>		<small>Hoja:</small> 1 de 08



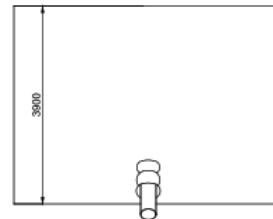
VISTA SUPERIOR
SC 1/50



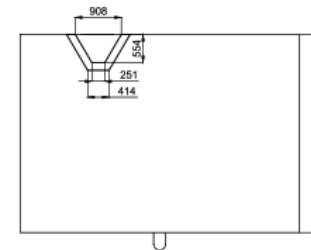
DETALLE A
SC 1/50



SECCION A-A
SC 1/50

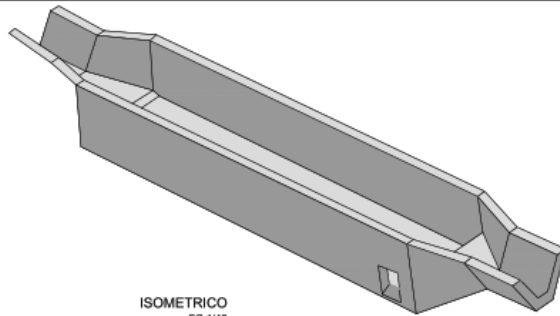


VISTA FRONTAL
SC 1/50

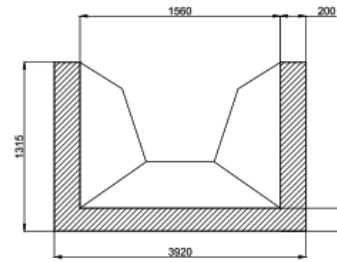


VISTA LATERAL
SC 1/50

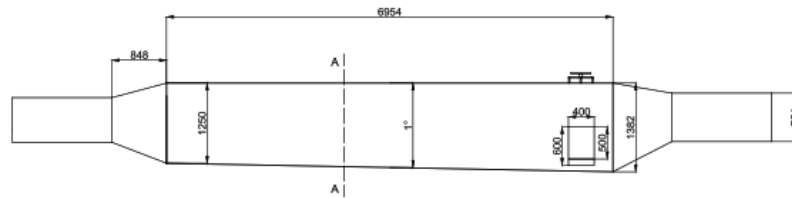
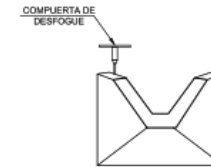
	UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA	
	FACULTAD DE CIENCIAS Y INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES	
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA, MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA	
	<small>PROYECTO DE REPOTENCIACION DE LA MINICENTRAL HIDROELECTRICA DE LA RAYA DE BORO DE POTENCIA PARA ABASTECER LAS INSTALACIONES DEL CENTRO EXPERIMENTAL CEGAS LA RAYA Y DE LA COMUNIDAD DE OCCORONBA</small>	
<small>Nombre:</small> Bch. LUIS HENRY TORRES PARRILLO Bch. FRANCISCO EUSEBIO VALDERRAMA CALLO	<small>Fecha:</small> NOVIEMBRE 2011 <small>Lugar:</small> HICACADA	D-01
<small>Título:</small> DETALLE DE LA CAMARA DE CARGA		<small>Página:</small> 1 DE 16



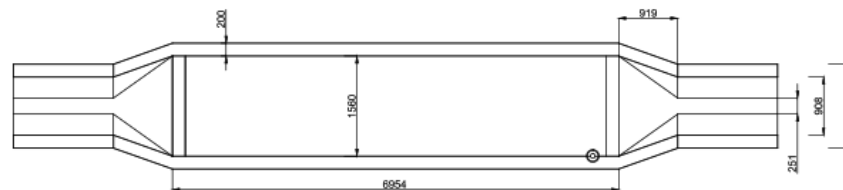
ISOMETRICO
SC 1/40



CORTE A-A
SC 1/20



VISTA FRONTAL
SC 1/40



VISTA SUPERIOR
SC 1/40



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS Y INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,
MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

PROYECTO DE REPOTENCIACION DE LA MINICENTRAL HIDROELECTRICA
 DE LA RAYA DE 200W DE POTENCIA PARA ABASTECER LAS INSTALACIONES
 DEL CENTRO EXPERIMENTAL QISAS LA RAYA Y DE LA COMUNIDAD DE OCCOBANBA

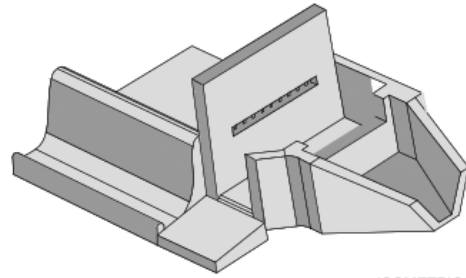
Nombre: Bch. LUIS HENRY TORRES PARRILAYO
 Bch. FRANCESCO EUSEBIO VALDAMA CALLO

Fecha: NOVIEMBRE 2010
 Lugar: INDEGADA

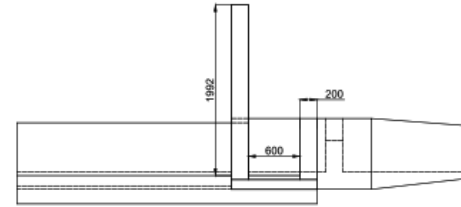
D-02

Detalle de DESARENADOR

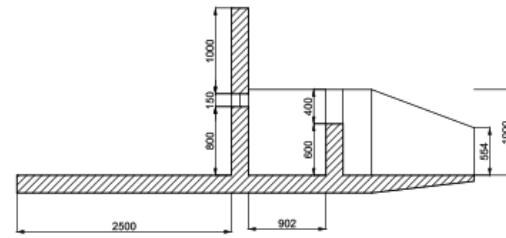
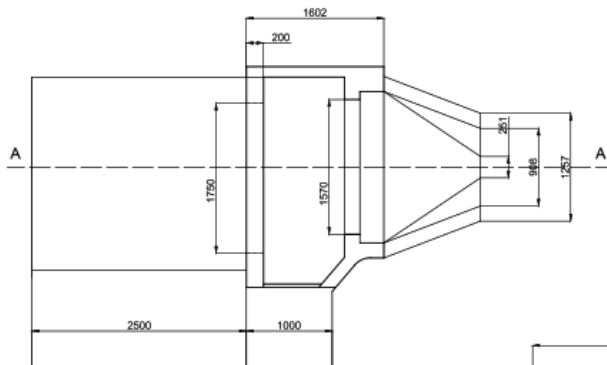
• DE 16



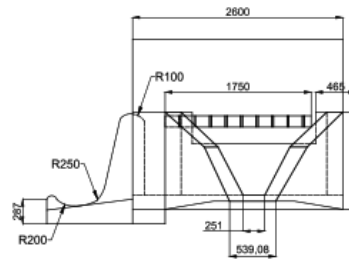
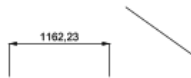
ISOMETRICO
SC 1/30



VISTA LATERAL
SC 1/30



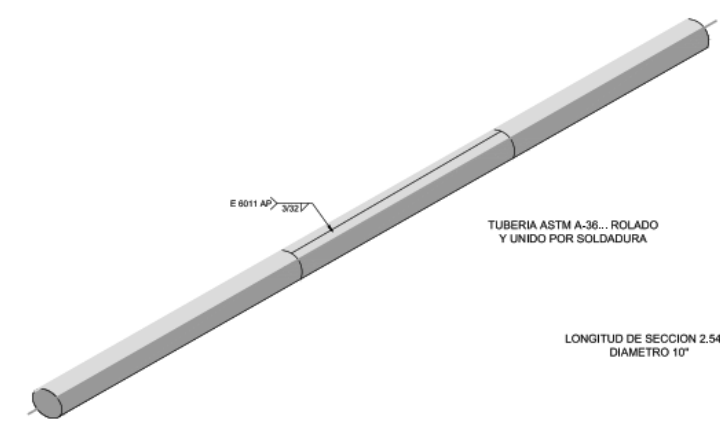
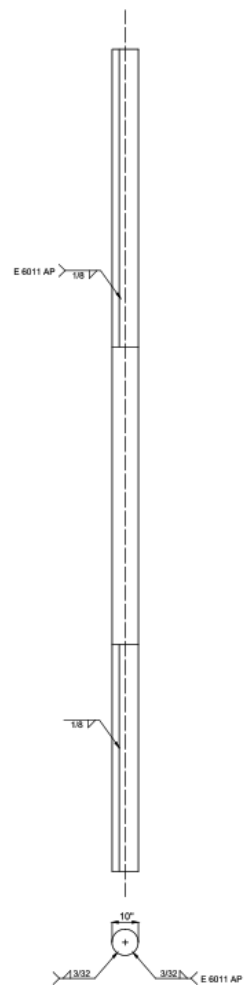
CORTE A-A
SC 1/30



VISTA FRONTAL
SC 1/30



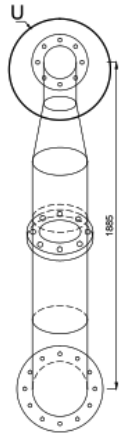
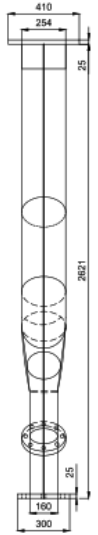
UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA	
FACULTAD DE CIENCIAS Y INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,	
MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA	
PROYECTO DE REPOTENCIACION DE LA MINICENTRAL HIDROELECTRICA DE LA RAYA DE BAMB DE POTENCIA PARA ABASTECER LAS INSTALACIONES DEL CENTRO EXPERIMENTAL CEGAS LA RAYA Y DE LA COMUNIDAD DE OCCOBANBA	
Nombre	Bach. LUIS HENRY TORRES PARRISAYO
Fecha	NOVIEMBRE 2015
Problema	Bach. FRANCISCO EUSEBIO VALDERRAMA CALLO
Indicada	D-03
DETALLE DE LA BOCATOMA	
p 06 de 10	



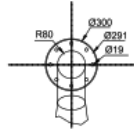
TUBERIA ASTM A-36... ROLADO Y UNIDO POR SOLDADURA

LONGITUD DE SECCION 2.54 M
DIAMETRO 10"

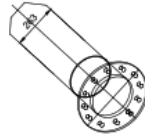
	UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA	
	FACULTAD DE CIENCIAS Y INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA, MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA	
	<small>PROYECTO DE REPOTENCIACION DE LA MINICENTRAL HIDROELECTRICA DE LA RAYA DE RINCON DE POTENCIA PARA ABASTECER LAS INSTALACIONES DEL CENTRO EXPERIMENTAL CIGAS LA RAYA Y DE LA COMUNIDAD DE OCCOBANBA</small>	
<small>Nombre:</small> Bach. LUIS HENRY TORRES PARRAJAYO Bach. FRANCISCO EUSEBIO VALDANA CALLO	<small>Fecha:</small> NOVIEMBRE 2018 <small>Lugar:</small> INECACGA	<small>Curso:</small> D-04
<small>Detalle:</small> DETALLE DE TUBERIAS ROLADAS		<small>Página:</small> 16 de 16



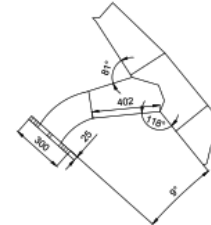
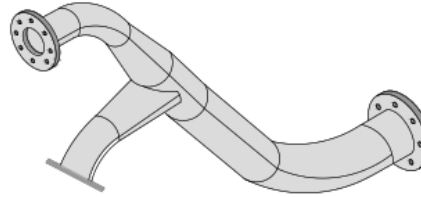
ESCALA 1/15



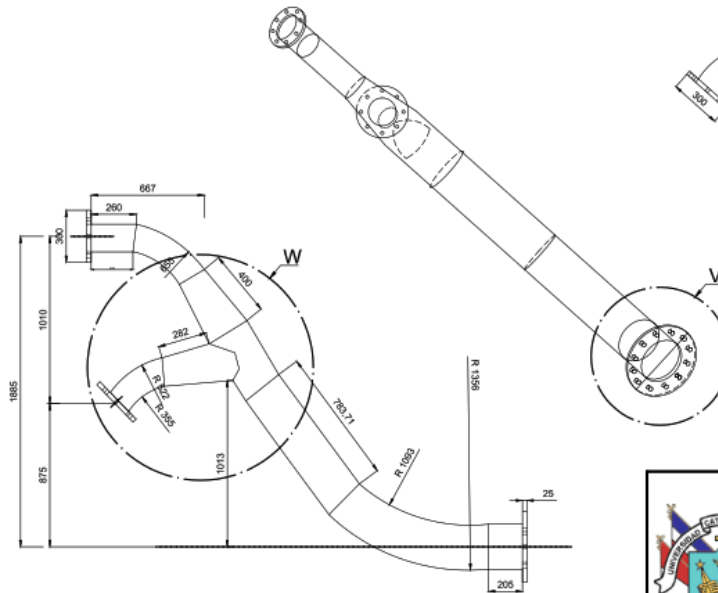
DETALLE U
ESCALA 0.13: 1



DETALLE V
ESCALA 0.13: 1

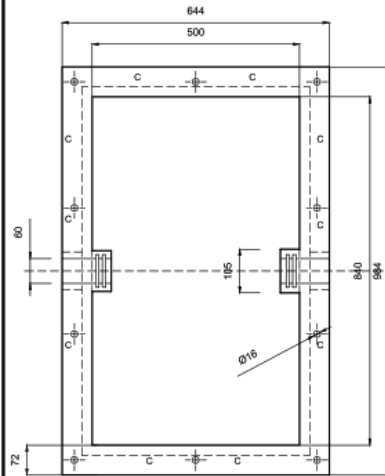


DETALLE W
ESCALA 0.13: 1

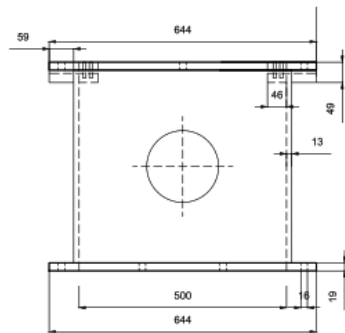


UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA	
FACULTAD DE CIENCIAS Y INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,	
MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA	
PROYECTO DE REPOTENCIACION DE LA MINICENTRAL HIDROELECTRICA DE LA RAYA DE BIVOR DE POTENTIAL PARA ABASTECER LAS INSTALACIONES DEL CENTRO EXPERIMENTAL OJAS LA RAYA Y DE LA COMUNIDAD DE OCCOBANBA	
Nombre:	Apellido:
Bach. LUIS HENRY TORRES PARRIVAYO	NOVARRIN 2010
Bach. FRANCISCO EUSEBIO VALDERRAMA CALLO	INCCADG
D-05	
DETALLE DE LA BIFURCACION DE LA TUBERIA HACIA LOS INYECTORES	

CAJA DE INFERIOR DE TURBINA
ESCALA 1/10

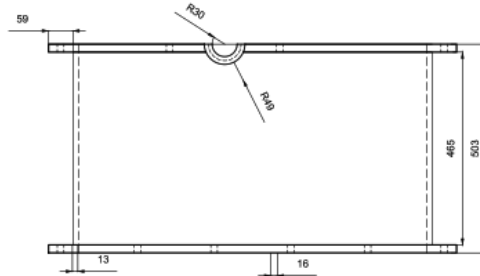
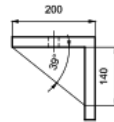
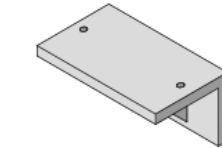
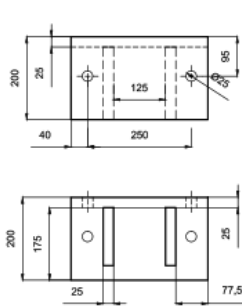


VISTA SUPERIOR
ESCALA 1/10

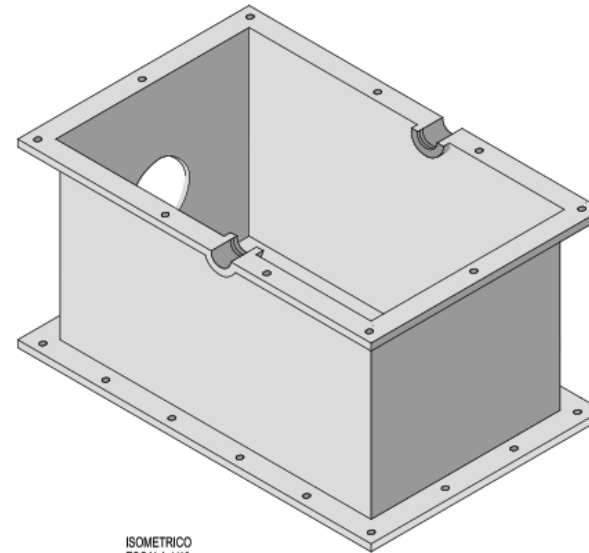


VISTA FRONTAL
ESCALA 1/10


APOYO SOPORTE DE CHUMACERA
ESCALA 1/10

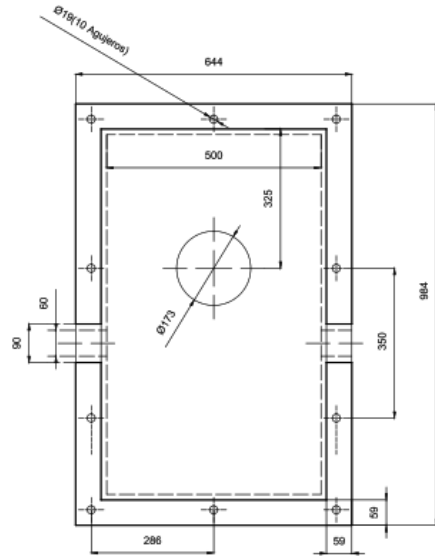


VISTA LATERAL
ESCALA 1/10

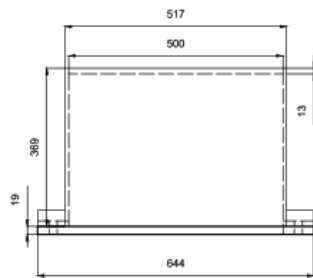


ISOMETRICO
ESCALA 1/10

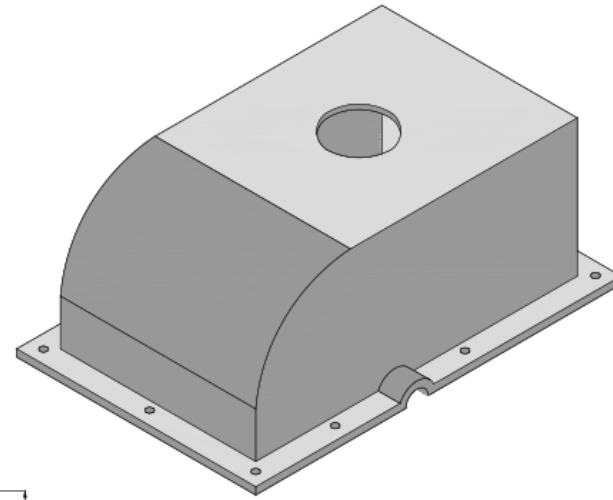
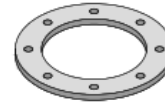
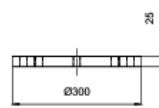
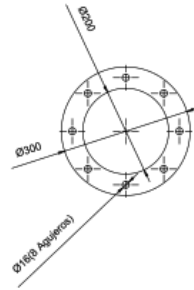
	UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA		
	FACULTAD DE CIENCIAS Y INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES		
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,		
	MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA		
<small>PROYECTO DE REPOTENCIACION DE LA MICROCENTRAL HIDROELECTRICA DE LA RAYA DE NOROCCIDENTE PARA ABASTECER LAS INSTALACIONES DEL CENTRO EXPERIMENTAL QGAS LA RAYA Y DE LA COMUNIDAD DE OCCOBANBA</small>			
<small>Nombre:</small> Bach. LUIS HENRY TORRES PARRILAYO Bach. FRANCISCO EUSEBIO VALDIANA CALLO	<small>Fecha:</small> NOVIEMBRE 2010	<small>Curso:</small> INGENIERIA	D-06
<small>Título:</small> DETALLE DE CARCAZA INTERIOR - CAJA TURBINA			<small>Página:</small> 6 de 10



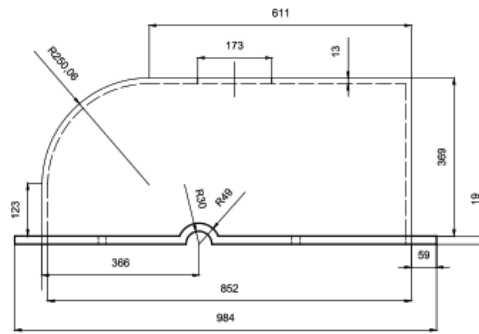
VISTA SUPERIOR
ESCALA 1/10



VISTA FRONTAL
ESCALA 1/10



ISOMETRICO
ESCALA 1/10

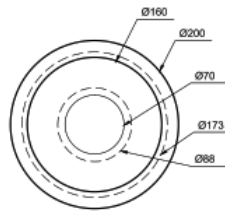


VISTA LATERAL
ESCALA 1/10

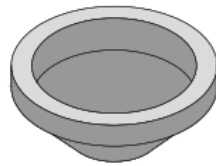


UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA		
FACULTAD DE CIENCIAS Y INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,		
MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA		
PROYECTO DE REPOTENCIACION DE LA MINICENTRAL HIDROELECTRICA		
DE LA RAMA DE SERVICIO DE POTENCIA PARA ABASTECER LAS METALURGICAS		
DEL CENTRO EXPERIMENTAL CIGAS LA RAYA Y DE LA COMUNIDAD DE OCCOBANBA		
Nombre:	Bach. LUIS HENRY TORRES PARRIAYO	Fecha:
	Bach. FRANCISCO ELBERO VALENTA CALLO	NOVIEMBRE 2010
		Estado:
		INDICADA
Numero:		Clasificación:
		D-07
PLANO DE DESPEQUE DE CARCAZA SUPERIOR CAJA TURBINA		p. 14 - 10

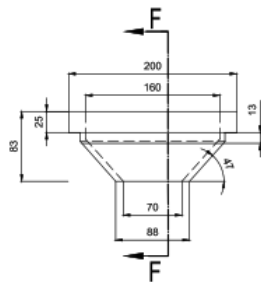
TOBERA SUPERIOR DE LA TURBINA
ESCALA 1/4



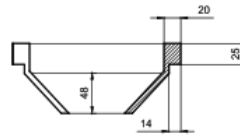
VISTA SUPERIOR
ESCALA 1/4



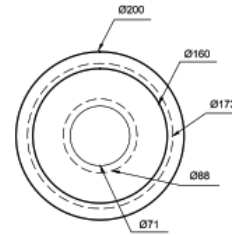
ISOMETRICO



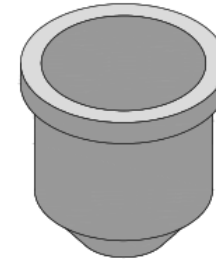
VISTA LATERAL
ESCALA 1/4



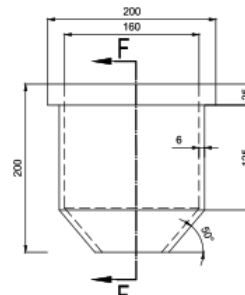
SECCION F-F
ESCALA 1/4



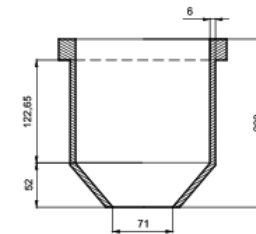
VISTA SUPERIOR
ESCALA 1/4



ISOMETRICO



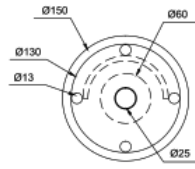
VISTA LATERAL
ESCALA 1/4



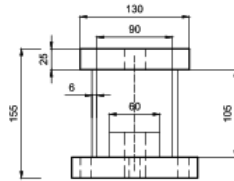
SECCION G-G
ESCALA 1/4

	UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA		
	FACULTAD DE CIENCIAS Y INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES		
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,		
	MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA		
PROYECTO DE REPOTENCIACION DE LA MINICENTRAL HIDROELECTRICA DE LA RAYA DE SOYU DE POTENTIAL PARA ABASTECER LAS INSTALACIONES DEL CENTRO EXPERIMENTAL QIGAS LA RAYA Y DE LA COMUNIDAD DE OCCOBAMBA			
Nombre:	Bach. LUIS HENRY TORRES PARHUAYO Bach. FRANCISCO EUSEBIO VALDIVIA CALLO	Fecha: NOVIEMBRE 2010	D-08
Título: PLANO DE DESPIECE DE LAS TOBERAS DEL INYECTOR			Hoja: 01-08-01

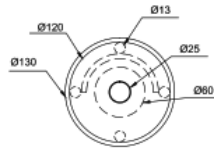
SOPORTE DE LA AGUJA DEL INYECTOR
ESCALA 1/4



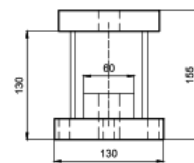
VISTA SUPERIOR
ESCALA 1/4



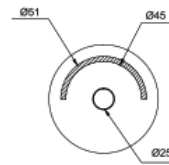
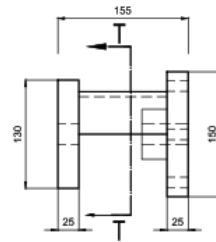
VISTA LATERAL
ESCALA 1/4



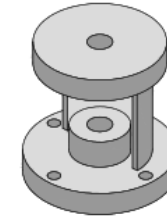
VISTA SUPERIOR
ESCALA 1/4



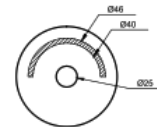
VISTA LATERAL
ESCALA 1/4



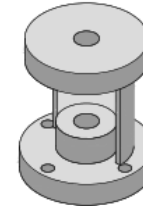
SECCION T-T
ESCALA 1/4




ISOMETRICO

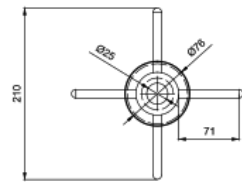


SECCION S-S
ESCALA 1/4

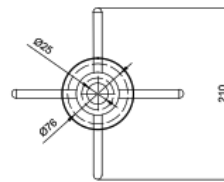


ISOMETRICO

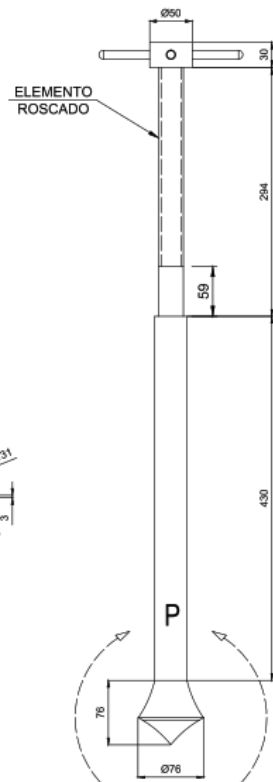
	UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA		
	FACULTAD DE CIENCIAS Y INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES		
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA, MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA		
	PROYECTO DE REPOTENCIACION DE LA MINICENTRAL HIDROELECTRICA DE LA RAYA DE BORN DE POTENCIAL PARA ABASTECER LAS INSTALACIONES DEL CENTRO EXPERIMENTAL DE LA RAYA Y DE LA COMUNIDAD DE OCCOBAMBA		
Nombre:	Bach. LUIS HENRY TORRES PARRAJAYO Bach. FRANCISCO EUSEBIO VALDERRAMA CALLO	Fecha:	NOVIEMBRE 2018 HUECADA
No.:		Dibujo:	D-09
Pila:	PLANO DE DETALLE DEL SOPORTE DE LA AGUJA DEL INYECTOR		11-06-19



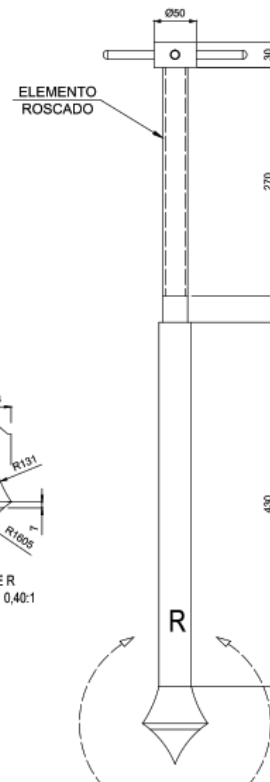
ESCALA 1/5



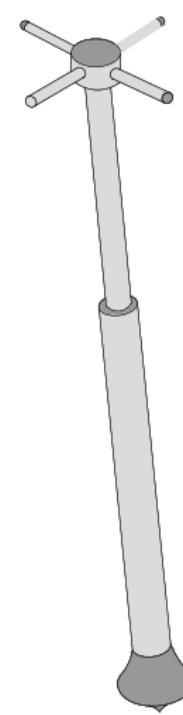
ESCALA 1/5



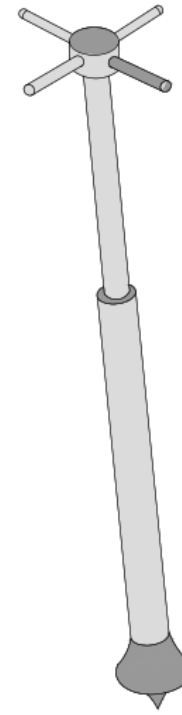
ESCALA 1/5



ESCALA 1/5



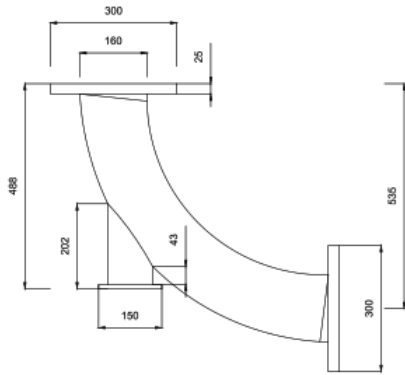
ISOMETRICO



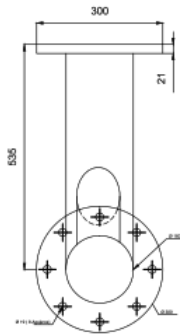
ISOMETRICO

	UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA	
	FACULTAD DE CIENCIAS Y INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES	
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA, MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA	
	<small>PROYECTO DE REPOTENCIACION DE LA MINICENTRAL HIDROELECTRICA DE LA RAYA DE SERVICIO DE POTENCIA PARA ABASTECER LAS INSTALACIONES DEL CENTRO EXPERIMENTAL CEGAS LA RAYA Y DE LA COMUNIDAD DE OCCORONCHI.</small>	
<small>Nombre:</small> Bach. LUIS HENRY TORRES PARRILLO Bach. FRANCISCO EUSEBIO VALDERRAMA CALLO	<small>Fecha:</small> NOVIEMBRE 2010 <small>Periodo:</small> INICIADA	D-10
<small>Plan:</small> PLANO DE DESPIECE DE LAS AGUAS DEL INYECTOR		<small>SI-06-10</small>

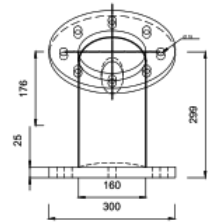
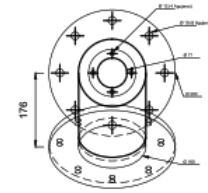
CODO SUPERIOR EN 90°



VISTA LATERAL
ESCALA 1/10

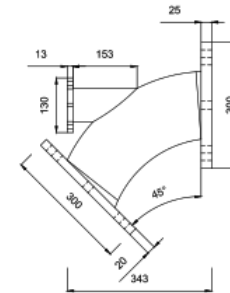


VISTA FRONTAL
ESCALA 1/10

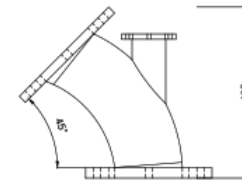


ESCALA 1/10

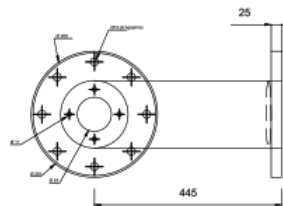
ESCALA 1/10



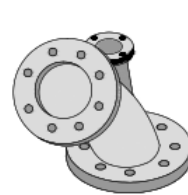
VISTA FRONTAL
ESCALA 1/10



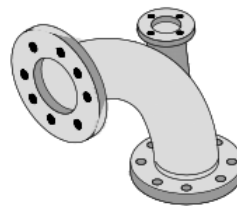
VISTA FRONTAL
ESCALA 1/10




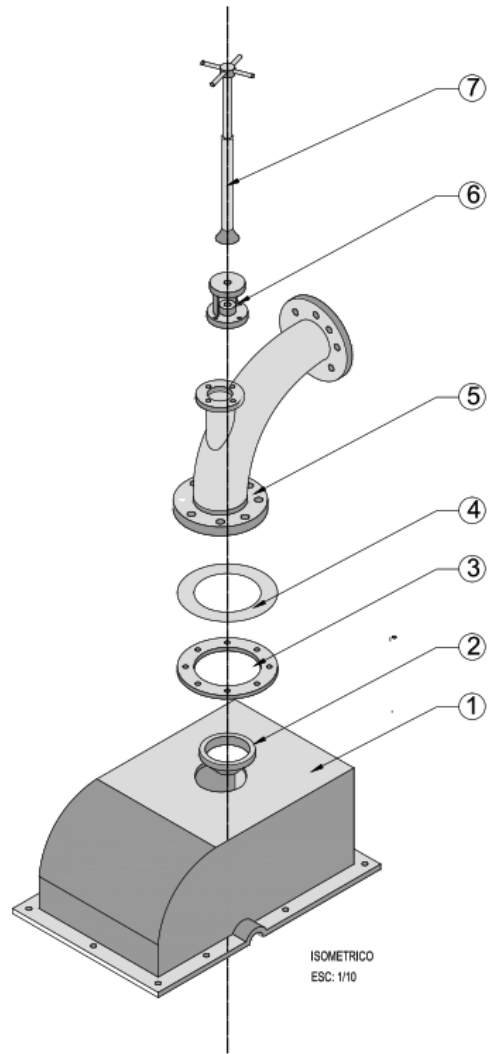
VISTA SUPERIOR
ESCALA 1/10



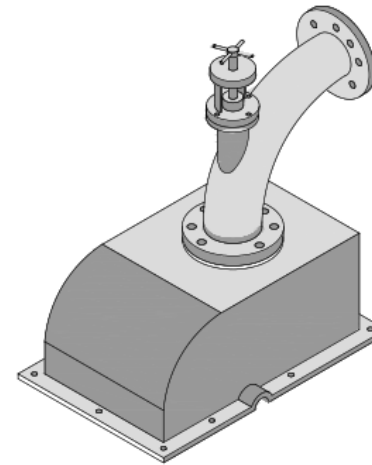
ISOMETRICO
ESCALA 1/10



	UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA		
	FACULTAD DE CIENCIAS Y INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES		
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,		
	MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA		
PROYECTO DE REPOTENCIACION DE LA MINICENTRAL HIDROELECTRICA DE LA RAYA DE SIVAY DE POTENCIAL PARA ABASTECER LAS INSTALACIONES DEL CENTRO EXPERIMENTAL OIGAS LA RAYA Y DE LA COMUNIDAD DE OCCOBAMBA			
Nombre: Bach. LUIS HENRY TORRES PARHAYUO Bach. FRANCESCO EUSEBIO VALDIANA CALLO	Fecha: NOVIEMBRE 2010	Lugar: HICKADA	D-11
Título: PLANO DE DETALLE DE LOS CODOS BANDA DE ACOPLE A AGUJAS DEL INYECTOR			Fecha: 10-08-10



ISOMETRICO
ESC: 1/10

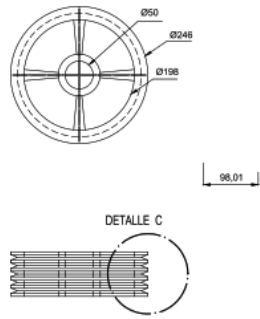


ISOMETRICO
ESC: 1/10

LISTA DE PARTES		
ITEM	QTY	NOMBRE DE PARTES
1	1	CARCAZA SUPERIOR
2	1	TOBERA 1
3	1	JUNTA TIPO BRIDA
4	1	EMPAQUETADURA 1
5	1	CODO 1
6	1	SOPORTE AGUJA
7	1	AGUJA - INYECTOR 1

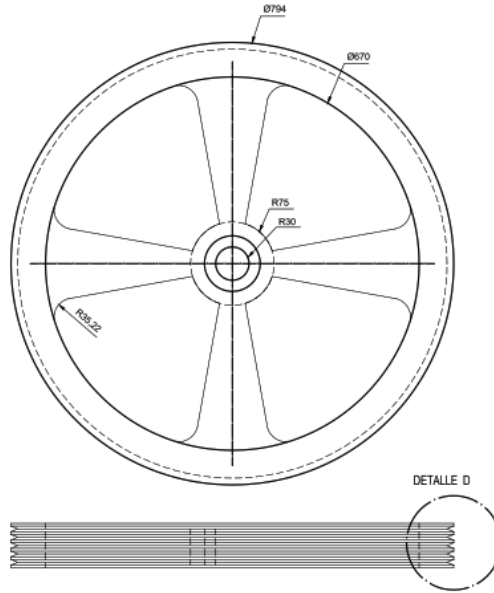
	UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA	
	FACULTAD DE CIENCIAS Y INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES	
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,	
	MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA	
<small>PROYECTO DE REPOTENCIACION DE LA MINICENTRAL HIDROELECTRICA DE LA RAYA DE BOM DE POTENCIA PARA ABASTECER LAS INSTALACIONES DEL CENTRO EXPERIMENTAL QIGAS LA RAYA Y DE LA COMUNIDAD DE OCCOBANCA.</small>		
<small>Nombre:</small> Bach. LUIS HENRY TORRES PARRILLO Bach. FRANCISCO CUSIBO VALDANA CALLO	<small>Fecha:</small> 10/08/2010 <small>Lugar:</small> ICA/CACADA	D-12
<small>Plan:</small> PLANO DE ENSAMBLAJE CONJUNTO CARCAZA - INYECTOR		<small>10-08-10</small>

POLEA DE TRANSMISION DEL GENERADOR
ESCALA 1/5

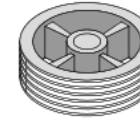


DETALLE C
ESCALA 0.40: 1

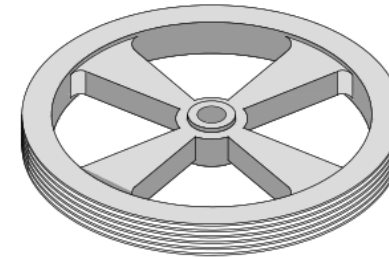
POLEA DE TRANSMISION E LA TURBINA
ESCALA 1/5




DETALLE D
ESCALA 0.40: 1

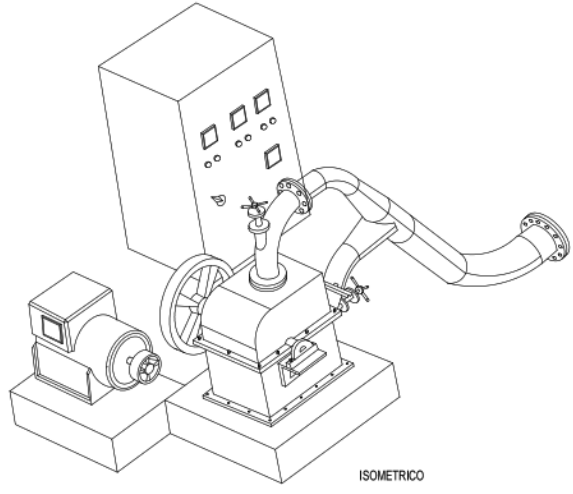
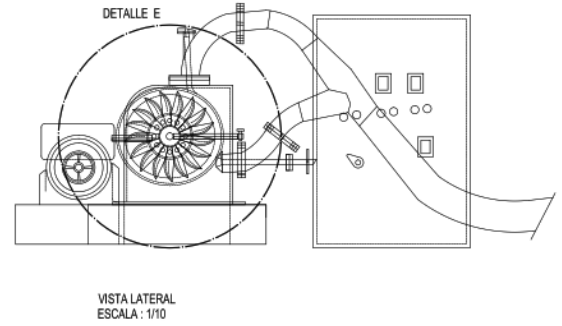
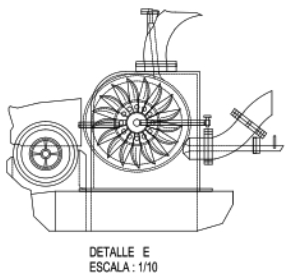
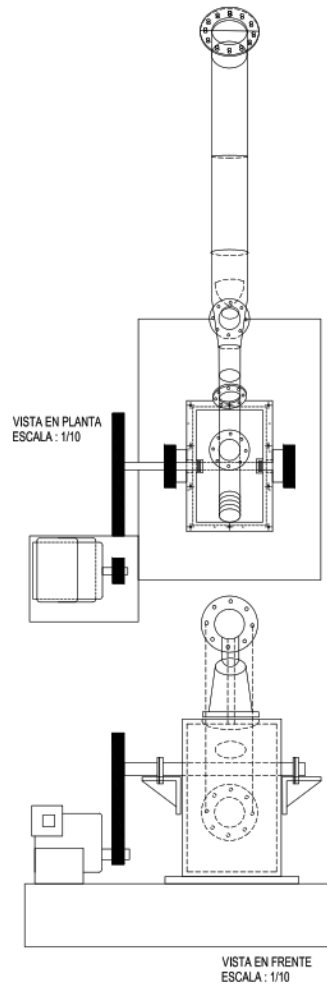


ISOMETRICO



ISOMETRICO

	UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA		
	FACULTAD DE CIENCIAS Y INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA, MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA		
<small>PROYECTO DE REPOTENCIACION DE LA MI-CENTRAL HIDROELECTRICA DE LA RAYA DE BOM DE POTENCIA PARA ABASTECER LAS INSTALACIONES DEL CENTRO EXPERIMENTAL QUGAS LA RAYA Y DE LA COMUNIDAD DE OCCORONANA</small>			
<small>Nombre:</small> Ing. LUIS HENRY TORRES PARRUAYO Ing. FRANCISCO EUSEBO VALDEAR CALLO	<small>Fecha:</small> 10 MARZO 2016	<small>Curso:</small> MECANICA	D-13
<small>PLANO DE DESPECIE DE LA POLEA DE TRANSMISION TURBINA-GENERADOR</small>			<small>10-04-16</small>



	UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA	
	FACULTAD DE CIENCIAS Y INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA, MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA	
PROYECTO DE REPOTENCIACION DE LA MICROCENTRAL HIDROELECTRICA DE LA RAYA DE 80KW DE POTENCIA PARA ABASTECER LAS INSTALACIONES DEL CENTRO EXPERIMENTAL DEGR LA RAYA Y DE LA COMUNA DE OCCOROMBA		
Nombre: Ing. LUIS ROYER TORRES PARRILAYO Ing. FRANCISCO ELISEO VALDIANA CALLO	Fecha: NOVIEMBRE 2010 Lugar: NICARAGUA	LEYENDA: D-14
TITULO: PLANO DE CONJUNTO DE LOS COMPONENTES ELECTROMECANICOS		

