

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**“Determinación del Potencial Hidroenergetico Aprovechable
en la Micro Central Hidrocasajal Chimbote - Perú”**

**Tesis para obtener el Título Profesional de
Ingeniero en Energía**

Autor:

Bach. Garcia Cotrina, Benjamín Eduarmark

Asesor:

Ing. Montañéz Montenegro, Carlos Macedonio
Código ORCID: 0000-0002-8439-4734

Nuevo Chimbote - Perú
2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA



CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

La presente tesis ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando encuadrado dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al reglamento general para obtener el título profesional en la Universidad Nacional del Santa (R.D N° 492-2017-CU-R-UNS) de acuerdo a la denominación siguiente:

**“Determinación del Potencial Hidroenergetico Aprovechable en la Micro Central
Hidrocasajal Chimbote – Perú”**

Autor: Bach. GARCIA COTRINA, Benjamín Eduarmark


Ing. Carlos Macedonio Montañez Montenegro
Código ORCID: 0000-0002-8439-4734
DNI.: 42451038
Asesor

Nuevo Chimbote; febrero de 2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN ENERGIA



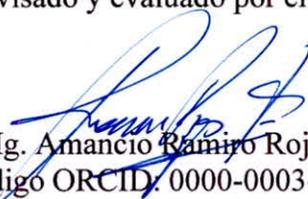
CARTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR DE TESIS

El presente jurado evaluador da la conformidad del presente informe, desarrollado en el cumplimiento del objetivo propuesto y presentado conforme al reglamento General para obtener el grado Académico de Bachiller y Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (R.D N°492-2017-CU-R-UNS); titulado:

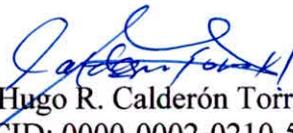
**“Determinación del Potencial Hidroenergetico Aprovechable en la Micro Central
Hidrocasajal Chimbote – Perú”**

Autor: Bach. GARCIA COTRINA, Benjamín Eduarmark

Revisado y evaluado por el siguiente jurado evaluador


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


Mg. Julio Hipólito Escate Ravello
Código ORCID: 0000-0001-9950-2999
DNI.: 32850228
Integrante


M. Sc. Hugo R. Calderón Torres
Código ORCID: 0000-0002-0210-5565
DNI.:32913914
Integrante



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

A los quince días del mes de febrero del año dos mil diecinueve, siendo las once horas de la mañana, se reunieron en el auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energía, el Jurado Evaluador designado mediante **Resolución N° 035-2019-UNS-CFI**, integrado por los siguientes docentes:

- **Mg. AMANCIO RAMIRO ROJAS FLORES** : PRESIDENTE
- **M.Sc. JULIO HIPÓLITO NÉSTOR ESCATE RAVELLO** : SECRETARIO
- **M.Sc. HUGO ROLANDO CALDERÓN TORRES** : INTEGRANTE

Y según la **resolución decanal N° 045-2019-UNS-FI**, se declara expedito al bachiller para dar inicio a la sustentación y evaluación de la Tesis titulada: **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL HIDROENERGÉTICO APROVECHABLE EN LA MICRO CENTRAL HIDROCASCAJAL CHIMBOTE-PERÚ** elaborado por el Bachiller de Ingeniería en Energía: **BENJAMIN EDUARMARK GARCIA COTRINA** con código de matrícula N° 200311040, teniendo como asesor al docente Ing. Carlos Macedonio Montañez Montenegro, según Resolución Decanal N° 968-2015-UNS-FI, de fecha 03.12.15. Terminada la sustentación del Bachiller, respondió las preguntas formuladas por los miembros del jurado y el público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, en concordancia con el artículo 103° del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa, declara:

BACHILLER	PROMEDIO	PONDERACIÓN
BENJAMIN EDUARMARK GARCIA COTRINA	17	Bueno

Siendo las doce horas del mismo día, se da por terminado el acto de sustentación, firmando los integrantes del jurado en señal de conformidad.


Mg. AMANCIO ROJAS FLORES
PRESIDENTE


M.Sc. JULIO H.N. ESCATE RAVELLO
SECRETARIO


M.Sc. HUGO CALDERÓN TORRES
INTEGRANTE

DEDICATORIA

A mis Padres;

Eduardo Marcos García Cárdenas, David Mario Urbano Hidalgo y Melania Cotrina Valverde, Abuelos: Víctor Cotrina Alayo y Laura Valverde, a mis hermanos, estuvieron y están presente en el desarrollo profesional y aprendizaje en la vida.

Mis hijos Ángela Alexandra García Guzmán, Liam Chunga Castillo y esposa Mayra Castillo Velásquez; sustentan cada día el motivo más grande de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a mi asesor Ing. Carlos Montañez Montenegro; por el acompañamiento en el presente trabajo de investigación de tesis.

Agradecer especialmente al profesor Mg. Amancio Ramiro Rojas Flores, así mismo a mis profesores de la escuela de Ingeniería en Energía; por consolidar mi formación académica.

LISTA DE TABLA

<i>Tabla 1</i>	<i>Coordenadas de la estación hidrométrica / pluviométrica condorcero</i>	12
<i>Tabla 2</i>	<i>Clasificación de las pequeñas centrales según su salto hidráulico</i>	24
<i>Tabla 3</i>	<i>Clasificación de las pequeñas centrales según su potencia</i>	25
<i>Tabla 4</i>	<i>Parámetros característicos en turbinas ensayadas por diferentes investigadores</i>	69
<i>Tabla 5</i>	<i>Periodos de actividad</i>	88
<i>Tabla 6</i>	<i>Demanda total de la zona estudio</i>	89
<i>Tabla 7</i>	<i>Estación de hidrométrico condorcero descargas medias mensuales canal irchim (m³/s)</i>	91
<i>Tabla 8</i>	<i>Promedio de los tiempos del flotador</i>	92
<i>Tabla 9</i>	<i>Velocidades promedio del flujo de agua</i>	92
<i>Tabla 10</i>	<i>Promedio de los caudales</i>	93
<i>Tabla 11</i>	<i>Pemanda de potencia y energía eléctrica</i>	111
<i>Tabla 12</i>	<i>Recursos hidroenergetico disponible</i>	112
<i>Tabla 13</i>	<i>Parámetros de diseño de la bocatoma</i>	112
<i>Tabla 14</i>	<i>Parámetros de diseño del barraje derivación</i>	112
<i>Tabla 15</i>	<i>Parámetros de diseño del canal de conducción</i>	113
<i>Tabla 16</i>	<i>Parámetros de diseño de la transición</i>	113
<i>Tabla 17</i>	<i>Parámetros de diseño del canal de regadíos</i>	113
<i>Tabla 18</i>	<i>Parámetros de diseño del desarenador</i>	114
<i>Tabla 19</i>	<i>Parámetros de diseño de la cámara de carga</i>	114
<i>Tabla 20</i>	<i>Parámetros de la tubería de presión</i>	115
<i>Tabla 21</i>	<i>Parámetros de la turbina michell banki</i>	115
<i>Tabla 22</i>	<i>Parámetros del generador de potencia</i>	116
<i>Tabla 23</i>	<i>Parámetros de la transmisión mecánica</i>	116
<i>Tabla 24</i>	<i>Parámetros del sistema de distribución primario</i>	117
<i>Tabla 25</i>	<i>Parámetros del sistema de distribución secundario</i>	117
<i>Tabla 26</i>	<i>Estimación de la demanda de potencia y energía</i>	118
<i>Tabla 27</i>	<i>Ingreso por venta de energía eléctrica</i>	119
<i>Tabla 28</i>	<i>Resumen de beneficio total</i>	120
<i>Tabla 29</i>	<i>Procedimiento de cálculo del van a diversas tasas de interés</i>	121

<i>Tabla 30 Indicadores económicos van</i>	122
<i>Tabla 31 Factor de corrección de la velocidad según s/p</i>	127
<i>Tabla 32 Talud recomendado para canales de sección trapezoidal en función del material en suspensión</i>	128
<i>Tabla 33 Velocidad mínima del agua recomendada</i>	128
<i>Tabla 34 Velocidad máxima del agua recomendada</i>	129
<i>Tabla 35 Coeficiente de rugosidad “n”</i>	129
<i>Tabla 36 Velocidad de decantación de partículas de arena</i>	130
<i>Tabla 37 Espaciamiento entre apoyos (m) para tuberías de acero comercial</i>	130
<i>Tabla 38 Características principales de turbinas hidráulicas</i>	131
<i>Tabla 39 Selección del diámetro del rotor de la turbina michell banki</i>	132
<i>Tabla 40 Selección del número de alabes del rotor</i>	132
<i>Tabla 41 Angulo característico de los alabes para la turbina michell banki</i>	133
<i>Tabla 42 Factores de servicio para la transmisión de fajas en v</i>	133
<i>Tabla 43 Secciones estándares de fajas y diámetros de paso mínimo de poleas</i>	134
<i>Tabla 44 Poleas estándares para fajas en v</i>	135
<i>Tabla 45 Coeficiente de arco de contacto factor por ángulo de contacto k_{θ}</i>	137
<i>Tabla 46 Potencia que puede transmitir la faja por secciones</i>	137
<i>Tabla 47 Potencia adicional por relación de transmisión</i>	139

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 Potencial hidroeléctrico total por continentes</i>	17
<i>Figura 2 Elementos de la central hidroeléctrica</i>	20
<i>Figura 3 Esquema de un aprovechamiento de montaña</i>	22
<i>Figura 4 Los elementos hidráulicos de una microcentral</i>	27
<i>Figura 5 Componentes de una tubería de presión</i>	31
<i>Figura 6 Esquema eléctrico de líneas de transmisión y redes de distribución</i>	32
<i>Figura 7 Toma de agua con vertedero sumergido</i>	40
<i>Figura 8 Necesidad de barraje en bocatoma</i>	43
<i>Figura 10 Dimensiones de los espesores de un canal de cemento</i>	51
<i>Figura 12 Sección transversal de un álabe del rotor</i>	70
<i>Figura 13 Dimensiones básicas de una turbina michell-banki</i>	71
<i>Figura 14 Diagrama de fuerzas sobre el eje</i>	73
<i>Figura 15 Censos nacionales 2017: xii de población, vii de vivienda y iii de comunidades indígenas</i>	125
<i>Figura 16 Numero de secciones de carga según la potencia y la velocidad (ref. fayres)</i>	134
<i>Figura 17 Longitudes normalizadas de correas trapecoidales norteamericanas, constante de potencia</i>	136

RESUMEN

En la presente investigación se analiza el potencial hidro energético, canal denominado IRCHIM, en el centro poblado Cascajal, distrito de Chimbote, provincia del Santa, departamento Ancash.

Se realizó los estudios de carácter socioeconómicos y de demanda basada en la recopilación de información necesaria de la comunidad de Cascajal.

Se determinó a través del estudio un caudal de $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$, salto neto de 43.65 m; empleándose la turbina de acción, de flujo radial centrípeta-centrifugo, de flujo transversal de doble paso y admisión parcial Michell – Banki potencia en el orden 200 kW, alternador síncrono de 200 kVA.

La demanda de potencia eléctrica que requerirá el centro poblado de Cascajal al año 2039 de 96 kW actual y futura a 30 años de 137 kW.

Se realizó la evaluación económica beneficios y costos; el estudio determino la vida útil de la MCH. Por ser los beneficios mayores que los costos; este es factible. Dado que los costos y beneficios ocurren en tiempos distintos.

Se determinó los indicadores como el valor actual neto (VAN), la relación beneficio – costo (B/C) = 34.735, y la tasa interna de retorno (TIR). Conclusiones del análisis económico; los resultados más significativos son: VANE (5%) = 42.39, VANE (7%) = -19.5, TIR = 6% y costo de kWh = US\$ 15 centavos.

Palabras clave:

Potencial hidroenergetico, microcentral hidroeléctrica.

ABSTRACT

This research analyzes the hydro energy potential, channel called IRCHIM, in the town of Cascajal, district of Chimbote, province of Santa, department of Ancash.

Socioeconomic and demand studies were carried out based on the collection of necessary information from the community of Cascajal.

The study determined a flow of 0.6 m³/s, net head of 43.65 m; using the action turbine, centripetal-centrifugal radial flow, double-pass transverse flow and partial admission Michell - Banki power in the order of 200 kW, synchronous alternator of 200 kVA.

The electric power demand required by the Cascajal town center in 2039 will be 96 kW at present and 137 kW in the 30-year future.

The economic evaluation of benefits and costs was carried out; the study determined the useful life of the MCH. Since the benefits are greater than the costs, it is feasible. Since the costs and benefits occur at different times.

Indicators such as the net present value (NPV), the benefit-cost ratio (B/C) = 34.735, and the internal rate of return (IRR) were determined. Conclusions of the economic analysis; the most significant results are: NPV (5%) = 42.39, NPV (7%) = -19.5, IRR = 6%, and kWh cost = US\$ 15 cents.

Key words:

Hydro-energetic potential, hydroelectric micro-central.

INTRODUCCIÓN

En el marco de la mitigación contaminación ambiental, en Perú se viene afrontando problemas de carácter institucional que restringen una respuesta y acción adecuada al grado de contaminación y alteración del equilibrio de los ecosistemas. Tratándose de las condiciones ambientales principalmente en zonas objetivas, se debería considerar las externalidades relacionados a la variación climática, estimándose en 4.5% pérdida del PBI al año 2025, siendo conscientes de la creciente vulnerabilidad del país. No priorizar la contaminación significativa del riesgo relacionado a los impactos que el Perú atraviesa sean manejados adecuadamente en el largo plazo, e impactando los sectores vulnerables padezcan principalmente, los sectores de baja economía. Un plan de control debe sostenerse en beneficios locales y dinámicas del crecimiento económico, la gestión de los recursos renovables y no renovables, sus impactos sobre la calidad ambiental local y sobre la política de implantación; en armonía con una política disruptiva de mitigación global que use la propuesta peruana—que el gobierno debe aprobar y ejecutar—, enfocándose a decrecer los impactos producidos al cambiar el régimen climático. En el marco, de sostenibilidad y control local se apalancaría una política de promoción de la mitigación global. (Gamio Aita, 2010)

A visión regional, Perú se encuentra en el segundo puesto respecto en potencial hidroeléctrico, entre los países de Brasil y después Venezuela, Colombia y México (OLADE, 2015). De acuerdo a la morfología geográfica; la diferencia de alturas la mayor fuente de potencial hidro energética.

INDICE

DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTOS	VI
LISTA DE TABLA	VII
LISTA DE FIGURAS	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
INTRODUCCIÓN	XII
I PROBLEMA DE LA INVESTIGACION	7
1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA	7
1.2 ANTECEDENTES	8
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	9
1.4 DELIMITACIÓN	10
1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	10
1.6 CARACTERÍSTICAS ZONA DE ESTUDIO	11
1.6.1 Localización Geográfica	11
1.6.2 Vías de Acceso	11
1.6.3 Condiciones del Clima	12
1.6.3.1 Hidrología Rio Santa.	12
1.6.4 Población	12
1.6.5 Infraestructura Existente	13
1.6.5.1 Viviendas.	13
1.6.5.2 Instituciones públicas.	13
1.7 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS	13
1.8 OBJETIVO	14
1.8.1 Objetivo General	14

1.8.2 Objetivos Específicos	14
II MARCO REFERENCIAL	14
2.1 INTRODUCCIÓN	14
2.2 MARCO INTERNACIONAL	16
2.3 ENERGÍA HIDROELÉCTRICA, UNA DE LAS RENOVABLES MÁS DESARROLLADA	16
2.4 ENERGÍAS RENOVABLES	18
2.5 UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA	18
2.5.1 Potencial Hidroeléctrico Mundial	18
2.6 ¿QUÉ ES LA HIDROGENARÍA?	19
2.7 TIPOS DE MINICENTRALES HIDROELÉCTRICAS	20
2.7.1 Central de Agua fluyente	21
2.7.2 Centrales de pie de presa	22
2.7.3 Según la altura neta del salto	23
2.7.4 Según la potencia instalada	25
2.8 PRIMERA CLASIFICACIÓN DE LAS TURBOMAQUINAS HIDRÁULICAS: TURBOMAQUINAS HIDRÁULICAS DE ACCIÓN Y REACCIÓN	25
2.8.1 Turbina de acción	26
2.8.2 Turbina de reacción	26
2.9 LOS COMPONENTES DE UN SISTEMA DE MICROHIDROGENERACIÓN	27
2.9.1 Obras civiles	27
2.9.1.1 Bocatoma.	28
2.9.1.2 Canal.	28
2.9.1.3 Desarenador.	29
2.9.1.4 Cámara de carga.	30
2.9.1.5 Tubería de presión.	30
2.9.1.6 Casa de máquinas.	31
2.10 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y REDES DE DISTRIBUCIÓN	32
2.11 ANÁLISIS ECONÓMICA Y FINANCIERO	33

2.11.1 Método de análisis beneficio/costo	34
2.11.1.1 Valor actual neto (VAN)	34
2.11.1.2 Relación beneficio-costo (B/C)	34
2.11.1.3 Tasa interna de retorno (TIR)	34
2.12 CAPACIDAD Y ESTUDIO DE LA DEMANDA	35
2.12.1 Estimación de la demanda	35
2.12.1.1 Medición del salto	36
2.12.1.2 Medición del caudal.	36
2.13 CÁLCULO DEL AGUA PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA	37
2.14 CALCULO VOLUMEN DE LA BOCATOMA	38
2.15 DISEÑO DE LA BOCATOMA	39
2.16 TOMA DE AGUA	39
2.17 DESRIPIADOR	42
2.18 DISEÑO DE UNA PRESA VERTEDORA MACIZA	43
2.18.1 Altura del barrage de derivación	44
2.18.2 Carga hidráulica sobre la cresta del barrage (h)	44
2.18.3 Carga en el barrage ($Hhbar$)	45
2.18.4 Espesor del barrage ($tbar$)	46
2.19 CANAL DE CONDUCCIÓN	46
2.19.1 Sección y ángulo del talud del canal	46
2.19.2 Velocidad del agua “V”	47
2.19.3 Rugosidad “n”	47
2.20 DISEÑO DEL CANAL DE CONDUCCIÓN	48
2.20.1 Dimensiones de espesores del revestimiento	50
2.21 CALCULO DE TRANSICIÓN	52
2.22 DESARENADOR Y CÁMARA DE CARGA	52
2.22.1 Ancho del desarenador	53
2.22.2 Longitud de decantación del desarenador	54
2.22.3 Longitud de entrada desarenador	54
2.23 DISTANCIA DE RECOLECCIÓN	55
2.23.1 Calculo tanque colector periodo una semana	55

2.23.2	Calculo de la distancia de recolección a partir de la fórmula:	55
2.24	CALCULO DEL ALIVIADERO LATERAL	56
2.25	DISEÑO DE LA CÁMARA DE CARGA	57
2.25.1	Rejilla de ingreso a la cámara de carga	57
2.25.2	Conexión entre la cámara de carga y la tubería de presión	57
2.25.3	Calculo Tubería de Presión	58
2.25.4	Calculo del espesor de pared de tubería de presión	59
2.25.5	Parámetros del diámetro seleccionado	62
2.26	DIMENSIONAMIENTO DEL GENERADOR SÍNCRONO	62
2.26.1	Generador síncrono	63
2.27	SELECCIÓN DE LA TURBINA	65
2.27.1	Potencia al eje de la turbina	65
2.27.2	Número específico de revoluciones de potencia	65
2.28	DISEÑO TURBINA MICHELL – BANKI	66
2.28.1	Selección del diámetro del rotor	68
2.28.2	Diámetro interior del rotor	68
2.28.3	Velocidad nominal de rotación	69
2.28.4	Selección del número de álabes del rotor	69
2.28.5	Selección del espesor de los álabes del rotor y ángulo característico	70
2.28.6	Ancho del inyector	70
2.28.7	Ancho del rotor	71
2.28.8	Razón de aspecto	72
2.28.9	Diámetro máximo del eje del rotor	72
2.28.10	Diseño del eje del rotor	72
2.29	TRANSMISIÓN DE POTENCIA MECÁNICA	75
2.30	CALCULO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIA	76
2.31	CALCULO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA	78
2.32	ANÁLISIS ECONÓMICO	81
2.32.1	Valor presente del dinero	82
2.32.2	Valor presente de una serie de amortizaciones iguales	82
2.32.3	Valor futuro del dinero	82

2.33 CALCULO DE LOS INDICADORES DEL ANÁLISIS BENEFICIO-COSTO	82
2.34 INDICADORES ECONÓMICOS	84
2.35 CALCULO DEL COSTO UNITARIO DE ENERGÍA	85
III MARCO METODOLÓGICO	86
3.1 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN	86
3.2 DISEÑO O ESQUEMA DE LA INVESTIGACIÓN	87
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA	87
3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	87
3.5 EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	87
3.6 MATERIALES	88
IV CÁLCULOS	88
4.1 ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA	88
4.2 EVALUACIÓN DEL RECURSO HIDROENERGETICO	90
4.2.1 Medición del salto neto	90
4.2.2 Medición del caudal	90
4.2.3 Mediciones generales	90
4.3 CAUDAL GENERACIÓN ELÉCTRICA	93
4.4 CAUDAL DE DISEÑO DE LA MICROCENTRAL HIDROELÉCTRICA	93
4.5 DISEÑO DE LA BOCATOMA	93
4.5.1 Toma de agua	93
4.5.2 Desripiador	95
4.6 BARRAJE DE DERIVACIÓN	95
4.7 CANAL DE CONDUCCIÓN	96
4.8 LONGITUD DE TRANSICIÓN Y CANAL DE DERIVACIÓN	98
4.8.1 Longitud de transición	98
4.9 DESARENADOR Y CÁMARA DE CARGA	98
4.9.1 Desarenador	98
4.9.1.1 Cálculo del ancho del desarenador	98
4.9.1.2 Calculo de la longitud de decantación del desarenador	99
4.9.1.3 Calculo de la longitud de entrada	99

4.9.1.4 Distancia de recolección	99
4.9.1.5 Calculo del aliviadero lateral	100
4.9.2 Cámara de carga	101
4.9.2.1 Rejilla de ingreso a la cámara de carga	101
4.9.2.2 Conexión entre la cámara de carga y la tubería de presión	101
4.10 DISEÑO DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN	101
4.10.1 Calculo del espesor	102
4.10.2 Calculo de pérdidas de la altura	102
4.11 GENERADOR SÍNCRONO	103
4.12 SELECCIÓN DE LA TURBINA	104
4.13 PARÁMETROS DE DISEÑO TURBINA MICHELL-BANKI	105
4.13.1 Selección del diámetro del rotor	105
4.13.2 Diámetro interior del rotor	105
4.13.3 Velocidad nominal del rotor	105
4.13.4 Selección del número de alabes del rotor	105
4.13.5 Selección del espesor alabes rotor y ángulo	105
4.13.6 Ancho del inyector	106
4.13.7 Ancho del rotor	106
4.13.8 Razón de aspecto	107
4.13.9 Diámetro máximo del eje del rotor	107
4.13.10 Diseño del eje del rotor	107
4.14 CALCULO DE TRANSMISIÓN MECÁNICA	108
4.14.1 Potencia de diseño	108
4.14.2 Selección de la faja	108
4.14.3 Relación de transmisión:	109
4.14.4 Selección diámetros de pasos de la polea	109
4.14.5 Selección de la longitud estándar de la faja:	109
4.14.6 Potencia por faja:	109
4.14.7 Numero de fajas:	110
4.15 RED DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIA	110
4.16 RED DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA	111

V RESULTADOS	111
5.1 RESUMEN DE CÁLCULOS DE LA MICROCENTRAL	111
5.1.1 Demanda eléctrica calculada	111
5.1.2 Recursos hidroenergético	112
5.1.3 Obras civiles	112
5.1.3.1 Bocatoma	112
5.1.3.2 Barraje de derivación	112
5.1.3.3 Canal de conducción.	113
5.1.3.4 Longitud de transición y canal de derivación.	113
5.1.3.5 Desarenador.	114
5.1.3.6 Cámara de carga	114
5.1.3.7 Tubería de presión	115
5.1.4 Casa de maquinas	115
5.1.4.1 Turbina Michell - Banki	115
5.1.4.2 Generador de potencia	116
5.1.4.3 Transmisión mecánica	116
5.1.5 Sistema de transmisión y distribución de la energía eléctrica	117
5.1.5.1 Red de distribución primario	117
5.1.6 Red de distribución secundaria	117
5.2 ANÁLISIS ECONÓMICO	117
5.2.1 Costo de inversión instalación micro central hidráulica (MCH)	117
5.2.2 Análisis del precio de venta de energía eléctrica	118
5.2.3 Indicadores económicos	119
5.2.3.1 Beneficio y costo	119
5.2.4 Precio final de la energía eléctrica	122
VI CONCLUSIONES	123
VII BIBLIOGRAFÍA	124
VIII ANEXOS TABLAS Y GRÁFICOS	125
ANEXO	125

I PROBLEMA DE LA INVESTIGACION

1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA

En el Perú; se viene presentándose un desarrollo del índice de electrificación rural como parte de política pública; este objetivo está lejos de concretarse a su totalidad. Así mismo, la realidad en nuestro país refleja que el suministro eléctrico no llega en las mismas condiciones que en las grandes ciudades que en zonas rurales; donde todavía resulta prioritario fortalecer características del suministro tales como continuidad, calidad y seguridad.

El servicio básico de electricidad es trascendental para el desarrollo del país; en tal sentido el estado debe garantizar que el suministro tenga cobertura a nivel nacional.

La energía eléctrica permite optimizar el tiempo en el hogar; como la conservación de alimentos en frío, la luz nocturna, el uso de electrodomésticos, etc.; optimizando el tiempo, empleándolo en tareas domésticas; facilitando el grado de información y alcanzando calidad de vida.

La morfología natural es típico de un valle costero, posicionado a 124 m.s.n.m., que tiene su creación hace 40 años al desarrollarse la Irrigación de los valles de Cascajal y Santa Clemencia, impulsando la agricultura y ganadería. La microcentral hidrocascajal se ubica a 1.5 km del centro poblado de Cascajal entre las cotas 190.31 m.s.n.m. y 146.66 m.s.n.m., desde la estructura de captación hasta la casa de fuerza y canal de restitución, corresponde al valle de Cascajal.

En 1993, la comunidad de Cascajal, contando con el impulso del párroco de Macate, Carlos Ladiccio, se consolidó el Comité de Obra a cargo de José Alameda Ortiz como presidente y Andrés Roa Quevedo como vicepresidente para ejecutar la microcentral hidroeléctrica. Las obras

de ingeniería civiles de la microcentral hidrocascajal estuvo responsable “A&G Ingenieros S.R.L. En febrero de 1996, después de 11 meses, se concluyó el proyecto. La demanda en crecimiento de energía en áreas rurales, es fundamental para desarrollar industrias e iluminación a la población. Asimismo, esta localidad se encuentra en expansión demográfica cuyos habitantes necesitan de otros servicios complementarios para el desarrollo de sus pobladores, es importante la presencia de los servicios múltiples (carpintería, soldadura, fotocopiado, computación).

Los sistemas hidro energético actualmente representan fuertes motivos en los gobiernos actuales que pretenden reorganizar sus fuentes energéticas; con los recursos disponibles en el país que poseen alternativas viables que aportan directamente a la solución.

1.2 ANTECEDENTES

La investigación tiene como antecedentes a estudios acerca de la problemática abastecimiento de energía eléctrica a partir del potencial hidroenergético, justificado y objetivo determinados alcanzando el desarrollo de investigación. Asimismo, información general sobre la situación actual del centro poblado Cascajal.

Es por esto que el estudio; “Diseño de un grupo hidroenergetico Michell-Banki de 120 kW Benites, J. (2014). El diseño de un sistema hidroenergetico utilizando turbina estandarizada Michell- Banki en función a la eficiencia, caudal, bajo costo y fabricación. Las características de la turbina son: 120 kW en el eje, velocidad 1800 rpm, a plena carga 82% de eficiencia, velocidad específica de 100, caudal de diseño 0.19 m³/s y salto hidráulico de 75.4 m. El rango del grupo hidroenergetico de 63.8 kW hasta 120 kW, salto neto 50.8 m hasta 113.8 m y caudal desde 0.11 m³/s hasta 0.22 m³/s; se diseñó eje rodete, apoyos del eje, carcasa, bastidor, resistencia del rodete e inyector. Se diseñó la transición de la tubería circular e inyector de sección rectangular.

Se seleccionó el generador síncrono y transmisión de potencia entre la turbina (impulsora) y generador (conducido), velocidad de sincronismo. El costo turbina Michell-Bank de 120 kW es aproximadamente S/. 40,391.97, costos ingeniería, fabricación y equipos.

El estudio “Determinación de los parámetros básicos de diseño de la mini central hidroeléctrica de cascajal-santa para el proyecto especial chinecas”, Zegarra, A. (2010), el caudal serio en $4.75 \text{ m}^3/\text{s}$, para generar una potencia de 1.8 MW, beneficiando a 4,193 habitantes al año 2025, demanda de 1617.57 kW. El aprovechamiento hídrico se conduciría por tubería de carga; la energía por la transformación (turbina tipo Francis de eje simple horizontal de 1790 kW), en casa de máquinas. (p.2 resumen).

Del mismo modo el: “Estudio de la ampliación de la Micro central hidroeléctrica de cascajal de 125 kW a 300 kW”, (Sarzo, 2005). Propuso evaluar el mercado eléctrico, técnico y económico la ampliación de la micro central hidrocascajal, la metodología consistió en recopilar datos estadísticos y de cálculo, objetivo de ampliar la potencia de 125 kW a 300 kW, determinando la anexión al sistema eléctrico a los anexos de campamentos, los Maleños, el milagro, cementerio y la demanda industrial; el consumo que la población ha considerado ser prioritarios, la demanda proyectada a 20 años, tasa poblacional de 2% la potencia asciende a 270 kW. El Caudal de operación $0.950 \text{ m}^3/\text{s}$, 43.65m de altura, tubería de fuerza 36” y dos turbinas tipo Michell – Banki 125 kW. TIR igual de 14.8063% superior a la tasa de descuento social de 14% y tasa de descuento privada de 12%, costo /beneficio mayor a 1; costo de energía sea 0.0602 US\$/kWh. (p.4 conclusiones).

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuánto será el potencial hidroenergetico aprovechable en la Micro central hidrocascajal para la generación eléctrica que beneficiara a más 336 familias?

1.4 DELIMITACIÓN

El estudio se desarrollará en el sector rural centro poblado de Cascajal; limitándose a determinar el potencial hidroenergetico aprovechable en la microcentral Cascajal; que permitirá la generación eléctrica mejorando la vida y desarrollo productivo del sector.

1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La energía renovable como la hidráulica puede proporcionar servicios energéticos básicos a las poblaciones rurales, aumentando las oportunidades económicas y disminuyendo las brechas sociales; evitando las migraciones a los sectores urbanos. El limitado servicio de electricidad, aunando a la restricción de otros servicios básicos de infraestructura; sesga el desarrollo de la comunidad. Las energías de fuente renovable; forman parte importante e integrado los servicios de anergia eléctrica en sectores rurales.

Los costos inversión de la generación empleando carburantes derivados del petróleo y distancia de los aprovechamientos hidroenergetico; hacen posible emplear energía de fuente renovable, y por consecuencia ser evaluadas y estudiadas con detalle.

Desde finales de siglo XVIII, los recursos de fuente hídrica han sido básico en la generación eléctrica limpia. Como también se le ha atribuido importancia, en comparación a tecnologías limpias generación de energía, obteniéndose beneficios medio ambiente; reduciendo impacto por emisión de GEI, contrario a los combustibles fósiles.

Desde comienzos de la producción de electricidad, la hidráulica ha sido, y sigue siendo, la primera fuente renovable utilizada para su generación. La mayoría de los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos son del tipo de agua fluyente; se integran fácilmente en el ecosistema más sensible. (Pelikan, 2006, pág. 2).

La posibilidad emplear el recurso hidroeléctrico a pequeña escala, de aplicación para realidades locales y con uso de la energía diferente de la industrial.

1.6 CARACTERÍSTICAS ZONA DE ESTUDIO

1.6.1 Localización Geográfica

La posibilidad emplear el recurso hidroeléctrico a pequeña escala, de aplicación para realidades locales y con uso de la energía diferente de la industrial.

Se desarrolló en el centro poblado de Cascajal, coordenadas; latitud: -8.89694, Longitud: -78.4925, departamento de Ancash, provincia del Santa, Distrito de Chimbote, a aprox. 124 m.s.n.m. Cascajal bajo (La Cuadra) y anexos está comprendido por las comunidades campesinas: Campamento, Maleños, El milagro, Cementerio, Arenal, Porvenir, Amauta, casuarinas, Buena Vista.

1.6.2 Vías de Acceso

Vía troncal carretera Chimbote – Santa – Huallanca, desvío Cascajal altura a 30km, cerca del centro poblado Rinconada. El centro poblado de Cascajal se ubica a 15 km del desvió. La segunda; trocha carrozable de Chimbote – Cambio Puente – Cascajal, distancia 30 km de Chimbote. Tiempo aproximado 30 min. El aprovechamiento hídrico está a 1.5 km del centro poblado Cascajal.

1.6.3 Condiciones del Clima

Valle costero, situado a 124 m.s.n.m., nace hace 40 años al ejecutarse la irrigación valles de Cascajal y Santa Clemencia, se desarrolló la agricultura y ganadería. A 1.5 km del pueblo de Cascajal se ubica las instalaciones PCH entre las cotas 190.31 m.s.n.m. y 146.66 m.s.n.m.

1.6.3.1 Hidrología Río Santa.

La derivación del Canal IRCHIM altura progresiva 37+750, se abastece el micro central. La caracterización general preliminar del P.E. CHINECAS, el recurso hídrico y su disponibilidad en el Río Santa se dio con fines de generación eléctrica. La disponibilidad hídrica se da en caudales medios mensuales; la información hidrométrica estación Condorcerro; correspondiente al período 1957-2015 y a nivel de la bocatoma la Huaca. La cuenca del río Santa consta de red hidrométrica conformada por 17 estaciones. De acuerdo la tabla1; se describe la Estación Condorcerro, se encuentra ubicada en la cabecera del valle, a 450 m.s.n.m. la siguiente:

Tabla 1

Coordenadas de la estación hidrométrica / pluviométrica condorcerro

Estación	Geográfica		Altitud	Periodo de funcionamiento
	Latitud	Longitud	m.s.n.m.	
Condorcerro	8°39′	78°15′	450	1956 - 2015

1.6.4 Población

Se determinó una población de 953 habitantes, 336 viviendas de acuerdo a lo reportado el censo nacional año 2017; elaborado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI.

1.6.5 Infraestructura Existente

1.6.5.1 Viviendas.

Se identificó 316 casas habitadas de material noble y adobe, son construidas de un nivel, otros de dos a tres niveles, cuentan de servicio básico; de agua no potable (pozo subsuelo), energía eléctrica de red. Algunas viviendas están acondicionadas para tiendas, restaurantes, talleres de mantenimiento, cabinas para internet, bar, etc. En las tiendas se expenden alimentos de primera necesidad. Se aprecia determinadas viviendas con techo de calaminas reforzadas, aligerados, quinchas, etc. Las viviendas están organizadas por manzanas, cuenta de dos cuartos, sala, comedor y servicios higiénicos.

1.6.5.2 Instituciones públicas.

Las Infraestructuras principales son: palacio municipal, posta medica que atiende personas que habitan en el centro poblado y sus 17 anexos, Colegio N° 88049 Cascajal Bajo, I.E.I. N° 1613 Cascajal Bajo, una Farmacia. Las referidas instituciones por bajo nivel de carga; no se consideran cargas especiales.

1.7 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Con un caudal de $0.6 \text{ m}^3/\text{S}$ y salto hidráulico 50 m, se puede aprovechar una potencia de 200 kW en el micro central hidrocascajal.

1.8 OBJETIVO

1.8.1 Objetivo General

Determinar potencial hidroenergetico disponible para generación eléctrica en la micro central hidrocasajal centro poblado Cascajal.

1.8.2 Objetivos Específicos

- Establecer características de la micro central hidroenergetico
- Estimar la demanda de potencia eléctrica para el centro poblado Cascajal al año 2039
- Estimar el diseño de ingeniería básica, los elementos requeridos para el aprovechamiento hidroeléctrico y de la red de distribución.
- Realizar la evaluación económica.

2 CAPITULO II MARCO REFERENCIAL

2.1 INTRODUCCIÓN

La energía es un factor indispensable para el desarrollo y el progreso de una sociedad. En cualquier escenario que se considere, el aumento del producto interior bruto siempre ha ido ligado a un aumento del consumo de energía. Actualmente son varios los retos en este campo a los que nos enfrentamos. Se debe garantizar la seguridad del abastecimiento, el aumento del nivel de autoproducción para lograr mayor independencia energética y un incremento de la diversificación de fuentes energéticas, para conseguir una menor dependencia de los combustibles fósiles y en particular del petróleo. (Villanueva López, 2012, pág. 11)

La disponibilidad de la energía ha sido siempre esencial para la humanidad que cada vez demanda más recursos energéticos para cubrir sus necesidades de consumo y bienestar. Las energías renovables que provienen de fuentes inagotables como el sol y no emiten gases de efecto invernadero, entre otros beneficios, son una de las piezas clave en la construcción de un sistema de desarrollo sostenible. (Castro, 2006, pág. 5)

Existe una concientización cada vez mayor sobre los efectos medioambientales que conlleva el actual sistema de desarrollo económico, como son el cambio climático, la lluvia ácida o el agujero de la capa de Ozono. Las sociedades modernas, que sustentan su crecimiento en un sistema energético basado principalmente en la obtención de energía a través de combustibles fósiles, se inclinan cada vez más hacia la adopción de medidas que protejan nuestro planeta. (Castro, 2006, pág. 5).

La energía es importante, cada año la demanda de mayores recursos energéticos se requiere para cubrir las necesidades de consumo y bienestar. Las energías renovables provienen de fuentes inagotables como el Sol y no emiten gases de efecto invernadero, son una de las piezas clave en la construcción de desarrollo sostenible. Las tecnologías de energías renovables son absolutamente, competitivas y eficaces de cara a cubrir las necesidades de la demanda. Se encuentra la energía hidroeléctrica, como principal aliado en la generación de energía limpia y autóctona. Se denominan mini centrales hidroeléctricas a aquellas instalaciones de potencia instalada inferior a 10 MW. (Castro, 2006, pág. 5).

Debido a los pronósticos del fin de las reservas petroleras en el mundo, la contaminación producida por la generación de las energías más utilizadas y, en consecuencia, la necesidad de cuidado, reparación y conservación del medio ambiente, en la última década se ha venido impulsando la investigación, estudio y desarrollo de propuestas tecnológicas para la obtención de

nuevas y mejores formas de generación energética. Estas propuestas, a menudo denominadas energías alternativas, buscan complementar los sistemas tradicionales y dar paso a la llamada generación distribuida. (Guerrero Fajardo, Sierra Alarcón, & Sierra Vargas, 2016, pág. 2).

2.2 MARCO INTERNACIONAL

El mundo precisa de un sistema energético; que fundamenta la electricidad a partir de combustión de sustancias fósiles como el petróleo, el carbón mineral y gas. La producción de energía está siendo reemplazado por las consideraciones: recursos limitados, a gran escala está provocando graves efectos irreversibles al medio ambiente y la salud. La sociedad toma mayor grado de conciencia dando prioridad preservar el ambiente y empleando estrategias sostenibles de generación de energía.

Estos hechos provocaron en las dos últimas décadas; fundar políticas internacional que sostengan un sistema sostenible: Cumbre de las Naciones Unidas de Río de Janeiro (1992) – donde surgió el plan de acción Agenda 21– y de Johannesburgo (2002); Protocolo de Kioto, adoptado en la Convención Marco del Cambio Climático de las Naciones Unidas de 1997 y ratificado en febrero de 2005; Declaración del Milenio (2000); y Plan de acción de la Conferencia de Bonn sobre Energías Renovables de junio de 2004. (Castro, 2006, pág. 12).

2.3 ENERGÍA HIDROELÉCTRICA, UNA DE LAS RENOVABLES MÁS DESARROLLADA

El indicador mundial de la demanda de energía comercial es miles de veces inferior a los flujos de energía que recibe la tierra procedente del Sol. “La energía hidroeléctrica, que indirectamente proviene de la energía solar, es autóctona, limpia e inagotable como las energías renovables” (Castro, 2006, pág. 12).

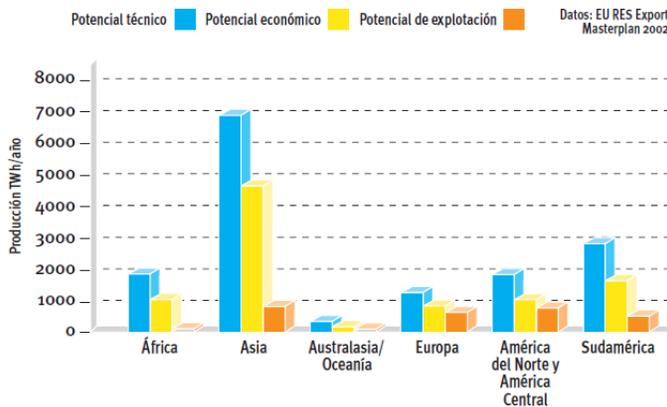
La producción media anual de energía hidráulica en el mundo es del orden 2.600 TWh, aproximadamente el 19% del total de la energía eléctrica producida. La potencia hidroeléctrica instalada en todo el mundo asciende a 700 GW. La fuente de energía tiene un campo de expansión limitado, ya que en los países más desarrollados la mayoría de los ríos importantes ya cuentan con una o varias centrales, y en los países en vías de desarrollo los grandes proyectos pueden chocar con obstáculos de carácter financiero, ambiental y social. (Castro, 2006, pág. 12).

La dependencia del petróleo de los países importadores, genera un impacto en la economía y matriz energética. Consecuentemente, el incremento del precio del crudo y el gas crea incertidumbre en el mercado eléctrico. Tal como se observa en la Figura 1, se especifica las energías renovables son fuente garantizada de energía, disminuyendo la importación de combustibles exterior al establecer autonomía de los sistemas energéticos nacionales. (Castro,

2006, pág. 12).

Figura 1

Potencial Hidroeléctrico total por Continentes



Nota. Producción anual media de energía hidroeléctrica a nivel mundial es de 2.600 TWh. Adaptada *Minicentrales hidroeléctricas* (p.12), por Instituto para la diversificación y Ahorro de la energía.

2.4 ENERGÍAS RENOVABLES

Estas energías se generan con recursos capaces de renovarse ilimitadamente; se basan en la utilización del Sol, el viento y el agua y se conocen como: Energía solar, hidráulica, eólica, biomasa, geotermia, etc.; es decir no emplean recursos finitos y su impacto ambiental es de menor magnitud, ya que no generan emisiones contaminantes, a diferencia de las energías fósiles o no renovables. (Lebrun Madge, 2008, pág. 7). “Son la alternativa limpia que preserva el medio ambiente y se encuentran en la naturaleza de fuente ilimitada, y se regenera naturalmente o artificial. Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía” (Castro, 2006, pág. 5).

2.5 UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA

El Sol irradia sobre la tierra evaporando grandes volúmenes de agua de los mares, lagos, ríos, superficies de la tierra, plantas, etc. Este vapor de agua, distribuido por los vientos en la atmosfera, al descender la temperatura se condensa (precipita) en gotas de agua, o solidifica en cristales de hielo. El ciclo hidrológico continua con la formación de arroyuelos y ríos que descienden desde las montañas a las llanuras y al mar, completándose de esta manera el ciclo termodinámico (caldera: Sol; condensador: atmosfera). Es posible aprovechar parte de la energía de este proceso y obtener trabajo útil, que de otra manera se perdería en rozamiento. (Mataix, 2009, pág. 333)

2.5.1 Potencial Hidroeléctrico Mundial

Catalogar los recursos hidráulicos de un país es una tarea ingente, que se está realizando a escala internacional. La principal dificultad estriba en la falta de datos de aforos de todos los ríos en

todos los posibles lugares de aprovechamiento hidroeléctricos. Debido a ello, y dada la variedad de criterios posibles para realizar la catalogación, no es extraño la disparidad grande de resultados que se observan. (Mataix, 2009, pág. 343).

“La Conferencia Mundial de la Energía (World Power Conference) estableció normas para la catalogar los resultados. Examinadas estas normas, aduciremos algunas tablas que servirán meramente de orientación, y cuyas consideraciones discrepancias parecerán obvias después de lo dicho”. (Mataix, 2009, pág. 344).

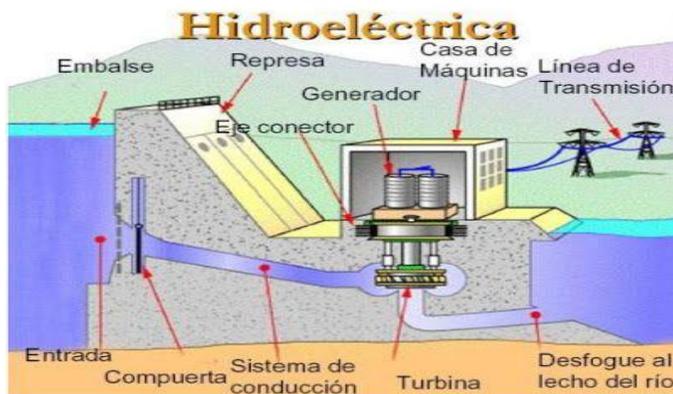
2.6 ¿QUÉ ES LA HIDROGENARÍA?

La energía hidroeléctrica fue una de las primeras formas más empleadas para la producción de electricidad, en la actualidad es la segunda fuente y la forma ampliamente generalizada para la generación eléctrica. Se aprovecha la transformación de la energía potencial del agua almacenada en un nivel superior (energía potencial), en energía cinética al fluir a descendiendo de nivel, generando trabajo mecánico de rotación en la turbina; sin emitir contaminantes al medio ambiente, como un recurso renovable y autóctono como es el agua. Una desventaja es que depende del nivel de agua dados por lluvias y sequias. (Guerrero Fajardo, Sierra Alarcón, & Sierra Vargas, 2016, pág. 3).

Los sistemas de microcentrales son más pequeñas y, no están conectadas a las redes nacionales (SEIN). Son empleadas en los sectores alejados del sistema eléctrico nacional interconectado (SEIN), y ocasionalmente, proveen energía a industrias pequeñas y lugares rurales. La potencia instalada varía desde 200 watt a 300kW; se emplea en pequeños talleres y alimentando a una mini red local independiente del (SEIN). (Coz, y otros, Manual de Mini y Microcentrales Hidraulicas, 1996, pág. 1).

En diferentes países hay una necesidad creciente de suministro de energía para las áreas rurales, tanto para abastecimiento de electricidad como para el apoyo industrial y las autoridades gubernamentales se enfrentan a los costos elevados de extensión de redes de electricidad. Con frecuencia la microhidrogeneración constituye una alternativa económica a la red, dado los sistemas de micro hidrosistema independientes se ahorra el costo de las líneas de transmisión y, por otro lado, los sistemas de extensión de la red están dotados de equipos costoso, además de los costos de personal. (Coz, y otros, Manual de Mini y Microcentrales Hidraulicas, 1995, pág. 1).

Figura 2
Elementos de la central hidroeléctrica



Nota. Esquema de funcionamiento de una central hidroeléctrica. Producción, transporte y almacenamiento de energía eléctrica (Turmero, Pablo).

2.7 TIPOS DE MINICENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Las centrales hidroeléctricas, y dentro de ellas las minicentrales hidroeléctricas, están muy condicionadas por las peculiaridades y características que presente el lugar donde vayan a ser instaladas. Cuando se vaya a poner en marcha una instalación de este tipo hay que tener en

cuenta la topografía del terreno va influir tanto en la obra civil como en la selección de la maquinaria. (Castro, 2006, pág. 27).

Según el emplazamiento de la central hidroeléctrica se realiza la siguiente clasificación general:

- Centrales de agua fluyente. Captan una parte del caudal del río, lo trasladan hacia la central y una vez utilizado, se devuelve al río.
- Centrales de pie de presa. Se sitúan debajo de los embalses destinados a usos hidroeléctricos u otros usos, aprovechando el desnivel creado por la propia presa.

Centrales en canal de riego o de abastecimiento.

2.7.1 Central de Agua fluyente

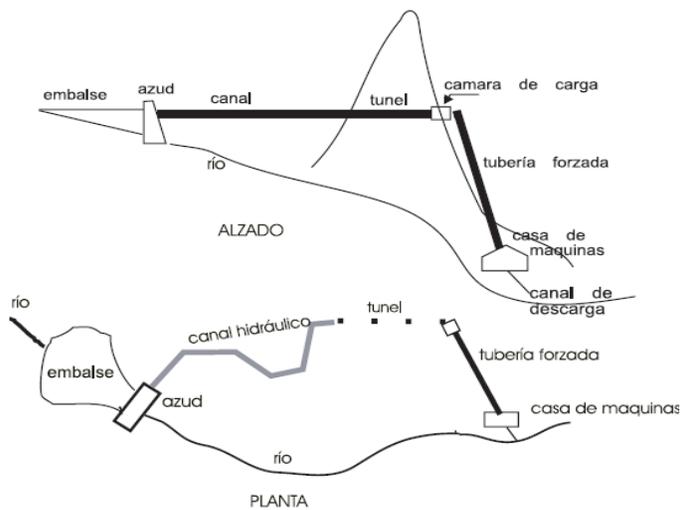
Es aquel aprovechamiento en el que se desvía parte del agua del río mediante una toma, y a través de canales o conducciones se lleva hasta la central donde será turbinada. Una vez obtenida la energía eléctrica el agua desviada es devuelta nuevamente al cauce del río. (Castro, 2006, pág. 27).

Sistemas aprovechamientos los cuales no tienen embalse para regulación, en tal sentido la central trabajaría cuando el agua que fluye en el río sea mayor que el diseñado para funcionamiento de las turbinas, y no funcionaría cuando descendería del caudal diseñado. La morfología del terreno, permiten diferenciar varias soluciones:

Los *sistemas hidráulicos de media y alta caída* en ríos de pronunciada pendiente, se emplean de azud, básicamente de baja altura, remansando el agua, elevando su cuota; desviándolo hacia la toma. A través de la tubería a forzada el caudal de agua es conducida hacia la casa fuerza. La tubería forzada representa una inversión relativamente mayor en el proyecto. La alternativa conveniente es utilizar el canal de baja pendiente, se construye relativamente en paralelo del cauce del río hasta llegar la cámara de carga; la tubería conduce el caudal hasta la casa de

máquinas. Si la topográfica del terreno en el proyecto presenta alto grado de dificultad; se opta por construir canal hidráulico, puede resultar económica. Como lo gráfica. (Pelikan, 2006, pág. 4).

Figura 3
Esquema de un aprovechamiento de montaña



Nota. Guía para el desarrollo de una pequeña central hidráulica ESHA (2006), pág. 4.

2.7.2 Centrales de pie de presa

Es aquel aprovechamiento en el que existe la posibilidad de construir un embalse en el cauce del río para almacenar las aportaciones de éste, además del agua procedente de las lluvias y del

deshielo. La característica principal de este tipo de instalaciones es que cuentan con la capacidad de regulación de los caudales de salida de agua, que será turbinada en los momentos que se precise. Esta capacidad de controlar el volumen de producción se emplea en general para proporcionar energía durante las horas punta de consumo. La toma de agua de la central se encuentra en la denominada zona útil, que contiene el total de agua que puede ser turbinada. Debajo de la toma se sitúa la denominada zona muerta, que simplemente almacena agua útil para turbinar. Según la capacidad de agua que tenga la zona útil la regulación puede ser horaria, diaria o semanal. En las minicentrales hidroeléctricas el volumen de almacenado suele ser pequeño, permitiendo por ejemplo producir energía eléctrica un número de horas al día, y llenándose el embalse durante la noche. Si la regulación es semanal, se garantiza la producción de electricidad durante el fin de semana, llenándose de nuevo el embalse durante el resto de la semana. (Castro, 2006, pág. 29).

2.7.3 Según la altura neta del salto

Es importante porque el salto permite determinar las condiciones técnicas del aprovechamiento hidroeléctrico (presa, canal de derivación, conducto forzado, central y turbina).

En comparación con las centrales hidroeléctricas de mayor salto hidráulico; presentan diseños diferentes que la de menor salto hidráulico, es prácticamente difícil sostener una línea demarcada entre ambos sistemas hidráulicos; lo más corriente es añadir una clase intermedia, los saltos de media altura, y definir unos intervalos fijos, aunque convencionales, útiles para los fines estadísticos.

La siguiente clasificación fue propuesta por Ludin, y aplicada por otros autores:

Salto de pequeña altura: $H \leq 14.99 \text{ m}$

Salto de media altura: $15,00 \leq H \leq 49.99 \text{ m}$

Salto de gran altura: $H \geq 50,00$ m (Mataix, 2009, pág. 354)

De acuerdo con el salto hidráulico, la Organización Latinoamericana de Energía OLADE clasifico las PCH de la siguiente:

Tabla 2

Clasificación de las Pequeñas Centrales según su Salto Hidráulico

Caída en Metros			
Tipos	Bajo (m)	Medio (m)	Alto (m)
Micro	$H < 15$	$15 < H < 50$	$H > 50$
Mini	$H < 20$	$20 < H < 100$	$H > 100$
Pequeña	$H < 25$	$25 < H < 130$	$H > 130$

Nota. Fuente: Pequeñas centrales hidroeléctricas. (2001). pág. 7.

2.7.4 Según la potencia instalada

Los límites de esta clasificación son convencionales y relativos según las posibilidades hidroeléctricas de cada país. En Europa se pueden establecer así:

Microcentrales: $P_a < 100kW$

Centrales de pequeña potencia: $100 < P_a < 1000kW$

Centrales de media potencia: $1000 < P_a < 10,000kW$

Centrales de gran potencia: $P_a > 10,000kW$ (Mataix, 2009, pág. 358).

De acuerdo la hidráulico, la Organización Latinoamericana de Energía OLADE ha clasificado las PCH de la siguiente forma. (Ortiz Florez, 2001, pág. 7).

Tabla 3

Clasificación de las Pequeñas Centrales Según su Potencia

Potencia	Tipos
0.5-5 kW	Picocentral
5-50 kW	Microcentral
50-500 kW	Minicentral
500-5000 kW	Pequeña central

Nota. Fuente: Pequeñas centrales hidroeléctricas. (2001). pág. 7.

2.8 PRIMERA CLASIFICACIÓN DE LAS TURBOMAQUINAS HIDRÁULICAS: TURBOMAQUINAS HIDRÁULICAS DE ACCIÓN Y REACCIÓN

Todas las *turbomaquinas hidráulicas*; se clasifican en dos grupos: Turbina de acción y turbinas de reacción. Si el grado de reacción es distinto de cero la turbina se llama de reacción y si es igual a cero la turbina se llama de acción. (Mataix, 2009, pág. 397).

2.8.1 Turbina de acción

El distribuidor (*llamado inyector* en estas turbinas) transforma la energía de presión de fluido en energía cinética del chorro. A la entrada y salida del *rodete* reina la presión atmosférica. Las secciones E y S en esta turbina, que carece de tubo de aspiración, son coincidentes. (Mataix, 2009, pág. 398).

2.8.2 Turbina de reacción

En el distribuidor (*el distribuidor Fink* es el corrientemente empleado) se transforma solo parte de la energía de presión del fluido en energía cinética. El agua entra al rodete a una presión superior a la atmosférica. A la salida del rodete, gracias al *tubo de aspiración*, que no existe en las turbinas de acción, la presión es inferior a la presión atmosférica; alcanzando el agua la presión atmosférica a la salida de la turbina. (Mataix, 2009, pág. 398).

Las pequeñas centrales hidroeléctricas – PCH empezaron su expansión a principio del XX, caracterizándose por ser tecnologías sencillas, de fácil adaptación e instalación, reducido costo de operación y mantenimiento. (Ortiz Florez, 2001).

Las microcentrales hidroeléctricas presentan un moderado o nulo impacto ambiental y vida larga útil, haciéndolas soluciones viables para pequeñas poblaciones no interconectadas; con condiciones, que pueden reemplazar los grupos Diésel o también suministrar, para reducir la necesidad de abastecimiento de combustibles fósiles e impulsar el desarrollo socioeconómico en el medio rural (Guerrero Fajardo, 2011). En marco general las micro centrales hidroeléctricas están compuestas de obras civiles y equipos de generación, entre los que se mencionan: toma o captación de agua, desarenador, canal de conducción, cámara de carga, tubería de presión, casa

de máquinas, canal de restitución, equipo electromecánico y redes eléctricas de transmisión y distribución (Danny Abarca, 2012).

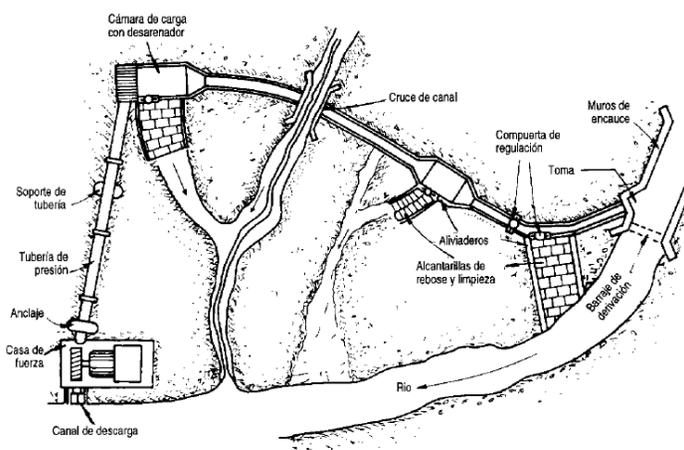
2.9 LOS COMPONENTES DE UN SISTEMA DE MICROHIDROGENERACIÓN

2.9.1 Obras civiles

Existen diversos tipos de configuraciones de sistemas hidráulico para microcentrales; en el presente estudio está orientado principalmente a sistemas de salto de pequeña altura, tubería de presión y canal de conducción, ruta a seguir. Los elementos hidráulicos de una microcentral hidroeléctrica: Barraje de derivación, toma de ingreso, compuertas de regulación, aliviadores, canales de rebose, desarenadores, canal, cámara de carga, tubería de presión, cruces de canal, apoyos de tubería, anclaje de tubería. (Coz, y otros, Manual de Mini y Microcentrales Hidraulicas, 1996, pág. 53).

Figura 4

Los elementos hidráulicos de una microcentral



Nota. (Coz, y otros, Manual de Mini y Microcentrales Hidraulicas, 1996, pág. 54).

2.9.1.1 Bocatoma.

Las bocatomas son obras hidráulicas cuya función es regular y captar un determinado caudal de agua, en este caso, para la producción de hidroenergía sea esta mecánica o eléctrica. Las bocatomas nos permiten tomar el agua de los ríos y conducirla aprovechando la fuerza de la gravedad. Las bocatomas deben cumplir las siguientes:

- Garantizar la captación de una cantidad constante de agua, especialmente en épocas de estío.
- Impedir, hasta donde sea posible, el ingreso de materiales sólidos y flotantes, haciendo que estos sigan el curso del río o facilitando la limpieza.
- Proteger el resto del sistema de obras hidráulicas del ingreso de avenidas o embalses que pudieran producirse en la época lluviosa. (Coz, y otros, Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas, 1995, pág. 56).

2.9.1.2 Canal.

En la obra de conducción, el caudal tiene un flujo uniforme, calado y velocidad en todo el tramo; por consecuencia, el gradiente o pendiente hidráulico y geométrico del cauce es constante. (Ortiz Florez, 2001, pág. 148). En una determinada instalación se puede adecuar diferentes tipos de canales; estos son:

- Canal de tierra sin revestimiento.
- Canal de tierra con sello o revestimiento.

El “Sellado” o revestimiento se refiere a la aplicación de una capa delgada de material que no agrega resistencia estructural; pero sirve para reducir la fricción y la filtración. (Coz, y otros, Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas, 1995, pág. 82). Según el tipo de Minicentral que

vayamos a construir, se necesita una red mayor o menor de conducciones. Las instalaciones situadas a pie de presa no tienen cámara de carga, al contrario que las centrales en derivación donde el agua tiene que hacer un recorrido más largo: primero desde la toma a la cámara de carga, y después hasta la turbina. El primer tramo que recorre el agua se realizara a través de canales, túneles o tuberías. En el segundo tramo hasta la turbina, se utilizan siempre tuberías. (Castro, 2006, pág. 42).

2.9.1.3 Desarenador.

Está diseñado para sedimentar materia solida suspendida en el agua, en el interior de la conducción. Las partículas se mantienen en suspensión debido a que la velocidad de entrada en la bocatoma es elevada y suficiente para arrastrar partículas sólidas; en especial durante las crecidas puede entrar gran cantidad de sedimentos. (Ortiz Florez, 2001, pág. 179).

El volumen de solidos durante las crecientes para ríos de montaña es aproximadamente de 4 a 6% del volumen de agua transportada y en ríos de llanura es 0.2 a 1.0%. No contar con un sistema de desarenador genera daños en el sistema hidráulico, por ejemplo:

- Disminuye de la sección transversal del canal por sedimentación.
- Disminuye de la capacidad de la cámara de presión, debido a la sedimentación, ocasionada por la baja velocidad en la cámara de presión.

A mayor velocidad de las partículas, estas desgastan rápidamente la tubería y los alabes de la turbina, disminuyendo la vida útil.

Se clasifican: de lavado continuo o lavado intermitente. (Ortiz Florez, 2001, pág. 179).

2.9.1.4 Cámara de carga.

La cámara de carga es un tanque con capacidad suficiente para asegurar el funcionamiento u parada rápida de las turbinas; está conectada al canal de rebose a través de una transición, el agua fluye hacia la tubería de presión a través de la rejilla; evitando el paso de elementos solidos flotantes. (Ortiz Florez, 2001, pág. 195).

Entre la rejilla y la tubería se instala una compuerta de cierre al paso del agua. Entre la compuerta y la rejilla se dejan unas ranuras en las paredes para la instalación de compuertas de apoyos como elemento de seguridad para el caso de reparaciones. El excedente de agua en la cámara se evacua a través del aliviadero, el cual está acompañado de una compuerta de fondo que permite la descarga y el lavado de sedimentos. (Ortiz Florez, 2001, pág. 195).

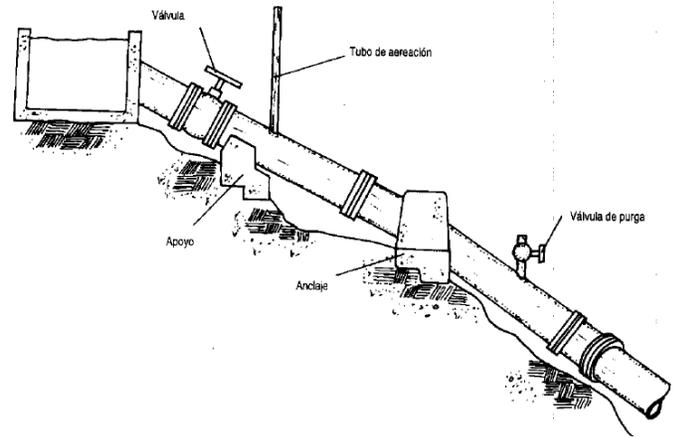
2.9.1.5 Tubería de presión.

Son tuberías que transportan agua bajo presión hasta la turbina. El costo de una tubería puede llegar a presupuesto de mayor porcentaje de toda la microcentral; optimizando su diseño ayudara a disminuir los costos de mantenimiento y la inversión inicial. El flujo agua es conducido desde la cámara de presión hasta las turbinas, la energía cinética es transformada en energía mecánica. La conducción a presión está conformada por la tubería de presión, sus accesorios y un sistema de sujeción y suspensión. La tubería de presión debe ser preferiblemente recta. Este hecho obliga a ajustarse al perfil topográfico de su trazado, con el apoyo de estructuras de concreto y variar la pendiente (anclajes). (Coz, y otros, Manual de Mini y Microcentrales Hidraulicas, 1995, pág. 90).

Los principales componentes de una estructura de tubería de presión pueden ser apreciados en Figura 5.

Figura 5

Componentes de una tubería de presión



Nota. (Coz, y otros, Manual de Mini y Microcentrales Hidraulicas, 1995, pág. 91).

2.9.1.6 Casa de máquinas.

Es la estructura civil que contiene el equipo electromecánico, donde se transforma la energía hidráulica del agua en energía mecánica y posteriormente en eléctrica. La ubicación es importante para el funcionamiento de la central y se decide teniendo los siguientes parámetros:

La casa de máquinas se coloca cercana al aprovechamiento hidráulico que entregara el agua turbinada, en el canal de desagüe no se depositen sedimentos que disminuyen su sección.

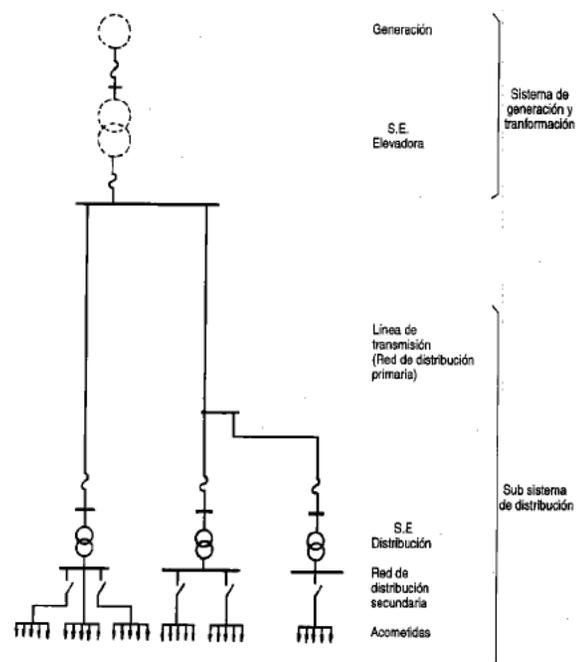
Es importante que la casa de máquinas se ubique en una zona con terrenos estables y que estén fuera del alcance de riadas, que depositan sedimentos en el canal de desagüe o afectar la casa de máquinas. Prever una posible ampliación. Facilidad de acceso. (Ortiz Florez, 2001, pág. 272).

2.10 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y REDES DE DISTRIBUCIÓN

Para centrar el tema, ubicaremos las líneas de transmisión (LT) y redes de distribución (RD) de la microcentral hidráulica (MCH) en el esquema general de los sistemas eléctricos. Se presenta en la (Coz, y otros, Manual de Mini y Microcentrales Hidraulicas, 1995, pág. 223).

Figura 6

Esquema eléctrico de líneas de transmisión y redes de distribución



Nota. Manual mini y microcentrales hidroeléctricas. (1995). pág. 223.

Las líneas de transmisión generalmente son trifásicas de tres conductores y una sola terna, aunque también pueden ser trifásicas de cuatro conductores, monofásicas de dos conductores o monofásicas con retorno por tierra (un conductor). (Coz, y otros, Manual de Mini y Microcentrales Hidraulicas, 1996, pág. 224).

Las tensiones que se pueden seleccionar están establecidas en los códigos y reglamentos nacionales; (CEI). Para los sistemas trifásicos de 3 hilos, la selección de la tensión solo requiere

escoger un valor de la tabla 8.1. Con referencia, podemos señalar que, para líneas eléctricas de hasta de 15 km de longitud, se pueden emplear líneas trifásicas de 10 kV. (Coz, y otros, Manual de Mini y Microcentrales Hidraulicas, 1996, pág. 226).

Los sistemas trifásicos de 4 hilos; 3 con tensión y uno neutro, con dos tensiones: una entre fases y otra entre fase y tierra, se emplean con líneas de hasta 15 km con tensiones de 13,2/7,2 kV. y con líneas de 30 a 50 km. Con tensiones de 22,9/13,2 kV. Se emplean también en distribución primaria, los sistemas monofásicos de dos conductores o de un conductor con retorno por tierra. (Coz, y otros, Manual de Mini y Microcentrales Hidraulicas, 1996, pág. 226).

2.11 ANÁLISIS ECONÓMICA Y FINANCIERO

El análisis económico y financiero de un proyecto de una micro central hidráulica (MCH) se realiza para orientar la toma de decisiones en torno a la pertinencia de ejecutarlo o no. Puesto que la generación de energía es importante para el desarrollo y para evaluar el nivel de vida de la población, debe considerarse de manera adecuada su rol de soporte productivo que cumple en la economía y la función social que ayuda a desempeñar. (Coz, y otros, Manual de Mini y Microcentrales Hidraulicas, 1996, pág. 257). El coste de inversión e implementación de una central hidroeléctrica está en función de factores como la orografía del terreno, vías de acceso, el tipo de tecnología, el tamaño, la potencia y el punto de conexión. Además, se tiene en cuenta los procesos y costos del proyecto, después la fase de ejecución y finalmente el funcionamiento. En primer lugar, se elabora el proyecto de construcción e instalación de la Minicentral, volumen de obra, el equipamiento y potencia a instalar. En segundo lugar, se realiza la fase de ejecución del proyecto; que influyen tres aspectos definitivos en el coste: Obra civil, grupo turbogenerador, sistema eléctrico y de control. Los porcentajes correspondientes de cada partida varían según el tipo de actuación y según el tipo de central. (Castro, 2006, pág. 67).

2.11.1 Método de análisis beneficio/costo

Consiste en comparar todos los beneficios con todos los costos a los que se incurrirá a lo largo de la vida útil del proyecto. La regla indica que debe realizarse el proyecto solo si los beneficios son mayores que los costos. Debido a que estos costos y beneficios ocurren en años diferentes, para poder compararlos es necesario actualizarlos a una misma tasa de descuento (o interés) y a un año que normalmente es el primer año del proyecto. (Coz, y otros, Manual de Mini y Microcentrales Hidraulicas, 1995, pág. 262).

Una vez actualizados los beneficios y los costos, la evaluación se realizará determinando tres indicadores: El *valor actual neto* (VAN), la *relación beneficio-costo* (B/C), y la *tasa interna de retorno* (TIR).

2.11.1.1 Valor actual neto (VAN)

Es la diferencia de la suma total de los beneficios actualizados, menos la suma total de los costos actualizados, a una misma tasa de descuento i .

2.11.1.2 Relación beneficio-costo (B/C)

Es el cociente de la suma total de los beneficios actualizados divididos entre la suma total de los costos actualizados, a una misma tasa de descuento i .

2.11.1.3 Tasa interna de retorno (TIR)

Es la tasa de descuento (o interés)

2.12 CAPACIDAD Y ESTUDIO DE LA DEMANDA

2.12.1 Estimación de la demanda

El estudio establecerá cual es la demanda existente para una nueva fuente de energía; cuanto se necesita, donde se necesita, (¿energía mecánica, calor o electricidad?), y si existe un interés genuino y capacidad para pagar por el nuevo suministro propuesto. También se estudiará el método por el cual el nuevo suministro de energía traerá beneficios a la gente más necesitada del centro poblado de Cascajal. Una vez que el estudio se ha terminado, se emitirá un informe que cubra los aspectos para el planteamiento operacional. Por ejemplo, se necesitará un mapa o esquema del pueblo para diseñar las transmisiones eléctricas; así mismo se necesitarán los diagramas de demanda para seleccionar el tamaño de la turbina y el generador.

Para el estudio de la capacidad y estudio de la demanda se aplicó una encuesta elaborada a partir aspectos como: mapa de ubicación, características de las personas del pueblo Cascajal, relación de instituciones, organizaciones, líderes de negocios o miembros, sistemas de irrigación actuales y su administración y planes futuros de irrigaciones, diagnóstico de la capacidad de organización local o individual, notas de entrevistas a personas individuales e instituciones, la cantidad de energía requerida – para que se usa (uso doméstico y/o negocios productivos tales como molienda de granos) y cuando se necesita, descripción de los artefactos que usarían energía eléctrica (por ejemplo: cocinas, equipos de expulsión de aceite) y como pueden ser adquiridos, y un plan de un sistema de administración; explicando como las ganancias y tarifas serian recaudadas y acumuladas, como gastar, como se deberá organizar la operación y mantenimiento, y planes de contingencia para acomodarse a las posibles dificultades futuras.

La capacidad y estudio de la demanda eléctrica; se determinó aplicándose encuestas a los pobladores de la zona Cascajal; del Anexo 1.2, Posteriormente se calculó la demanda futura a 30

años; tasa anual de crecimiento poblacional de la zona, de acuerdo al INEI, Anexo 1.1. La proyección modelo de crecimiento:

$$DMF = DMA \times (1 + r)^n \quad (1)$$

donde:

DMF = demanda máxima futura, kW

DMA = demanda máxima actual, kW

r = tasa de crecimiento anual poblacional, %

n = número años proyectados

2.12.1.1 Medición del salto

Los mapas con curvas de nivel sirven para hacer una estimación del salto disponible y pueden utilizarse para estudios de pre factibilidad de micro centrales hidroeléctricas (MCH). Los estudios factibilidad y los definitivos se hace necesario realizar mediciones in situ a fin de obtener mayor precisión. Por lo general, se requiere precisiones de 3% o más, puesto que la caída es un parámetro importante en el diseño del sistema. (Coz, y otros, Manual de Mini y Microcentrales Hidraulicas, 1995, pág. 27).

La medición del salto hidráulico se realizó con el método del ingeniero, se empleó de 01 teodolito KERN K1-M-310097, un nivel KERN GKO A 304471, una wincha de 50 m, 01 mira. El salto se determinó en 43.65m.

2.12.1.2 Medición del caudal.

En razón de que el caudal de los ríos varía a lo largo del año, realizar una medida del caudal instantáneo resulta un registro aislado cuya utilidad es relativamente pequeña. Es posible que

algunas veces no exista información para hacer un estudio hidrológico, entonces nos vemos forzados a recolectar nuestros propios datos a partir de mediciones instantáneas del caudal. Lo ideal es hacer mediciones a diario, aunque también se usan mediciones semanales y mensuales. (Coz, y otros, Manual de Mini y Microcentrales Hidraulicas, 1995, pág. 33).

Se empleó el método del área y velocidad (flotador), realizando las mediciones en época de avenidas como estiaje. Este método se basa en la continuidad, utilizándose: cordón de nylon, wincha de 5 metros, cronometro y flotador. Los resultados fueron promediados; obteniéndose la velocidad superficial del agua. La velocidad se multiplicará por un factor de corrección; hallándose la velocidad media. El factor está en función de la profundidad. La fórmula para el cálculo es:

$$Q_{aa} = k \times A \times V \quad (2)$$

donde:

Q_{aa} = caudal de agricultura, m^3/s

A = area sección transversal, m^2

V = velocidad del agua, m/s

k = factor de corrección en función s/p (anexo 2.1)

2.13 CÁLCULO DEL AGUA PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA

Un hidrosistema requiere de un caudal de agua y un diferencial de altura (conocido como “Salto”) para producir potencia útil. Se trata de un sistema de conversión de energía, es decir, se toma energía en la forma de caudal y salto y se entrega energía en forma de electricidad o energía mecánica en el eje. Ningún sistema de conversión puede entregar la misma cantidad de energía útil como la que absorbe, dado que la energía se pierde en el sistema en forma de

fricción, calor, ruido, etc. (Coz, y otros, Manual de Mini y Microcentrales Hidraulicas, 1995, pág. 4).

Asumiendo pérdidas de carga por fricción en el sistema hidráulico: bocatoma, canal, desarenador y cámara de carga:

$$h_1 = 5\%H_t \quad (3)$$

Caída de presión en tubería:

$$h_2 = 5\%H_t \quad (4)$$

Salto hidráulico neto:

$$H_n = H_t - (h_1 + h_2) \quad (5)$$

Asumiendo la eficiencia del sistema hidroenergetico, la potencia eléctrica; se calcula mediante:

$$P = g \times Q_g \times H_n \times \eta_{tur} \times \eta_{tur} \times \eta_{ge} \times \eta_t \times \eta_d \quad (6)$$

donde:

P = máxima demanda futura, kW

$\eta_d = 0.95$, eficiencia de distribución de la energía eléctrica

$\eta_t = 0.9$, eficiencia de transmisión de la energía eléctrica

$\eta_{ge} = 0.9$, eficiencia del generador eléctrico

$\eta_{tm} = 0.9$, eficiencia de transmisión mecánica

$\eta_{tur} = 0.65$, eficiencia de turbina Michelle Banki

El caudal Q_g en m^3/s , se despeja de la ecuación (6)

2.14 CALCULO VOLUMEN DE LA BOCATOMA

El para el volumen de la bocatoma, el canal de conducción será:

$$Q_d = Q_g + Q_{agri} \quad (7)$$

donde:

Q_d = caudal de diseño, m^3/s

Q_{agri} = caudal de uso agrícola, m^3/s

Q_g = caudal de uso generación eléctrica, m^3/s

2.15 DISEÑO DE LA BOCATOMA

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. Estas obras deben cumplir las siguientes condiciones. Con cualquier calado del río deben capturar una cantidad relativamente constante de caudal.

Deben impedir al máximo la entrada de material sólido, flotante o en suspensión a la condición y hacer que continúe por el cauce. Garantizar la seguridad mínima del sistema. La conducción debe disponer de estructura de retención que garantice que garantice un cote de nivel con cualquier caudal del río; una obra de toma para la captación del caudal de diseño, acompañada de una rejilla que evite el paso de material sólido flotante. (Ortiz Florez, 2001, pág. 115).

2.16 TOMA DE AGUA

El agua es captada por la toma de agua ubicada aguas arriba del azud en el muro que separa el destripador del río, a una distancia suficiente que permita durante la construcción la ubicación de la ataguía, y aguas abajo se prolonga hasta conectarse con la purga. El umbral de la ventana debe estar a una altura no inferior a 0.60 – 0.80 metros del fondo; su dintel es por lo general de

hormigón armado y debe estar a una altura superior al de mayor creciente. (Ortiz Florez, 2001, pág. 126).

Se dan los siguientes parámetros según:

Q = caudal de diseño, m^3/s

Y_1 = altura del umbral sobre el fondo del rio, m

H = altura del agua, m

Z = es el desnivel entre las superficies del agua, m

Y_2 = altura del desripiador, m

a' = es el ancho de los barrotes, m

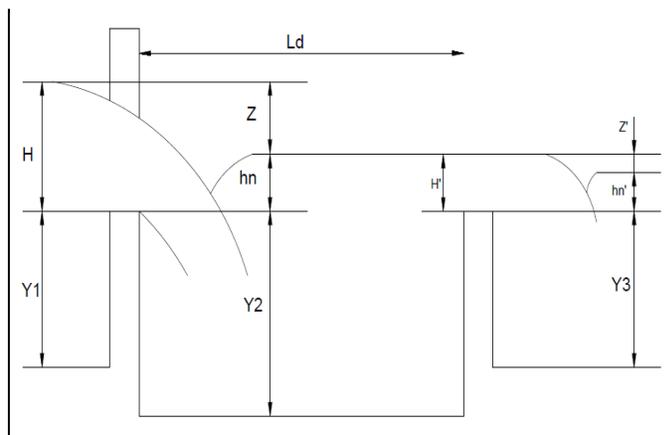
b' = es la separación entre los barrotes, m

V_e = velocidad de entrada al canal, m

h' = altura de la ventana de toma del agua,

Figura 7

Toma de agua con vertedero sumergido



Nota. Toma de agua con vertedero sumergido. (Ortiz Florez, 2001, pág. 127).

Altura del vertedero es igual a:

$$h_n = h - z \tag{8}$$

La altura del agua en el desrripador es:

$$h = Y_2 + h_n \quad (9)$$

Según Bazin el coeficiente s es igual a:

$$s = 1.05 \times (1 + 0.2 \times (h_n/Y_2)) \times (Z/H)^{1/3} \quad (10)$$

Según Konolav el coeficiente de un vertedero está dado por:

$$M = \left[0.407 + \frac{0.045H}{H + Y_1} \right] \times \left[1 + 0.285 \left(\frac{H}{H + Y_1} \right)^2 \right] \times \sqrt{2g} \quad (11)$$

Determinando los coeficientes M y s .

Con la expresión de caudal para vertedero sumergido se determina el ancho b_1 , considerando un coeficiente de pérdidas $K = 0.9$, se obtiene:

$$Q = k \times s \times M \times b_1 \times H^{2/3} \quad (m^3/s) \quad (12)$$

dónde:

Q = es el caudal de diseño, m^3/s

s = es el coeficiente de corrección de sumersión de Bazins

M = es el coeficiente de Konolav

H = es la carga sobre la cresta

Se determina el número de espacios:

$$n = b_1/b' \quad (13)$$

El número de barrotes es de:

$$N = n - 1 \quad (14)$$

El ancho de la reja es igual a:

$$B = b_1 + N \times \alpha' \quad (15)$$

La velocidad media equivale a:

$$V_r = Q_m / P \quad (16)$$

dónde:

V_r = Velocidad media anual, m/s

Q_m = Caudal medio anual, m^3/s

P = Perímetro mojado, m

El muro debe tener una inclinación, disminuyendo la longitud para mejorar las condiciones hidráulicas. El ángulo debe ser menor de 20° , se aplica siguiente expresión:

$$\alpha = \arcsin (V_r/V_e) \quad (17)$$

2.17 DESRIPIADOR

Consiste en una cámara que sirve para detener las piedras que han logrado pasar entre los barrotes, las cuales no deben pasar al canal. Las velocidades del desripiador debe ser relativamente baja y el paso hacia el canal debe hacerse por medio de un aliviadero sumergido. Con el fin de eliminar las piedras que se depositen se deje una compuerta de lavado, la cual se comunica con un canal de desfogue que tiene un gradiente suficiente para conseguir una velocidad de lavado alta, capaz de arrastrar todas las piedras.

El caudal que se debe verter a través del rebosadero ubicado en el desripiador, debe tener un ancho b_2 igual a:

$$b_2 = \frac{Q_d}{S \times M \times H^{3/2}} \quad (18)$$

dónde:

Q_d = Caudal de diseño, m^3/s

S = Coeficiente según Bazin

M = Coeficiente para un vertedero según Konolav

H = Carga sobre la cresta, m

La longitud del desrapiador es aprox. igual a una longitud de transición, valor de 0.5 metros (Ortiz Florez, 2001, pág. 131).

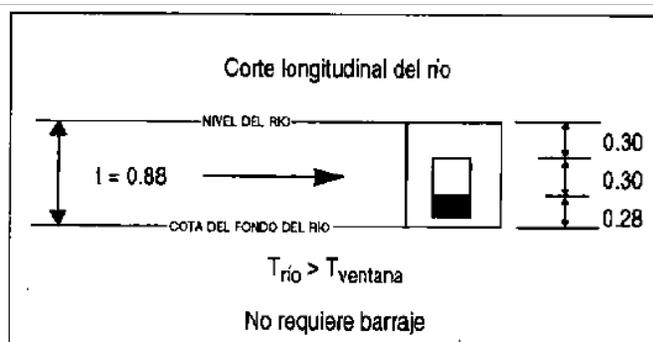
2.18 DISEÑO DE UNA PRESA VERTEDEDORA MACIZA

Es una estructura de derivación que sirve para elevar el nivel de las aguas y se construye en sentido transversal al río con fines de captación, siempre y cuando sea necesario. Es decir, en aquellos casos en que el tirante del río no sea lo suficientemente grande y no abastezca los requisitos de captación.

Dependiendo de la relación entre los caudales del río y la captación, algunas veces (cuando el tirante del río permite el acceso al caudal de diseño a través de la ventana de captación, es decir cuando la cota del río es mayor que la cota inferior de la ventana de captación), no es imprescindible construir el barraje. El azud es un tipo de barraje-una represa vertedera- cuya función es captar y dejar escapar el agua excedente o de avenidas que no debe ingresar al sistema. Es represa porque deja pasar el agua no tomada. (Federico Coz... et. al, 1995).

Figura 8

Necesidad de barraje en bocatoma



Nota. Manual de mini y microcentrales hidroeléctricas. (1995). pág. 59.

2.18.1 Altura del barrage de derivación

Método de vertedero de pared plana, altura del barrage es:

$$H_{bar} = h_c + h_b \quad (19)$$

dónde:

H_{bar} = Altura del barrage, m

h_c = Altura de cresta del vocal de entrada, m.

h_b = Carga hidráulica en el vocal de entrada, m

2.18.2 Carga hidráulica sobre la cresta del barrage (h)

Aplicando la fórmula del vertedero:

$$Q = 2/3 \times \mu \times b \times \sqrt{2g} \times h^{3/2} \quad (20)$$

donde:

Q = Caudal máximo del río (máxima avenida), $18m^3/s$

μ = Coeficiente del vertedero según la fórmula de la cresta (para el caso, perfil Creager

$\mu = 0.75$).

h = Altura de carga hidráulica o tirante de agua sobre la cresta del vertedero (m).

b = Ancho del río 10m.

El coeficiente lateral " μ ", está dado por la ecuación:

$$\mu = \left[0.578 + 0.037 \times \left(\frac{A_{barr}}{A_{rio}} \right)^2 + \frac{0.00365 - 0.0030 \times \left(\frac{A_{barr}}{A_{rio}} \right)^2}{H_c \text{ bar}} \times (1 + 0.5 \times \left(\frac{A_{barr}}{A_{rio}} \right)^4 \times \frac{h_c \text{ bar}}{H_c \text{ bar} + h \text{ bar}}) \right] \quad (21)$$

dónde:

H_c = Carga sobre la cresta del barraje, m.

A_{rio} = Ancho de la bocatoma, m.

A_{barr} = Es el ancho del barraje, m

Las restricciones de la ecuación:

$$h_c \text{ bar} / h_{bar} < 1$$

$$0.8 > h_c \text{ bar} > 0.25 \times (A_{rio}/A_{barr.})$$

$$0.8 > A_{barr.}/A_{rio} > 0.3$$

$$h_c \text{ bar} > 0.3 \text{ m}$$

De las ecuaciones (20) y (21); determinamos μ y $h_c \text{ bar}$, contrastándose las condiciones.

2.18.3 Carga en el barraje (Hh_{bar})

Se calcula empleando la siguiente ecuación:

$$Hh_{bar} = h_{bar} + hc_{bar} \quad (22)$$

dónde:

Hh_{bar} = Carga hidrostática en el barraje, m

h_{bar} = Altura del barraje, m

hc_{bar} = Carga hidrostática sobre la cresta del barraje, m

2.18.4 Espesor del barraje (t_{bar})

De acuerdo a J. Villaseñor de su libro “Proyectos de obras Hidráulicas”, recomienda el cálculo del espesor de barraje en función a la carga hidrostática y el ancho del barraje, así tenemos:

$$t_{bar} = 0.0327 \times a_{bar} \times \sqrt{Hh_{bar}} \quad (23)$$

dónde:

t_{bar} = Es el espesor del barraje, m

a_{bar} = Es el ancho del barraje, m

Hh_{bar} = Es la carga en el barraje, m

2.19 CANAL DE CONDUCCIÓN

El caudal que será aprovechado para generar energía eléctrica es captado en la bocatoma y llevado a través de un canal que puede estar a cielo abierto o cerrado manteniéndose el caudal a presión atmosférica, en su trazado pasa diferentes accidentes topográficos que son sorteados con obras especiales como viaductos, sifones, rellenos y túneles hasta llegar al tanque de presión.

La decisión económica se determina por la longitud de conducción, un aprovechamiento hidroeléctrico con pequeña pendiente del afluente; conlleva a una mayor longitud y mayor costo, e inversamente disminuye; la pendiente es elevada. En el canal, el caudal fluye uniformemente; tiene un calado y velocidad en todo el tramo; por tanto, el gradiente hidráulico y geométrico del cauce es constante. (Ortiz Florez, 2001, pág. 147).

2.19.1 Sección y ángulo del talud del canal

El flujo de agua en un canal hecho de un material suelto, como un suelo arenoso, hará que las paredes se desmoronen hacia dentro, a menos que los lados estén inclinados ligeramente y el

ancho del canal esté en relación a su profundidad. La ventaja de revestir los canales es que resultan más angostos para el caudal.

Es significa que no es necesaria una gran excavación horizontal en una ladera angosta. Normalmente, se prefieren perfiles trapezoidales porque son muy eficientes hidráulicamente, aunque dependiendo de las características geológicas del suelo de fundación, los rectangulares son a veces más fáciles de construir. La tabla 34 del Anexo 2.2, describe algunos valores del ángulo del talud recomendado para diferentes materiales. (Coz, y otros, Manual de Mini y Microcentrales Hidraulicas, 1995, pág. 82).

2.19.2 Velocidad del agua “V”

Un flujo de agua excesivamente rápido erosionará las paredes de un canal, mientras que velocidades demasiado bajas permitirán el depósito de sedimento y su obstrucción. En la tabla 35 del Anexo 2.3, se dan las velocidades mínimas de acuerdo a la calidad del agua, y en la tabla 36 del Anexo 2.4, se da las velocidades máximas recomendada para diferentes tipos de materiales. (Coz, y otros, Manual de Mini y Microcentrales Hidraulicas, 1995, pág. 82).

2.19.3 Rugosidad “n”

Cuando el agua pasa por el canal, pierde energía en el proceso de deslizarse por las paredes y el lecho. Mientras más rugoso es el material del canal, las pérdidas por fricción y mayor será pendiente o desnivel entre la entrada y la salida del canal. El diseño ideal se basa en los siguientes principios:

La velocidad del agua debe ser lo bastante alta como para asegurar que los sólidos en suspensión no se asienten en el fondo del canal o ingresen a la tubería de presión

La velocidad del agua en el canal debe ser lo bastante baja como para asegurar que no se erosionen sus paredes laterales. Si esto es imposible, sin entrar en conflicto con el punto anterior, se deberá considerar el uso de un revestimiento más resistente

Los costos de construcción y mantenimiento deben ser mínimos.

El desnivel en todo el canal debe ser reducido (lo que también implica velocidad mínima del agua). (Coz, y otros, Manual de Mini y Microcentrales Hidraulicas, 1995, pág. 83).

La tabla 37 del Anexo 2.5, muestra los valores del coeficiente de rugosidad para distintos materiales. Si se reviste un canal de tierra, la rugosidad del material de revestimiento determinará el grado de pérdida por fricción.

2.20 DISEÑO DEL CANAL DE CONDUCCIÓN

Es muy importante elegir correctamente el tipo de canal para cada parte de la ruta. Una que se ha elegido el tipo de canal y el material de revestimiento correspondiente, es posible calcular las dimensiones adecuadas, así como el desnivel correcto entre el inicio y final de este.

El tipo y el material del canal determinan los tres factores básicos que deciden la pendiente y las dimensiones del canal. (Coz, y otros, Manual de Mini y Microcentrales Hidraulicas, 1995, pág. 85).

Para el diseño del canal, asumiremos los valores del calado (y) y ancho de la solera (b), para un canal trapezoidal, hasta llegar un caudal ligeramente superior al caudal total para obras civiles. los elementos del canal se muestran en la siguiente:

donde:

C = Corona interior del canal, m

CE = Corona exterior de canal, m

b = Ancho de la plantilla, m

d = Tirante de agua, m

B = Base mojada, m

H = Altura del canal o del borde, m

h-d = Borde libre, m

$z = \cotg\theta$

S = Pendiente

n = Rugosidad

R = Radio hidráulico

P = Perímetro mojado

Para un canal trapezoidal el perímetro mojado será:

$$P = b + 2y \quad (24)$$

dónde:

P = Perímetro mojado, m

b = Ancho de la solera, m

y = Calado, m

Para un canal trapezoidal el área transversal es:

$$A = y(b + yz) \quad (25)$$

dónde:

A = Área transversal, m^2

b = Ancho de la solera, m

y = Calado, m

Z = Talud del canal, m

Aplicando para cálculo la fórmula de Maning, donde la velocidad (V) está en función del radio hidráulico (R), pendiente (S) y rugosidad (n) del material de construcción:

$$V = 1/n \times \sqrt[3]{R^2} \times \sqrt{S} \quad (26)$$

dónde:

V = Velocidad, m/s

n = Coeficiente de rugosidad.

R = Radio hidráulico

A = Área de sección transversal, m²

P = Perímetro mojado, m

S = Pendiente

Calculo del caudal con la siguiente formula:

$$Q = A \times V \quad (27)$$

dónde:

Q = Caudal del canal, m³/S

A = Área de sección transversal, m²

V = Velocidad, m/s

La construcción del canal; debe considerarse un factor de seguridad S, para evitar desborde. La altura de seguridad está entre el 5% - 30% del tirante de agua.

2.20.1 Dimensiones de espesores del revestimiento

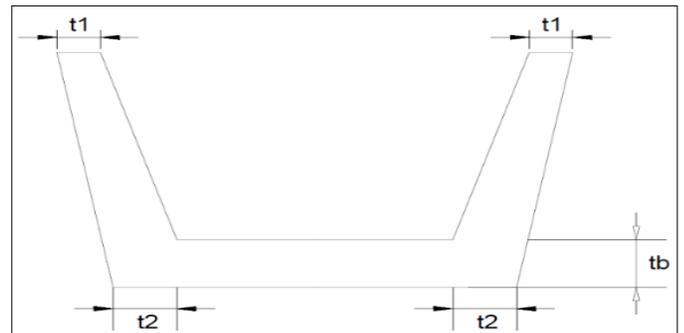
Los canales se revisten con el fin de: Impermeabilizar y evitar la filtración, permitir una mayor velocidad evitando la erosión y reducir el coeficiente de rugosidad, evitar la acción de agentes

atmosféricos, plantas y animales. Se utilizan diferentes tipos de materiales para revestir el canal, algunos de ellos:

- Hormigón
- Mortero
- Mampostería en piedra o ladrillo
- Revestimiento asfáltico con membrana enterrada
- Tierra
- Tratamiento químico del terreno

Las dimensiones de los espesores según T. Nosaki es su libro “Guía para la elaboración de proyectos de pequeñas centrales hidroeléctricas” (p, 30), recomienda la siguiente Figura 9.

Figura 9
Dimensiones de los espesores de un canal de cemento



Nota. Pequeñas centrales hidroeléctricas

Se hallan con las siguientes formulas:

$$t_1 = t_b = 0.10 \times y + 0.08 \quad (28)$$

$$t_2 = 0.22 \times y + 0.06 \quad (29)$$

dónde:

t_1 = Espesor de pared superior del canal, m

t_2 = Espesor de pared inferior del canal, m

t_b = Espesor de la base del canal, m

Y = Tirante del canal, m

2.21 CALCULO DE TRANSICIÓN

Las pérdidas de carga en sección de poco calado y ancho (vertedero), a una obra de mayor calado y más estrecha (conducción), se recomienda una transición. El ángulo máximo entre el eje del canal y de línea que une los puntos de transición correspondientes a la entrada (vertedero) y a la salida (conducción) no supere los 12.5°. La longitud de transición se obtiene:

$$L_t = \frac{b_2 - b_3}{2 \tan(12.5^\circ)} \quad (30)$$

donde:

b_2 = Es el ancho del vertedero

b_3 = Es el ancho de la conducción

Se recomienda que la transición sea una curva compuesta por arcos de círculos tangentes a la entrada y a la salida.

2.22 DESARENADOR Y CÁMARA DE CARGA

El desarenador es una obra hidráulica que sirve para sedimentar partículas de material sólido suspendidas en el agua, en el interior de la conducción. Las partículas se mantienen en suspensión debido a que la velocidad de entrada en la bocatoma es elevada y suficiente para arrastrar partículas sólidas; en especial durante las crecidas puede entrar gran cantidad de sedimentos.

El volumen de sólidos durante las crecientes para ríos de montaña es aproximadamente de 4 a 6% del volumen de aguas transportada y en ríos de llanura es de 0.2 a 1.0%. No disponer del desarenador genera daños en las obras, por ejemplo:

- Disminución de la sección de la conducción (canal) por sedimentación; esto conlleva a aumentar el mantenimiento de la obra.
- Disminución de la capacidad del tanque de presión por acumulación de material sólido, debido a la sedimentación, ocasionada por la baja velocidad existente en esta obra.
- Cuanto mayor es la velocidad de las partículas, estas desgastan más rápidamente la tubería y las turbinas, disminuyendo de manera considerable su vida útil.
- El propósito del desarenador consiste en eliminar partículas de material sólido suspendidas en el agua de la conducción, debido a la velocidad del agua; para que ellas se decanten se disminuye su velocidad, en consecuencia, para cumplir con su propósito el desarenador dispone de una mayor área (sección) (Ortiz, R. 2001).

En los desarenadores se evita: la turbulencia y la tendencia al desplazamiento; muestra un diseño incorrecto que genera ambas restricciones. Es importante evitar la turbulencia porque agita el sedimento, manteniéndolo en suspensión.

2.22.1 Ancho del desarenador

La longitud del desarenador se divide: entrada (L_e), decantación (L_d) y salida (L_s). La parte central es el área de decantación. La longitud de decantación (L_d) y el ancho (W). La profundidad se divide en dos partes: decantación (d_d) y de recolección (d_r); es importante diferenciar; ya que funcionara correctamente solo si no se permite que la sedimentación que se va formando exceda el borde del área de recolección en el límite superior de la zona de recolección (d_r).

$$W = \frac{Q}{V_h \times Y_d} \quad (31)$$

dónde:

W = Ancho del desarenador, m

Q = Caudal de diseño, m^3/S

V_h = Velocidad horizontal del agua, m/s

Y_d = Profundidad de decantación, m

2.22.2 Longitud de decantación del desarenador

$$L_d = \frac{V_h \times Y_d \times f_s}{V_d} \quad (32)$$

dónde:

L_d = Longitud de decantación del desarenador, m

V_h = Velocidad horizontal del agua, m/s

Y_d = Profundidad de decantación, m

V_d = Velocidad de decantación de las partículas, m/s

f_s = factor de seguridad

2.22.3 Longitud de entrada desarenador

$$L_e = 1.5 \times W \quad (33)$$

donde:

L_e = Es la longitud de entrada, m

W = Es el ancho del desarenador, m

2.23 DISTANCIA DE RECOLECCIÓN

2.23.1 *Calculo tanque colector periodo una semana*

$$CTC = \frac{Q \times T \times S \times F}{d \text{ arena}} \quad (34)$$

dónde:

CTC = Capacidad del tanque colector (m^3/semana)

Q = Caudal de diseño, m^3/s

T = Tiempo de acumulación de la arena (segundos/Semana)

S = Sedimento transportado por el canal (kg/m^3 de agua)

F = Factor de seguridad

D arena = Densidad de la arena $2600 \text{ kg}/m^3$

Se recomienda un valor de 2 a 3 como factor de seguridad.

2.23.2 *Calculo de la distancia de recolección a partir de la fórmula:*

$$dr = \frac{2 \times CTC}{Ld \times W} \quad (35)$$

dónde:

dr = Distancia de recolección, m

CTC = Capacidad del tanque colector, m^3/semana

Ld = Longitud de decantación del desarenador, m

W = Ancho del desarenador, m

2.24 CALCULO DEL ALIVIADERO LATERAL

2.24.1 El excedente que ingresa al desarenador se evacua mediante un aliviadero lateral, cuyo tirante se puede calcular mediante:

$$ha = Tu - Yd \quad (36)$$

Dónde:

ha = Tirante excedente, m

Tu = Tirante máximo aguas debajo de la ventana de regulación, m

Yd = Tirante de diseño del canal, m

2.24.2 Calculo longitud aliviadero mediante la ecuación de vertedero de pared delgada (ITDG, 1995).

$$Qa = \varphi \times 2/3 \times u \times La \times \sqrt{2g} \times ha^{\frac{3}{2}} \quad (37)$$

dónde:

Qa = Caudal en exceso a evacuar, m^3/s

u = Coeficiente de contracción, 0.50

φ = Coeficiente del vertedero lateral, 0.95

La = Longitud del aliviadero, m

g = Aceleración de la gravedad, 9.81 m/s²

2.25 DISEÑO DE LA CÁMARA DE CARGA

2.25.1 *Rejilla de ingreso a la cámara de carga*

La rejilla debe ser instalada a 60° con respecto a la horizontal, para una adecuada limpieza entre las rejillas. El diseño de las rejas son filas paralelas de barras de acero de 1 a 12 pulgadas. Las barras de acero rectangulares son preferibles a las redondas, son adecuadas para evitar las obstrucciones y vibraciones. Las rejas se colocan inclinadas lo más horizontalmente posible. Las rejas que son rastrilladas mecánicamente están inclinadas entre 5° y 30° con la vertical.

2.25.2 *Conexión entre la cámara de carga y la tubería de presión*

La velocidad del agua a la entrada de la tubería de presión debe ser “ V_e ” igual a 1.5 m/s con el objeto de reducir la pérdida de presión cinética, debe tener una forma abocinada (Gómez Aracil, 1964), por la ecuación de continuidad; obtenemos el diámetro entrada entre la cámara y la tubería de presión.

$$Q = \gamma \times Ae \times Ve \quad (38)$$

$$Ae = \frac{\pi \times De^2}{4} \quad (39)$$

dónde:

Ae = Area de entrada a la tubería de presión abocinada, m^2

Ve = Velocidad de entrada del agua a la tubería de presión, m/s

γ = Coeficiente de contracción, 0.97

Q = Caudal de diseño, m^3/s

De = Diámetro de entrada a la tubería de presión, m

Asumiendo una distancia mínima L_c , espacio para la limpieza interna y evitar turbulencias:

$$L_c = 4 \times D_e \quad (40)$$

La altura de agua sobre la embocadura del tubo para evitar la entrada de aire a la tubería; se determina por la metodología de Gómez Aracil (1964), mediante:

$$h = \frac{V^2}{2g} \quad (41)$$

$$K = 10h \quad (42)$$

dónde:

h = Altura teórica, m

K = Altura mínima de la cámara de carga, m

V = Velocidad del agua en la tubería de presión, m/s

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s^2)

2.25.3 *Calculo Tubería de Presión*

El costo de la tubería puede representar gran parte del presupuesto de toda la Microcentral, es prioritario, optimizar el diseño para reducir no solo los costos de mantenimiento sino la inversión inicial. Para que los costos por mantenimiento sean bajos hay que colocar los soportes y los anclajes de la tubería en pendientes estables y encontrar buenos cimientos. No debe haber peligro de erosión por desprendimientos en las laderas, pero el acceso seguro para hacer los trabajos de mantenimiento y reparación.

2.25.4 Cálculo del espesor de pared de tubería de presión

- **Cálculo del espesor (e)** Considerando un 20% más a la altura por golpe de ariete, obtenemos:

$$H_t = 1.2 \times H \quad (43)$$

$$P = \gamma_{\text{agua}} \times H_t \quad (44)$$

$$e = \frac{P \times D}{2 \times \sigma \times K} \quad (45)$$

dónde:

H = altura medida, m

H_t = altura total, m

D = diámetro de la tubería, m

$\gamma_{\text{agua}} = 1000, \text{ kg/m}^3$

$\sigma_{\text{Acero}} = 1000 \times 10^4 \text{ kg/m}^2$, esfuerzo de tracción del acero

k = 0.85 (Coeficiente de trabajo)

e = es el espesor de la tubería, m

- **Volumen del tubo**

$$V_{\text{tubo}} = \pi \times D \times e \times L \quad (46)$$

donde:

V_{tubo} = volumen de tubo, m³

D = diámetro, m

e = espesor de tubería, m

L = longitud de la tubería, m

- **El peso del tubo, un 10% más debido a los accesorios:**

$$W_{tubo} = 1.1 \times \gamma_{acero} \times V_{tubo} \quad (47)$$

donde:

W_{tubo} : Peso del tubo

γ_{acero} : 8000 (kg/m³), peso específico del acero

V_{tubo} : Volumen del tubo (m³)

Entonces el costo de la tubería en US\$ será:

$$COSTO = W_{tubo} \times \text{costo de la tubería} \quad (48)$$

La anualidad de la amortización

$$A = COSTO \times \left[\frac{(1+i)^n \times i}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (49)$$

Altura de pérdidas

La fórmula de la altura de pérdidas será:

$$H_f = \lambda \times L \times \frac{16 \times Q^2}{2 \times g \times \pi^2 \times D^5} \quad (50)$$

donde:

H_f = pérdida de carga

$\lambda = 0.025$ (Coeficiente de rozamiento)

L = longitud de la tubería, m

Q = caudal diseño, m³/s

G = aceleración de la gravedad, m/s²

D = diámetro de la tubería, m

La potencia es:

$$P = \frac{\gamma \times Q \times Hf \times Nt}{102} \quad (51)$$

donde:

P = potencia calculada, kW

Q = caudal de diseño, m^3/s

Hf = altura de pérdidas, m

Nt = eficiencia total, %

La potencia media será:

$$P_m = P \times FP \quad (52)$$

dónde:

P_m = potencia media, kW

P = potencia total, kW

FP = factor de planta

Tiempo de recuperación:

$$T_r = T - T_{mant} \quad (53)$$

donde:

T_r = tiempo de recuperación, hr

T = tiempo anual, hr

T_{mant} = tiempo de mantenimiento anual, hr

Costo de la energía:

$$E = P_m \times T_r \times P_e \quad (54)$$

donde:

P_m = potencia media, kW

T_r = tiempo de recuperación

P_e = precio de la energía (US\$/kWh)

Costo de la energía:

$$\text{Costo total} = E + A \quad (55)$$

donde:

E = costo de la energía, US\$

A = anualidad de la amortización, US\$

2.25.5 Parámetros del diámetro seleccionado

Calculo de la velocidad del agua en la tubería (V):

$$V = \frac{4 \times Q}{\pi \times d^2} \quad (56)$$

donde:

Q = caudal de diseño, m^3/s

d = diámetro de la tubería, m

V = velocidad del agua, m/s

2.26 DIMENSIONAMIENTO DEL GENERADOR SÍNCRONO

El alternador síncrono, desde hace mucho, es el más importante dispositivo de conversión de potencia electromecánica y es pieza clave en la producción de electricidad. Conocidas las características de operación describiremos algunas consideraciones para el uso en pequeñas centrales.

2.26.1 *Generador síncrono*

Los generadores eléctricos para estas aplicaciones son máquinas eléctricas que se acoplan directamente o indirectamente a los rodets de las turbinas y así conjuntamente, producen energía eléctrica.

El generador síncrono es la máquina de uso prioritario en las unidades de generación. Con el tiempo ha tenido una evolución en su análisis, magnitud de potencia, y métodos de enfriamiento, sin embargo, su estructura básica sigue siendo la misma que cuando fue diseñada. La velocidad de giro de la maquina en rpm, que permanece invariable síncrona normalizada. La velocidad rotativa es dada por la máquina, en este caso la turbina hidráulica. La frecuencia síncrona normalizada 50 Hz y 60 Hz. La velocidad síncrona deducibles de la frecuencia F y el número de polos de la máquina. (Coz, y otros, Manual de Mini y Microcentrales Hidraulicas, 1996, pág. 197)

Se determina con la siguiente ecuación:

$$N_s(\text{rpm}) = \frac{120 \times f (\text{Hz})}{P} \quad (57)$$

donde:

N_s = velocidad síncrona, rpm

f = frecuencia, Hz

P = número de polos

Velocidad de embalamiento

Cuando una turbina opera sin carga, se produce una velocidad de embalamiento en esta situación se producen grandes esfuerzos y pone en riesgo los devanados del generador, por seguridad se debe asegurar que el generador soporte el embalamiento sin llegar a deteriorarse, la velocidad de

embalamiento puede llegar hasta 1.8 veces la velocidad nominal del generador para el caso que se use una turbina Michell Banki (ITDG, 1995).

A la velocidad máxima que adquiere la turbina en marcha en vacío se denomina *velocidad de embalamiento*. Esta velocidad es distinta para cada apertura del distribuidor. El rotor del grupo, incluyendo el rotor del alternador, ha de estar diseñado para resistir la velocidad de embalamiento. De aquí la importancia del presente estudio. (Claudio Mataix, turbomaquinas hidráulicas, 2009).

$$V_e = 1.8 \times V_{nominal} \quad (58)$$

A. Potencia eléctrica del generador

Según la metodología de OLADE (2000), considerando los requerimientos de máxima demanda de la población, y tomando en cuenta las pérdidas de transmisión y distribución, se establece la potencia requerida en los bornes del generador:

$$P_g = \frac{M_d}{\eta_d \times \eta_t} \quad (59)$$

donde:

P_g = potencia del generador, kW

M_D = máxima demanda

η_d = eficiencia de distribución

η_t = eficiencia de transmisión

Entonces la potencia del generador en kVA será:

$$P_{gen} = kW / FP \quad (60)$$

P_{gen} = Potencia del generador, kVA

FP : Factor de potencia

2.27 SELECCIÓN DE LA TURBINA

La selección del tipo de turbina está en función de los parámetros: salto neto, caudal, potencia, y una eficiencia promedio.

2.27.1 Potencia al eje de la turbina

$$P_t = \frac{9.81 \times H \times Q}{\eta_{tm} \times \eta_{ge}} \quad (61)$$

donde:

P_t = potencia al eje, kW

H = altura neta, m

Q = caudal de diseño, m³/s

η_{tm} = eficiencia de transmisión mecánica

η_{ge} = eficiencia del generador eléctrico

2.27.2 Número específico de revoluciones de potencia

$$Ns = \frac{N \times \sqrt{P_t}}{H^{5/4}} \quad (62)$$

donde:

P_t = potencia al eje, HP

N = número de revoluciones por minuto, rpm

H = es la altura neta, m

Se selecciona la turbina adecuada de acuerdo a la tabla 40 del Anexo 2.8.

2.28 DISEÑO TURBINA MICHELL – BANKI

Esta turbina fue inventada por A.G. Michell (Australia) y patentada en 1903. Posteriormente, entre 1917 y 1919, fue estudiada por Donat Banki (Hungría), en la universidad de Budapest. Se trata de una turbina de acción, de flujo radial centrípeta-centrífugo, de flujo transversal, de doble paso y admisión parcial. Sin embargo, recientes ensayos han indicado que existe una pequeña reacción en el primer paso, a causa de una presión ligeramente superior a la atmosférica, debido a la cercanía del inyector al rodete. (Coz, y otros, Manual de Mini y Microcentrales Hidraulicas, 1995, pág. 130).

La turbina Michell-Banki se adapta para la generación en mini y micro centrales hidroeléctricas, son sencillas, bajos costos de fabricación, instalación y mantenimiento, son utilizadas en amplios intervalos de caudal y altura sin disminuir de manera apreciable su eficiencia. Debido a esas ventajas, la turbina Michell-Banki; se ha vuelto adecuadas para la microcentral hidroeléctricas.

Los rangos de operación son los siguientes:

Alturas H: $1\text{m} \leq H \leq 100\text{m}$

Caudal Q: $0,2 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q \leq 7 \text{ m}^3/\text{s}$

Potencia P: $P \leq 1\text{MW}$

Velocidad específica (ns): $30 \leq ns \leq 180$

La turbina consta de dos elementos principales: un inyector y un rotor. El agua es restituida mediante una descarga a presión atmosférica. El rotor está compuesto por dos discos paralelos a los cuales van unidos los álabes curvados en forma de sector circular. Se muestra

en la Figura 10.

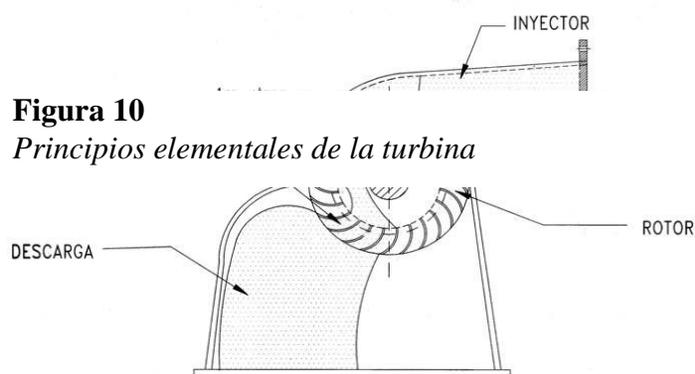


Figura 10

Principios elementales de la turbina

Nota. Fuente: Ficha técnica Turbina Michell-Banki, Soluciones prácticas ITDG, pág. 2.

El inyector posee una sección transversal rectangular que va unida a la tubería por una transición rectangular circular. Este inyector es el que dirige el agua hacia el rotor a través de una sección que toma una determinada cantidad de álabes del mismo, y que guía el agua para que entre al rotor con un ángulo determinado obteniendo el mayor aprovechamiento de la energía.

La energía del agua es transferida al rotor en dos etapas, lo que también da a esta máquina el nombre de turbina de doble efecto, y de las cuales la primera etapa entrega un promedio del 70% de la energía total transferida al rotor y la segunda alrededor del 30% restante. Los ensayos realizados por distintos investigadores sitúan el rendimiento hidráulico de esta máquina entre un 65-70%, otros autores mencionan un 61% aclarando que la segunda etapa entrega un 17%, y en general muchos autores indican un 70% hasta un 84%.

Una característica atractiva de esta máquina es la forma aplanada de su curva de rendimiento. Esto se logra con un diseño de la turbina con admisión parcial. Por ejemplo: si se divide el rotor en 3 partes iguales y la admisión del agua se puede realizar por 1/3, 2/3 o la totalidad del rodete.

Las características más importantes de la turbina Michell-Banki son:

- Tiene un amplio rango de aplicación, estando comprendida entre la turbina Pelton de doble inyector y las Francis rápidas.
- Puede operar en amplios rangos de caudal y altura sin variar apreciablemente su eficiencia.
- Su construcción es sencilla, pudiendo ser fabricada en pequeños talleres.
- Debido a su simplicidad de construcción y funcionamiento, para bajas caídas, es la turbina que presenta los menores costos iniciales, así como de operación y mantenimiento.
- Es la turbina que mejor se adapta para ser usada en medios rurales.

2.28.1 Selección del diámetro del rotor

Una turbina Michell-Banki opera en condiciones similares cuando el valor Q/H es constante, la eficiencia de la turbina no varía en amplios intervalos de valores de Q y H . Utilizando estos criterios se selecciona el diámetro del rotor, de la siguiente manera: se calcula el valor: Q/H y se selecciona el diámetro del rotor usando la tabla del Anexo 2.9.

2.28.2 Diámetro interior del rotor

$$D_i = 0.66D_e \quad (63)$$

donde:

D_e = Diámetro exterior del rotor, m

D_i = Diámetro interior del rotor, m

2.28.3 Velocidad nominal de rotación

$$N = \frac{40\sqrt{H}}{D_e} \quad (64)$$

donde:

N = velocidad nominal de la turbina, rpm

H = es la altura disponible nominal, m

D_e = diámetro exterior del rotor, m

2.28.4 Selección del número de álabes del rotor

El número de alabes del rotor está en función del diámetro, altura neta y caudal. Se tuvo en consideración el número de alabes mínimo para evitar perturbación en la transformación de potencia mecánica. Asimismo, un número reducido de alabes provocaría la aceleración del fluido; consecuentemente el aumento de pérdidas de energía dinámica y efecto de reja. Los parámetros:

Tabla 4

Parámetros característicos en turbinas ensayadas por diferentes investigadores

Referencia		D/d	D/B	Z	η
YOKOHAMA, Japón	1985,	0.66	4.2 5	26	80.60
VIGM,	1986, CCCP	0.63	3.0 0	24	78.00
GANZ,	1984, HUNGRIA	0.66	1.0 0	30	75
ALABAMA,	1983, USA	0.66	0.2 5	20	75
RESITA, RUMANIA	1983,	0.66	1.2 8	24	73
KTU, TURKIA	1987, TRAZBON,	0.54	0.8 1	24	71.3
OREGON,	1949, USA	0.66	1.0	20	68

			9		
VDI,1981, ETIOPIA	0.67	3.2	36	66	
LOS ANDES, 1973, COLOMBIA	0.62	1.8	27	60.6	
ODTU, 1985, ANKARA, TURKIA	0.83	1.4	30	55.5	

Nota. Fuente: Ficha técnica Turbina Michell-Banqui, Soluciones prácticas ITDG, p. 5.

2.28.5 Selección del espesor de los álabes del rotor y ángulo característico

La construcción de los álabes, algunos fabricantes utilizan tuberías comerciales de acero al carbono. Son cortadas formando un arco de circunferencia, como se muestra en la Figura 12; en la tabla del Anexo 2.11 muestra los diámetros de tuberías recomendados. Además, la Tabla del Anexo 2.12, nos da el ángulo característico de los alabes.

Figura 11

Sección transversal de un álabe del rotor



Nota. Diseño de turbinas Peltón y Michell Banki

2.28.6 Ancho del inyector

El ancho del inyector puede calcularse aplicando la ley de conservación de la masa entre la salida del inyector y la entrada del rotor. Figura14.

$$B_i = \frac{360 \times Q}{(\pi \times D_e - e \times Z) \times \delta \times K \times \sqrt{2gH} \times \sin \alpha} \quad (65)$$

donde:

B_i = ancho del inyector, m

Q = caudal nominal, m^3/s

e = espesor del álabe, m

D_e = diámetro exterior del rotor, m

δ = ángulo de admisión del rotor (110°)

Z = número de álabes del rotor.

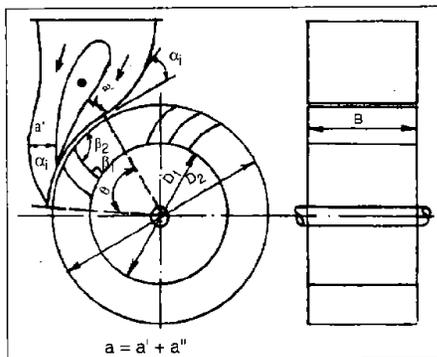
K = constante de velocidad absoluta (0,98)

H = altura disponible nominal, m

α = ángulo de la velocidad absoluta al ingreso del rotor.

Figura 12

Dimensiones básicas de una turbina Michell-Banki



Nota. Manual de mini y micro centrales hidráulicas. (1995). p. 144.

2.28.7 Ancho del rotor

Para que no existan pérdidas de caudal en la interface entre el inyector y el rotor, el ancho de éste se construye 20 a 40 % mayor que el ancho del inyector. Para este caso usaremos el valor medio.

$$B_r = 1.3B_i \quad (66)$$

donde:

B_i = ancho del inyector, m

B_r = ancho del rotor, m

2.28.8 Razón de aspecto

Esta relación expresa que proporción hay entre el ancho del rotor y el diámetro exterior del mismo, este valor debe estar comprendido entre 0,5 a 3,5.

$$R = B_r / D_e \quad (67)$$

R = razón de aspecto

B_r = ancho del rotor, m

D_e = diámetro exterior del rotor, m

2.28.9 Diámetro máximo del eje del rotor

El diámetro del eje del rotor debe tener un valor máximo de tal manera que no obstruya el paso del flujo a través de éste. El diámetro máximo puede calcularse mediante la siguiente relación:

$$D_{m\acute{a}x} = 0,33D_e \quad (68)$$

donde:

$D_{m\acute{a}x}$ = diámetro máximo del eje del rotor, m

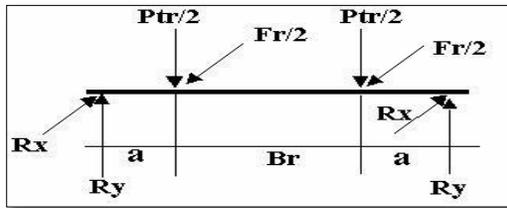
D_e = diámetro exterior del rotor, m

2.28.10 Diseño del eje del rotor

Para el diseño del eje del rotor se hace uso del diagrama de fuerzas que actúan sobre este y el cual se muestra en la Figura 13.

Figura 13

Diagrama de fuerzas sobre el eje



Nota. Fuente: Pequeñas centrales hidroeléctricas

El diámetro se determinó aplicándose la fórmula propuesta por la ASME:

$$d^3 = 16/\pi \times sd \sqrt{(K_m \times M_{max})^2 + (K_t \times T_{max})^2} \quad (69)$$

donde:

$$T_{max} = 974 \times PT/N \quad (70)$$

$$M_{max} = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} \quad (71)$$

donde:

$$M_x = Fr \times a/2 \quad (72)$$

$$M_y = Ptr \times a/2 \quad (73)$$

Entonces el peso del rotor:

$$Ptr = Z \times P_a + 75.963 \times N_d \times D_e^2 \quad (74)$$

$$P_a = P_u \times L \quad (75)$$

Asimismo:

$$F_r = 1948 \times P_{turb}/N \times D_e \quad (76)$$

donde:

D = diámetro eje del rotor, mm

K_m = momento flector (carga estable 1,5).

K_t = momento torsor (carga estable 1).

M_{max} = momento flector máximo en rotor, kgf-m

T_{max} = momento torsor sobre eje, kgf-m

$P_{turb.}$ = potencia de la turbina, kW

N = velocidad nominal turbina, rpm

F_r = fuerza tangencial sobre el eje, kgf

a = distancia del rotor a chumacera, m

P_a = peso del alabe, kgf

P_u = peso del alabe por longitud, kgf/m

L = longitud del alabe, m

Z = número de alabes del rotor.

N_d = número de discos en rotor.

P_{tr} = peso del rotor, kgf

D_e = diámetro exterior rotor.

Se debe cumplirse que el diámetro máximo del eje según la ecuación (68); debe ser mayor que en (2.70); es decir $d < D_{máx}$

2.29 TRANSMISIÓN DE POTENCIA MECÁNICA

Para hallar la transmisión de velocidades entre la turbina Michell - Banki y generador síncrono procedemos de la siguiente manera:

- **Potencia de diseño:** Se multiplica la potencia mecánica a transmitir por el factor de servicio dado en la tabla del anexo 2.13.
- **Selección de faja en V:** De la Figura del anexo 2.14, y en función de la potencia de diseño y velocidad del eje más rápido en (rpm), determinamos la sección de la faja.
- **Relación de transmisión:** Es la relación entre la rueda impulsora y de la rueda conducida.
- **Selección de los diámetros de paso de las poleas:** Teniendo en cuenta los diámetros recomendados y mínimos de las poleas de menor diámetro de la tabla del anexo 2.15, escoger de la tabla del anexo 2.16, priorizando los diámetros estándares de las poleas.
- **Longitud de la faja:** Asumiendo tentativamente una distancia entre centros. En caso que no exista restricción de ella, se puede tomar el valor mayor de las siguientes expresiones:

$$C \geq \frac{D + 3d}{2} \quad (77)$$

donde $C \geq D$; Siendo:

D = diámetro de paso de la polea mayor

d = diámetro de paso de la polea menor

C = distancia entre centros

Se calculó la longitud aproximada de la faja utilizándose la fórmula:

$$L = 2C + 1.65(D + d) \quad (78)$$

Se tomó la longitud estándar próxima a la calculada en la tabla del Anexo 2.17.

Se Calculó la distancia entre centros aplicándose la expresión:

$$L = 2C + \frac{\pi}{2} \times (D + d) + \frac{(D - d)^2}{4C} \quad (79)$$

- **Potencia por faja:** La transmisión es directamente proporcional al producto del torque y la velocidad angular. Calculando la relación: $(D-d) / C$; y utilizando la tabla del anexo 2.18, se tomó el factor de ángulo de contacto " K_θ ", de la tabla del anexo 2.17; el factor de longitud de faja " K_L ". Con los valores del (rpm) del eje más rápido, del diámetro de la polea menor y de la sección de faja, se determinó la potencia mecánica; haciendo uso las capacidades correspondientes; según tabla del anexo 2.19.

Empleándose la tabla del anexo 2.18, la relación de transmisión y sección de faja, determino la potencia adicional; luego de multiplicar los (rpm) del eje más rápido y dividirlo por 100.

Luego se calculó la potencia mecánica que transmitiría la faja:

$$\frac{HP}{FAJA} = \left(\frac{HP}{FAJA} \right)_{Tabla + HPadicional} \times K_\theta \times K_L \quad (80)$$

- **Número de fajas:** Para poder determinar el número de fajas, en primer lugar, debe calcularse la capacidad de transmisión de potencia de cada faja. Para esto se dispone de tablas de fabricantes que permiten determinar esta capacidad para las condiciones requeridas por la transmisión.

2.30 CALCULO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIA

Según la directiva de Electrificación Rural N°001-85-EM/DGE Norma aprobada por R.R. N° 024A-85-EM/DGE, 1985.02.28 establece la utilización de las tensiones 13.2/7.62 kV, y 22.9/13.2 kV en reemplazo de 20 kV, con múltiple y efectiva puesta a tierra. La caída de tensión permisible para un alimentador rural no debe exceder de 6% de voltaje nominal de utilización (CNE, Tomo IV).

Los conductores eléctricos de distribución primaria son de cobre o de aleación de aluminio y tendrán las secciones mínimas permitidas de 10 mm^2 para el conductor de cobre y de 16 mm^2 , para el conductor de aleación de aluminio (CNE, Tomo IV).

Caída de tensión

$$\Delta V = K \times I \times L \quad (81)$$

donde:

ΔV = caída de tensión, V

I = corriente que transporta el circuito, A

L = longitud del tramo, km

Factor de caída de tensión

Para sistemas monofásicos con retorno por tierra:

$$K = R_{40^\circ\text{C}} \cos\phi + X \sin\phi \quad (82)$$

donde:

$R_{40^\circ\text{C}}$ = resistencia a 40°C , Ω

X = reactancia Inductiva, Ω/km

$\cos\phi$ = factor de potencia (0.9)

$\sin\phi = 0.436$

Resistencia eléctrica del conductor

Para una temperatura de trabajo de 40°C

$$R_{40^\circ\text{C}} = R_{20^\circ\text{C}} (1 + \alpha(T_2 - 20)) \quad (83)$$

donde:

$R_{40^\circ\text{C}}$ = resistencia a la temperatura de operación, Ω/km

$R_{20^{\circ}\text{C}}$ = resistencia en C.C. a 20 °C

T_1 = temperatura ambiente, 20°C

T_2 = temperatura de operación, 40°C

α = Coeficiente de dilatación térmica a 20 °C = 0.0036 °C⁻¹ (Cobre)

Reactancia Inductiva equivalente sistemas monofásicos con retorno por tierra

$$X_{LT} = 0.1734 \times \frac{De}{Ds} \quad (84)$$

donde:

$De = 85\sqrt{\rho}$: Diámetro equivalente, m

Ds = radio equivalente del conductor, e igual a 2,117 r' para conductor de 7 alambres.

r = resistividad eléctrica del terreno, se considera 250 Ω -m

r' = radio del alambre del conductor, m

Corriente transportada por la red primaria

$$I = \frac{I}{P} \quad (85)$$

donde:

I = corriente nominal de la línea, A

P = potencia transformadora, kVA

V = tensión nominal de la línea, kV

2.31 CALCULO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA

La línea de transmisión de la MCH, corresponde al subsistema de subtransmisión. Se inicia a la salida de la SE elevadora y se prolonga hasta la SE de llegada en el centro poblado o carga que se va alimentar. A la salida de esta SE, se inicia el sistema de distribución, el cual está formado

por dos subestaciones: el subsistema de distribución primaria, que corresponde a las líneas de alimentación de las SE de distribución secundaria conformado por las redes de alumbrado público y las de servicio particular, hasta el medidor de cada abonado.

El cálculo de redes secundarias se aplica la Norma DGE: “Bases para el diseño de líneas y redes secundarias con conductores auto portantes para electrificación rural”; según el código nacional Suministro 2011, establece las tensiones:

- 220 V, trifásico, 3 conductores (activos)
- 380/220 V, trifásico, 4 conductores (3 conductores activos y un conductor neutro con puesta tierra múltiple)
- 220 V, monofásico 2 conductores activos
- 440/220 V, monofásico, 3 conductores (2 conductores activos y un conductor neutro con puesta tierra múltiple).

La caída de tensión permisible no debe exceder 5% del voltaje nominal de utilización (CNE, tomo IV).

Caída de tensión

$$\Delta V = K \times I \times L \quad (86)$$

donde:

ΔV = caída de tensión, V

I = corriente que transporta el circuito, A

L = longitud del tramo, km

Factor de caída de tensión

Para sistemas monofásicos con retorno por tierra:

$$K = 2(R_{40^{\circ}C} \cos \varphi + X \sin \varphi) \quad (87)$$

donde:

$R_{40^{\circ}C}$ = resistencia a 40°C, Ω

X = reactancia Inductiva, Ω/km

$\cos \varphi$ = factor de potencia (0.9)

$\sin \varphi = 0.436$

Resistencia eléctrica del conductor

Para una temperatura de trabajo de 40 °C:

$$R_{40^{\circ}C} = R_{20^{\circ}C} (1 + \alpha(T_2 - 20)) \quad (88)$$

donde:

$R_{40^{\circ}C}$ = resistencia a la temperatura de operación, Ω/km

$R_{20^{\circ}C}$ = resistencia en C.C. a 20 °C

T_1 = temperatura ambiente, 20°C

T_2 = temperatura de operación, 40°C

α = Coeficiente de dilatación térmica a 20 °C = 0.0036 °C⁻¹ (Cobre)

Reactancia Inductiva del conductor

Utilizándose la tabla del anexo 2.19. se obtiene el valor de la reactancia inductiva.

Corriente transportada por la red secundaria

$$I = \frac{I}{P} \quad (89)$$

donde:

I = corriente nominal de la línea, A

P = potencia transformadora, kVA

$V =$ tensión nominal de la línea, kV

Alumbrado público

Se utilizarán lámparas de vapor de sodio de:

$80 \text{ W} + \text{perdidas (11.6 W)} = 91.6 \text{ W}$

Esta carga de alumbrado público en su mayoría estará restringida a la avenida principal.

2.32 ANÁLISIS ECONÓMICO

Consiste en comparar todos los beneficios con todos los costos a los que se incurrirá a lo largo de la vida útil del proyecto. La regla indica que debe realizarse el proyecto solo si los beneficios son mayores que los costos. Debido a que estos costos y beneficios ocurren en años diferentes, para poder compararlos es necesario actualizarlos a una misma tasa de descuento (o interés) y a un año que normalmente es el primer año del proyecto. La evaluación económica y financiera del estudio, busca relacionar los beneficios que se obtendrá a partir de la inversión para el desarrollo del proyecto. Lo cual comprenderá etapas como explotación y periodo de funcionamiento.

Los parámetros a utilizarse en la evaluación son:

- Los costos de Inversión.
- Costos de operación y mantenimiento de la mini central.
- Demanda de energía eléctrica.
- Tarifa eléctrica según el sector de Consumo.
- Periodo (Número de Años) de Evaluación.
- Flujo financiero del financiamiento de la Inversión.

2.32.1 Valor presente del dinero

Es el valor actual de un monto de dinero futuro “F”, es decir es el monto que debemos colocar hoy, a una tasa de interés “i”, durante “n” años; para obtener después “n” años el monto F.

$$P = \frac{F}{(1 + i)^n} \quad (90)$$

2.32.2 Valor presente de una serie de amortizaciones iguales

Es el valor actual P, equivale a una serie de “n” pagos periódicos e iguales (A), a una tasa de interés “i”. Para lo cual su fórmula matemática es la siguiente:

$$P = \frac{A * ((1 + i)^n - 1)}{(1 + i) * i} \quad (91)$$

2.32.3 Valor futuro del dinero

Valor futuro que alcanzara un capital P, a una tasa de interés “i”, periodo de “n” años. Fórmula matemática es la siguiente:

$$F = P \times (1 + i)^n \quad (92)$$

2.33 CALCULO DE LOS INDICADORES DEL ANÁLISIS BENEFICIO-COSTO

Consiste en comparar todos los beneficios con todos los costos a los que se incurrirá la vida útil del proyecto. Es rentable solo si los beneficios son mayores a los costos. La relación Beneficio–Costo es el cociente de la suma total de los beneficios actualizados dividido entre la suma total de los costos actualizados, a una misma tasa de descuento “i”.

A. Beneficios:

Valor Residual.

Es valor residual de los bienes, en el último año de 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, como el siguiente ejemplo:

- Obras civiles: 50 años
- Maquinaria y equipo electromecánico: 30 años

El valor residual se puede determinar con la siguiente ecuación.

$$VR_n = V_i \left(1 - \frac{n}{N}\right) \quad (93)$$

donde:

VR_n = valor residual en el año n , en US\$.

V_i = valor inicial del bien, en el año de su instalación, en US\$.

n = año en el que se calcula el valor residual, en años.

N = vida útil del bien, en años.

Ingresos por venta de energía

Es un ingreso anual que se produce desde la entrada en servicio de la microcentral hidroeléctrica hasta la vida útil.

Se asume tarifa por venta de energía de 0.15 US\$/kWh. Se calcula con la siguiente expresión:

$$B_n = E_n \times t \quad (94)$$

donde:

B_n : Son los ingresos por venta de energía en el año “ n ”, en US\$

E_n = energía vendida durante el año “ n ”

T = tarifa de venta de energía en US\$/kWh

B Costos totales:

Costos de inversión

Se consideran los costos de realización de las obras civiles y Electromecánicas.

Costos de operación y mantenimiento

Estos costos serán cubiertos con el ingreso por la venta de energía; se tiene la formula siguiente:

$$CO + CM = 0.05 \times B_n \quad (95)$$

Flujo de caja

$$FC = \sum_1^{20} B - \sum_1^{20} C \quad (96)$$

donde:

FC = flujo de caja

B = beneficios totales

C = costos totales

2.34 INDICADORES ECONÓMICOS

Valor actual neto:

$$VAN = FC \times FVA_i \quad (97)$$

donde:

VAN = valor actual neto

FC = flujo de caja

FVA_i = factor del valor actual a una tasa de interés “i”

Tasa interna de retorno (TIR):

La tasa interna de retorno se calcula iterativamente, es decir una y otra vez, probando con diversas tasas de interés. La regla de decisión señala que es conveniente realizar el proyecto cuando la tasa de descuento o interés es menor que la tasa interna de retorno.

2.35 CALCULO DEL COSTO UNITARIO DE ENERGÍA

Valor actual del costo

$$VAC = \sum_{1}^{20} (CTA \times FVA_i) \quad (98)$$

donde:

VAC = valor actual del costo.

CTA = costo total anual.

FVA_i = factor del valor actual a una tasa de interés “i”

Valor actual de la energía

$$VAE = \sum_{1}^{20} (kW.h \times FVA_i) \quad (99)$$

donde:

VAE = valor actual de la energía

kW.h = energía eléctrica vendida

FVA_i = factor valor actual tasa de interés “i”

Costo unitario de la energía eléctrica

$$CU = VAC/VAE \quad (100)$$

dónde:

CU = costo de unitario de energía eléctrica, US\$/kW.h

VAC = valor actual del costo

VAE = valor actual de la energía

3 III MARCO METODOLÓGICO

3.1 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio, se desarrolló la metodología que consta de tres etapas: la etapa preliminar de gabinete, etapa de campo in situ y finalmente la etapa del procesamiento de la información en gabinete

- **Etapa preliminar de gabinete:** _ Etapa donde se desarrolló las actividades programadas de recopilación y análisis preliminares sobre el área de estudio. Estudio del recurso hidroenergetico, estado del aprovechamiento, obra del sistema hidráulico y casa de máquinas.
- **Etapa de in situ:** _ En esta etapa in situ, se realizó la visita al sector donde se desarrollará el estudio e investigación, aspecto social, económico, físico y biológico del área de influencia, medición del caudal y salto hidráulico, toma de medidas del sistema hidráulico.
- **Etapa procesamiento de información:** _ Se realizó el procesamiento de los datos obtenidos en las etapas previas, asimismo el estudio de los registros de caudales del aprovechamiento de las aguas captadas por el sistema hidráulica la huaca, y derivadas por la bocatoma del mismo nombre. Los caudales registrados a la altura de la progresiva 37+750 del canal IRCHIM, se estudió en tiempo de advenida y estiaje.

3.2 DISEÑO O ESQUEMA DE LA INVESTIGACIÓN

La esencia del método es la replicación y objetividad. Un buen método siempre incluye la suficiente información para otros investigadores puedan reproducir el estudio. El método incluye aspectos que son indispensables para comprender el procedimiento científico de la tesis. Es importante ser minucioso para explicar y como podría ser replicado el estudio de investigación.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población y muestra es tipo Única

Microcentral hidroeléctrica hidrocascajal centro poblado Cascajal.

3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

Muestreo probabilístico.

El muestreo probabilístico permite recolectar información de la muestra seleccionada de forma aleatoria, lo cual evita el sesgo en la investigación

Entrevistas

Encuestas y cuestionarios

3.5 EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

- 01 teodolito DT-200 Topcon
- 01 nivel KERN AARAU GKO 94502
- 01 mira de aluminio de 5m Pentax
- 01 GPS – Garmin Estrex 10
- 01 wincha de 50 m

3.6 MATERIALES

- 01 laptop Toshiba Satellite, Intel inside COREi5
- 01 impresora EPSON L575 multifunción
- 01 USB Kingston 64 GB
- 03 millares de hojas bond blanca A4, 210 mm x 297 mm, 75 g/m2
- 01 rollo de Naylon x 100 m
- Movilidad para transporte
- Personal especialista del sistema topográfico

4 CAPITULO IV CÁLCULOS

4.1 ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA

Se realizó la evaluación obteniéndose la demanda del sector la cuadra, el consumo de energía diario y anual. Se muestra el horario de uso las 24 horas día, dividido en periodos según la comunidad realiza sus actividades diarias; se presenta en la tabla 5.

Tabla 5

Periodos de actividad

Periodo (hr)	Actividad
0 - 4	Descanso
4 - 6	Desayuno
6 - 12	Actividad agrícola
12 - 14	Almuerzo
14 - 17	Actividad agrícola
17 - 19	Cena
19 - 22	Recreación
22 - 24	Descanso

El centro poblado de Cascajal está conformado por 316 viviendas, todas ellas habitadas, se caracterizan por contar: sala-comedor, 1 a 3 habitaciones y un SS.HH. Algunas viviendas son grandes.

De la demanda industrial y comercial se tiene la siguiente información:

- Se determinó una exportadora de palta que tiene necesidad de iluminación y cuartos de frío, tendrá una potencia 5000 vatios.
- Un aserrío, potencia requerida 25 kilovatios.

Los servicios públicos que requiere el centro poblado Cascajal son:

- La escuela, potencia requerida iluminación 1500 vatios
- La posta medica potencia requerida iluminación y otros equipos (utilizadores y neveras); 1000 vatios.
- Alumbrado público comunal; 80 lámparas de 100 vatios, potencia instalada 8000 vatios.
- La iglesia necesita iluminación y sonido, potencia instalada es 450 vatios.
- Para la comunicación telefónica se utiliza un equipo de 1000 vatios.
- El agua potable es bombeada del pozo subterráneo, utilizándose bombas e iluminación, su potencia es 2000 vatios.
- Se suministra energía eléctrica a la sede municipal (1000 vatios) y a la junta comunal (300 vatios).

Para cubrir la demanda de oficinas publica se dispone de una potencia de 2000 vatios.

De la tabla del anexo 3.1,

Tabla 6

Demanda total de la zona estudio

Utilidad	Energía (kWh)		Pot. instalada (W)
	Día	Año	

Residencial	217	79,191.2	48,316
Industrial y comercial	231.5	84,497.5	30,000
Servicio publico	627.07	228,880.55	17,700
TOTAL	1,075.57	392,569.25	96,016

Demanda máxima actual:

$$DMA = 96.016 \text{ kW}$$

Asumiendo una tasa de crecimiento 1.2% (Anexo 1.1), un periodo de vida útil a 30 años; reemplazando valores en (1).

$$DMF = 137.33 \text{ kW}$$

4.2 EVALUACIÓN DEL RECURSO HIDROENERGETICO

4.2.1 Medición del salto neto

Del método del nivel de ingeniero la altura bruta de 43.65 m desde la cámara de carga al eje de turbina.

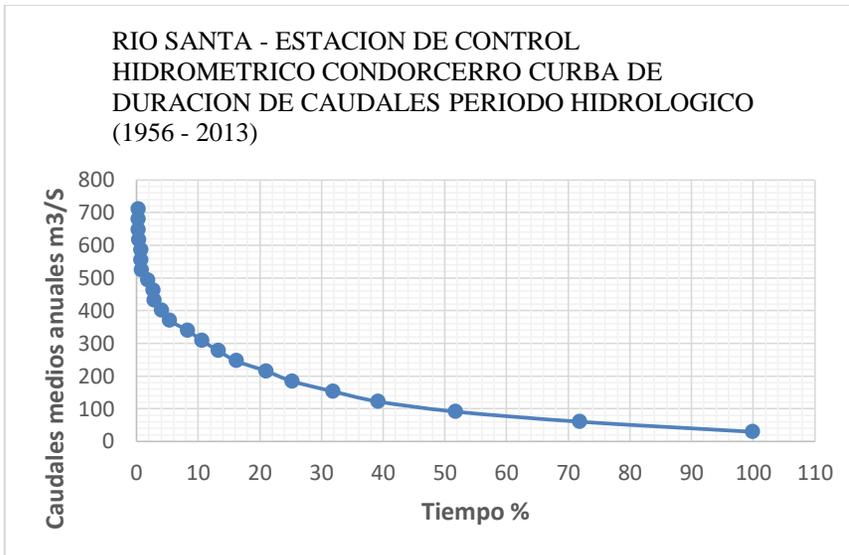
$$H_t = 43.65 \text{ m}$$

4.2.2 Medición del caudal

Los datos de aforos se tomaron de la estación hidrometeorológicas Condorcerro, a través de sus registros históricos.

4.2.3 Mediciones generales

Los aforos se registraron del rio Santa - estación de control hidrométrico Condorcerro descargas medias mensuales (m³/s) periodo 1956 – 2013



En el anexo 3.2, se muestra la variación de los caudales en el periodo de un año, con persistencias de 50, 75 y 90%; de lo cual para generación de energía eléctrica se toma la persistencia de los caudales al 90%.

Tabla 7

Estación de hidrométrico condorcerro descargas medias mensuales canal IRCHIM (m³/S)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
2008	19.241	20.033	19.046	18.213	20.073	18.013	18.673	16.18	19.011	16.971	21.073	20.273	18.900
2009	18.723	21.073	20.046	18.046	21.073	17.093	17.729	15.02	20.046	17.912	19.34	21.073	18.931

2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
17.325	21.073	21.073	19.992	20.752	21.073	21.073
17.732	19.317	15.805	20.183	20.506	21.073	21.073
18.159	20.046	19.794	18.174	20.087	20.428	19.626
18.918	20.046	20.046	15.974	19.790	20.046	20.046
17.179	20.046	21.073	16.770	17.584	21.073	21.073
17.514	20.046	18.436	18.474	19.136	21.073	20.872
16.521	17.454	17.569	16.344	18.748	18.913	19.174
15.007	18.34	18.40	17.976	16.504	17.83	17.66
16.65	19.854	19.663	17.873	17.216	14.323	13.609
18.649	20.046	20.046	19.867	18.649	20.321	19.974
16.197	20.571	20.392	16.953	16.737	20.046	20.046
20.664	21.104	21.073	20.796	20.664	20.203	21.073
17.543	19.829	19.448	18.281	18.864	19.700	19.608

Tomado una longitud representativa de 5 metros y con el flotador de madera; se halló los siguientes tiempos (anexo 2)

Tabla 8

Promedio de los tiempos del flotador

Tiempo de estiaje	4.2 S
Tiempo en avenida	3 S

Velocidad del flujo del agua; $V = E/T$

Tabla 9

Velocidades promedio del flujo de agua

Velocidad de estiaje	1.1 S
----------------------	-------

Velocidad en avenida	1.6 S
----------------------	----------

Caudal agrícola:

Tabla 10

Promedio de los caudales

<i>Caudal de estiaje</i>	<i>0.5 m³/s</i>
<i>Caudal en avenida</i>	<i>0.75 m³/s</i>

Caudal promedio agrícola:

$$Q_{aa} = 0.63 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.3 CAUDAL GENERACIÓN ELÉCTRICA

Caída bruta 43.65 m, empleando las ecuaciones (3), (4) y (5), se obtuvo una caída neta:

$$H_n = 39.3 \text{ m}$$

De la ecuación (2.7), asumiendo 10% por pérdidas evaporación y filtración, se obtiene:

$$Q_g = 0.50 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.4 CAUDAL DE DISEÑO DE LA MICROCENTRAL HIDROELÉCTRICA

De la ecuación (8), se obtiene:

$$Q_d = 1.1 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.5 DISEÑO DE LA BOCATOMA

4.5.1 Toma de agua

El dimensionamiento toma de agua se dispone:

$$Q = 1.13 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Y_1 = 0.6 \text{ m}$$

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

$$Z = 0.1 \text{ m}$$

$$Y_2 = 0.8 \text{ m}$$

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

$$V_e = 1 \text{ m/s}$$

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

$$h' = 0.5 \text{ m}$$

De las ecuaciones (8) y (9), altura de carga en desripiador:

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

Según la ecuación (10), el coeficiente de Bazin:

$$S = 0.76442$$

Según la ecuación (11), el coeficiente de Konolav:

$$M = 1.928$$

De la ecuación (12), se halla el ancho de la toma de agua:

$$b_1 = 5.1776 \text{ m}$$

Según la ecuación (13), el nuero de espacios:

$$n = 26$$

De la ecuación (14), el número de barrotes:

$$N = 25$$

De la ecuación (15), el ancho de la reja:

$$B = 7.76 \text{ m}$$

Caudal medio anual de $19 \text{ m}^3/\text{s}$ (tabla 5.); perímetro mojado de 75 m, de acuerdo a la ecuación (16) y (17), la inclinación:

$$\alpha = 75.32^\circ$$

La toma de agua debe tener un ángulo de 14.68°

4.5.2 Desripiador

Se asumen los siguientes valores:

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

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

$$Y_3 = 0.4 \text{ m}$$

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

$$Y_2 = 0.6 \text{ m}$$

Aplicando las ecuaciones (10) y (11), los coeficientes de Bazin y Konolav:

$$S = 0.8611$$

$$M = 0.8027$$

De acuerdo la ecuación (18), ancho del rebosadero:

$$b_2 = 1.2 \text{ m}$$

Asumiendo longitud del desripiador:

$$L_d = 0.5 \text{ m}$$

4.6 BARRAJE DE DERIVACIÓN

Estructura hidráulica sirve para elevar el tirante del agua y se construye en sentido transversal al río. Es decir, en aquellos casos en que el tirante del río no sea lo suficiente grande y no abastezca

los requisitos de captación. (Coz, y otros, Manual de Mini y Microcentrales Hidraulicas, 1995, pág. 95).

El nivel de la cresta del vocal de entrada (h_{cb}), es de 0.6m, respecto al fondo del canal, evitando el ingreso de solidos por arrastre. La carga hidráulica de entrada (h_b), es de 0.2 m, para un caudal mínimo de diseño $1.1 \text{ m}^3/\text{s}$; entonces:

$$h_{cb} = 0.6 \text{ m}$$

$$h_b = 0.2 \text{ m}$$

De la ecuación (19), la altura del barraje es:

$$h_{bar} = 0.8 \text{ m}$$

Comprobando el barraje dimensionado es correcto, con los datos de diseño:

$$Q_{\text{max}rio} = 6.3 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$a_{rio} = 13\text{m}$$

$$a_{bar} = 4\text{m}$$

$$h_{bar} = 0.8 \text{ m}$$

Iterando las ecuaciones (20), (21); se obtiene:

$$\mu = 0.58$$

$$h_{cbar} = 0.781 \text{ m}$$

Se calcula el espesor del barraje aplicando la ecuación (23), obteniéndose:

$$t_{bar} = 0.21 \text{ m}$$

4.7 CANAL DE CONDUCCIÓN

Sistema hidráulico de forma regular, en función de la pendiente puede conducir agua de un lugar a otro. En nuestro caso (MCH), casi siempre se trata de conductores abiertos de sección muy

diversa (rectangulares, trapezoidales, etc.). (Coz, y otros, Manual de Mini y Microcentrales Hidraulicas, 1995, pág. 82).

Se elige un canal trapezoidal de concreto, el talud de acuerdo a la tabla de anexo 2.2, es 0.58; además de las tablas de anexo 2.3 y 2.4, se considera un rango de velocidades para canales de concreto de menos de 1 m de profundidad, de 0.5 – 2 m/s; para canales de concreto el coeficiente de rugosidad de acuerdo a la tabla del anexo 2.5, es 0.016; y pendiente del canal de acuerdo a ITDG de 3 por mil (0.003).

Asumiendo los siguientes datos:

$$Z = 0.58$$

$$V = 1.1 \text{ m/s}$$

$$S = 0.003$$

$$n = 0.016$$

Aplicando las ecuaciones (24,25,26, y 27) obteniéndose el caudal de diseño (m^3/s); iterando para distintos valores de:

$$b = \text{ancho de la solera del canal, m}$$

$$y = \text{calado del canal, m}$$

Se obtiene:

$$b = 0.4 \text{ m, } y = 0.4 \text{ m}$$

Se obtuvo:

$$A = 0.85 \text{ m}^2$$

$$P = 2 \text{ m}$$

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

$$Q = 1.12. \text{ m}^3/\text{s} > Q_d = 0.52 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{OK}$$

Asumimos el borde libre:

$$t = 0.15 \text{ m}$$

Aplicando las ecuaciones (28) y (29); se obtuvieron los espesores:

$$t_1 = t_2 = 0.12m$$

$$t_2 = 0.15m$$

4.8 LONGITUD DE TRANSICIÓN Y CANAL DE DERIVACIÓN

4.8.1 Longitud de transición

La longitud de transición entre el ancho del rebosadero de la bocatoma (b_2) y el ancho del canal de conducción (b_3), de (30):

$$L_t = 1.52m$$

4.9 DESARENADOR Y CÁMARA DE CARGA

El agua captada del 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 alabes de la turbina. (Federico Coz... et. al, 1995). A partir de estos elementos sistemas hidráulicos; el caudal derivado es para el diseño obras civiles, sino el caudal para generación.

4.9.1 Desarenador

4.9.1.1 Cálculo del ancho del desarenador

Teniendo los datos de entrada:

- $V_h = 0.5 \text{ m/s}$ (Según T. NOZAKI, “Guía Para La Elaboración De Proyectos De Pequeñas Centrales Hidroeléctricas”. Pág. 49, recomienda que la velocidad horizontal $< 0.3 \text{ m/s}$)

- $Y_d = 0.4$ m, “Manual de mini y micro centrales hidroeléctricas”, Pág. 74, recomienda que la profundidad de decantación sea menor a 1 metro)
- $Q_d = 0.563$ m³/s (caudal de generación de energía eléctrica)

De la ecuación (31), se obtiene el ancho del desarenador:

$$W = 2.5 \text{ m}$$

4.9.1.2 Calculo de la longitud de decantación del desarenador

Se recomienda un valor de 2 a 3 como factor de seguridad; por tanto, tomamos un:

$$F_s = 2$$

Así mismo de la tabla anexo 2.6; para un tamaño de materia en suspensión de 0.3 mm; la velocidad de cantacion de arena de $V_d = 0.03$ m/s

Reemplazando valores junto con los anteriores; del desarenado en la (32), se obtiene una longitud de decantación:

$$L_d = 5.3 \text{ m}$$

4.9.1.3 Calculo de la longitud de entrada

Sabiendo el ancho del desarenador es 1.2 m, se obtiene la longitud de entrada (33):

$$L_e = 3.75 \text{ m}$$

4.9.1.4 Distancia de recolección

Primero se calculó el volumen del tanque colector, se tuvo en cuenta los datos de entrada siguientes:

$$Q = 0.52, \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T = 604800 \text{ seg/semana}$$

$$S = 0.05, \text{ kg/m}^3 \text{ de agua}$$

$$F = 1.5$$

$$D_{arena} = 2600 \text{ kg/m}^3$$

La capacidad del tanque colector de acuerdo a (34):

$$CTC = 9.072 \text{ m}^3/\text{semana}$$

De acuerdo la ecuación (35), se obtiene la máxima distancia de recolección

$$d_r = 2.79 \text{ m}$$

4.9.1.5 Calculo del aliviadero lateral

Para ello calculamos el aliviadero lateral:

$$T_u = 0.6 \text{ m}$$

$$Y_d = 0.4 \text{ m}$$

Aplicando la ecuación (37); se obtiene:

$$h_a = 0.2 \text{ m}$$

Se tiene las siguientes consideraciones:

$$Q_a = 0.52 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$u = 0.50$$

$$\varphi = 0.95$$

Reemplazando en la ecuación (37), la longitud del aliviadero será:

$$L_a = 4.48 \text{ m}$$

4.9.2 Cámara de carga

4.9.2.1 Rejilla de ingreso a la cámara de carga

La inclinación de las rejillas debe ser a 60° respecto a la horizontal, para un buen rastrillaje de los materiales flotantes y espaciadas una distancia igual a los alabes de la turbina.

4.9.2.2 Conexión entre la cámara de carga y la tubería de presión

Teniendo en cuenta los siguientes valores:

$$V_e = 1.5 \text{ m/s}$$

$$\gamma = 0.97$$

$$Q = 0.52 \text{ m}^3/\text{s}$$

Reemplazando en las ecuaciones (38) y (39):

$$D_e = 0.7018 \text{ m}$$

Luego de la ecuación (40), se obtiene la distancia mínima de la cámara de carga:

$$L_c = 2.807 \text{ m}$$

Asumiendo $V=1.5 \text{ m/s}$, en la ecuación (41), y se reemplaza en la ecuación (42) para obtener la altura mínima de la cámara de carga:

$$k = 1.15 \text{ m}$$

4.10 DISEÑO DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN

Para el diseño de la tubería de presión asumimos los siguientes valores:

$$Q_{nom} = 0.563 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H = 43.6 \text{ m}$$

$$\gamma_{acero} = 8000 \text{ kg/m}^3$$

$$\sigma_{acero} = 1000 \times 10^4 \text{ kg/m}^3$$

$k = 0.85$, coeficiente de trabajo

$\lambda = 0.025$, coeficiente de rozamiento

Costo tubería = 4 US\$/kg

$$\gamma_{agua} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Tasa interés = 15%

Vida útil = 30 años

Eficiencia del sistema = 50%

Factor de planta = 60 %

Tiempo de operación anual = 8760 h

Costo energía = 0.15 US\$/kWh

4.10.1 *Calculo del espesor*

Reemplazando estos valores en las ecuaciones (43, 44, 45, 46, 47, 48 y 49) se obtiene:

$$A = 1.36 HD^2L \dots (A)$$

4.10.2 *Calculo de pérdidas de la altura*

Reemplazando los valores asumidos en las ecuaciones (50, 51, 52, 53 y 54) se obtiene:

$$E = 7.78LQ^3D^5 \dots (B)$$

Luego reemplazando A y B en la ecuación (55), se obtiene:

$$CT = 1.36 HD^2L + 7.78LQ^3D^5$$

Aplicando la derivada para obtener el diámetro: H

$$\frac{dCT}{dD} = 1.36 HD2L + 7.78 LQ3D5 = 0$$

Obtenemos que el diámetro es óptimo es: $D = 0.75 \text{ m}$

Con este diámetro obtenemos las siguientes características de acuerdo a (50) y (56):

$$H_f = 0.46 \text{ m}$$

$$V = 1.3 \text{ m/s}$$

El diámetro se tomará en función valores estándares del mercado para la tubería de presión de: D tubería = 20" = 508 mm. A partir del diseño de la tubería de presión se determina un anclaje debido a su corta longitud (52.9 m), según la experiencia dadas por ITDG; la tabla de anexo2.7; considerando un espesor de la tubería de 12.8 mm, el espaciamiento entre apoyos será de 6 m, el número de apoyos será: Número de apoyos = $26.9/6 = 5$ apoyos

4.11 GENERADOR SÍNCRONO

Para aplicaciones potenciales no mayores a 30 kVA, se utiliza generadores monofásicos, estos por ser pequeños generalmente son de 2 polos; Para aplicaciones potenciales no mayores a 30 kVA, se utiliza generadores monofásicos, estos al ser pequeños generalmente son solo de 2 polos; frecuencia de 60 Hz, con estos valores reemplazándolo en la (57) nos da:

$$N_s = 3600 \text{ rpm}$$

Aplicando la velocidad de embalamiento la ecuación (58), será:

$$V_e = 6480 \text{ rpm}$$

Considerando los datos:

$$Max_{demanda} = 130 \text{ kW}$$

$$\eta_{distrib.} = 0.95$$

$$\eta_{transm.} = 0.9$$

$$\cos \phi = 0.85$$

Obtenemos la potencia en bornes del generador aplicando (59):

$$Potencia_{generad.} = \frac{Max_{demand.}}{\eta_d \times \eta_t}$$

$$Potencia_{generad.} = \frac{130 \text{ kW}}{0.95 \times 0.9}$$

$$Potencia_{generador} = 152.04 \text{ kW}$$

Entonces la potencia aparente se determina aplicando la ecuación (60)

$$Potencia_{aparente} = \frac{Potencia_{generador}}{\text{factor de potencia}}$$

$$Potencia_{aparente} = \frac{152.04 \text{ kW}}{0.85}$$

$$Potencia_{aparente} = 178.87 \text{ kVA}$$

4.12 SELECCIÓN DE LA TURBINA

Considerando los datos siguientes:

$$H_{neta} = 39.3 \text{ m}$$

$$Q = 0.56 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\eta_{tm} = 0.9$$

$$\eta_{Generador} = 0.9$$

De acuerdo a la ecuación (61), la potencia mecánica que entrega el eje de la turbina:

$$P_t = \frac{9.81 \times H \times Q}{\eta_{tm} \times \eta_{ge}}$$

$$P_t = \frac{9.81 \times 43 \times 0.563}{0.9 \times 0.9}$$

$$Potencia = 293.19 \text{ kW} = 393.2 \text{ HP}$$

En función número de revoluciones =570.6 rpm, reemplazando (62):

$$N_s = 112$$

Del anexo 2.8 y observamos que la turbina Michell – Banki es adecuada por estar en el rango

$$N_s = 40 - 160$$

4.13 PARÁMETROS DE DISEÑO TURBINA MICHELL-BANKI

4.13.1 Selección del diámetro del rotor

De la tabla de Anexo 2.9 se obtiene: $Diametro_{rotor} = 400mm$

4.13.2 Diámetro interior del rotor

De (64); se obtiene: $Diametro_{interno} = 264mm$

4.13.3 Velocidad nominal del rotor

Con los valores de altura y diámetro exterior

$$H = 43.65 \quad D_e = 400mm$$

Aplicando la ecuación (65); se obtiene:

$$N = 624.5 \text{ rpm}$$

4.13.4 Selección del número de alabes del rotor

El número de alabes se obtiene de tabla anexo 2.10

$$Z = 26$$

4.13.5 Selección del espesor alabes rotor y ángulo

De tabla anexo 2.11, se obtiene las siguientes características:

$$\text{Diametro} = 2 \frac{1}{2} \text{ "}$$

$$\text{Peso} = 21.78 \text{ kgf/m}$$

$$\text{Espesor de alabe} = 6.55 \text{ mm}$$

De tabla anexo 2.12; se obtiene el ángulo de alabes:

$$\theta = 73^\circ$$

4.13.6 Ancho del inyector

Considerando los siguientes datos:

$$Q = 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$e = 0.00655 \text{ m}$$

$$D_e = 0.4 \text{ m}$$

$$\delta = 110^\circ$$

$$Z = 26$$

$$k = 0.98$$

$$H = 39 \text{ m}$$

$$\alpha = 16^\circ$$

Reemplazando en la ecuación (65); se obtiene:

$$B_i = 0.226 \text{ m}$$

4.13.7 Ancho del rotor

De la ecuación (66); se obtiene: $B_r = 0.294 \text{ m}$

4.13.8 Razón de aspecto

De acuerdo a la ecuación (67); se obtiene: $R = 1.3$

4.13.9 Diámetro máximo del eje del rotor

De la ecuación (68): obtenemos: $De_{max} = 0.132 \text{ m}$

4.13.10 Diseño del eje del rotor

Teniendo como datos de entrada:

$$K_m = 1.5$$

$$K_t = 1.0$$

$$Pt = 265.9 \text{ kW}$$

$$N = 624.5 \text{ rpm}$$

$$a = 0.1 \text{ m}$$

$$Pu = 21.8 \text{ kgf/m}$$

$$L = 0.01975 \text{ m}$$

$$Z = 26$$

$$N_d = 2$$

$$D_e = 0.4 \text{ m}$$

$$S_d = 42.2 \times 10^{-6} \text{ kgf/m}^2\text{k}$$

Calculo del diámetro mínimo eje del rotor:

Con la ecuación (76); se obtiene: $F_r = 2073.5 \text{ kgf}$

De la ecuación (75); $P_a = 0.43055 \text{ kgf}$

De la ecuación (74); $P_{tr} = 35.498 \text{ kgf}$

De las ecuaciones (72) y (73):

$$M_x = 0.03039$$

$$M_y = 0.00085$$

Se obtiene de acuerdo a la ecuación (70); $M_{m\acute{a}x} = 0.03040$

Se obtiene de acuerdo a la ecuación (70); $T_{m\acute{a}x} = 46.7$

Una vez obtenido estos parámetros lo reemplazamos en la ecuación (69); obtenemos:

$$d = 0.018 \text{ m}$$

4.14 CALCULO DE TRANSMISIÓN MECÁNICA

Diseñamos una transmisión de potencia mediante fajas en V, para mandar la velocidad de 855.9 rpm (velocidad de la turbina) a 3600 rpm (velocidad del alternador), considerando un factor de servicio de acuerdo a la tabla de Anexo 2.13.

4.14.1 Potencia de diseño

$$P = 266 \text{ kW} = 356 \text{ HP y } F_s = 1.2$$

$$HP_d = P \times F_s$$

$$HP_d = 356 \times 1.2$$

$$HP_d = 428 \text{ HP}$$

4.14.2 Selección de la faja

Según la figura de anexo 2.14, para 428 HP y 3600 rpm; la faja se ubicará entre la sección A y B, seleccionamos la sección B.

4.14.3 Relación de transmisión:

$$i = 3600/624.5 = 5.76$$

4.14.4 Selección diámetros de pasos de la polea

Diámetros recomendados para la sección C: $5.4'' \leq d \leq 7.5''$

Seleccionamos $d = 6''$

Entonces: $D = 4'' \times i = 24''$

4.14.5 Selección de la longitud estándar de la faja:

De acuerdo a la ecuación (77), la distancia entre centros: $C \geq \frac{D+3d}{2} = 21''$ y $C \geq 24''$.

Adoptando $C = 25''$

De acuerdo a la ecuación (78): $L = 2C + 1.65 \times (D+d) = 99.5''$

De acuerdo al anexo 2.17, la longitud escogida es $104.8''$ que corresponde a una faja B103.

La distancia correcta entre centros de acuerdo a la ecuación (79) será:

$$C = 27.4''$$

4.14.6 Potencia por faja:

Según las tablas de anexo 2.17 y 2.18; se obtienen los factores de corrección: $\frac{D-d}{C} = 0.66$;

entonces $K_E = 0.9$, $K_L = 1.03$

Potencia por faja, según la tabla de anexo 2.19:

Una faja B103 puede transmitir una potencia de 7.55 HP/ FAJA

Potencia adicional por relación de transmisión, por tabla de anexo 2.20:

$$HP_{adicic.} = 0.01618 \times \left(\frac{3600}{100} \right) = 1.53$$

Potencia que puede transmitir la faja, por la ecuación (81)

$$HP/Faja = 8.5 HP/Faja$$

4.14.7 Numero de fajas:

$$N = \frac{HP_D}{\frac{HP}{FAJA}} \cong 7 FAJAS$$

4.15 RED DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIA

Para el sistema monofásico con retorno por tierra de 13,2 kV.

Tomando los datos de entrada:

$$\text{Sección del conductor} = 25 \text{ mm}^2$$

$$L = 600$$

$$R_{20^\circ\text{C}} = 1.370 \Omega/\text{km}$$

$$\text{Potencia del transformador} = 200 \text{ kVA}$$

$$V = 13.2 \text{ kV}$$

$$p = 250 \Omega/\text{m}$$

$$r' = 3.15 \text{ mm}$$

Por la ecuación (81), (82), (83), (84) y (85), se obtiene:

$$R_{40^\circ\text{C}} = 1.469 \Omega/\text{km}$$

$$X_{lt} = 1.004$$

$$K = 1.759 \Omega/\text{km}$$

$$I = 1.9 \text{ A}$$

$$\Delta V = 2 \text{ V}$$

4.16 RED DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA

De acuerdo a la tabla de anexo 2.20, se tiene los siguientes valores para el conductor auto portante de aluminio 2 x 16/25.

$$R_{40^{\circ}\text{C}} = 2.045 \Omega/\text{km}$$

$$X_{lt} = 0.094$$

$$K = 3.272 \Omega/\text{km}$$

Y para una:

$$L_{\text{máx}} = 38 \text{ m}$$

$$\text{Potencia} = 96 \text{ kW}$$

De acuerdo a las (87) y (90).

$$I = 76.8 \text{ A}$$

$$\Delta V = 9.5 \text{ V}$$

5 CAPITULO V RESULTADOS

5.1 RESUMEN DE CÁLCULOS DE LA MICROCENTRAL

5.1.1 Demanda eléctrica calculada

Tabla 11

Demanda de potencia y energía eléctrica

Potencia	Unidad
Potencia Actual	96 kW
Potencia a 30 años	137 kW

5.1.2 Recursos hidroenergético

Tabla 12

Recursos hidroenergetico disponible

Altura	
Altura total (H_t)	43.65
Caudal	
Caudal para generación (Q_g)	0.5 (m^3/s)
Caudal agrícola (Q_{aa})	0.048 (m^3/s)

5.1.3 Obras civiles

5.1.3.1 Bocatoma

Tabla 13

Parámetros de diseño de la bocatoma

Parámetro	Longitud
Ancho de los barrotes (a')	0.1 m
Número de barrotes (N)	5
Ancho total de la reja (B)	1.6 m
Angulo de la pared de toma de agua (α)	13.6°
Ancho del rebosadero (b_2)	1.1 m
Longitud del desripiador (L_d)	0.5 m

5.1.3.2 Barraje de derivación

Tabla 14

Parámetros de diseño del barraje derivación

Parámetro	Longitud
Altura del barraje (h_b)	0.8 m
Ancho del barraje	3 m
Espesor del barraje (t_{bar})	0.1 m

5.1.3.3 Canal de conducción.

Tabla 15

Parámetros de diseño del canal de conducción

Parámetro	Longitud
Fondo del canal (b)	0.4 m
Tirante del canal (y)	0.4 m
Talud del canal (Z)	0.58
Pendiente del canal (S)	0.003
Borde libre (t)	0.15 m
Ancho superior del canal (W)	0.8 m
Espesor de la pared superior del canal (t_1)	0.12 m
Espesor de la base del canal (t_b)	0.12 m
Espesor de la base del canal (t_2)	0.15 m

5.1.3.4 Longitud de transición y canal de derivación.

Tabla 16

Parámetros de diseño de la transición

Parámetro	Longitud
Ancho del rebosadero de la bocatoma (b_2)	1.1 m
Ancho del canal de conducción (W)	0.8 m
Longitud de transición (L_t)	0.7 m

Tabla 17

Parámetros de diseño del canal de regadíos

Tipo de canal	Rectangular
Fondo del canal (b)	0.50 m
Alto del canal	0.8 m

5.1.3.5 Desarenador.

Tabla 18

Parámetros de diseño del Desarenador

Parámetros del desarenador	
Ancho del desarenador (W)	2.5 m
Longitud de decantación (L_d)	5.3 m
Longitud de entrada (L_e)	3.75 m
Distancia de recolección (d_r)	0.52 m
Aliviadero lateral	
Tirante excedente (h_a)	0.2 m
Longitud del aliviadero (L_a)	2.4 m

5.1.3.6 Cámara de carga

Tabla 19

Parámetros de diseño de la cámara de carga

Parámetro	Unidad
Angulo de las rejillas	60°
Diámetro de entrada a la tubería de presión (D_e)	0.42m
Longitud de la cámara de carga (L_c)	1.7 m
Altura de la cámara de carga (K)	1.15 m

5.1.3.7 Tubería de presión

Tabla 20

Parámetros de la tubería de presión

Material de la tubería	Acero comercial
diámetro de la tubería de presión (d tub)	20"
espesor de la tubería (e)	6 mm
velocidad del agua (v)	1.5 m/s
perdida de carga (h_f)	0.09 m
número de anclajes	1
número de apoyos	5

5.1.4 Casa de maquinas

5.1.4.1 Turbina Michell - Banki

Tabla 21

Parámetros de la turbina Michell Banki

Alabe	
Espesor del alabe (e)	5.16 mm
Angulo característico (Θ)	74.5°
Numero de Alabes (Z)	22
Rodete	
Diámetro del rotor (D)	0.2 m
Diámetro interior del rotor (D_i)	0.132 m
Ancho del rotor (Br)	0.386
Numero de discos	5
Inyector	
Ancho del inyector (B_i)	0.297 m
Sección	Rectangular
Eje del rodete	
Distancia del disco del rotor a la chumacera	0.1 m
Longitud del rotor	0.586 m
Diámetro del eje del rotor (d)	0.06 m

5.1.4.2 Generador de potencia

Tabla 22

Parámetros del generador de potencia

Marca	GEW
Potencia Aparente	178.8 kVA
Velocidad Nominal (N_s)	3600 rpm
Velocidad de embalamiento (V_e)	6480 rpm
Frecuencia	60 Hz
Fases	Trifásico
Eficiencia	90 %
Factor de Potencia ($\cos \Phi$)	0.85
Potencia Activa	242 kW

5.1.4.3 Transmisión mecánica

Tabla 23

Parámetros de la transmisión mecánica

Parámetros de diseño y selección de faja y polea	
Potencia al eje de la turbina	242kW
Factor de servicio (F_s)	1.2
Potencia de diseño (HP_d)	393HP
Velocidad del eje más rápido	3600 rpm
Sección	B
Relación de transmisión	4
Diámetro de la polea de la turbina (D)	24"
Diámetro de la polea del generador (d)	6"
Tipo de faja	B103
Longitud de la faja (L)	104.8"
Distancia entre centros (C)	27.4"
Número de fajas	7

5.1.5 Sistema de transmisión y distribución de la energía eléctrica

5.1.5.1 Red de distribución primario

Tabla 24

Parámetros del sistema de distribución primario

Parámetro	Unidad
Caída de tensión (ΔV)	3.99 V
Tipo de conductor	AAAC
Potencia de Subestación	160 kVA
Tensión de trabajo (V)	13.2 kV
Longitud	2 km

5.1.6 Red de distribución secundaria

Tabla 25

Parámetros del sistema de distribución secundario

Circuito	C1	C2	C3
Numero de cargas	15	18	11
Numero de luminarias de AP	5	0	5
Corriente (I)	18.86 A	20.45 A	14.32 A
Tipo de conductor auto soportado (Al)	2 x 16/25	2 x 16/25	2 x 16/25
Factor K	3.272 Ω /km	3.272 Ω /km	3.272 Ω /km
R 40°C	2.045 Ω /km	2.045 Ω /k m	2.045 Ω /km
Tensión de trabajo (V)	220 V	220 V	220 V
Longitud	35	38	30

5.2 ANÁLISIS ECONÓMICO

5.2.1 Costo de inversión instalación micro central hidráulica (MCH)

El análisis económico financiero de un proyecto de una Micro Central Hidráulica (MCH) se realizan para orientar la toma de decisión en torno a la pertinencia de ejecutarlo o no. Para

realizar el proceso de cuantificación del costo de inversión, se consideró costos: bocatoma, canal de conducción, desarenador, cámara de carga, tubería de presión, casa de máquinas y líneas de transmisión.

5.2.2 Análisis del precio de venta de energía eléctrica

Se tomó el consumo promedio de energía eléctrica centro poblado Cascajal; periodo a 30 años, según lo normado para las obras con fines de generación de energía eléctrica, y una tasa de crecimiento de 1.2%, según el Instituto Nacional de Estadística (INE).

Aplicando la ecuación (1); se obtuvo la demanda futura por potencia y energía, del anexo 3.4.

Se muestra la tabla 26, resumen de potencia y energía futura siguiente:

Tabla 26

Estimación de la demanda de Potencia y Energía

Año	Crecimiento de la demanda por potencia y energía			
	Residencial total		Demanda servicio públicos	
	Potencia vatios (kW)	Energía kWh -año	Potencia vatios (kW)	Energía kWh año
1-30	51.7011	113.2621	20.2954	327.359

- Asumiendo un costo referencial por kWh, el cual varía entre de 6 a 15 centavos de dólar americano – Manual de Mini y Micro Centrales Hidráulicas Pág. (265), elaborándose la Tabla 27 de ingresos por venta de energía eléctrica.
- Considerando precio de venta de la energía de 0.15 US\$/kWh, y aplicando ecuación (95), se obtuvo un ingreso por venta de energía; según anexo 3.4.

A continuación, se presenta un resumen de los ingresos por venta de energía Eléctrica.

Tabla 27*Ingreso por venta de energía eléctrica*

Años	Venta de energía	Ingreso por venta de energía
	kWh /año	US\$ / año
1-30	341,592	51,238.8

5.2.3 Indicadores económicos

5.2.3.1 Beneficio y costo

Se elaboró la tabla 28 de flujo de caja interno necesaria para el costo de la inversión y valor residual. El valor residual se obtiene aplicando la ecuación (94), vida útil de 50 años para obras civiles y 30 años maquinaria y equipo electromecánica, determinándose un valor residual de: $VR_n = 31,97$. Los costos totales se hallan aplicando la ecuación (96), aplicado para cada año de venta de la energía. El indicador Beneficio-Costo se obtuvo del cociente de estas dos cantidades. Se calculó el flujo de caja interno:

Tabla 28*Resumen de Beneficio total*

Flujo de caja interna (miles de US\$ Corriente)								
Año	BENEFICIOS			COSTOS			Flujo de Caja	B/C
	Valor Energia	Valor Residual	Benef. Total	Invers.	Operc. Y Mantenim.	Costo Total		
1	0		0	50	0	50	-50	0
2	0		0	172	0	172	-172	0
3	7.5		7.5		2	2	5.5	3.75
4	7.5		7.5		2	2	5.5	3.75
5	7.5		7.5		2	2	5.5	3.75
6	11.25		11.25		2	2	9.25	5.625
7	11.25		11.25		2	2	9.25	5.625
8	11.25		11.25		2	2	9.25	5.625
9	11.25		11.25		2	2	9.25	5.625
10	11.25		11.25		2	2	9.25	5.625
11	21		21		2	2	19	10.5
12	21		21		2	2	19	10.5
13	21		21		2	2	19	10.5
14	21		21		2	2	19	10.5
15	21		21		2	2	19	10.5
16	27		27		2	2	25	13.5
17	27		27		2	2	25	13.5
18	27		27		2	2	25	13.5
19	27		27		2	2	25	13.5
20	27		27		2	2	25	13.5
21	30		30		2	2	28	15
22	30		30		2	2	28	15
23	30		30		2	2	28	15
24	30		30		2	2	28	15
25	30		30		2	2	28	15
26	37.5		37.5		2	2	35.5	18.75
27	37.5		37.5		2	2	35.5	18.75
28	37.5		37.5		2	2	35.5	18.75
29	37.5		37.5		2	2	35.5	18.75
30	37.5	31.97	69.47		2	2	67.47	34.735

6. VAN

El cálculo del VAN, se realizó teniendo en cuenta los valores del flujo de caja; con tasas de rendimiento del 5%, 6%, 7% y 10%,

Utilizando los factores económicos para cada caso obtenemos:

Tabla 29

Procedimiento de cálculo del VAN a diversas tasas de interés

Año	Flujo de Caja	Tasa 5%		Tasa 6%		Tasa 7%		Tasa 10%	
		Factor Valor Actual	VANE 5%	Factor Valor Actual	VANE 6%	Factor Valor Actual	VANE 7%	Factor Valor Actual	VANE 10%
1	-50	0.9524	-47.62	0.9434	-47.17	0.9346	-46.7	0.9091	-45.46
2	-172	0.9070	-156.00	0.8900	-153.08	0.8734	-150.2	0.8265	-142.16
3	5.5	0.8638	4.75	0.8396	4.62	0.8163	4.5	0.7513	4.13
4	5.5	0.8227	4.52	0.7921	4.36	0.7629	4.2	0.683	3.76
5	5.5	0.7835	4.31	0.7473	4.11	0.713	3.9	0.6209	3.41
6	9.25	0.7462	6.90	0.705	6.52	0.6664	6.2	0.5646	5.22
7	9.25	0.7107	6.57	0.6651	6.15	0.6628	6.1	0.5132	4.75
8	9.25	0.6768	6.26	0.6274	5.80	0.582	5.4	0.4665	4.32
9	9.25	0.6446	5.96	0.5919	5.48	0.5439	5.0	0.4241	3.92
10	9.25	0.6139	5.68	0.5584	5.17	0.5084	4.7	0.3856	3.57
11	19	0.5847	11.11	0.5268	10.01	0.4751	9.0	0.3505	6.66
12	19	0.5568	10.58	0.497	9.44	0.444	8.4	0.3186	6.05
13	19	0.5303	10.08	0.4688	8.91	0.415	7.9	0.2897	5.50
14	19	0.5051	9.60	0.4423	8.40	0.3878	7.4	0.2633	5.00
15	19	0.4810	9.14	0.4173	7.93	0.3625	6.9	0.2394	4.55
16	25	0.4581	11.45	0.3937	9.84	0.3387	8.5	0.2176	5.44
17	25	0.4363	10.91	0.3714	9.29	0.3166	7.9	0.1979	4.95
18	25	0.4155	10.39	0.3504	8.76	0.2959	7.4	0.1799	4.50
19	25	0.3957	9.89	0.3305	8.26	0.2765	6.9	0.1635	4.09
20	25	0.3769	9.42	0.3118	7.80	0.2584	6.5	0.1487	3.72
21	28	0.359	10.05	0.2942	8.24	0.2415	6.8	0.1351	3.78
22	28	0.3419	9.57	0.2775	7.77	0.2257	6.3	0.1229	3.44
23	28	0.3256	9.12	0.2618	7.33	0.211	5.9	0.1117	3.13
24	28	0.3101	8.68	0.247	6.92	0.1972	5.5	0.1015	2.84
25	28	0.2953	8.27	0.233	6.52	0.1843	5.2	0.0923	2.58
26	35.5	0.2813	9.99	0.2198	7.80	0.1722	6.1	0.0839	2.98
27	35.5	0.2679	9.51	0.2074	7.36	0.1609	5.7	0.0763	2.71
28	35.5	0.2551	9.06	0.1956	6.94	0.1504	5.3	0.0694	2.46
29	35.5	0.243	8.63	0.1846	6.55	0.1406	5.0	0.068	2.41
30	67.5	0.2314	15.61	0.1741	11.75	0.1314	8.9	0.0573	3.87
		VANE:	42.39	VANE:	7.78	VANE	-19.5	VANE:	-73.87

A continuación, se muestra un resumen de los VAN.

Tabla 30*Indicadores Económicos VAN*

TASA	TASA 5%	TASA 6%	TASA 7%	TASA 10%
VAN	42.39	7.78	-19.5	-73.87

5.2.4 Precio final de la energía eléctrica

Aplicando la ecuación (101) a cada año, obtenemos el costo de la energía a través de la siguiente tabla 31.

Tabla 31*Calculo del costo del kWh (miles de US\$ corrientes)*

Año	COSTOS			ENERGIA			Costo del kWh US\$
	Costo total anual	Factor del valor actual	Valor actual costos	Miles kWh vendidos	Factor del valor	Valor actual energía miles kWh	
1	50	0.9434	47.17				
2	172	0.89	153.08				
3	2			50	0.8396	41.98	
4	2			50	0.7921	39.61	
5	2			50	0.7473	37.37	
6	2			75	0.705	52.88	
7	2			75	0.6651	49.88	
8	2			75	0.6274	47.06	
9	2			75	0.5919	44.39	
10	2			75	0.5584	41.88	
11	2			140	0.5268	73.75	
12	2			140	0.497	69.58	
13	2			140	0.4688	65.63	
14	2	11.7573	23.51	140	0.4423	61.92	
15	2			140	0.4173	58.42	
16	2			180	0.3937	70.87	
17	2			180	0.3714	66.85	
18	2			180	0.3504	63.07	
19	2			180	0.3305	56.12	
20	2			180	0.3118	52.96	
21	2			200	0.2942	55.50	
22	2			200	0.2775	52.36	
23	2			200	0.2618	49.40	
24	2			200	0.247	46.60	
25	2			200	0.233	43.96	
26	2			250	0.2198	51.85	
27	2			250	0.2074	48.90	
28	2			250	0.1956	46.15	
29	2			250	0.1846	46.15	
30	29.97	0.1741	-5.22	250	0.1741	43.53	
			218.55			1478.61	0.15

Se obtiene un precio final de la energía de 0.4245 S/. / kWh

6 CAPITULO VI CONCLUSIONES

- Se estableció las siguientes características técnicas: En base a las mediciones y datos recopilados, se obtuvo una altura de 43.65 m; y caudal 0.50 m³/s.
- La demanda de potencia eléctrica que requerirá el centro poblado de Cascajal al año 2039; se determinó aplicándoles una encuesta; identificándose hábitos de consumo energético y uso de equipos eléctricos; asimismo tasa de crecimiento de 1.20%, se estimó la potencia, siendo de 96 kW actual y futura a 30 años de 137 kW.
- Las dimensiones del canal: Fondo 0.4 m, tirante 0.4 m, talud 0.58, pendiente 0.003, borde libre de 0.15 m, ancho superior de 0.8 m, espesor de la pared superior del canal de 0.12 m, espesor de la base del canal de 0.12 m, espesor de la base del canal de 0.15m. Dimensiones del desarenador: Ancho 2.5 m, longitud de decantación 5.3 m, longitud de entrada 3.75 m, distancia de recolección 0.52 m, y para aliviadero lateral dimensiones: tirante excedente de 0.2 m, longitud del aliviadero de 2.4 m. La tubería de presión acero comercial, diámetro nominal de 20", soportada en 5 apoyos y 1 anclaje. El equipo electromecánico Turbina Mitchell Banki de potencia 42 kW en eje, la cual transmitirá su velocidad a través de fajas tipo V, modelo B103 al generador síncrono trifásico 178.87 kVA, de 2 polos, frecuencia de 60 Hz. El precio final de la energía será de 0.10 US\$/kWh, tasa de cambio de 2.8, costo de la energía 0.4245 S/. / kWh.
- Se realizó la evaluación económica beneficios y costos; el estudio determino la vida útil MCH. Por ser los beneficios mayores que los costos; este es factible. Dado que los costos y beneficios ocurren en tiempos distintos; se aplicó una tasa de descuento (o interés) y desde el primer año. Actualizados los beneficios esperados y los costos relacionados; la evaluación económica se determinó los indicadores como el valor actual neto (VAN), la relación beneficio – costo (B/C) = 34.735, y la tasa interna de retorno (TIR). Conclusiones del análisis económico; los resultados más significativos son: VANE (5%) = 42.39, VANE (7%) = -19.5, TIR = 6% y costo de kWh = US\$ 15 centavos.

7 CAPITULO VII: BIBLIOGRAFÍA

- Castro, A. (2006). *Manuales de Energia Renovables*. Madrid: Instituto para la Diversificacion y Ahorro de la Energia.
- Coz, F., Sanchez, T., Viani, B., Segura, J., Rodriguez, L., Miranda, H., . . . Guerra, J. (1995). *Manual de Mini y Microcentrales Hidraulicas*. Lima: Programa de Energia de ITDG-Peru.
- Coz, F., Sanchez, T., Viani, B., Segura, J., Rodriuez, L., Miranda, H., . . . Muñoz, I. (1995). *Manual de Mini y Microcentrales Hidraulicas*. Lima: Programa de energia de ITDG-Peru.
- Gamio Aita, P. (2010). Matriz Energetica en el Peru y Energias Renovables. (C. Herrera Pecart, Ed.) *Friedrich Ebert Stiftung*, 39.
- Guerrero Fajardo, C., Sierra Alarcón, A., & Sierra Vargas, F. (2016). Pequeñas y microcentrales hidroeléctricas: alternativas real de generacion eléctrica. *ResearchGate*, 12.
- Lebrun Madge, J. (2008). *El Poder del Gas*. Lima: Corporacion Grafica Navarrete S.A.
- Mataix, C. (2009). *Turbomáquinas Hidraulicas*. Madrid: Amábar, S.L.
- Ortiz Florez, R. (2001). *Pequeñas Centrales Hidroelectricas*. Colombia: Nomos S.A.
- Pelikan, B. (2006). *Guia para el desarrollo de una pequeña central hidroelectrica*. España: European Small Hydropower Association - ESHA.
- Villanueva López, M. (2012). *Ingenieria de la Energia Eolica*. Barcelona: Servicie Point S.A.

8 CAPITULO VIII ANEXOS TABLAS Y GRÁFICOS

ANEXO 1

Anexo 1.1

Figura 14

Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas

DEPARTAMENTO DE ÁNCASH										
CÓDIGO	CENTROS POBLADOS	REGIÓN NATURAL (según piso altitudinal)	ALTITUD (m s.n.m.)	POBLACIÓN CENSADA			VIVIENDAS PARTICULARES			
				Total	Hombre	Mujer	Total	Ocupadas 1/	Desocupadas	
0027	EL CASTILLO	Chala	68	642	338	304	246	223	23	
0028	HUACA CASTILLO SANTO ANGEL	Chala	96	22	10	12	13	12	1	
0029	CASCAJAL BAJO - RURAL	Chala	122	187	90	97	59	58	1	
0030	CASCAJAL BAJO - LA CUADRA	Chala	145	953	494	459	336	316	20	
0031	ALTO CANAL	Chala	93	78	36	42	46	36	10	
0032	BAJO CANAL	Chala	85	158	76	82	62	55	7	

Nota. Fuente: INEI

2017

Anexo 1.2: Cuestionario Aplicado en el Centro Poblado Cascajal

Cuestionario aplicado a pobladores

1. ¿Cuántas personas habitan en casa?
2. ¿Cuántas habitaciones cuenta su casa?
 - Sala-comedor:
 - Dormitorios:
 - Baño:
3. ¿Qué actividad económica Ud. se dedica?

Agricultura ----- Ganadería ----- Otros

4. ¿Qué tipo de iluminaria utiliza?

- Fluorescente

- Incandescente

5. ¿Cuántos Watts de potencia es la lámpara?

- 15W
- 20W
- 40W
- 100W

6. ¿Qué electrodoméstico usted utiliza, indique la cantidad?

- Nevera
- Televisor
- Grabadora
- Equipo de sonido
- Licuadora
- Ventilador
- Otros

7. ¿Cuántas horas/día consume energía eléctrica de las siguientes cargas eléctricas?

- Artefactos eléctricos
- Luminarias (Especifique que artefactos según las horas que utiliza)

Cuestionario dirigido al presidente de junta del centro poblado cascajal

8. ¿Cascajal cuenta con municipalidad?

- Si
- NO

9. ¿Cascajal cuenta con centros educativos?

- SI

- NO

10. ¿Cascajal cuenta con posta medica?

- SI

- NO

11. ¿Actividades que los pobladores se dedican?

- Carpintería

- Soldadura

- Otros

12. ¿Cuántas viviendas comprende el centro poblado de Cascajal?

13. ¿Cuál es la tarifa eléctrica por consumo de energía eléctrica pagan los pobladores?

Anexo 2

Tablas y figuras para los Cálculos de la Microcentral

Anexo 2.1

Tabla 31

Factor de corrección de la velocidad según S/P

S/P	Madera o cemento	Madera áspera o ladrillo	Pared de pedruscos	Tierra
0.1	0.86	0.84	0.748	0.565
0.2	0.865	0.858	0.792	0.645
0.3	0.87	0.65	0.812	0.685
0.4	0.875	0.868	0.822	0.712
0.5	0.88	0.87	0.83	0.730
0.6	0.885	0.871	0.835	0.745
0.7	0.89	0.72	0.837	0.755
0.8	0.892	0.873	0.839	0.763
0.9	0.895	0.874	0.842	0.771
1	0.895	0.875	0.844	0.778
1.2	0.895	0.876	0.847	0.786

1.4	0.895	0.877	0.85	0.794
-----	-------	-------	------	-------

Nota. Fuente: Pequeñas centrales hidroeléctricas. (2001) p. 74.

Anexo 2.2

Tabla 32

Talud recomendado para canales de sección trapezoidal en función del material en suspensión

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

Nota. Fuente: Manual de mini y microcentrales hidráulicas. (1996). p.83.

Anexo 2.3

Tabla 33

Velocidad mínima del agua recomendada

Condición del agua	Velocidad mínima (m/s)
Arena	0.3
Greda arenosa	0.4
Greda	0.5
Greda de arcilla	0.6
Arcilla	0.8
Mampostería	1.5
Concreto	1.5

Nota. Fuente. Manual de mini y microcentrales hidráulicas. (1996), p.83.

Anexo 2.4

Tabla 34

Velocidad máxima del agua recomendada

Material	Menos de 1.0 m de profundidad (m/s)
Arena	0.5
Greda arenosa	0.7
Greda	0.8
Arcilla	2.0

Nota. Fuente. Manual de mini y micro centrales hidráulicas. (1995). pág. 83.

Anexo 2.5

Tabla 35

Coefficiente de rugosidad "n"

Canales de concreto	
Cemento enlucido	0.0100
Trabajado con yeso o concreto suave con alto contenido de cemento	0.0118
Concreto no enlucido	0.0149
Concreto con superficie suave	0.0161
Revestimiento de concreto irregular	0.0200
Superficie de concreto irregular	0.0200

Nota. Fuente: Manual de mini y micro centrales hidráulicas. (1995). pág. 84.

Anexo 2.6

Tabla 36

Velocidad de decantación de partículas de arena

Tamaño de partícula (mm)	$V_d(m/s)$
0.1	0.01
0.3	0.03
0.5	0.05
1.0	0.10

Nota. Fuente Manual de mini y micro centrales hidráulicas. (1995). p. 74.

Anexo 2.7

Tabla 37

Espaciamiento entre apoyos (m) para tuberías de Acero Comercial

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

Nota. Fuente. Manual de mini y micro centrales hidráulicas. (1995). pág. 104.

Anexo 2.8

Tabla 38

Características principales de turbinas hidráulicas

Turbina		Inventor y año de patente	N_s (rpm, HP,m) rpm	Q m^3/s	H m	P kW	η_{max} %
Acción	Pelton	Lester Pelton (EE.UU.) 1880	1 ch: 30 2 ch: 30-50 3 ch: 30-50 4 ch: 30-70	0.05-50	30- 1800	2-300000	91
	Turgo	Eric Crewdson (G. Bretaña) 1920	60-260	0.025-10	15- 300	5-8000	85
	Michell-Banki	A.G. Michell (Australia) 1903. D. Banki (Hung.) 1917-1919	40-160	0.025-5	1-50 (200)	1-750	82
Reacción	Bomba rotodinamica	Dionisio Papin (Francia) 1689	30-170	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	10000	92
	Kaplan y de hélice	V. Kaplan (Australia) 1912	300-800	1000	5-80	2-200000	93
	Axiales: 4 Tubular 5 Bulbo 6 Generador periférico	Kuhne-1930 Hugenin-1993 Harza- 1919	300-800	600	5-30	100000	93

Nota. Fuente: Manual de mini y micro Centrales Hidroeléctricas. (1995). p. 127.

Nota.

Ns: Velocidad específica

Ch: Chorro

L: Lento

N: Normal

R: Rápida

Anexo 2.9

Tabla 39

Selección del diámetro del rotor de la turbina Michell Banki

Q/\sqrt{H}	Diámetro del rotor (mm)
0.02236-0.04743	200
0.04743-0.07906	300
0.07906-0.11068	400
0.07906-0.15812	500

Nota. Fuente: E. Paz, “Metodología de diseño hidráulico y mecánico de una turbina Michell-Banki.

Anexo 2.10

Tabla 40

Selección del número de alabes del rotor

Diámetro del rotor (mm)	Número de alabes
200	22
300	24
400	26
500	28

Nota. Fuente: E. Paz, “Metodología de diseño hidráulico y mecánico de una turbina Michell-Banki.

Anexo 2.11

Tabla 42

Selección del espesor de alabes del rotor

Rotor		Tubería	
Diámetro (mm)	Diámetro (pulga)	Espesor (mm)	Peso (kgf/m)
200	2-1/2	5.16	8.62
300	2-1/2	6.02	16.07
400	2-1/2	6.55	21.78

Nota. Fuente: E. Paz, “Metodología de diseño hidráulico y mecánico de una turbina Michell-Banki.

Anexo 2.12

Tabla 41

Angulo característico de los alabes para la turbina Michell Banki

Diámetro del rotor (mm)	$\phi(^{\circ})$	$\theta(^{\circ})$
200	15.5	74.5
300	20.0	70.0
400	17.0	73.0
500	14.6	75.4

Nota. Fuente: E. Paz, “Metodología de diseño hidráulico y mecánico de una turbina Michell-Banki.

Anexo 2.13

Tabla 42

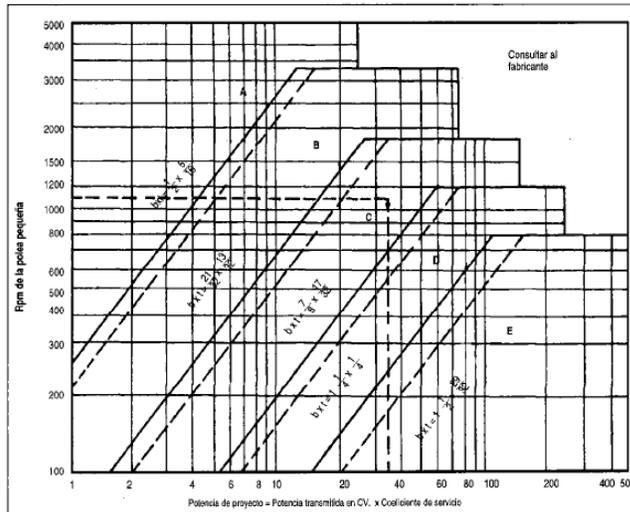
Factores de servicio para la transmisión de fajas en V

Maquinas movidas	Clase 1	Clase 2
Ejes de transmisión	1.2	1.3
Generadores	1.2	1.3
Compresores centrífugos	1.1	1.2
Extractores	1.1	1.2
Excitadores	1.3	1.2

Nota. Fuente: F. Dávila (UNI), “Diseño de elementos de máquinas”

Figura 15

Numero de secciones de carga según la potencia y la velocidad (ref. fayres)



Nota. Fuente. Manual de mini y micro Centrales Hidroeléctricas. (1995). p. 172.

Anexo 2.14

Tabla 43

Secciones estándares de fajas y diámetros de paso mínimo de poleas

Sección	Ancho (mm)	Altura (mm)	Diámetro de poleas (mm)	
			Aceptado	Mínimo
A	12.7	7.9	76-127	66
B	16.7	10.3	137-190	117
C	22.2	13.5	229-305	178
D	31.8	19	330-508	305
E	38.1	23	553-711	407

Nota. Fuente: F. Dávila (UNI), “Diseño de elementos de máquinas”

Anexo 2.15

Tabla 44

Poleas estándares para fajas en V

Secci3n A		Secci3n B		Secci3n C		Secci3n D	
3	6.2	4.6	9.4	7	14	12	27
3.2	6.4	4.8	11	7.5	16	13	33
3.4	7	5	12.4	8	18	13.4	40
3.6	7.6	5.2	13.6	8.5	20	13.5	48
3.8	8	5.4	15.4	9	24	14	58
4	9	5.6	18.4	9.4	30	14.2	
4.4	10.6	5.8	20	9.5	36	14.5	
4.6	12	6	25	9.6	44	14.6	
4.8	15	6.2	30	9.8	50	15	
5	18	6.4	38	10		15.4	
5.2	19.6	6.6		10.2		15.5	
5.4	24.6	6.8		10.5		16	
5.6	29.6	7		10.6		18	
5.8	37.6	7.4		11		20	
6		8		12		22	

Nota. Fuente: F. Dávila (UNI), "Diseño de elementos de máquinas"

Anexo 2.16

Figura 16

Longitudes normalizadas de correas trapecoidales norteamericanas, Constante de potencia

SECCIÓN A		SECCIÓN B		SECCIÓN C		SECCIÓN D	
D min = 3 pulg (7,62 cm)		D min = 5,4 pulg (13,71 cm)		D min = 9 pulg (22,86 cm)		D min = 13 pulg (33 cm)	
Correa núm.	Longitud primitiva pulg (cm)						
A26	27,3 (69,3)	B35	36,8 (93,4)	C51	53,9 (136,9)	D120	123,3 (313,1)
A31	32,3 (82,0)	B38	39,8 (101,1)	C60	62,9 (159)	D128	131,3 (333,5)
A35	36,3 (92,2)	B42	43,8 (111,2)	C68	70,9 (180)	D144	147,3 (374,1)
A38	39,3 (99,8)	B46	47,8 (121,4)	C75	77,9 (197,8)	D158	161,3 (409,7)
A42	43,3 (109,9)	B51	52,8 (134,1)	C81	83,9 (213,1)	D173	176,3 (447,8)
A46	47,3 (120,1)	B55	56,8 (144,2)	C85	87,9 (223,2)	D180	183,3 (465,5)
A51	52,3 (132,8)	B60	61,8 (156,9)	C90	92,9 (235,9)	D195	198,3 (503,6)
A55	56,3 (143,0)	B68	69,8 (177,2)	C96	98,9 (251,2)	D210	213,3 (541,7)
A60	61,3 (155,7)	B75	76,8 (195,0)	C105	107,9 (274,0)	D240	240,8 (611,6)
A68	69,3 (176,0)	B81	82,8 (210,3)	C112	114,9 (291)	D270	270,8 (687,8)
A75	76,3 (193,0)	B85	86,8 (220,4)	C120	122,9 (312,1)	D300	300,8 (764,0)
A80	81,3 (206,5)	B90	91,8 (233,1)	C128	130,9 (332,4)	D330	330,8 (840,2)
A85	86,3 (219,2)	B97	98,8 (250,9)	C144	146,9 (373,1)	D360	360,8 (916,4)
A90	91,3 (231,9)	B105	106,8 (271,2)	C158	160,9 (408,6)	D390	390,8 (992,6)
A96	97,3 (247,1)	B112	113,8 (289,0)	C173	175,9 (446,7)	D420	420,8 (1068,8)
A105	106,3 (270,0)	B120	121,8 (308,3)	C180	182,9 (464,5)	D480	480,8 (1221,2)
A112	113,3 (287,7)	B128	129,8 (329,6)	C195	197,9 (502,6)	D540	540,8 (1373,6)
A120	121,3 (308,1)	B144	145,8 (370,3)	C210	212,9 (540,7)	D600	600,8 (1526,0)
A128	129,3 (328,4)	B158	159,8 (405,8)	C240	240,9 (611,8)	D660	660,8 (1672,4)
		B173	174,8 (444,0)	C270	270,9 (688,0)		
		B180	181,8 (461,7)	C300	300,9 (764,2)		
		B195	196,8 (499,8)	C330	330,9 (840,4)		
		B210	211,8 (537,9)	C360	360,9 (916,6)		
		B240	240,3 (610,3)	C390	390,9 (992,8)		
		B270	270,3 (688,0)	C420,9	(1069,0)		
		B300	300,3 (762,7)				
Constantes para potencia nominal:		Constantes para potencia nominal:		Constantes para potencia nominal:		Constantes para potencia nominal:	
a = 2,684		a = 4,737		a = 8,792		a = 18,788	
c = 5,326		c = 13,962		c = 38,819		c = 137,7	
e = 0,0136		e = 0,0234		e = 0,0416		e = 0,0848	

Nota. Fuente: Manual de mini y micro centrales hidroeléctricas, (1995), p. 173.

Anexo 2.17

Tabla 45

Coefficiente de arco de contacto Factor por ángulo de contacto K_θ

$\frac{D-d}{C}$	θ	K_θ	$\frac{D-d}{C}$	θ	K_θ
0.00	180	1.00	0.80	133	0.87
0.10	174	0.99	0.90	127	0.85
0.20	169	0.97	1.00	120	0.82
0.30	163	0.96	1.10	113	0.80
0.40	157	0.94	1.20	106	0.77
0.50	151	0.93	1.30	99	0.73
0.60	145	0.91	1.40	91	0.70
0.70	139	0.89	1.50	83	0.65

Nota. Fuente: F. Dávila (UNI), “Diseño de elementos de máquinas”

Anexo 2.18

Tabla 46

Potencia que puede transmitir la faja por secciones

RPM del eje rápido	HP por faja referido a la polea de diámetro menor								
	4.6 pulg	4.8 pulg	5.0 pulg	5.2 pulg	5.4 pulg	5.6 pulg	5.8 pulg	6.0 pulg	6.2 pulg
870	2.18	2.39	2.59	2.79	2.99	3.19	3.39	3.59	3.79
1160	2.70	2.96	3.22	3.48	3.74	3.99	4.25	4.50	4.75
1750	3.58	3.94	4.30	4.66	5.01	5.35	5.70	6.05	6.39
200	0.68	0.73	0.79	0.84	0.90	0.95	1.00	1.05	1.10
400	1.19	1.29	1.39	1.49	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00
600	1.64	1.79	1.93	2.08	2.22	2.37	2.51	2.65	2.79
800	2.05	2.24	2.43	2.61	2.80	2.99	3.17	3.35	3.53

			3			9	7	6	4
1000	2.42	2.65	2.88	3.11	3.34	3.56	3.79	4.01	4.23
1200	2.77	3.04	3.31	3.57	3.83	4.10	4.36	4.61	4.87
1400	3.09	3.39	3.70	4.00	4.29	4.59	4.88	5.17	5.46
1600	3.38	3.72	4.05	4.39	4.72	5.04	5.36	5.68	6.00
1800	3.64	4.01	4.38	4.74	5.10	5.45	5.80	6.15	6.48
2000	3.88	4.28	4.67	5.06	5.44	5.82	6.19	6.55	6.91
2200	4.08	4.51	4.93	5.34	5.74	6.14	6.53	6.91	7.28
2400	4.26	4.71	5.15	5.58	6.00	6.41	6.81	7.20	7.59
2600	4.41	4.87	5.33	5.77	6.21	6.63	7.04	7.44	7.82
2800	4.52	5.00	5.47	5.92	6.37	6.79	7.21	7.62	7.99
3000	4.60	5.09	5.57	6.03	6.47	6.90	7.31	7.70	8.08
3200	4.64	5.14	5.62	6.08	6.53	6.95	7.35	7.73	8.09
3400	4.65	5.15	5.63	6.09	6.52	6.93	7.32	7.68	8.02
3600	4.62	5.12	5.59	6.04	6.46	6.85	7.22	7.55	7.85
3800	4.55	5.04	5.50	5.93	6.33	6.70	7.04	7.33	7.60
4000	4.44	4.92	5.36	5.77	6.14	6.48	6.78	7.03	7.25
4200	4.28	4.74	5.16	5.54	5.88	6.18	6.43		
4400	4.08	4.52	4.91	5.25	5.55	5.80			
4600	3.83	4.24	4.59	4.90					
4800	3.53	3.90	4.22						
5000	3.19	3.51							

Nota. Fuente: F. Dávila (UNI), "Diseño de elementos de máquinas"

Anexo 2.19

Tabla 47

Potencia adicional por relación de transmisión

Relación de transmisión			Sección de faja				
			A	B	C	D	E
0.00	a	1.01	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.02	a	1.04	0.00180	0.00472	0.0131	0.0466	0.0890
1.05	a	1.08	0.00360	0.00944	0.0263	0.0931	0.1780
1.09	a	1.12	0.00539	0.01415	0.0394	0.1397	0.2670
1.13	a	1.18	0.00719	0.01887	0.0525	0.1863	0.3560
1.19	a	1.24	0.00899	0.02359	0.0656	0.2329	0.4450
1.25	a	1.34	0.01079	0.02831	0.0788	0.2794	0.5340
1.35	a	1.51	0.01259	0.03303	0.0919	0.3260	0.6230
1.52	a	1.99	0.01439	0.03774	0.1050	0.3726	0.7120
2.00	ó	más	0.01618	0.04246	0.1182	0.4191	0.8010

Anexo 2.20

Tabla 48

Parámetros y caídas de tensión de los cables autos portados.

Formación	Resistencia del conductor de fase		Resistencia del conductor de alumbrado público		Resistencia del conductor neutro		Reactancia Inductiva		Factor de caída de tensión			Capacidad de corriente A 40°C	
	A 20°C	A 40°C	A 20°C	A 40°C	A 20°C	A 40°C	XL (30)	XL (10)	K (380-220V)	K (440-220V)	K (380-VAP)	Cond. Fase	Cond. A.p.
2x16+16/25	1.910	2.045	1.910	2.045	1.38	1.478	0.098	0.096	3.538	3.766	3.272	64	64
2x16/25	1.910	2.045	0	0	1.38	1.478	0	0.096	0	3.766	3.272	64	0

Anexo 3

Anexo 3.1

Tabla 49

Demanda residencial

UTILIDAD	Pot. (W)	CS %	N°	Pot. Inst.	Horario de uso							Tot. horas	Energía (kWh)		
					0 a 4	4 a 6	6 a 12	12 a 14	14 a 17	17 a 19	19 a 22		22 a 24	Día	Año
ILUMINACION															
Sala	80	0.5	316	12,640		X					X		5	63.2	23,068
Comedor	80	0.3	60	1,440		x					x		5	7.2	2,628
Dormitorio 1	80	0.3	316	7,584		X					X		5	37.92	13,840.8
Dormitorio 2	80	0.3	70	1,680		X					X		5	8.4	3,066
Dormitorio 3	80	0.3	10	240		X					X		5	1.2	438
Baño	80	0.1	90	720		X					X		5	3.6	1,314
Puerta de entrada	100	1.0	85	8,500	X						X	X	9	76.5	27,922.5
ALIMENTACION															
Nevera	250	0.2	40	2,000			X	X	X	X			13	26	9,490
Estufa dos boquillas	3,000	0.2	10	6,000				X		X			4	24	8,760
Licuada	100	0.1	10	100				X					2	0.2	73
RECREACION															
Televisión	100	0.8	40	3200		X		X			X		7	22.4	8,176
Equipo de sonido	100	0.3	25	750		X	X		X				11	8.25	3,011.3
Grabadora	40	0.8	10	320		X		X		X			6	1.92	700.8
OTROS															
Plancha	1000	0.2	15	3000		X							2	6	2,190
computadora	240	0.3	2	144					X	X	X		8	1.2	420.5
TOTAL				48,316	8,500	31,574	2,750	11,620	2,894	8,464	36,148	8,500	92	287.99	92,642.1

Tabla 50

Demanda industrial, comercial y por servicios publicos

Utilidad (Usuarios representativ os)	Pot. Vat.	Nº	CS %	Pot. Inst.	Horario de uso (horas)								Tot. horas Día	Energía (kWh) Año	
					0 - 4	4 - 6	6 - 12	12 - 14	14 - 17	17 - 19	19 - 22	22 - 24			Horas
Industrial y comercial															
Procesadora de palta	5000	1	0.6	3,000			X	X	X	X	X		13	39	14,235
Aserrío	2500	1	0.7	1,750			x	x	x				11	192.5	70,262.5
TOTAL	7,500						4,750	4,750	4,750	3,000	3,000		24	231.5	84,497.5
Servicios públicos															
Escuela	1500	2	0.3	900	X					X	X	X	11	9.9	3,613.5
Salud: iluminación	1000	2	0.4	800	X	X				X	X	X	15	12	4,380
Salud: otros equipos	1000	2	0.7	1400			X		X	X			11	15.4	5,621
Alumbrado publico	8000	1	1.0	8000	X						X	X	8	64	23,360
Iglesia	450	1	0.2	90	X						X	X	8	0.72	262.8
Comunicaci ones	1000	1	0.6	600			X	X	X	X			13	7.8	2,847
Agua potable	2000	1	1.0	2000		X	X	X	X	X	X	X	20	40	14,600
Entidades publica	2000	1	1.0	2000	X						X	X	8	16	5,840
Casa comunal	500	1	0.5	250	X						X	X	8	2	730
Junta de acción comunal	300	1	0.5	150	X						X		8	1.2	438
TOTAL	17,750				20,140	800	1,400	2,600	4,000	5,700	14,190	14,040	134	169.02	61,692.3

Tabla 51

Utilidad	Potencia	CS %	Horario de uso (hora)								Energía kW.h	
			0-4	4-6	6-12	12-14	14-17	17-19	19-22	22-24	Día	Año
Residencial	48,316		8,500	31,574	2,750	11,620	2,894	8,464	36,148	8,500	287.99	92,642.1
Industrial y comercial	7,500		0	0	4,750	4,750	4,750	3,000	3,000	0	231.5	84,497.5
Servicio publico	17,750		20,140	800	1,400	2,600	4,000	5,700	14,190	14,040	169.02	61,692.3
TOTAL	73,566		28,640	32,374	8,900	18,950	11,644	17,164	53,188	22,540	688.51	238,831.9

Demanda total

Tabla 52*Inversiones en la MCH de 140kW*

Inversiones	Total US\$	Año 1 US\$	Año 2US\$
Obras civiles	50,000	50,000	
Equipo electromecnico	83,000		83,000
Sub-estacion	20,000		20,000
Linea de Sub-transmision	52,000		52,000
Red primaria	6,000		6,000
Sub-Estacion de Distribucion	11,000		11,000
TOTALES	222,000	50,000	172,000

Tabla 53*Venta anual de energia*

Venta anual de Energia	
Años	kWh
3 a 5	50,000
6 a 10	75,000
11 a 15	140,000
16 a 20	180,000
21 a 25	200,000
25 a 30	250,000

Tabla 54*Ingresos por venta de energia a US\$ 15 centavos el kWh*

Años	kWh	Ingresos por venta de Energia 15 céntimos US\$
3 a 5	50,000	7500
6 a 10	75,000	11250
11 a 15	140,000	21000
16 a 20	180,000	27000
21 a 25	200,000	30000
25 a 30	250,000	37500

Figura 17
Factor del valor actual

		Hallar "P" dado "F" (P/R, i, n)														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	25	30
1	n	0.9901	0.9804	0.9615	0.9615	0.9524	0.9434	0.9346	0.9259	0.9174	0.9091	0.8929	0.8696	0.8333	0.8000	0.7692
2		0.9803	0.9612	0.9426	0.9246	0.9070	0.8900	0.8734	0.8573	0.8417	0.8265	0.8092	0.7972	0.7562	0.6400	0.5917
3		0.9706	0.9423	0.9152	0.8890	0.8638	0.8396	0.8163	0.7938	0.7722	0.7513	0.7118	0.6575	0.5787	0.5120	0.4552
4		0.9610	0.9239	0.8855	0.8548	0.8227	0.7921	0.7629	0.7350	0.7084	0.6830	0.6335	0.5718	0.4823	0.4096	0.3501
5		0.9515	0.9057	0.8626	0.8219	0.7835	0.7473	0.7130	0.6806	0.6499	0.6209	0.5674	0.4972	0.4019	0.3277	0.2693
6		0.9421	0.8880	0.8375	0.7903	0.7462	0.7050	0.6664	0.6302	0.5963	0.5646	0.5066	0.4323	0.3349	0.2622	0.2072
7		0.9327	0.8706	0.8114	0.7599	0.7267	0.6851	0.6428	0.6035	0.5470	0.5132	0.4524	0.3759	0.3291	0.2097	0.1594
8		0.9235	0.8535	0.7894	0.7307	0.6708	0.6274	0.5820	0.5403	0.5019	0.4665	0.4039	0.3269	0.2326	0.1678	0.1225
9		0.9143	0.8368	0.7664	0.7026	0.6446	0.5919	0.5439	0.5003	0.4604	0.4241	0.3606	0.2843	0.1938	0.1342	0.0943
10		0.9053	0.8204	0.7441	0.6756	0.6139	0.5584	0.5084	0.4632	0.4224	0.3856	0.3220	0.2472	0.1615	0.1074	0.0725
11		0.8963	0.8043	0.7224	0.6496	0.5847	0.5268	0.4751	0.4289	0.3875	0.3505	0.2875	0.2150	0.1346	0.0859	0.0558
12		0.8875	0.7885	0.7014	0.6246	0.5568	0.4970	0.4440	0.3971	0.3555	0.3186	0.2567	0.1869	0.1122	0.0687	0.0429
13		0.8787	0.7730	0.6810	0.6006	0.5303	0.4688	0.4150	0.3677	0.3262	0.2897	0.2292	0.1625	0.0935	0.0550	0.0330
14		0.8700	0.7579	0.6611	0.5775	0.5051	0.4423	0.3878	0.3405	0.2993	0.2633	0.2046	0.1413	0.0779	0.0440	0.0254
15		0.8614	0.7430	0.6419	0.5553	0.4810	0.4173	0.3625	0.3153	0.2475	0.2394	0.1827	0.1229	0.0649	0.0352	0.0195
16		0.8528	0.7285	0.6232	0.5339	0.4581	0.3937	0.3387	0.2919	0.2519	0.2176	0.1631	0.1069	0.0541	0.0282	0.0150
17		0.8444	0.7142	0.6050	0.5194	0.4363	0.3714	0.3166	0.2703	0.2311	0.1979	0.1457	0.0929	0.0451	0.0225	0.0116
18		0.8360	0.7002	0.5874	0.4936	0.4155	0.3504	0.2959	0.2503	0.2120	0.1799	0.1300	0.0808	0.0376	0.0180	0.0089
19		0.8277	0.6864	0.5703	0.4747	0.3957	0.3305	0.2765	0.2317	0.1945	0.1635	0.1161	0.0703	0.0313	0.0144	0.0069
20		0.8196	0.6730	0.5537	0.4564	0.3769	0.3118	0.2584	0.2146	0.1784	0.1487	0.1037	0.0611	0.0261	0.0115	0.0053
21		0.8114	0.6598	0.5376	0.4388	0.3590	0.2942	0.2415	0.1987	0.1637	0.1351	0.0926	0.0531	0.0217	0.0092	0.0041
22		0.8034	0.6468	0.5319	0.4220	0.3419	0.2775	0.2257	0.1840	0.1502	0.1229	0.0827	0.0462	0.0181	0.0074	0.0031
23		0.7955	0.6342	0.5067	0.4057	0.3256	0.2618	0.2110	0.1703	0.1378	0.1117	0.0738	0.0402	0.0151	0.0059	0.0024
24		0.7876	0.6217	0.4919	0.3901	0.3101	0.2470	0.1972	0.1577	0.1264	0.1015	0.0659	0.0349	0.0126	0.0047	0.0019
25		0.7798	0.6095	0.4776	0.3751	0.2953	0.2330	0.1843	0.1460	0.1160	0.0923	0.0588	0.0304	0.0105	0.0038	0.0014
26		0.7721	0.5976	0.4637	0.3607	0.2813	0.2198	0.1722	0.1352	0.1064	0.0839	0.0525	0.0264	0.0087	0.0030	0.0011
27		0.7644	0.5859	0.4502	0.3468	0.2679	0.2074	0.1609	0.1252	0.0976	0.0763	0.0469	0.0230	0.0073	0.0024	0.0008
28		0.7368	0.5744	0.4371	0.3335	0.2551	0.1956	0.1504	0.1159	0.0896	0.0694	0.0419	0.0200	0.0061	0.0019	0.0007
29		0.7484	0.5631	0.4244	0.3207	0.2430	0.1846	0.1406	0.1073	0.0822	0.0680	0.0374	0.0174	0.0051	0.0016	0.0005
30		0.7419	0.5521	0.4120	0.3083	0.2314	0.1741	0.1314	0.0994	0.0754	0.0573	0.0334	0.0151	0.0042	0.0012	0.0004
31		0.7346	0.5413	0.4000	0.2965	0.2204	0.1653	0.1228	0.0920	0.0692	0.0521	0.0298	0.0131	0.0035	0.0010	0.0003
32		0.7273	0.5306	0.3683	0.2851	0.2099	0.1550	0.1148	0.0852	0.0634	0.0474	0.0266	0.0114	0.0029	0.0008	0.0002
33		0.7201	0.5202	0.3770	0.2741	0.1999	0.1462	0.1072	0.0789	0.0562	0.0431	0.0238	0.0099	0.0024	0.0006	0.0002
34		0.7130	0.5100	0.3661	0.2636	0.1904	0.1379	0.1002	0.0731	0.0534	0.0392	0.0212	0.0086	0.0020	0.0005	0.0001
35		0.7059	0.5000	0.3554	0.2534	0.1813	0.1301	0.0937	0.0676	0.0490	0.0356	0.0189	0.0075	0.0017	0.0004	0.0001

Nota: Elaboración propia adaptada del manual de mini y microcentrales hidroeléctricas. (1996). p. 260.

Figura 18
Factor de valor actual

Hallar "P" dado "A" (P/A i, n)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	25	30
1	0.9901	0.9804	0.9709	0.9615	0.9524	0.9434	0.9346	0.9259	0.9174	0.9091	0.8929	0.8696	0.8333	0.8000	0.7692
2	0.9704	1.9416	1.9135	1.8861	1.8594	1.8334	1.8080	1.7833	1.7591	1.7355	1.6929	1.6257	1.5278	1.4400	1.3610
3	2.9410	2.8839	2.8288	2.7751	2.7233	2.6730	2.6243	2.5771	2.5313	2.4869	2.4018	2.2832	2.1065	1.9520	1.8161
4	3.9020	3.8077	3.7171	3.6299	3.5460	3.4651	3.3872	3.3121	3.2397	3.1699	3.0374	2.8550	2.5987	2.3616	2.1663
5	4.8534	4.7135	4.5797	4.4518	4.3295	4.2124	4.1002	3.9927	3.8897	3.7908	3.6048	3.3522	2.9906	2.6893	2.4356
6	5.7955	5.6014	5.4172	5.2421	5.0757	4.9173	4.7665	4.6229	4.4859	4.3553	4.1114	3.7845	3.3255	2.9514	2.6428
7	6.7282	6.4720	6.2303	6.0021	5.7864	5.5824	5.3893	5.2064	5.0330	4.8684	4.5638	4.1604	3.6064	3.1611	2.8021
8	7.6517	7.3255	7.0197	6.7328	6.4632	6.2098	5.9713	5.7466	5.5348	5.3349	4.9873	4.4873	3.8372	3.3289	2.9247
9	8.5660	8.1622	7.7861	7.4353	7.1078	6.8017	6.5152	6.2469	5.9953	5.7590	5.3283	4.7716	4.0310	3.4631	3.0190
10	9.4713	8.9826	8.5302	8.1109	7.7217	7.3601	7.0236	6.7101	6.4177	6.1446	5.6502	5.0188	4.1925	3.5705	3.0915
11	10.3676	9.7669	9.2526	8.7605	8.3064	7.8869	7.4987	7.1390	6.8052	6.4751	5.9377	5.2337	4.3271	3.6564	3.1473
12	11.2551	10.5754	9.9540	9.3851	8.8533	8.3539	7.8927	7.5361	7.1607	6.8137	6.1944	5.4206	4.4392	3.7251	3.1903
13	12.1338	11.3484	10.6350	9.9657	9.3336	8.8237	8.3577	7.9038	7.4869	7.1034	6.4236	5.5832	4.5327	3.7801	3.2233
14	13.0037	12.1063	11.2961	10.5631	9.8987	9.2950	8.7455	8.2442	7.7862	7.3657	6.6282	5.7245	4.6106	3.8241	3.2487
15	13.8651	12.8493	11.9379	11.1184	10.3797	9.7123	9.1079	8.5595	8.0607	7.6061	6.8109	5.8474	4.6755	3.8593	3.2682
16	14.7179	13.5777	12.5611	11.6523	10.8378	10.1059	9.4467	8.8514	8.3126	7.8237	6.9740	5.9542	4.7296	3.8874	3.2832
17	15.5623	14.2919	13.1661	12.1657	11.2741	10.4773	9.7632	9.1216	8.5436	8.0216	7.1196	6.0472	4.7746	3.9099	3.2948
18	16.3993	14.9920	13.7535	12.6593	11.6896	10.8276	10.0591	9.3719	8.7556	8.2014	7.2497	6.1280	4.8122	3.9280	3.3037
19	17.2260	15.6785	14.3238	13.1339	12.0853	11.1581	10.3356	9.6036	8.9501	8.3649	7.3658	6.1982	4.8435	3.9424	3.3105
20	18.0456	16.3514	14.8775	13.5903	12.4622	11.4699	10.5940	9.8182	9.1286	8.5136	7.4695	6.2593	4.8696	3.9539	3.3158
21	18.8570	17.0112	15.4150	14.0292	12.8212	11.7641	10.8355	10.0168	9.2923	8.6487	7.5820	6.3125	4.8913	3.9631	3.3199
22	19.6604	17.6581	15.9369	14.4511	13.1630	12.0416	11.0613	10.2008	9.4424	8.7716	7.6447	6.3687	4.9094	3.9705	3.3230
23	20.4558	18.2922	16.4436	14.8586	13.4886	12.3034	11.2722	10.3711	9.5802	8.8832	7.7184	6.3988	4.9245	3.9764	3.3254
24	21.2434	18.9139	16.9356	15.2470	13.7987	12.5504	11.4593	10.5288	9.7066	8.9848	7.7943	6.4338	4.9371	3.9811	3.3272
25	22.0232	19.5235	17.4132	15.6221	14.0940	12.7834	11.6536	10.6748	9.8226	9.0771	7.8431	6.4642	4.9476	3.9849	3.3286
26	22.7952	20.1210	17.8769	15.9828	14.3752	13.0032	11.8258	10.8100	9.9290	9.1610	7.8957	6.4906	4.9563	3.9879	3.3297
27	23.5596	20.7069	18.3270	16.3296	14.6430	13.2105	11.9867	10.9352	10.0285	9.2372	7.9426	6.5105	4.9636	3.9903	3.3305
28	24.3165	21.2813	18.7641	16.6631	14.8981	13.4062	12.1371	11.0511	10.1161	9.3066	7.9844	6.5335	4.9697	3.9923	3.3312
29	25.0658	21.8444	19.1885	16.9837	15.1441	13.5907	12.2777	11.1584	10.1983	9.3596	8.0218	6.5509	4.9747	3.9938	3.3317
30	25.8077	22.3965	19.6005	17.2920	15.3725	13.7648	12.4091	11.2578	10.2737	9.4269	8.0552	6.5660	4.9789	3.9951	3.3321
31	26.5423	22.9377	20.0004	17.5885	15.5928	13.9291	12.5318	11.3498	10.3428	9.4790	8.0850	6.5791	4.9825	3.9960	3.3324
32	27.2696	23.4683	20.3888	17.8736	15.8027	14.0841	12.6466	11.4350	10.4063	9.5264	8.1116	6.5905	4.9854	3.9968	3.3326
33	27.9897	23.9886	20.7658	18.1477	16.0026	14.2302	12.7538	11.5139	10.4645	9.5894	8.1354	6.6005	4.9878	3.9975	3.3328
34	28.7027	24.4986	21.1318	18.4112	16.1929	14.3682	12.8540	11.5969	10.5178	9.6086	8.1566	6.6091	4.9899	3.9980	3.3329
35	29.4086	24.9986	21.4872	18.6646	16.3742	14.4983	12.9477	11.6546	10.5668	9.6442	8.1755	6.6166	4.9915	3.9984	3.3330

Nota: Elaboración propia adaptada del manual de mini y microcentrales hidroeléctricas. (1996).

Año	Demanda Residencial				Demanda Industrial / comercial				Demanda servicios publicos				Demanda total	
	Potencia		Energia		Potencia		Energia		Potencia		Energia		Potencia	Energia
	%	Vatios	%	kWh-año	%	Vatios	%	kWh-año	%	Vatios	%	kWh-año	Vatios	kWh-año
0	0	36,148	0	92,642.10	0	3000.0	0	84,497.50	0	14,190	0	61,692.30	53,338	238,831.9
1	1.20%	36581.8	1.20%	93,753.8	1.20%	3036.0	1.20%	85511.5	1.20%	14360.28	1.20%	62,432.6	53,978	241,697.9
2	1.20%	37020.8	1.20%	94,878.9	1.20%	3072.4	1.20%	86537.6	1.20%	14532.6	1.20%	63,181.8	54,626	244,598.3
3	1.20%	37465.0	1.20%	96,017.4	1.20%	3109.3	1.20%	87576.1	1.20%	14707.0	1.20%	63,940.0	55,281	247,533.4
4	1.20%	37914.6	1.20%	97,169.6	1.20%	3146.6	1.20%	88627.0	1.20%	14883.5	1.20%	64,707.3	55,945	250,503.8
5	1.20%	38369.6	1.20%	98,335.6	1.20%	3184.4	1.20%	89690.5	1.20%	15062.1	1.20%	65,483.7	56,616	253,509.9
6	1.20%	38830.0	1.20%	99,515.7	1.20%	3222.6	1.20%	90766.8	1.20%	15242.8	1.20%	66,269.6	57,295	256,552.0
7	1.20%	39296.0	1.20%	100,709.9	1.20%	3261.3	1.20%	91856.0	1.20%	15425.7	1.20%	67,064.8	57,983	259,630.6
8	1.20%	39767.5	1.20%	101,918.4	1.20%	3300.4	1.20%	92958.3	1.20%	15610.8	1.20%	67,869.6	58,679	262,746.2
9	1.20%	40244.7	1.20%	103,141.4	1.20%	3340.0	1.20%	94073.8	1.20%	15798.2	1.20%	68,684.0	59,383	265,899.1
10	1.20%	40727.7	1.20%	104,379.1	1.20%	3380.1	1.20%	95202.6	1.20%	15987.8	1.20%	69,508.2	60,095	269,089.9
11	1.20%	41216.4	1.20%	105,631.6	1.20%	3420.6	1.20%	96345.1	1.20%	16179.6	1.20%	70,342.3	60,817	272,319.0
12	1.20%	41711.0	1.20%	106,899.2	1.20%	3461.7	1.20%	97501.2	1.20%	16373.8	1.20%	71,186.4	61,546	275,586.8
13	1.20%	42211.5	1.20%	108,182.0	1.20%	3503.2	1.20%	98671.2	1.20%	16570.2	1.20%	72,040.7	62,285	278,893.9
14	1.20%	42718.1	1.20%	109,480.2	1.20%	3545.3	1.20%	99855.3	1.20%	16769.1	1.20%	72,905.1	63,032	282,240.6
15	1.20%	43230.7	1.20%	110,794.0	1.20%	3587.8	1.20%	101053.5	1.20%	16970.3	1.20%	73,780.0	63,789	285,627.5
16	1.20%	43749.4	1.20%	112,123.5	1.20%	3630.9	1.20%	102266.2	1.20%	17174.0	1.20%	74,665.4	64,554	289,055.0
17	1.20%	44274.4	1.20%	113,469.0	1.20%	3674.4	1.20%	103493.4	1.20%	17380.1	1.20%	75,561.3	65,329	292,523.7
18	1.20%	44805.7	1.20%	114,830.6	1.20%	3718.5	1.20%	104735.3	1.20%	17588.6	1.20%	76,468.1	66,113	296,034.0
19	1.20%	45343.4	1.20%	116,208.6	1.20%	3763.1	1.20%	105992.1	1.20%	17799.7	1.20%	77,385.7	66,906	299,586.4
20	1.20%	45887.5	1.20%	117,603.1	1.20%	3808.3	1.20%	107264.0	1.20%	18013.3	1.20%	78,314.3	67,709	303,181.4
21	1.20%	46438.2	1.20%	119,014.3	1.20%	3854.0	1.20%	108551.2	1.20%	18229.4	1.20%	79,254.1	68,522	306,819.6
22	1.20%	46995.4	1.20%	120,442.5	1.20%	3900.3	1.20%	109853.8	1.20%	18448.2	1.20%	80,205.1	69,344	310,501.4
23	1.20%	47559.4	1.20%	121,887.8	1.20%	3947.1	1.20%	111172.1	1.20%	18669.6	1.20%	81,167.6	70,176	314,227.5
24	1.20%	48130.1	1.20%	123,350.4	1.20%	3994.4	1.20%	112506.1	1.20%	18893.6	1.20%	82,141.6	71,018	317,998.2
25	1.20%	48707.6	1.20%	124,830.6	1.20%	4042.4	1.20%	113856.2	1.20%	19120.3	1.20%	83,127.3	71,870	321,814.2
26	1.20%	49292.1	1.20%	126,328.6	1.20%	4090.9	1.20%	115222.5	1.20%	19349.8	1.20%	84,124.8	72,733	325,675.9
27	1.20%	49883.6	1.20%	127,844.6	1.20%	4139.9	1.20%	116605.1	1.20%	19582.0	1.20%	85,134.3	73,606	329,584.0
28	1.20%	50482.2	1.20%	129,378.7	1.20%	4189.6	1.20%	118004.4	1.20%	19816.9	1.20%	86,156.0	74,489	333,539.0
29	1.20%	51088.0	1.20%	130,931.2	1.20%	4239.9	1.20%	119420.5	1.20%	20054.8	1.20%	87,189.8	75,383	337,541.5
30	1.20%	51701.1	1.20%	132,502.4	1.20%	4290.8	1.20%	120853.5	1.20%	20295.4	1.20%	88,236.1	76,287	341,592.0

Anexo 3.2 Crecimiento de la demanda por potencia y por energia según el tipo de usuario

Anexo 3.3

Figura 19

Pliego tarifario correspondiente a Cascajal

BAJA TENSIÓN		UNIDAD	TARIFA Sin IGV
TARIFA BT2:	TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE DOS POTENCIAS 2E2P		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	8.02
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S./kWh	16.39
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S./kWh	14.72
	Cargo por Potencia Activa de Generación en HP	S./kW-mes	32
	Cargo por Potencia Activa de Distribución en HP	S./kW-mes	53.97
	Cargo por Exceso de Potencia Activa de Distribución en HFP	S./kW-mes	39.47
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S./kVar.h	3.54
TARIFA BT3:	TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 2E1P		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	8.02
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S./kW.h	16.39
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S./kW.h	14.72
	Cargo por Potencia Activa de generación para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S./kW-mes	24.11
	Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	21.61
	Cargo por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S./kW-mes	53.27
	Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	50.71
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S./kVar.h	3.54
TARIFA BT4:	TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 1E1P		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	8.02
	Cargo por Energía Activa	ctm. S./kW.h	15.17
	Cargo por Potencia Activa de generación para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S./kW-mes	24.11
	Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	21.61
	Cargo por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S./kW-mes	53.27
	Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	50.71
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S./kVar.h	3.54
TARIFA BT5A:	TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA 2E		
	a) Usuarios con demanda máxima mensual de hasta 20kW en HP y HFP		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	8.02
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S./kW.h	111.7
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S./kW.h	14.72
	Cargo por Exceso de Potencia en Horas Fuera de Punta	S./kW-mes	49.19
	b) Usuarios con demanda máxima mensual de hasta 20kW en HP y 50kW en HFP		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	8.02
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S./kW.h	132.77
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S./kW.h	14.72
	Cargo por Exceso de Potencia en Horas Fuera de Punta	S./kW-mes	49.19
TARIFA BT5B:	TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA 1E		
No Residencial	Cargo Fijo Mensual	S./mes	3.08
	Cargo por Energía Activa	ctm. S./kW.h	43.52

Nota. Fuente. OSINERGMIN – diciembre 2016

Rio Santa - estación de control hidrométrico condorcero

descargas medias mensuales (m³/s)

periodo 1956 - 2013
sin años niños: 1982-1983-1997-1998

Rio: Santa
estación: condorcero
área: 10156 km²

latitud: 08° 39' 14"
longitud: 78° 15' 29"
altitud: 450 msnm

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media
1	403,15	711,05	740,34	616,43	188,65	95,92	68,98	67,16	74,22	131,70	202,91	276,63	298,09
2	369,10	520,32	599,96	538,8	171,35	93,50	68,11	63,09	72,39	121,96	172,96	275,85	255,61
3	367,91	512,77	506,40	429,83	170,27	87,06	67,84	62,84	72,04	115,50	171,01	239,43	233,58
4	360,46	508,92	505,34	415,39	168,89	84,85	64,30	61,31	67,99	108,73	166,60	238,56	229,28
5	302,02	477,12	500,89	387,08	161,83	78,65	63,56	60,20	65,88	106,68	164,30	225,99	216,18
6	301,59	471,80	492,13	379,45	158,95	78,33	61,39	60,17	64,88	100,53	157,58	220,44	212,27
7	254,42	424,45	489,16	366,02	155,39	76,40	60,41	56,22	64,86	99,31	145,97	202,40	199,58
8	252,91	417,22	471,48	361,44	152,48	72,69	59,84	54,08	64,45	97,20	143,37	195,03	195,18
9	252,02	409,43	469,55	346,45	145,97	72,51	59,20	53,48	62,97	97,17	138,92	183,80	190,96
10	245,52	339,42	456,81	345,41	135,05	71,04	58,63	53,24	61,74	96,51	128,11	183,20	181,22
11	239,76	332,25	418,23	330,61	131,42	70,38	57,89	52,92	60,55	96,20	125,85	180,73	174,73
12	232,62	330,62	403,19	324,58	129,61	69,06	54,73	51,49	57,65	92,52	114,26	179,38	169,98
13	232,44	324,37	394,02	313,31	127,51	68,68	54,52	50,75	55,90	89,58	113,72	178,89	166,97
14	228,91	321,54	392,90	312,69	124,02	66,86	53,19	50,63	53,86	86,95	110,47	173,58	164,63
15	220,88	314,40	391,21	304,91	121,54	65,34	52,72	50,62	53,81	85,87	109,52	170,08	161,74
16	220,61	309,74	382,62	300,29	118,99	64,73	52,04	49,22	52,32	84,72	108,78	167,89	159,33
17	220,00	307,28	371,08	296,39	117,02	64,50	51,59	49,10	52,22	82,23	107,78	155,54	156,23
18	218,34	306,03	361,06	285,16	117,00	64,39	51,17	47,59	50,60	81,86	105,48	154,21	153,57
19	212,42	304,99	357,37	284,10	113,91	64,24	50,97	47,53	50,09	81,86	105,28	148,45	151,77
20	203,24	295,83	357,13	278,75	113,71	64,14	50,94	47,49	50,07	78,36	104,74	146,50	149,24
21	198,37	292,71	356,27	269,30	111,71	64,00	50,92	45,89	49,89	74,78	104,67	144,74	146,94
22	191,10	267,92	353,97	269,23	110,58	63,91	50,68	45,87	49,71	74,05	104,29	144,01	143,78
23	189,52	263,31	352,13	264,71	107,54	63,31	48,43	45,74	49,48	73,89	104,16	138,05	141,69
24	183,41	262,41	345,44	262,47	106,16	63,12	48,41	45,33	49,16	73,75	102,65	135,49	139,82
25	178,16	248,51	345,23	257,83	106,01	63,02	48,30	45,29	48,88	73,06	100,83	135,40	137,54
26	174,28	247,01	339,02	254,13	105,86	62,83	48,03	45,04	48,75	71,51	100,15	131,62	135,69

27	173,21	245,55	337,68	245,34	105,68	62,68	47,84	44,51	48,48	70,78	98,00	127,00	133,90
28	166,12	245,53	333,38	243,25	103,22	62,64	47,65	44,43	47,70	69,21	96,38	125,73	132,10
29	165,10	234,75	330,70	240,72	102,07	62,16	47,35	44,32	47,28	68,22	94,79	124,97	130,20
30	163,15	223,25	320,96	237,59	101,54	62,00	47,13	44,30	46,34	66,93	93,52	119,73	127,20
31	160,44	221,92	315,51	231,64	100,03	61,29	46,90	43,84	46,24	66,75	90,54	118,44	125,30
32	159,71	221,20	298,73	231,27	98,70	61,09	46,63	43,71	46,05	66,73	90,39	115,82	123,34
33	159,38	216,11	295,32	230,10	97,73	60,81	46,61	43,57	45,84	64,39	88,25	114,50	121,88
34	155,80	215,96	294,19	227,11	97,26	59,68	46,47	43,38	45,52	64,00	86,95	114,40	120,89
35	148,38	214,80	280,14	224,13	96,03	58,39	46,30	43,01	45,47	63,87	85,98	114,30	118,40
36	142,46	208,97	274,07	209,69	95,84	58,25	46,13	42,91	45,14	63,55	85,66	113,61	115,52
37	141,89	206,46	272,06	196,25	93,76	58,09	46,00	42,79	44,90	63,10	84,70	113,32	113,61
38	140,66	201,54	265,85	191,68	93,24	56,89	45,17	41,83	44,82	62,57	83,08	103,15	110,87
39	137,39	200,70	258,20	190,30	89,98	56,62	44,98	41,39	44,42	62,40	82,96	96,90	108,85
40	134,23	196,79	236,28	186,69	86,75	56,30	44,07	41,37	44,34	61,81	81,79	95,03	105,45
41	133,24	193,68	227,95	179,15	85,10	55,49	43,83	41,16	42,98	60,17	78,79	93,80	102,95
42	129,55	167,17	215,41	177,72	83,90	55,17	43,81	41,12	42,50	57,88	77,59	93,73	98,80
43	128,77	165,61	208,88	174,48	83,50	54,59	42,66	40,63	41,76	57,26	75,53	90,22	96,99
44	125,83	162,39	198,54	171,41	78,22	54,47	42,40	40,37	41,21	57,01	73,23	89,84	94,58
45	122,10	162,09	198,15	165,42	77,96	54,34	41,50	39,70	39,74	54,45	70,61	87,80	92,82
46	120,50	158,51	191,03	159,07	77,85	51,79	40,89	38,81	39,57	54,20	66,9	87,25	90,53
47	116,7	151,91	190,41	140,75	77,82	49,22	40,77	38,56	39,40	53,85	66,87	85,92	87,68
48	112,68	143,84	182,07	134,75	73,89	47,96	39,88	38,36	39,34	53,21	66,31	85,25	84,79
49	110,13	142,29	173,92	129,98	72,22	46,71	38,81	38,22	38,78	53,10	65,51	84,57	82,85
50	108,68	142,06	172,45	129,87	66,44	46,65	38,80	35,46	37,77	51,90	62,73	75,73	80,71
51	105,06	141,54	137,96	123,91	60,61	46,57	38,66	34,90	37,45	48,15	61,61	74,62	75,92
52	104,53	139,54	131,18	108,77	59,13	44,92	36,43	34,40	35,37	47,32	61,25	69,69	72,71
53	101,41	131,26	129,48	105,19	52,03	44,81	35,26	33,78	33,85	44,60	60,80	67,34	69,98
54	92,15	76,18	116,60	88,70	50,03	38,50	30,50	29,69	29,25	44,14	47,57	60,06	58,61
Promedio	189,12	271,35	328,52	256,85	108,00	62,62	49,26	46,16	49,74	74,59	101,72	138,31	139,69
D.S	74,20	123,32	126,59	104,55	32,15	11,72	8,57	8,00	10,31	20,42	33,35	52,99	50,05
C.Var.	0,392	0,454	0,385	0,407	0,298	0,187	0,174	0,173	0,207	0,274	0,328	0,383	0,358
Máximo	403,15	711,05	740,34	616,43	188,65	95,92	68,98	67,16	74,22	131,70	202,91	276,63	298,09
Mínimo	92,15	76,18	116,60	88,70	50,03	38,50	30,50	29,69	29,25	44,14	47,57	60,06	58,61