



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**MANUAL METODOLÓGICO PARA RESTAURAR LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA
DE LA ASOCIACIÓN DE AGRICULTORES Y CAMPESINOS DE LA COMUNIDAD
EL ARENAL EN EL MUNICIPIO DE SENAHÚ, ALTA VERAPAZ**

Cintia Noemy Rodas Torres

Asesorado por el Ing. Pablo Waldemar Muralles Muralles

Guatemala, octubre de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MANUAL METODOLÓGICO PARA RESTAURAR LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA
DE LA ASOCIACIÓN DE AGRICULTORES Y CAMPESINOS DE LA COMUNIDAD
EL ARENAL EN EL MUNICIPIO DE SENAHÚ, ALTA VERAPAZ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CINTIA NOEMY RODAS TORRES

ASESORADO POR EL ING PABLO WALDEMAR MURALLES MURALLES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO


DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Alan Geovani Cosillo Pinto
EXAMINADOR	Ing. Jorge Alejandro Arévalo Valdez
EXAMINADOR	Ing. Joel Eduardo Guerrero Espínola
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**MANUAL METODOLÓGICO PARA RESTAURAR LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA
DE LA ASOCIACIÓN DE AGRICULTORES Y CAMPESINOS DE LA COMUNIDAD
EL ARENAL EN EL MUNICIPIO DE SENAHÚ, ALTA VERAPAZ**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,
con fecha 21 de enero de 2011.


Cintia Noemy Rodas Torres

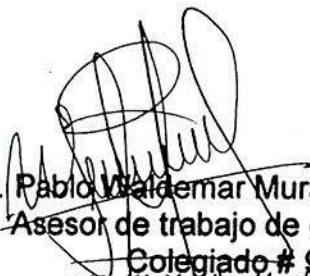
Guatemala, 24 de Abril de 2013

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela de Civil
Facultad de Ingeniería
Guatemala

Respetado Ingeniero:

Por medio de la presente, le informo que he asesorado y revisado el trabajo de graduación, con título: **MANUAL METODOLÓGICO PARA RESTAURAR LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE LA ASOCIACIÓN DE AGRICULTORES Y CAMPESINOS DE LA COMUNIDAD EL ARENAL EN EL MUNICIPIO DE SENAHÚ, ALTA VERAPAZ**, desarrollado por la estudiante Cintia Noemy Rodas Torres, con carné 2003-12534. El cual satisface los objetivos del mismo.

Al agradecer su amable atención y colaboración, me suscribo atentamente



Ing. Pablo Waldemar Muralles Muralles
Asesor de trabajo de graduación
Colegiado # 9367
Pablo W. Muralles Muralles
Ingeniero Civil
Col. 9,367



Guatemala,

10 de julio de 2013

Ingeniero

Hugo Leonel Montenegro Franco

Director Escuela Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación MANUAL METODOLÓGICO PARA RESTAURAR LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE LA ASOCIACIÓN DE AGRICULTORES Y CAMPESINOS DE LA COMUNIDAD EL ARENAL EN EL MUNICIPIO DE SENAHÚ, ALTA VERAPAZ, desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil Cintia Noemy Rodas Torres, quien contó con la asesoría del Ing. Pablo Waldemar Muralles Muralles

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Lic. Manuel María Guillén Salazar

Jefe del Departamento de Planeamiento



Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua
/bbdeb.






USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Pablo Waldemar Muralles Muralles y del Jefe del Departamento de Planeamiento, Lic. Manuel María Guillén Salazar, al trabajo de graduación del estudiante Cintia Noemy Rodas Torres, titulado **MANUAL METODOLÓGICO PARA RESTAURAR LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE LA ASOCIACIÓN DE AGRICULTORES Y CAMPESINOS DE LA COMUNIDAD EL ARENAL EN EL MUNICIPIO DE SENAHÚ, ALTA VERAPAZ**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, octubre de 2013.

/bbdeb.

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **MANUAL METODOLOGICO PARA RESTAURAR LA MINI CENTRAL HIDROELECTRICA DE LA ASOCIACIÓN DE AGRICULTORES Y CAMPESINOS DE LA COMUNIDAD EL ARENAL EN EL MUNICIPIO DE SENAHÚ, ALTA VERAPAZ**, presentado por la estudiante universitaria: **Cintia Noemy Rodas Torres**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Reinos
Decano



Guatemala, octubre de 2013

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por ser parte de mí vida y concederme, sabiduría, salud, bendiciones en todo momento, porque sin su ayuda este sueño no fuera realidad, gracias Dios por estar siempre conmigo.

Mi padre

Rodolfo Rodas, por ser el pilar más importante en mí vida, brindarme sabios consejos, sabiduría y por mostrarme que con humildad y sencillez se puede alcanzar una meta.

Mi madre

Nora Torres, por tener ese corazón tan noble, generoso y sincero que la caracteriza y por brindarme todos los días amor y apoyo incondicional.

Mi hija

Allison Rodas, por ser el motivo más grande de salir adelante, llenar cada momento en mí vida de felicidad y porque este triunfo sea un ejemplo para ella.

- Mi sobrina** Nicole Rodas, por brindarme una sonrisa tan encantadora en los momentos más difíciles y porque este éxito sea un ejemplo en su vida.
- Mi hermana** Damaris Rodas, por estar presente en cada momento, por su ayuda y por su apoyo incondicional.
- Mis abuelos** Bertha Santos (†), Feliciano Rodas (†), Carmenlinda Castañeda (†) y Clovis Najera (†), por ser parte fundamental en mí vida y brindarme su amor y aunque en vida no estén presentes se les sigue amando.
- Mi Novio** Raúl Ara, por brindarme su amor, su comprensión y su apoyo para lograr es sueño.
- Mi familia en general** En especial a Graciela y Carmen Rodas por su apoyo y cariño.
- Mis amigos** Dalia Hernández, Diana Garcia, Denise del Valle, Elida Florian, Imelda Arias, Ettie Espinoza, Judith Ramirez, Carlos Santos, Emmanuel Ramirez, Peter Rabateau, Erick Roman, Estuardo Menenses, Elda Santos, Raquel Arriola, Lilian Ruballos, Nineth Mejia, Marisol Pazos y Nohemi de Villagran, por brindarme una amistad sincera y un apoyo incondicional

Familia (†) y amigos (†)

Porque de una manera marcaron mí vida, fueron importantes y dejaron un recuerdo inolvidable en mí corazón Sonia Torres (†), Henry Torres (†), David Santos (†), Santana Santos (†), Norita Contreras (†), Eswin Aguilar (†), Juan Hernández (†), Leo Recinos (†), Omar Jerónimo (†), Faber Ramos (†) y Jaqueline Espinoza (†).

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por que todo lo puedo en Cristo que me fortalece (Filipenses 4:13).
Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser parte elemental en mi formación académica y profesional.
Ing. Joel Eduardo Guerrero Espinola	Por su colaboración en la asesoría del presente trabajo de graduación, depositando así su confianza en mí persona.
Lic. Manuel Maria Guillén Salazar	Por el tiempo y apoyo brindados para concluir con el presente trabajo de graduación.
Ing. Pablo Waldemar Muralles Muralles	Por la colaboración y apoyo para lograr esta meta.
Mi familia en general	Por confiar en mí.
Todos mis amigos en general	A todas la personas que de alguna manera colaboraron en mí formación profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	XI
LISTA DE SÍMBOLOS	XV
GLOSARIO.....	XIX
RESUMEN.....	XXIII
OBJETIVOS.....	XXV
INTRODUCCIÓN.....	XXVII
1. CARACTERÍSTICAS DE LA COMUNIDAD CAMPESINA EL ARENAL,MUNICIPIO DE SENAHÚ, ALTAVERAPAZ	1
1.1. Caracterización del municipio de Senahú.....	1
1.1.1. Breve historia.....	1
1.1.2. Localización	3
1.1.3. Extensión territorial	4
1.1.4. Orografía.....	4
1.1.5. Clima.....	4
1.1.6. Economía.....	4
1.1.7. Cultura	5
1.1.8. Educación	6
1.1.9. Salud.....	6
1.2. Caracterización de la Asociación de Agricultores y Campesinos de la Comunidad El Arenal (AACCC El Arenal)	7

1.2.1.	Breve historia.....	7
1.2.2.	Administración	7
1.2.3.	Estructura organizativa	8
1.2.4.	Producción agrícola.....	9
2.	GENERALIDADES	11
2.1.	Historia del sector eléctrico en Guatemala.....	11
2.2.	Sector eléctrico de Guatemala	13
2.2.1.	Generación.....	14
2.2.2.	Transporte	14
2.2.3.	Distribución.....	15
2.2.4.	Comercialización	17
2.2.5.	Mercado eléctrico	17
2.2.5.1.	Mercado regulado.....	17
2.2.5.2.	Mercado mayorista	18
2.3.	Marco legal del sector eléctrico	18
2.4.	Entidades relacionadas con el sector eléctrico.....	19
2.4.1.	Ministerio de Energía y Minas (MEM).....	20
2.4.2.	Dirección General de Energía Eléctrica (DGEE)	21
2.4.3.	Administrador del Mercado Mayorista	21
2.4.4.	Comisión Nacional de Energía Eléctrica	22
2.4.5.	Instituto Nacional de Electrificación (INDE)	23
2.4.6.	Otras entidades relacionadas	23

2.4.6.1.	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN).....	24
2.4.6.2.	Programa Nacional de Cambio Climático -Ministerio de Energía y Recursos Naturales-	24
2.5.	Oferta y demanda en el sector eléctrico de Guatemala.....	25
2.5.1.	Análisis de la demanda de potencia eléctrica	26
2.6.	Potencial energético renovable en Guatemala	27
2.7.	Distribución del consumo de energía eléctrica	28
2.8.	Generación Distribuida Renovable	29
3.	CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.....	31
3.1.	Definición.....	31
3.2.	Clasificación.....	31
3.2.1.	Centrales por potencia instalada	31
3.2.2.	Centrales de agua fluyente	32
3.2.3.	Centrales con regulación	32
3.3.	Ventajas y desventajas de centrales hidroeléctricas	33
3.4.	Estructuras principales que conforman una minicentral hidroeléctrica	34
3.4.1.	Obra civil.....	34
3.4.1.1.	Presa	34
3.4.1.2.	Obra de toma.....	35
3.4.1.3.	Desarenador	35

3.4.1.4.	Canal de derivación.....	35
3.4.1.5.	Cámara de carga.....	36
3.4.1.6.	Tubería forzada	36
3.4.1.7.	Casa de máquinas.....	36
3.4.1.8.	Canal de salida.....	36
3.4.2.	Equipo electromecánico	37
3.4.2.1.	Turbinas hidráulicas	37
3.4.2.2.	Criterios de clasificación de las turbinas hidráulicas.....	39
3.4.2.3.	Turbinas de acción o impulso.....	39
3.4.2.4.	Turbinas de reacción	40
3.4.2.5.	Turbinas de admisión parcial y admisión total.....	40
3.4.2.6.	Turbina Pelton	42
3.4.2.7.	Turbina Francis.....	43
3.4.2.8.	Turbina tipo Michel-Banki	46
3.4.2.9.	Turbinas Hélice, Semikaplan y Kaplan	47
3.4.2.10.	Generadores	49
3.4.2.11.	Elementos de regulación	50
3.4.2.12.	Transformadores	50
3.4.2.13.	Celdas y panel de control	50
3.4.2.14.	Línea eléctrica de interconexión	50

4.	QUERIMIENTOS PARA RESTAURAR CENTRALES HIDROELÉCTRICAS A PEQUEÑA ESCALA	51
4.1.	Aspectos socioeconómicos	51
4.1.1.	Características sobre los aspectos socioeconómicos	52
4.1.1.1.	Estimación de la población futura	52
4.1.2.	Fuentes de información	54
4.1.3.	Actividad económica	55
4.2.	Aspectos de mercado	55
4.3.	Geotecnia	56
4.3.1.	Mecánica de suelos	56
4.3.2.	Método de excavación	56
4.3.2.1.	Sondeo	57
4.3.2.2.	Perforaciones.....	57
4.3.2.3.	Pozos de inspección	57
4.4.	Geología	57
4.5.	Hidrología	58
4.5.1.	Métodos de medición de caudales.....	60
4.5.1.1.	Método volumétrico.....	61
4.5.1.2.	Método de sección por velocidad	61
4.5.1.3.	Determinación por medio de flotadores	62
4.5.1.4.	Determinación por medio de la pendiente	62

4.5.2.	Estudio hidrológico de la cuenca	63
4.5.3.	Determinación de la curva de duración de caudales	64
4.6.	Hidráulica	64
4.7.	Ambiente	65
4.7.1.	Evaluación de impacto ambiental	65
4.7.2.	Métodos de evaluación de impacto ambiental.....	65
4.7.2.1.	Método de RIAM.....	66
4.7.2.2.	Criterios de evaluación del método de RIAM	66
4.7.2.3.	Componentes ambientales del método de RIAM.....	68
4.7.2.4.	Evaluación de resultados del método de RIAM.....	69
4.8.	Obras civiles.....	70
4.8.1.	Criterios de diseño.....	71
4.8.1.1.	Presa	71
4.8.1.2.	Bocatoma	72
4.8.1.3.	Desarenador.....	73
4.8.1.4.	Canales	74
4.8.1.5.	Cámara de carga.....	75
4.8.1.6.	Aliviaderos de cámara de carga	75
4.8.1.7.	Tubería de presión	76
4.9.	Potencia de la turbina.....	76

4.10.	Selección de la turbina hidráulica	78
4.10.1.	Velocidad de giro de una turbina hidráulica	79
4.10.2.	Velocidad específica de una turbina hidráulica.....	79
4.10.3.	Dimensionamiento de la turbina Pelton	80
4.10.4.	Dimensionamiento de la turbina Francis.....	82
4.10.5.	Dimensionamiento de una turbina Michell-Banki	83
4.11.	Estudio económico y financieros	85
4.11.1.	Precio de la energía.....	85
4.11.2.	Factor de planta en minicentrales hidroeléctricas.....	86
4.11.3.	Flujo Neto Efectivo (FNE)	86
4.11.4.	Valor Actual Neto o Valor Presente Neto (VAN O VPN).....	87
4.11.5.	Tasa Interna de Retorno (TRI).....	88
4.11.6.	Análisis de viabilidad.....	89
5.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	91
5.1.	Antecedentes.....	91
5.2.	Objetivos del proyecto propuesto	91
5.3.	Justificación del proyecto propuesto.....	92
5.4.	Descripción del proyecto	93
5.4.1.	Planteamiento del problema	93
5.4.2.	Localización del proyecto.....	94
5.5.	Estimación de la oferta y demanda de energía eléctrica	94

5.5.1.	Oferta de energía eléctrica	94
5.5.2.	Estimación de la demanda actual.....	95
5.5.2.1.	Demanda residencial.....	95
5.5.2.2.	Demanda institucional	97
5.5.2.3.	Demanda industrial.....	98
5.5.2.4.	Demanda pública.....	100
5.5.2.5.	Demanda total de energía eléctrica	101
5.6.	Evaluación de la influencia en el ambiente	102
5.6.1.	Identificación de los impactos.....	102
5.6.2.	Evaluación de impacto ambiental	103
5.6.3.	Interpretación de resultados	105
5.7.	Optimización de la capacidad instalada del proyecto.....	108
5.7.1.	Selección de turbina	108
5.7.2.	Cálculo de la potencia a ser generada	109
5.8.	Aspectos económicos y financieros	109
5.8.1.	Análisis de costos.....	109
5.8.2.	Costo inicial	110
5.8.3.	Costos de operación y mantenimiento	111
5.8.4.	Costos financieros.....	117
5.8.5.	Cálculo de la cuota base	117
5.8.6.	Ingresos por conexiones a usuarios nuevos	118
5.8.7.	Flujo Neto de Efectivo	119
5.8.7.1.	Ingresos Flujo Neto de Efectivo.....	119

5.8.7.2.	Egresos Flujo Feto de Efectivo	120
5.8.7.3.	Flujo Neto de Efectivo (FNE)	121
5.8.7.4.	Flujo Acumulado de Efectivo (FAE)	121
5.9.	Evaluación económica y financiera.....	121
5.9.1.	Análisis de tabla de FNE.....	122
5.9.2.	Valor Presente Neto (VPN).....	123
5.9.3.	Tasa Interna de Retorno (TIR).....	125
5.9.4.	Viabilidad socioeconómica.....	127
CONCLUSIONES		129
RECOMENDACIONES.....		131
BIBLIOGRAFÍA.....		133
APÉNDICE.....		137

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Mapa de localización.....	3
2.	Estructura organizativa de la Asociación de Agricultores y Campesinos de la Comunidad El Arenal (AACC El Arenal)	8
3.	Cobertura de las empresas de distribución de energía eléctrica en Guatemala	16
4.	Demanda histórica del potencial y de energía para el Sistema Nacional Interconectado	26
5.	Turbina tipo Pelton.....	43
6.	Turbina tipo Francis	45
7.	Turbina tipo Michel-Banki.....	47
8.	Turbina tipo Kaplan.....	48
9.	Diagrama de selección de turbinas hidráulicas.....	78
10.	Dimensionamiento del álabe de una turbina Pelton.....	80
11.	Dimensiones básicas de una turbina Francis.....	83
12.	Histograma de evaluación de impactos	106

TABLAS

I.	Resumen sobre el potencial de recursos renovables en Guatemala.....	28
----	---	----

II.	Características principales de las turbinas hidráulicas	41
III.	Criterios para evaluación del impacto ambiental del método de RIAM.....	67
IV.	Rango de evaluación de resultados del método RIAM	70
V.	Eficiencia del grupo de generación	77
VI.	Velocidad de sincronismo de los generadores eléctricos.....	79
VII.	Criterio de decisión del VPN	87
VIII.	Criterio de decisión de la TIR.....	89
IX.	Estimación de la demanda de energía eléctrica para vivienda sin cocina.....	96
X.	Estimación de la demanda de energía eléctrica para vivienda con cocina	96
XI.	Estimación de la demanda de energía para iglesias.....	97
XII.	Estimación de la demanda de energía eléctrica para tiendas.....	98
XIII.	Estimación de la demanda de energía eléctrica para la infraestructura productiva	99
XIV.	Potencia de motores para el beneficio de café y cardamomo.....	100
XV.	Demanda pública.....	101
XVI.	Estimación de la demanda total de energía eléctrica	101
XVII.	Matriz de Impactos	104
XVIII.	Matriz de resultados	105
XIX.	Descripción del equipo electromecánico.....	111

XX.	Costos de inversión inicial de la minicentral hidroeléctrica de la AACC El Arenal.....	111
XXI.	Resumen de costos de operación y mantenimiento de la minicentral hidroeléctrica de la AACC El Arenal.....	112
XXII.	Estimación de costo del personal.....	113
XXIII.	Estimación de gastos administrativos	114
XXIV.	Costos de repuestos rotor 184 kW y generador 180 kW	116
XXV.	Cálculo del Valor Presente Neto.....	124
XXVI.	Cálculo de la Tasa Interna de Retorno	126

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área de sección.
C	Velocidad del chorro a la salida del inyector.
d	Diámetro de cada chorro.
D	Diámetro Pelton o rodete.
EO	Económico / Operacional .
fm	Factor multiplicador .
g	Gravedad .
GWh	Gigawatts hora.
H	Altura.
Hm	Altura de montaje.
Hz	Hertz.
kW	Kilowatts.
kWh	Kilowatts hora.
kWh/m²/día	Kilowatts hora por metro cuadrado por día.
L	Longitud del tramo.
MW	Megawatts.

N	Número de revoluciones.
n	Período de diseño.
N_s	Velocidad específica.
P	Población al tiempo t.
P	Potencia.
P₁	Población al tiempo t ₁ (censo más antiguo).
P₂	población al tiempo t ₂ (censo más reciente).
PC	Físico / Químico.
P_e	Perímetro mojado promedio del tramo.
Q	Caudal.
R	Radio hidráulico promedio.
r	Tasa de crecimiento geométrico.
rpm	Revoluciones por minuto.
S	Pendiente del tramo.
SC	Sociológico / cultural.
t	Tiempo.
t₁	Censo más antiguo.
t₂	Censo más reciente.
V	Volumen.
Z	Número de Alabes o cucharas.

μ	Coeficiente de rigurosidad.
φ	Coeficiente de velocidad.
ρ	Densidad.
η	Eficiencia de la turbina.

GLOSARIO

AACC	Asociación de Agricultores y Campesinos de la Comunidad.
Álabe	Paleta curva de una turbomáquina o máquina de fluido rotodinámica.
Alternador	Máquina eléctrica, capaz de transformar energía mecánica en energía eléctrica generando una corriente alterna.
BE	Biológico / Ecológico.
CAFESAN	Café Sano.
Cauce	Parte del fondo de un valle por donde discurren las aguas en su curso.
CC	Corriente Continua.
CD	Corriente Directa.
COCODES	Comités Comunitarios de Desarrollo.
COMEGSA	Comercializadora de Electricidad en Guatemala, S.A.
CUE	Costo Unitario de Energía.
DEOCSA	Distribuidora de Electricidad de Occidente Sociedad Anónima.

DEORSA	Distribuidora de Electricidad de Oriente Sociedad Anónima.
DGEE	Dirección General de Energía Eléctrica.
EBASCO	<i>Electric Bond & Share Co.</i>
EEGSA	Empresa Eléctrica de Guatemala Sociedad Anónima.
EEM	Empresas Eléctricas Municipales.
EPM	Empresas Públicas de Medellín.
Estiaje	Es el nivel de caudal mínimo que alcanza un río en algunas épocas del año, debido principalmente a la sequía.
ETCEE	Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica.
FEDECOVERA	Federación de Cooperativas de las Verapaces.
Fisiografías	Reconoce y delimita las diferentes formas de la tierra.
GDR	Generación Distribuida Renovable.
IGSS	Instituto Guatemalteco de Seguridad Social.
INDE	Instituto Nacional de Electrificación.
LGE	Ley General de Electricidad.
Licuefacción	Cambio de una sustancia del estado sólido o gaseoso al estado líquido.

MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
MCH	Minicentral hidroeléctrica.
MEM	Ministerio de Energía y Minas.
MER	Mercado Eléctrico Regional.
O&M	Operación y mantenimiento.
ONU	Organización Naciones Unidas.
PDM	Plan de Desarrollo Municipal.
PPA	Power Purchase Agreement.
RIAM	Matriz de Impacto Ambiental rápida.
SIN	Sistema Interconectado Nacional.
Status quo	Estado del momento actual.
Status quo	Estado en el momento actual.
Tipificación	Conjunto de características que son representativas de un modelo.
TRELEC	Transportista Eléctrica Centroamericana Sociedad Anónima.
Vulnerabilidad	Es la incapacidad de resistencia cuando se presenta un fenómeno amenazante.

RESUMEN

La energía eléctrica es de especial importancia debido a que es fundamental para el desarrollo industrial y económico de cualquier sociedad. A través del presente trabajo de graduación, se desarrolló la propuesta de una metodología para restaurar la minicentral hidroeléctrica de la Asociación de Agricultores y Campesinos de la Comunidad El Arenal (AACC El Arenal), en el municipio de Senahú Alta Verapaz.

Para adentrar al lector en el tema, se describen las características del municipio de Senahú y de la Asociación de Agricultores y Campesinos Comunidad El Arenal. Posteriormente, se presenta la historia de la electrificación en Guatemala, el marco legal y las entidades relacionadas al sector eléctrico como sus funciones y obligaciones que deben cumplir. Luego se dan a conocer los requerimientos necesarios para llevar a cabo la restauración de la minicentral hidroeléctrica de la AACC El Arenal.

Por último, se describe el proyecto en general y se muestra la propuesta para llevar a cabo la restauración.

OBJETIVOS

General

Proponer actividades para restaurar la minicentral hidroeléctrica de la Asociación de Agricultores y Campesinos Comunidad El Arenal, en el municipio de Senahú, Alta Verapaz.

Específicos

1. Determinar la metodología que permita el análisis de la viabilidad social del proyecto.
2. Establecer la demanda de energía eléctrica por parte de la comunidad, de tal manera que, se logre la cobertura a la población.
3. Proponer las actividades básicas de hidrología e hidráulica que permitan la realización de los respectivos estudios.
4. Proponer las actividades mínimas de geología y geofísica que permitan la realización de los respectivos estudios.
5. Proponer las actividades mínimas que permitan mitigar impactos negativos al ambiente al ser ejecutado el proyecto.

6. Establecer las obras de ingeniería civil necesarias para la ampliación de la Central Hidroeléctrica que permitan la generación esperada.
7. Proponer un sistema de unificación utilizando una turbina con mayor capacidad de generación de energía eléctrica.
8. Determinar el costo mínimo del kWh/mes que deben pagar los usuarios de tal manera que permita el autosostenimiento del proyecto.
9. Conocer la evaluación económica y financiera del proyecto.

INTRODUCCIÓN

La energía hidroeléctrica es una de las fuentes que más se ha aprovechado para la producción de electricidad en los últimos años en Guatemala. Los proyectos a pequeña escala son opciones que han demostrado ser apropiadas para ser desarrollados en las poblaciones rurales.

Guatemala en pleno siglo XXI no ha logrado proveer de electricidad a toda la población, siendo el área rural la más afectada. Contradictorio a lo anterior, el territorio es una región que cuenta con abundante recurso hídrico, el cual a la fecha no ha sido aprovechado adecuadamente. Los esfuerzos por parte de las entidades estatales y privadas no son suficientes para introducir este servicio a la población, que en su mayoría son de escasos recursos económicos. Actualmente, sólo cerca del 35 % de la generación eléctrica en Guatemala se hace de manera renovable, esto significa que el resto se logra por medio del consumo de combustibles fósiles, los cuales son de alto costo y contaminante al ambiente.

La generación de electricidad por medio de hidrocarburos tiene costos muy elevados, ya que el precio del petróleo en los últimos años ha sido inestable. Esta variabilidad en los costos de generación es trasladada al consumidor final, que en su mayoría son usuarios de bajos ingresos económicos.

El Gobierno de la República de Guatemala a través de la Ley General de Electricidad, ha estado promoviendo la inversión privada en proyectos de energías renovables, que permitan ampliar la capacidad de la red nacional o bien, electrificar comunidades aisladas, pero cercanas a la zona donde se desarrollan los proyectos energéticos y así depender menos de las centrales térmicas y reservas de carbón, utilizando una política de asociación público-privada para no caer de una crisis a otra, impactando directamente en el costo de vida de los habitantes del país.

La legislación guatemalteca a través del Decreto 93-96 del Congreso de la República, en su Artículo 8, permite la libre generación de energía eléctrica a personas individuales o jurídicas que posea una central de generación de energía eléctrica, quienes pueden comercializar total o parcialmente su producción. Por otra parte, el Decreto 52-2003 del Congreso de la República tiene como objetivo promover el desarrollo de proyectos de energía renovable y establecer los incentivos fiscales, económicos y administrativos para tal efecto.

Actualmente, la Asociación de Agricultores y Campesinos de la Comunidad El Arenal (AACC El Arenal), municipio de Senahú, departamento de Alta Verapaz, cuenta con una minicentral hidroeléctrica (MCH), la cual no está en funcionamiento, debido a que el equipo electromecánico es obsoleto y además fue dañado en una inundación durante el huracán Mitch, en noviembre de 1998.

El sistema cuenta con dos turbinas para conversión de energía hidráulica, uno para accionar una turbina tipo Pelton con la cual se generaba electricidad, para abastecer las oficinas, casa patronal y para iluminar el beneficio de café, esta parte en la actualidad se encuentra fuera de servicio; la segunda turbina se utiliza para mover una turbina más pequeña, también del tipo Pelton, con la cual se acciona por medio de un eje central toda la maquinaria del beneficio de café, este sistema en la actualidad se encuentra en funcionamiento. Este trabajo de graduación pretende proponer las actividades para restaurar y ampliar la capacidad de generación del sistema, para brindar energía eléctrica a por lo menos a 145 familias, tiendas, iglesias, escuela, centro de salud y áreas comunitarias.

1. CARACTERÍSTICAS DE LA COMUNIDAD CAMPESINA EL ARENAL, MUNICIPIO DE SENAHÚ, ALTAVERAPAZ

1.1. Caracterización del municipio de Senahú

Existen ciertas características en el municipio de Senahú que se mantienen invariables a través del tiempo como sus tradiciones y costumbres.

Dentro de los aspectos más importantes, se pueden mencionar los antecedentes históricos, geográficos, demográficos, división política-administrativa, servicios básicos, infraestructura social, organización social y productiva, entidades de apoyo y flujo comercial.

1.1.1. Breve historia

En 1869 el municipio de Senahú era una aldea y jurisdiccionalmente dependía de Salamá. Por iniciativa de sus habitantes, producto del descontento de su dependencia iniciaron las gestiones que se concretizaron con la fundación del municipio el 27 de julio de 1869 el cual fue suscrito por el corregidor departamental de La Verapaz.

En ella se legitimó y legalizó la elección y nombramiento de los 60 miembros indígenas del municipio, quedando electo el primer alcalde municipal señor Sebastián Choc.

La primera comunidad que se delimitó quedó definida en dicho documento y es el lugar donde actualmente está desarrollada la cabecera municipal, fue suscrita por el corregidor del departamento y por los señores municipales, siendo el señor Bernardo Esteban Valdés y como representante de la municipalidad el señor Gabriel Morales y Emilio González Franco, quien fungía como secretario.

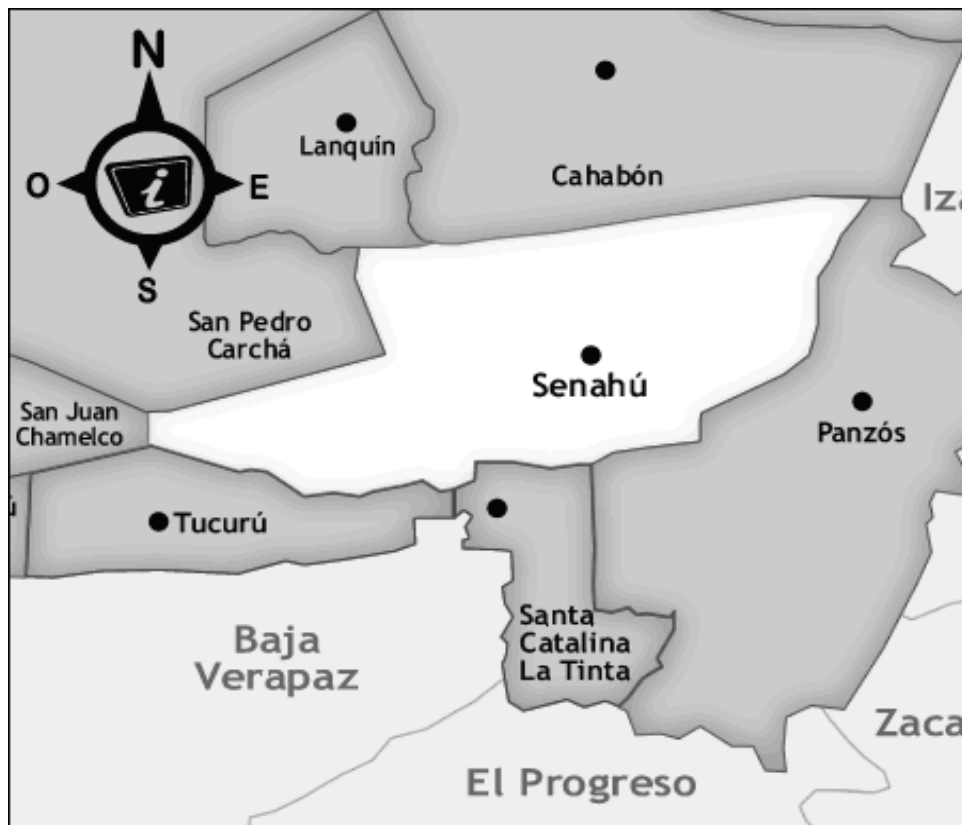
Inicialmente, cuando era aldea se bautizó con el nombre de “*Sechimai*”, que traducido del *Q’eqchi’* al español significa “lugar de los güisquiles”. Conforme el tiempo pasó, las nuevas personalidades que tenían a cargo la administración del lugar decidieron el cambio de nombre bautizándole como *Nahuc*, esto como consecuencia de que el río que pasa por el pueblo que era utilizado por las mujeres para ir a lavar ropa, tenía en toda su rivera ciertos árboles de los cuales utilizaban las hojas como jabón ya que producía espuma y era muy buen producto.

Finalmente los mismos habitantes solicitaron a las autoridades en reunión general el cambio de nombre y le denominaron San Antonio Senahú, el cual obedece al patrono católico de dicha localidad, encontrándose vigente a la fecha.

1.1.2. Localización

San Antonio Senahú se encuentra localizado a 145 kilómetros de la cabecera departamental de Alta Verapaz y a 278 kilómetros de la ciudad capital, se localiza en la latitud $15^{\circ}24'57''$ y en la longitud $89^{\circ}49'20''$. Limita al norte con el municipio de Santa María Cahabón, al sur con Santa Catarina La Tinta, al oriente con Panzós y al Poniente con San Pedro Carchá, San Miguel Tucurú y Lanquín, ver figura 1.

Figura 1. Mapa de localización



Fuente: Localización del municipio de Senahú, Alta Verapaz.

1.1.3. Extensión territorial

Posee una extensión territorial de 336 kilómetros cuadrados y representa un 3,87% con relación al departamento de Alta Verapaz, cuyo territorio es de 8 686 kilómetros cuadrados.

1.1.4. Orografía

La topografía variada de este municipio, permite la existencia de diversos accidentes orográficos. Entre las principales montañas se encuentran: Sebox, Las Nubes, Piedras Blancas, Rubelpec y yalijux; y los cerros Chajquixc, Chorb, Chulac, Sechol y Setzacpec y Siyab.

1.1.5. Clima

En San Antonio Senahú la temperatura varía entre los 20° y 29° grados Centígrados, presentando lluviosidad variable.

El clima que posee es continental y está caracterizado en las regiones interiores del municipio y por latitudes medidas con el verano y el invierno; la altitud en el lugar es templado ya que oscila entre los 800 a 1 000 metros, hasta los 2 500 a 3 000 metros de altitud.

1.1.6. Economía

El desarrollo económico del municipio de Senahú, se fundamenta en los cultivos, principalmente del café, sembrando también maíz, frijol, arroz, etcétera.

Contribuyendo de igual forma la actividad pecuaria, ya que tiende a la generación de empleo. Con un 2 % de participación en la producción y actividades del municipio. Su actividad se concentra en fincas subfamiliares y familiares por la extensión de tierra que necesita la misma se desarrolla de forma empírica en cada uno de los procesos que intervienen.

Entre estas actividades están la crianza y engorde de ganado bovino. La cual se desarrolla como la principal, pero existen consideradas secundarias por las cantidades de ingresos generados.

Además de la producción de tejidos típicos, cerámica, cestería, jarcia, petates de palma, candelas, muebles de madera, hierro y cobre, petates de tul, etcétera.

1.1.7. Cultura

El municipio de Senahú como todo el departamento de Alta Verapaz, esta caracterizado por las expresiones culturales que recuerdan el proceso de la conquista. Entre ellos los conjuntos de chirimía, tambor con pito, arpa, violín y guitarra. Además, su gastronomía ocupa un lugar importante entre las tradiciones.

En este municipio todos los documentos históricos yacen en una especie de sepultura o panteón en donde fueron depositados y estará permitido que hasta el 2069 se puedan desenterrar los escritos, debido que se estará cumpliendo 200 años de fundación, para que las nuevas generaciones puedan enterarse de cómo fue fundado su municipio.

La feria titular se celebra del 9 al 13 de junio, siendo el último, el día principal, fecha en que la iglesia conmemora a San Antonio de Padua Patrono del lugar. Durante el evento de celebraciones, los habitantes de este pueblo realizan la presentación de los bailes folklóricos de moros, el torito, venado, max y los micos. Además del español se habla el idioma *Quekchí*.

1.1.8. Educación

El sistema de educación está supervisado por el Ministerio de Educación a través de la supervisión escolar, que tiene su sede en el área urbana del municipio. Cuentan con servicios educativos en diferentes niveles preprimario, primario y nivel medio, que incluye nivel básico y diversificado desde 1998.

1.1.9. Salud

En el municipio, los servicios de salud no cuentan con tecnología y equipo adecuado para casos de enfermedades graves, al presentarse estos, son remitidos al municipio de Cobán, cabecera departamental. Existen programas de salud preventiva como jornadas de vacunación y de planificación familiar.

El centro de salud está ubicado en la cabecera municipal, además existen dos puestos de salud en las localidades de las Camelias y Actelá. El servicio es prestado por el estado, con apoyo de médicos cubanos.

Además existen dos centros de convergencia que prestan las instituciones Federación de Cooperativas de las Verapaces (FEDECOVERA) y Café Sano S.A. (CAFESAN); algunas comunidades cuentan con vigilantes de salud, médicos ambulatorios y comadronas capacitadas.

El Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS), tiene presencia en la cabecera municipal y atiende a los afiliados del municipio y de algunos municipios cercanos como Santa Catalina La Tinta.

1.2. Caracterización de la Asociación de Agricultores y Campesinos de la Comunidad El Arenal (AACC El Arenal)

La Comunidad El Arenal cuenta con la Asociación de Agricultores y Campesinos, la cual está integrada por un grupo de personas para realizar actividades de forma estable, para beneficio de los habitantes de la comunidad.

1.2.1. Breve historia

La Asociación de Agricultores y Campesinos de la Comunidad El Arenal (AACC El Arenal), fue organizada el 17 de noviembre de 2004. Es una entidad de carácter agrícola e industrial. Cuenta con 145 asociados comprometidos en el mejoramiento continuo y la estructura de sus sistemas productivos.

1.2.2. Administración

La administración de AACC El Arenal está a cargo de la Junta Directiva, encargada de coordinar el funcionamiento y las decisiones de la asociación.

Actualmente está integrada por:

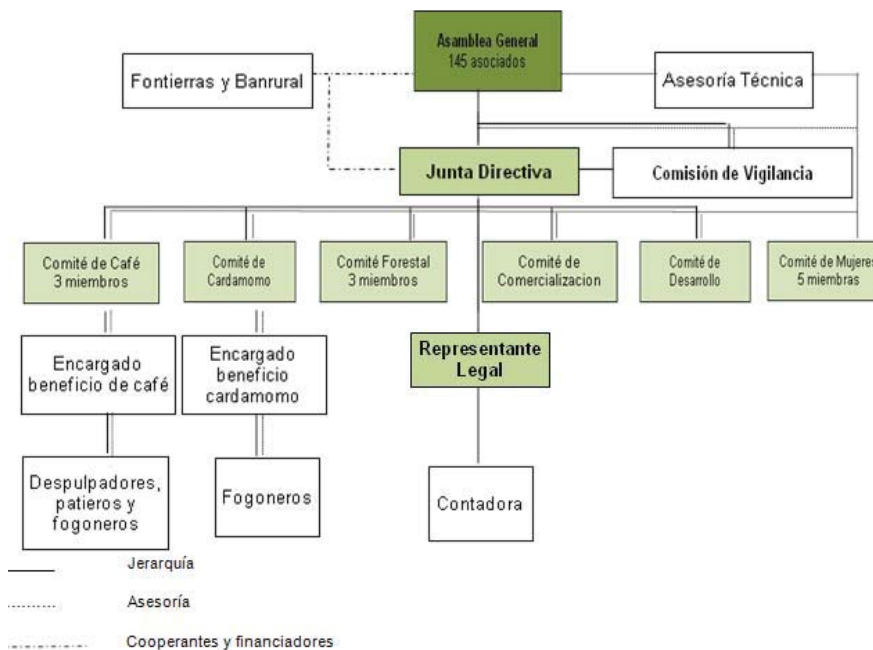
Presidente	Pedro Cholom
Vicepresidente	Gildardo Pop Seb
Secretario	Alfredo Sacul Tiul
Tesorero	Carlos Sacul

Vocal I	Lucas Ba Can
Vocal II	Pedro Acte
Vocal III	Mateo Coc

1.2.3. Estructura organizativa

La estructura organizativa está constituida por un grupo de personas encargadas de ordenar las actividades, los procesos y el funcionamiento de la asociación. En la figura 2 se muestra el organigrama de la estructura organizativa de la AACC El Arenal, en donde se observa la jerarquía, responsabilidad y autoridad que representan de cada una de las personas que lo integran.

Figura 2. Estructura organizativa de la Asociación de Agricultores y Campesinos de la Comunidad El Arenal (AACC El Arenal)



Fuente: Asociación de Agricultores y Campesinos de la Comunidad El Arenal.
SenahúAlta Verapaz.

1.2.4. Producción agrícola

La producción agrícola es la principal actividad, ya que es la que aporta la mayor fuente de empleos y de ingresos a los habitantes de la comunidad.

Los productos agrícolas de mayor importancia de la AACCC El Arenal son el cardamomo y el café.

Entre los proyectos productivos de la organización en desarrollo se pueden mencionar:

- 45 hectáreas de café
- 90 hectáreas de cardamomo
- 63 hectáreas de reforestación con pino de Péten (*Pinus caribea*)
- 130 hectáreas de bosque natural con fines de protección

2. GENERALIDADES

2.1. Historia del sector eléctrico en Guatemala

La electrificación de Guatemala se inició en 1885 cuando fue instalada la primera planta hidroeléctrica en la finca El Zapote, al norte de la ciudad capital. En de 1896 empresarios alemanes organizaron la empresa eléctrica del sur construyendo la hidroeléctrica Palín de 723 kilowatts. En 1927 la capacidad de esta planta se amplió con 900 kilowatts extendiéndose el servicio a Antigua Guatemala, Escuintla, Palín, Villa Nueva, Amatitlán y Mixco (todas en el área central del país).

La empresa eléctrica del sur, la empresa de alumbrado eléctrico del norte y la empresa eléctrica de Escuintla, fueron compradas a los accionistas alemanes, por intermedio del gobierno de Guatemala por la *Electric Bond & Share Co.* (EBASCO). En 1922 EBASCO obtuvo un contrato por 50 años, desapareciendo las tres empresas mencionadas fusionándose en la razón social, la Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. (EEGSA) en 1938.

En 1969 EBASCO vende sus acciones de EEGSA a *Boise Cascade Co.* Y en 1972 el gobierno de Guatemala compra a esta última acciones equivalentes al 91,7 % del capital social y prórroga el contrato por cinco años más.

En mayo de 1977 vence el contrato de 1922 y el Gobierno acuerda que la empresa sea una entidad de utilidad pública con carácter de economía mixta, continuando el Estado como accionista mayoritario. Por su parte, el Estado de Guatemala construyó en 1927 la hidroeléctrica en Santa María en el occidente del país (de 3,74 megawatts), con el objeto de apoyar las operaciones del ferrocarril de los altos. Al fracasar el ferrocarril en 1936, la totalidad de la hidroeléctrica se destinó para dar servicio eléctrico a los departamentos de Quetzaltenango, Totonicapán, Sololá y Suchitepéquez.

En ese mismo año, EEGSA amplió su capacidad con 5 000 kilowatts de la hidroeléctrica, El Salto y la hidroeléctrica San Luis con 5 500 kilowatts en 1954. En 1940 por decreto gubernativo se crea la hidroeléctrica del Estado para la explotación racional de la energía generada por la hidroeléctrica Santa María.

En general, en la mayor parte del país existía en 1940 una crítica situación en materia de electrificación. Cada municipalidad en la medida de sus posibilidades instalaba pequeñas plantas locales cercanas a la cabecera municipal; la mayoría de estas plantas operaba a baja tensión conectadas directamente a las redes de distribución. Con estos problemas, las municipalidades recurrían al gobierno central, el que viéndose presionado desde todos los rincones del país, creó en 1940 el Departamento de Electrificación Nacional, el cual posteriormente en 1959 dio origen al actual Instituto Nacional de Electrificación (INDE).

En 1962 se puso en operación la hidroeléctrica Río Hondo de 2,4 megawatts, ubicada en el oriente del país. Mientras se desarrollaban los planes de electrificación del país, el INDE instaló en forma emergente la central diésel de San Felipe de 2 440 kilowatts en 1965, una turbina de gas en Escuintla en 1966 de 12,5 megawatts, la cual fue ampliada en 1968 a 25 000 kilowatts y amplió la capacidad de la hidroeléctrica Santa María a 6,9 megawatts.

EEGSA instaló en 1956 en la ciudad de Guatemala una planta termoeléctrica de 5 000 kilowatts, su planta La Laguna en Amatitlán de 30,0 megawatts en 1964. Los principales esfuerzos del INDE se dedicaron a la construcción de hidroeléctricas mayores. (Chixoy, Aguacapa, Jurún-Marinalá) y la interconexión de los pequeños sistemas aislados, construyéndose el Sistema Nacional Interconectado. En agosto de 1998, el capital instalada nominal del Sistema Nacional Interconectado de Guatemala es de 1 336 megawatts, de los cuales el 37 % es hidroeléctrico y el 63 % termoeléctrico, siendo propiedad del INDE 700 megawatts instalados y 6,36 megawatts de propiedad privada.

El 15 de noviembre de 1996 fue promulgada la ley general de electricidad, la cual separa las funciones de las empresas verticalmente integradas y crea las condiciones de un mercado eléctrico competitivo.

2.2. Sector eléctrico de Guatemala

El sector eléctrico de Guatemala inició su proceso de reforma con la promulgación de la Ley General de Electricidad (LGE) en 1996.

La cual normaliza el desarrollo del conjunto de actividades de generación, transporte, distribución y comercialización de la electricidad.

2.2.1. Generación

El sistema de generación consiste en la utilización de los recursos energéticos naturales, para la producción de electricidad de alto voltaje. En Guatemala la generación de energía eléctrica está conformada por:

- Centrales hidroeléctricas
- Turbinas de vapor y gas
- Motores de combustión interna
- Centrales geotérmicas

2.2.2. Transporte

El sistema de transporte está dividido en: el sistema principal y el sistema secundario.

- El sistema principal: esta conformado por los generadores, que en la actualidad son propiedad del Instituto Nacional de Electrificación (INDE) y operado por la Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica (ETCEE); este sistema también incluye la interconexión Guatemala- El Salvador- Honduras.

- El sistema secundario es el medio de interconexión de un generador a la red principal, es operado por la empresa Transportista Eléctrica Centro Americana, S.A. (TRELEC).

2.2.3. Distribución

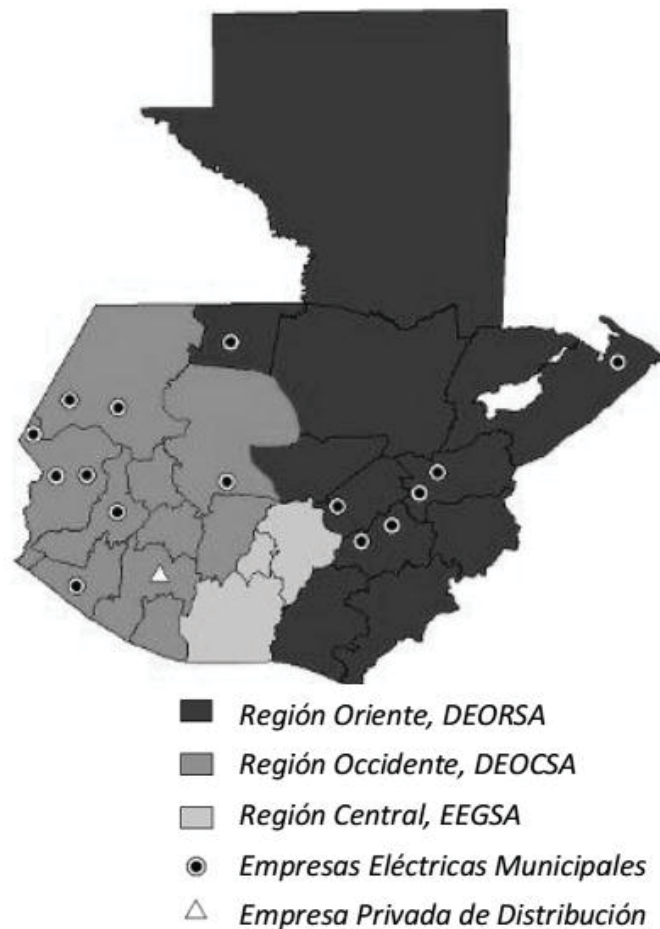
El sistema de distribución de energía eléctrica en Guatemala está integrado por la infraestructura de distribución, en el cual se encuentran: las líneas, subestaciones y las redes de distribución.

Las principales empresas distribuidoras, coordinadas por la Asociación del mercado mayorista, son:

- Empresa Eléctrica de Guatemala Sociedad Anónima (EEGSA). Presta el servicio en región central de país (ver figura 3).
- Distribuidora de Electricidad de Occidente, Sociedad Anónima (DEOCSA). Presta el servicio en la región occidente (ver figura 3).
- Distribuidora de Electricidad de Oriente, Sociedad Anónima (DEORSA). Presta el servicio en la región oriente (ver figura 3).
- Empresas Eléctricas Municipales (EEM) (ver figura 3).
- Empresas de distribución privada en sistemas aislados (ver figura 3).

En la actualidad EEGSA fue comprada por el grupo de Empresas Publicas de Medellín (EPM); obteniendo el 80,8% de las acciones de dicha empresa, siendo una reconocida compañía colombiana enfocada a la prestación de servicios públicos y con amplia experiencia en los sectores de energía. Mientras que DEOCSA y DEORSA fueron adquiridas por el fondo británico Actis.

Figura 3. **Cobertura de las empresas de distribución de energía eléctrica en Guatemala**



Fuente: Guía del subsector eléctrico y de las energías renovables, Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Energía República de Guatemala. p. 12.

2.2.4. Comercialización

En Guatemala existen varias empresas comercializadoras de electricidad, las cuales engloban todas las actividades relacionadas con la venta de electricidad a los usuarios finales. Una de las cuales es la Comercializadora Eléctrica de Guatemala, S.A. (COMEGSA), creada por EEGSA.

2.2.5. Mercado eléctrico

El mercado eléctrico tiene como finalidad generar, transmitir y distribuir energía eléctrica a diferentes empresas privadas, públicas e internacionales, constituyéndose por el mercado regulado y el mercado mayorista.

2.2.5.1. Mercado regulado

También conocido como mercado del servicio público de electricidad, en él se realizan las transacciones de energía sujetas a regulación de precios y se encuentra integrado de la siguiente manera:

- Por el lado de la demanda: todos aquellos usuarios con demanda de potencia menor a 100 kilowatts.
- Por el lado de la oferta: distribuidoras autorizadas dentro de la zona de cobertura.

2.2.5.2. Mercado mayorista

Es el que cuenta con un centro de despacho económico y con una bolsa de energía, que posee las siguientes características:

- Generadores con potencia mayor a 5 megawatts.
- Distribuidores con 15 000 usuarios como mínimo.
- Transportistas que tengan 10 megawatts como mínimo de capacidad de transporte.
- Comercializadores que compren o vendan bloques de energía asociados a una oferta firme de por lo menos 2 megawatts.
- Grandes usuarios con demanda máxima de potencia por arriba de 100 kilowatts.

2.3. Marco legal del sector eléctrico

El marco legal del sector eléctrico en Guatemala tiene por objeto promover la participación privada, fomentar la competencia y los mecanismos de mercado, estimular el crecimiento del sector eléctrico aumentando la oferta, la demanda y la cobertura eléctrica basándose en las siguientes leyes:

- Constitución Política de la República de Guatemala: es un cuerpo normativo de carácter fundamental y preeminente en todo su ordenamiento jurídico, contiene varios enunciados fundamentales que aseguran el desarrollo de actividades económicas.

- Ley General de Electricidad: esta ley norma el desarrollo del conjunto de actividades de generación, transporte, distribución y comercialización de electricidad.
- Reglamento de la Ley General de Electricidad: desarrolla los procedimientos necesarios para el cumplimiento de lo dispuesto en la Ley General de Electricidad.
- Reglamento del Administrador de Mercado Mayorista: define los principios generales del mercado mayorista, así como, la organización, funciones, obligaciones y mecanismos sobre el financiamiento del administrador del mercado mayorista.
- Ley y Reglamento de Incentivos de Energía Renovables: tiene por objeto promover el desarrollo de proyectos de energía renovable y establecer los incentivos fiscales, económicos y administrativos para el efecto.
- Ley de Tarifa Social: tiene como finalidad favorecer al usuario regulado del servicio de distribución final, más afectado por el incremento de los costos en la producción de energía eléctrica dirigida a usuarios con consumos de hasta 300 kilowatts por hora.

2.4. Entidades relacionadas con el sector eléctrico

Son responsables de velar por el mejoramiento y desarrollo de forma técnica el marco de regulación del sector eléctrico para beneficio de la economía y buen uso de los recursos renovables en Guatemala.

2.4.1. Ministerio de Energía y Minas (MEM)

Es la institución rectora del sector energético y minero, que fomenta el aprovechamiento adecuado de los recursos naturales del país. En el marco de lo establecido en la Ley del Organismo Ejecutivo cumpliendo con las siguientes funciones generales:

- Estudiar y fomentar el uso de fuentes nuevas y renovables de energía.
- Coordinar las acciones necesarias para mantener un adecuado y eficiente suministro de petróleo, productos petroleros y gas natural de acuerdo a la demanda del país y conforme a la ley de la materia.
- Cumplir y hacer cumplir la legislación relacionada con el reconocimiento superficial, exploración, transporte y otros derivados, así como, los derivados de los mismos.
- Formular la política, promover la regulación respectiva y supervisar el sistema de explotación y comercialización de hidrocarburos y minerales.
- Proponer y cumplir las normas ambientales en materia energética.
- Emitir opinión en el ámbito de su competencia sobre políticas o proyectos de otras instituciones públicas que incidan en el desarrollo energético del país.
- Ejercer las funciones normativas de control y supervisión en materia de energía eléctrica que le asignen las leyes.

2.4.2. Dirección General de Energía Eléctrica (DGEE)

Contribuye al desarrollo energético sustentable, el suministro, utilización eficiente de la energía eléctrica, sobre las energías renovables y los usos pacíficos de la energía nuclear, con la finalidad de apoyar la sustentabilidad económica, social y ambiental del país. Entre sus objetivos estratégicos están:

- Fortalecer la capacidad técnica, científica y administrativa del personal de la DGEE, para el eficaz cumplimiento de sus actividades.
- Establecer los mecanismos de cooperación internacional, a través de la firma de convenios que permitan la cooperación y transferencia de tecnología para contribuir al fortalecimiento y la modernización del Estado.
- Formular y proteger políticas, planes de Estado y programas indicativos; dirigidos al estudio, uso eficiente y racional de la energía para el desarrollo sostenible del país

2.4.3. Administrador del mercado mayorista

Es una entidad privada sin fines de lucro, que coordinan las transacciones entre participantes del mercado mayorista de electricidad, asegurando la competencia en un mercado libre, con reglas claras que promuevan la inversión en el sistema eléctrico y que vela por el mantenimiento de la calidad en la presentación del servicio de energía eléctrica en Guatemala.

Es responsable de planificar la forma en que se cubrirán las necesidades de potencia y energía del sistema, tratando de optimizar el uso de los recursos energéticos disponibles. También debe vigilar el comportamiento de la demanda y la operación de los generadores, así como, del sistema de transporte.

2.4.4. Comisión Nacional de Energía Eléctrica

Fue creada por la Ley General de Electricidad, contenida en el Decreto No. 93-96 del Congreso de la República de Guatemala, publicada en el Diario Oficial el 21 de noviembre de 1966 como órgano técnico del Ministerio de Energía y Minas, con independencia funcional para el ejercicio de sus atribuciones y de las siguientes funciones:

- Cumplir y hacer cumplir la ley y sus reglamentos, en materia de su competencia e imponer las sanciones a los infractores.
- Velar por el cumplimiento de las obligaciones de los adjudicatarios y concesionarios, proteger los derechos de los de los usuarios y prevenir conductas atentatorias contra la libre empresa, así como, prácticas abusivas o discriminatorias.
- Definir las tarifas de transmisión y distribución, de acuerdo a la Ley General de Electricidad, así como, la metodología para el cálculo de las mismas.
- Emitir las normas técnicas relativas al subsector eléctricos y fiscalizar su cumplimiento en congruencia con prácticas internacionales aceptadas.

- Emitir las disposiciones y normativas para garantizar el libre acceso y uso de las líneas de transmisión y redes de distribución, de acuerdo a lo dispuesto en la Ley y su reglamento.

2.4.5. Instituto Nacional de Electrificación (INDE)

Contribuye al desarrollo del mercado eléctrico nacional y regional, a través de la producción, transporte y comercialización de electricidad, permitiendo como Empresa Nacional cumplir con su función social, incrementar la electrificación rural, suministrar un servicio eficiente y de calidad, desarrollar su recurso humano y procurar la disponibilidad de electricidad para el progreso de Guatemala.

El objetivo de su fundación se encaminó a dar solución pronta y eficaz a la escasez de energía eléctrica en el país, así como, mantener la energía disponible a efecto de satisfacer la demanda normal e impulsar el desarrollo de nuevas industrias, incrementar el consumo doméstico y el uso de la electricidad en las áreas rurales.

2.4.6. Otras entidades relacionadas

Son entidades relacionadas al sector eléctrico en Guatemala en forma indirecta, encargadas de proteger los recursos naturales y cambios climáticos, que tengan relación en actividades relacionadas hacia el bienestar humano.

2.4.6.1. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN)

Es la entidad especializada en materia ambiental, de bienes y servicios naturales del sector público, al cual le corresponde proteger los sistemas naturales que desarrollen y dan sustento a la vida en todas sus manifestaciones y expresiones, fomentando una cultura de respeto y armonía con la naturaleza.

Protegiendo, preservando y utilizando racionalmente los recursos naturales, con el fin de lograr un desarrollo transgeneracional, el que hacer institucional, económico, social y ambiental, con el propósito de forjar una Guatemala competitiva, solidaria, equitativa, inclusiva y participativa.

2.4.6.2. Programa Nacional de Cambio Climático -Ministerio de Energía y Recursos Naturales-

Es una unidad especializada, encargada de dar cumplimiento y seguimiento a la convención de cambio climático de la Organización de Naciones Unidas (ONU). Promueve las políticas nacionales, regionales y locales orientadas hacia:

- La identificación y cuantificación de los gases de invernadero.
- La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.
- La reducción de los impactos negativos del calentamiento global y variabilidad climática.

Para estos efectos, el programa nacional de cambio climático velará por la incorporación del tema de cambio climático en las actividades relacionadas con la salud humana, recursos hídricos, bosques y producción de granos básicos con enfoque de identificación de riesgos y alerta temprana.

2.5. Oferta y demanda en el sector eléctrico de Guatemala

La oferta de energía en el Sistema Nacional Interconectado (SNI) está constituida por la producción de generadores locales y por las importaciones, provenientes tanto del Mercado Eléctrico Regional (MER) y de la Interconexión Guatemala-México. Las importaciones de la energía de México son las que mayor importancia tienen para el mercado mayorista, mientras que las importaciones del MER, son en su mayor parte energía inadvertida.

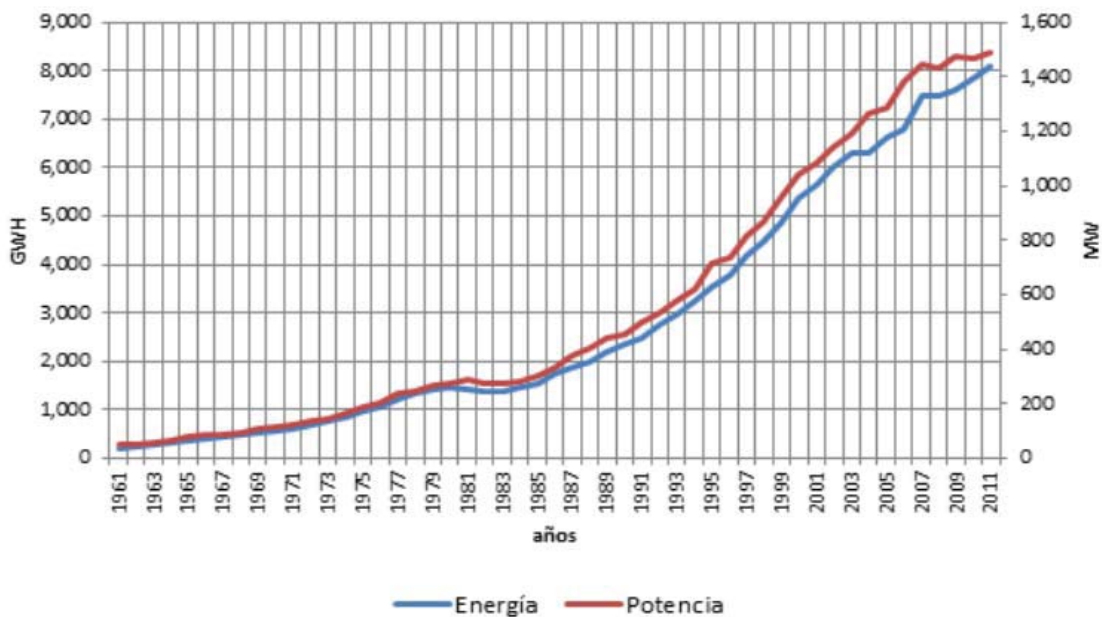
La demanda de energía eléctrica se integra del consumo del SNI, de las exportaciones y de las pérdidas de energía en el sistema. Los participantes consumidores en el mercado mayorista son los distribuidores, exportadores y grandes usuarios.

La legislación vigente establece los mecanismos y procedimientos comerciales y operativos para que la demanda pueda ser abastecida al menor costo, cumpliendo con los requisitos de calidad y garantía del suministro. De esa cuenta, con el objetivo de establecer un balance entre la demanda y la oferta de energía eléctrica en el corto y largo plazo, además de dar una señal económica que permita alcanzar el objetivo de garantía de suministro, estableciendo la obligación de contratación anticipada de la capacidad (potencia), asociada al suministro eléctrico por parte de los participantes consumidores del mercado mayorista.

2.5.1. Análisis de la demanda de potencia eléctrica

En la figura 4 se observa la demanda de potencia y energía para el SNI desde 1961 hasta el 2011, comportamiento que la mayor parte del tiempo ha estado en crecimiento. Con excepción de los años 1982, 2008 y 2010, donde el requerimiento de potencia y energía para el SIN ha estado en constante crecimiento. Esta es una conducción natural, ya que desde sus inicios, la energía eléctrica se ha convertido en uno de los principales motores del desarrollo de la sociedad moderna, y como tal, el crecimiento de la población y de sus necesidades tiene implícito un crecimiento en la demanda de potencia y eléctrica.

Figura 4. **Demanda histórica del potencial y de energía para el Sistema Nacional Interconectado**



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. Informe estadístico 2012. p. 49.

2.6. Potencial energético renovable en Guatemala

Los recursos renovables son aquellas fuentes que tienen como características comunes que no se terminan o que renuevan por naturaleza. Guatemala es un país que cuenta con dichos recursos, entre los cuales se pueden mencionar:

- Recursos hídricos: montañas, valles, ríos y alto índice de precipitación pluvial.
- Recurso eólico: ubicación entre dos grandes océanos con diversos climas y gradientes de temperatura que propician el recurso.
- Recurso geotérmico: 36 volcanes en la sierra madre.
- Biomasa: alto desarrollo de industria azucarera.

Es un país con considerables recursos renovables, en la actualidad estos no han sido aprovechados intensamente. Tal afirmación se deriva de hecho que existiendo un potencial aprovechable de 5 000 megawatts en energía hidroeléctrica y de 1 000 megawatts energía geotérmica, solamente se utilizan el 13,01 % (705 megawatts) y el 2,65 % (40 megawatts) respectivamente.

El potencial teórico de energía eólica en Guatemala, para la generación de electricidad es de aproximadamente 78 000 megawatts. En cuanto a la energía solar, el valor anual de radiación global solar para todo el país, en promedio es de 5,3 kilowatts hora por metro cuadrado al día. En conclusión se muestra la tabla I, un resumen sobre el potencial de recursos renovables en Guatemala.

Tabla I. **Resumen sobre el potencial de recursos renovables en Guatemala**

Fuente	Potencia MW	Utilizado MW	Porcentaje utilizado
Hidroeléctrico	5 000	650,3	13,01
Geotérmico	7 000	26,5	2,65
Eólico	7 800	0,1	0
Biomásico	N/C	187,8	N/C

Fuente: Energías Renovables en Guatemala, Ministerio de Energía y Minas
República de Guatemala, estadísticas energética. p. 31.

2.7. Distribución del consumo de energía eléctrica

Es la modalidad de generación de electricidad producida por unidades de tecnología de generación con recursos renovables que conectan a la instalación de distribución cuyo aporte de potencia neto es inferior al que establece el Reglamento de la Ley General de Electricidad (5 megawatts).

La distribución puede dividirse en usuarios regulados y usuarios no regulados.

- **Usuarios regulados:** son aquellos sujetos a regulación de precios por la energía y potencia que consumen. El suministro eléctrico a estos usuarios es calificado como servicio público de electricidad, es decir, que tienen consumos de potencia inferiores a 100 kilowatts y sólo pueden adquirir electricidad del distribuidor.

- Usuarios no regulados: son aquellos consumidores que gracias a superar un nivel límite de consumo, pueden negociar libremente la tarifa de suministro de electricidad con el comercializador que desee. Es decir se le llama no regulador porque sus tarifas no están reguladas, sino que son acordadas mediante un proceso de negociación entre consumidor y el comercializador.

2.8. Generación Distribuida Renovable

Es la modalidad de generación de electricidad producida por unidades de tecnología de generación con recursos renovables que conectan a la instalación de distribución cuyo aporte de potencia neto es inferior al que establece el Reglamento de la Ley General de Electricidad (5 megawatts).

Un Generador Distribuido Renovable (GDR), es la persona individual o jurídica, titular o poseedora de una central de generación eléctrica que utiliza recursos energéticos renovables y participa en la actividad de generación distribuida renovable. Estos serán considerados como participantes del mercado mayorista.

La Norma Técnica para la Generación Distribuida Renovable (NTGDR) y de usuarios autoprodutores con excedentes de energía, establece las disposiciones generales que deben cumplir con los generadores distribuidos renovables y los distribuidores para la conexión, operación, control y comercialización de la energía eléctrica producida con fuentes renovables.

La Norma de Generación Distribuidora promueve y facilita la instalación de nuevas micros y pequeñas centrales generadoras, así como, de aquellas que existen los cuales son utilizados para autoconsumo; las centrales existentes podrán conectarse a la red eléctrica nacional y con ello, tienen la oportunidad de comercializar sus excedentes de energía.

Esta norma regula la forma en que el pequeño y microgenerador comercializará su energía, la cual se realiza bajo el esquema de libre mercado, quienes podrán participar en las licitaciones que efectúen las distribuidoras o poner a disposición su energía en el mercado de oportunidad.

3. CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

3.1. Definición

Una central hidroeléctrica es una instalación donde se transforma la energía potencial y cinética en energía eléctrica. El agua de los ríos es retenida por medio de presas y luego es conducida por túneles y tuberías de alta presión hacia terrenos más bajos, al llegar a la planta generadora, el agua lleva ya una enorme cantidad de energía, la que se aprovecha para hacer girar turbinas que accionan el alternador y produce la corriente eléctrica.

3.2. Clasificación

Las centrales hidroeléctricas pueden ser clasificadas según varios argumentos como: centrales por potencia instalada, centrales de agua fluyente y centrales con regulación.

3.2.1. Centrales por potencia instalada

Administrativamente, las centrales hidroeléctricas se pueden clasificar según su potencia instalada en:

Microcentrales	plantas de menos de 50 kilowatts
Minicentrales	plantas de 50 a 500 kilowatts
Pequeñas centrales	plantas de 500 a 5 000 kilowatts
Medianas y grandes centrales	plantas mayores a 5 000 kilowatts

3.2.2. Centrales de agua fluyente

Se denominan centrales de agua fluyente a los aprovechamientos hidroeléctricos que mediante solo una obra de toma desvían un determinado caudal del cauce sin regularlo y lo conducen hasta la central. En este tipo de centrales, el salto permanece prácticamente constante, pero el caudal que se turbinan es variable, dependiendo de las aportaciones del río en cada momento, lo que hace que en este tipo de aprovechamientos la potencia disponible esté relacionada directamente con el caudal instantáneo del río. Se caracterizan por una elevada utilización a lo largo del año.

3.2.3. Centrales con regulación

Se denominan centrales con regulación a los aprovechamientos hidroeléctricos que disponen de la posibilidad de almacenar los caudales que aporta el río mediante una retención en el cauce (construyendo una presa a tal efecto), para turbinarlos posteriormente en el momento que se precise. Estos aprovechamientos permiten acomodar el régimen de caudales del río a las necesidades energéticas, proporcionando energía en las horas de máxima demanda.

En este tipo de centrales el caudal permanece constante, mientras que la altura es variable y el número de horas de utilización anual de las mismas es mucho menor.

3.3. Ventajas y desventajas de centrales hidroeléctricas

Ventajas

- No requieren combustible, sino que usan una forma renovable de energía, constantemente repuesta por la naturaleza de manera gratuita.
- Es limpia, pues no contamina ni el aire ni el agua.
- A menudo puede combinarse con otros beneficios, como riego, protección contra las inundaciones, suministro de agua, caminos, navegación y aún ornamentación del terreno y turismo.
- Los costos de mantenimiento y explotación son bajos.
- Las obras de ingeniería son necesarias para aprovechar la energía hidráulica, teniendo una duración considerable.
- La turbina hidráulica es una máquina sencilla, eficiente y segura, que puede ponerse en marcha y detenerse con rapidez y requiere poca vigilancia siendo sus costos de mantenimiento por lo general reducidos.

Desventajas

- Los costos de instalación iniciales son muy altos.
- Su ubicación, condicionada por la geografía natural, suele estar lejos de los centros de consumo y obliga a construir un sistema de transmisión de electricidad, aumentando los costos de inversión, mantenimiento y aumentando la pérdida de energía.

- La construcción implica mucho tiempo en comparación con las centrales termoeléctricas.
- El espacio necesario para el embalse inunda muchas hectáreas de terreno.
- La disponibilidad de energía puede fluctuar, de acuerdo con el régimen de lluvias, de estación en estación y de año en año.

3.4. Estructuras principales que conforman una minicentral hidroeléctrica

Una central hidroeléctrica está constituida por diversos componentes y equipos que pueden clasificarse en dos grandes grupos que son obra civil y equipamiento electromecánico.

3.4.1. Obra civil

La obra civil engloba aquellas obras e instalaciones necesarias para derivar, conducir y restituir el agua turbinada, así como, para albergar y proteger los equipos electromecánicos.

3.4.1.1. Presa

La presa también llamada azud, es un componente fundamental de los aprovechamientos hidráulicos convencionales, en los que se utilizan para elevar el nivel de la lámina de agua o para crear un embalse donde almacenarla.

En terrenos relativamente llanos, una presa, al levantar el nivel de lámina de agua, puede crear el salto necesario para generar la energía requerida. La presa también puede utilizarse para almacenar agua en períodos de crecida, para seguir turbinando en períodos de estiaje. Sin embargo, a su elevado costo, las presas rara vez se utilizan en proyectos de pequeñas centrales.

3.4.1.2. Obra de toma

Las obras de toma derivan el agua hacia las conducciones que la transportan a la central. Generalmente, en la toma se instala una reja, para impedir el paso de peces y material sólido.

3.4.1.3. Desarenador

Es un depósito que alimenta con agua el canal de derivación, evitando el ingreso de materiales extraños que puedan perturbar el funcionamiento de la turbina.

3.4.1.4. Canal de derivación

Es la conducción que transporta el agua que es derivada de la central de la toma hasta la cámara de carga. A lo largo del canal, dependiendo de su longitud, puede haber varias compuertas para limpieza y vaciado del canal en caso necesario. Mientras que al final del canal, antes de la cámara de carga, suelen instalarse una reja de finos con su correspondiente máquina limpia rejas, así como, una compuerta de seguridad.

3.4.1.5. Cámara de carga

Consiste en un depósito situado al final del canal de derivación del que parte la tubería forzada. Esta cámara es necesaria para evitar la entrada de aire y provocar sobrepresiones.

3.4.1.6. Tubería forzada

La tubería forzada conduce el agua desde la cámara de carga hasta la turbina. Generalmente la tubería es de acero. Al inicio de la tubería se instala un órgano de cierre que permite evitar el paso de agua y vaciar la tubería poco a poco.

3.4.1.7. Casa de máquinas

Tiene como misión proteger de las adversidades climatológicas, el equipo electromecánico que convierte la energía potencial del agua en electricidad.

Su tamaño y diseño dependen de la potencia a ser instalada, ya que esta dicta las dimensiones y cantidad de unidades (turbina) a ser instaladas. Su construcción puede realizarse con cualquier material dependiendo de la disponibilidad de recursos.

3.4.1.8. Canal de salida

Se encarga de devolver el agua utilizada en las turbinas hasta el cauce del río. El agua sale a gran velocidad, por lo que se protege la salida y las paredes laterales con refuerzos de concreto para evitar la erosión, que podría poner en peligro la propia presa.

3.4.2. Equipo electromecánico

Tiene por objeto la transformación de tensión, la medición de los diferentes parámetros de la corriente eléctrica en la central, la conexión a las líneas de salida y la distribución de la energía.

3.4.2.1. Turbinas hidráulicas

Una turbina hidráulica elemental tiene básicamente una serie de álabes fijos (distribuidor) y otra de álabes móviles (rueda, rodete o rotor), la asociación de un órgano fijo y una rueda móvil constituye una célula.

Los elementos principales de una turbina hidráulica son:

- **Carcasa**

Es la estructura de soporte principal de la turbina, este elemento tiene la función de cubrir y soportar a las partes de la turbina, en las turbinas Francis y Kaplan tiene la forma de una espiral.

- **Distribuidor**

Es un elemento estático porque en él no se realiza trabajo mecánico y tampoco posee velocidad angular, adopta diferentes formas; puede ser de tipo inyector en las máquinas de acción o en forma de radial en las turbinas de reacción axial y semiaxial. Entre sus funciones principales están:

- Acelerar el flujo de agua al transformar total o parcialmente la energía del agua.

- Dirigir el agua hacia el rodete siguiendo una dirección adecuada.
- Actuar como órgano de caudal.

- Rodete

Es el elemento intercambiador de energía, en donde se produce la transformación de la energía hidráulica del salto en energía mecánica por medio de la aceleración o desviación del flujo de agua a través de los álabes; este elemento es el órgano fundamental de la turbina y también se le llama rotor o rueda; esencialmente consta de un disco provisto de un sistema de álabes, paletas o cucharas que está animado por una cierta velocidad angular.

- Tubo de aspiración

Este elemento es muy común en las turbinas de reacción, se instala a continuación del rodete y por lo general, tiene una forma de conducto divergente; puede ser recto o acodado y cumple con las siguientes funciones:

- Recupera la altura entre la salida del rodete y el nivel del canal de desagüe.
- Recupera una parte de la energía cinética correspondiente a la velocidad residual del agua en la salida del rodete a partir de un diseño tipo difusor.

El tubo de aspiración también llamado tubo de succión se utiliza frecuentemente en las turbinas de reacción, ocasionalmente se usa en las turbinas de acción como la Michell – Banki donde adopta la forma cilíndrica.

3.4.2.2. Criterios de clasificación de las turbinas hidráulicas

Las turbinas hidráulicas responden a una clasificación de máquinas llamadas rotodinámica o turbomáquinas, estas aprovechan las variaciones de la energía cinética que el agua experimenta a su paso por la máquina. El trabajo mecánico proviene de la variación de la cantidad de movimiento del agua al fluir a través de un sistema de álabes rotativos; en este sistema denominado rodete puede ocurrir una simple desviación del flujo de agua o en otros casos una desviación y una aceleración de este flujo.

Comúnmente se clasifican mediante los siguientes criterios:

- Según la variación de la presión estática a través del rodete
- Según la dirección del flujo a través del rodete
- Según el grado de admisión del rodete

3.4.2.3. Turbinas de acción o impulso

Según el criterio de la variación de presión en primer lugar se menciona a las turbinas de acción o impulso, en este tipo de turbinas toda la energía mecánica del flujo se convierte en energía cinética en una tobera antes de tener contacto con los álabes, la fuerza resultante sobre el rodete se obtiene como consecuencia del cambio de dirección de la velocidad del fluido al pasar por los álabes.

Las turbinas de acción más conocidas son la turbina Pelton y la turbina Michelle-Banki; la turbina Turgo está en esta clasificación pero no ha sido muy definida.

3.4.2.4. Turbinas de reacción

También bajo el criterio de la variación de presión están las turbinas de reacción, una parte de la energía se transforma en energía cinética al pasar el fluido a través de una rueda de álabes directrices situada antes del rodete; todos los espacios de guía y móviles quedan llenos de agua a presión y conforme ésta escurre a través del rodete, la velocidad cambia en magnitud y dirección con lo cual aparece una fuerza sobre el rodete que lo hace girar.

Existen dos tipos de turbinas de reacción, la turbina Francis y las axiales Kaplan; estas turbinas axiales trabajan con saltos de pequeños y grandes caudales además pueden alcanzar eficiencias de hasta 90%; dentro de las turbinas Kaplan hay dos tipos, una tiene álabes fijos y la otra tiene los álabes del rodete orientables para que se pueda variar el ángulo de los mismo y así mantener la velocidad de giro constante.

3.4.2.5. Turbinas de admisión parcial y admisión total

Considerando la alternativa de que los álabes del rodete son sometidos parcial o simultáneamente a la acción del flujo de agua que pueden clasificarse como turbinas de admisión parcial y de admisión total; este tipo de clasificación determina la forma o geometría del rodete.

La tabla II muestra las características en forma resumida, de la mayoría de aplicaciones para generación en pequeña escala; las más utilizadas son turbina Pelton, Francis y la turbina de flujo radial (Michell-Banki).

Tabla II. **Características principales de las turbinas hidráulicas**

Turbina		Velocidad n_s RPM	Q m ³ /s	H (altura, salto o caída)	Potencia (kW)	$\eta_{m\acute{a}x}$ (%)
Acción	Pelton	A Ch : 30 2 Ch : 30 - 50 4 Ch : 30 - 50 6 Ch : 50 - 70	0,05 - 50	30 - 1 800	2 - 3 000,00	91
	Turgo	60 - 260	0,025 - 10	15 - 300	5 - 8 000	85
	Michell-Banky	40 - 160	0,025 - 5	1 - 50 (200)	1 - 750	82
Reacción	Bomba rotodinámica	30 - 170	0,05 - 0,25	10 - 250	5 - 500	80
	Francis	L : 60 - 150 N : 150 - 250 R : 250 - 400	1 - 500	2 - 750	2 - 750 000	92
	Deriaz	60 - 400	500	30 - 130	100 000	92
	Kaplan y de hélice	300 - 800	1 000	5 - 80	2 - 200 000	93
	Axiales • Tubular • bulbo • Generador Periférico	300 - 800	600	5 - 30	100 000	93

n_s = velocidad específica Ch = chorro L = lenta N = normal R = rápida

Fuente: SÁNCHEZ, Teodoro y RAMÍREZ, Javier. Manual de mini y microcentrales hidráulicas.
p. 127.

3.4.2.6. Turbina Pelton

Esta turbina se define como una turbina de acción, de flujo tangencial y de admisión parcial, ver figura 5, opera más eficiente en condiciones de grandes saltos, bajos caudales y cargas parciales.

Sus principales elementos son los siguientes:

- Distribuidor

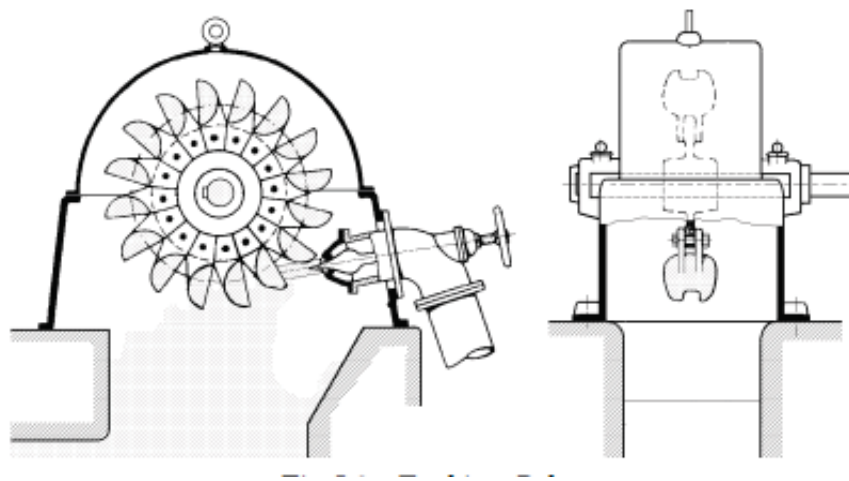
Es el elemento de transacción entre la tubería de presión y los inyectores, está hecho por uno o varios inyectores y cada uno de ellos consta de una tobera de sección circular provista de una aguja de regulación que se mueve axialmente, variando la sección de flujo; para una operación rápida que deje al rodete sin acción del chorro se adiciona una placa deflectora, así la aguja se cierra en un tiempo más largo reduciendo los efectos del golpe de ariete; en las turbinas pequeñas se puede prescindir de la aguja y operar con una o más toberas con caudal constante.

- Rodete

La turbina Pelton es de chorro libre, en ella la energía potencial del agua es transformada en energía cinética mediante toberas que facilitan el impulso del agua sobre los álabes, por lo tanto, el rodete facilita el impulso del agua sobre los álabes.

Por lo tanto, el rodete trabaja en condiciones cercanas a la presión atmosférica y debido a eso la altura de caída neta de una turbina Pelton es limitada a su cota inferior por el punto de impacto del chorro saliente de la tobera sobre la corona de los álabes del rodete.

Figura 5. **Turbina tipo Pelton**



Fuente: FERNÁNDEZ DIEZ, Pedro. Turbinas Hidráulicas. p.6.

3.4.2.7. **Turbina Francis**

Puede definirse como una turbina de reacción, de flujo mixto, centrípeto y de admisión total (figura 6). Son muy utilizadas en saltos de altura media equipadas con un distribuidor de alabes regulables y un rodete de alabes fijos, en las turbinas Francis rápidas la admisión sigue siendo radial, pero la salida tiende a ser axial.

Sus principales elementos son los siguientes:

- Distribuidor

Consta de una serie de alabes de posición variable y de perfil aerodinámico, dispuestos conforman conductos convergentes del tipo de tobera; de este modo el flujo del agua se acelera y orienta hacia el rodete bajo diferentes ángulos de inclinación y permite una regulación de caudal, mediante un regulador los álabes del distribuidor pueden ser operados manual o automáticamente.

- Rodete de la turbina Francis

Está formado por una serie de álabes fijos colocados entre un disco corona exterior; por lo general, poseen doble curvatura; el agua ingresa radialmente por la periferia externa y abandona el rodete en dirección axial para dirigirse al tubo de aspiración.

- Tubo de aspiración

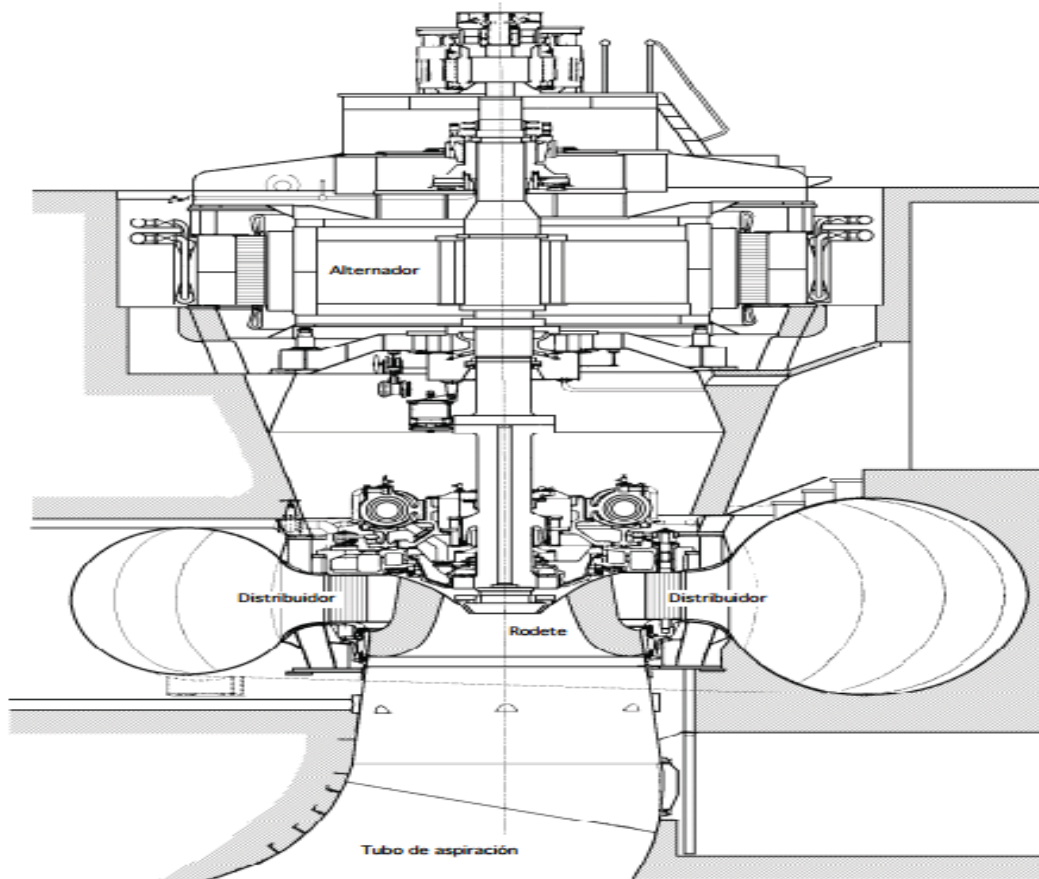
Su forma básica es la de un difusor, puede ser del tipo recto o del tipo acodado; la adopción de uno u otro de esos tipos dependerá de la altura de aspiración cuyo valor se calcula basándose en la teoría de la cavitación.

- Carcasa

Consiste en una cámara en espiral que puede ser construida por fundición o segmentos de plancha soldada, su función es dirigir el agua hacia el distribuidor.

En turbinas que operan con bajo salto puede no haber espiral cuando se trabaja la turbina en modalidad de cámara abierta o del tipo pozo.

Figura 6. **Turbina tipo Francis**



Fuente: FERNÁNDEZ DÍEZ, Pedro. Turbinas Hidráulicas. p. 54.

3.4.2.8. Turbina tipo Michel-Banki

La turbina Michell-Banki, también conocida como: de flujo cruzado, Michell, Ossberger, es clasificada como una turbina de acción, entrada radial, de admisión parcial y flujo transversal. Los rangos de operación son los siguientes:

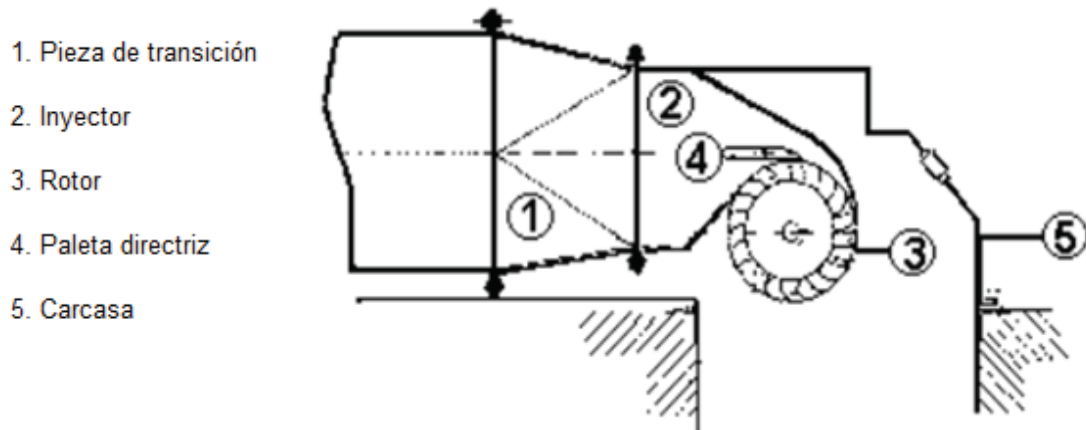
Altura H:	$1 \text{ m} \leq H \leq 100 \text{ m}$
Caudal Q:	$0,2 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q \leq 7 \text{ m}^3/\text{s}$
Potencia P:	$P \leq 1 \text{ Mw}$
Velocidad específica:	$30 \leq \eta_s \leq 180$

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 menores costos iniciales, así como, de operación y mantenimiento.
- Es la turbina que mejor se adapta para ser usada en medios rurales.

En la figura 7 se presentan las principales partes de una turbina Michell-Banki

Figura 7. Turbina tipo Michel-Banki



Fuente: PAZ, Edgar, Metodología de diseño hidráulico y mecánico de una turbina Michell-Banki. p. 1.

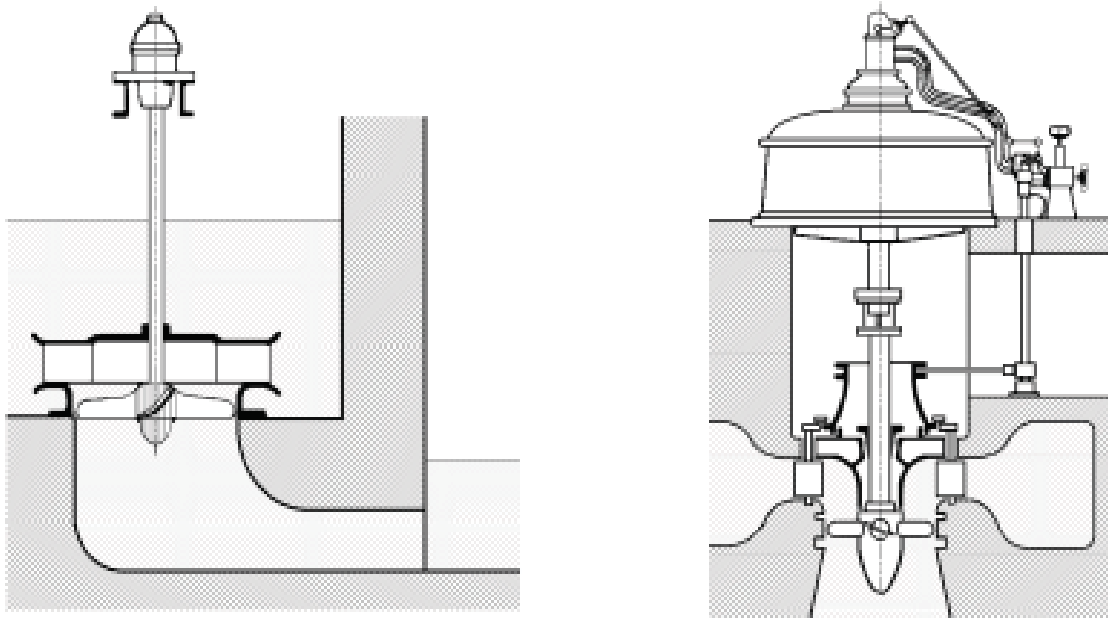
3.4.2.9. Turbinas Hélice, Semikaplan y Kaplan

Una instalación con turbina hélice, se compone básicamente de una cámara de entrada que puede ser abierta o cerrada, un distribuidor fijo, un rodete con 4 o 5 palas fijas en forma de hélice de barco y un tubo de aspiración. También hay otra variante de la hélice consistente en una turbina con distribuidor regulable y rodete de palas fijas.

Las turbinas semi-Kaplan y Kaplan, son variantes de hélice con diferentes grados de regulación.

Tanto la Kaplan como la semikaplan poseen el rodete con palas ajustables que les proporciona posibilidad de funcionamiento en un rango mayor de caudales. La turbina Kaplan, además, tiene distribuidor regulable, dándole un mayor rango de funcionamiento con mejores rendimientos, a costa de una mayor complejidad. En la figura 8, se muestra el tipo de turbina Kaplan.

Figura 8. **Turbina tipo Kaplan**



Fuente: FERNÁNDEZ DIEZ, Pedro. Turbinas hidráulicas. p. 4.

3.4.2.10. Generadores

Es la máquina que transforma la energía mecánica de rotación de la turbina en energía eléctrica y su funcionamiento se basa en la inducción electromagnética. Se distinguen dos tipos de generadores que son:

- Generadores de corriente continua

Son máquinas que proporcionan a su salida, voltaje en Corriente Continua (CC) o Corriente Directa (CD).

- Generadores de corriente alterna

Son máquinas que convierten energía mecánica en energía eléctrica de Corriente Alterna (CA). Hay dos clases principales de generados CA, los cuales son:

- Generadores sincrónicos: son máquinas sincrónicas (motores cuya corriente de campo suministra una fuente externa de potencia CC), que se usan para convertir potencia mecánica en potencia eléctrica CA.
- Generador asíncrono o de inducción: son motores de inducción que operan como generadores en forma autónoma o en paralelo con un alternador.

3.4.2.11. Elementos de regulación

Son aquellos que regulan los componentes móviles de las turbinas y pueden ser de dos tipos: hidráulicos y electrónicos.

Su misión es conseguir y adecuar la turbina a las circunstancias existentes en cada momento para que pueda trabajar con el mejor rendimiento energético posible en cada circunstancia.

3.4.2.12. Transformadores

Son máquinas destinadas a convertir una tensión de entrada en otra distinta a la salida. El objeto del transformador es elevar la tensión de generación eléctrica para reducir en lo posible las pérdidas de transporte en la línea.

3.4.2.13. Celdas y panel de control

Suelen instalarse generalmente en el interior de la central y están constituidos por diversos componentes eléctricos de regulación, control, protección y medida.

3.4.2.14. Línea eléctrica de interconexión

Es la parte del suministro eléctrico constituida por los elementos necesarios para llevar hasta los puntos de consumo y a través de grandes distancias la energía eléctrica generada en las centrales eléctricas.

4. QUERIMIENTOS PARA RESTAURAR CENTRALES HIDROELÉCTRICAS A PEQUEÑA ESCALA

Tiene el propósito de analizar y determinar correctamente los aspectos necesarios, para llevar a cabo la restauración del proyecto. Así como definir la viabilidad, los estudios económicos y financieros.

4.1. Aspectos socioeconómicos

El objetivo principal de este estudio es la determinación de información básica sobre requerimientos y demanda energética. En él se deberá incluir la cantidad de habitantes o número de familias de la localidad a ser servida, sus principales actividades productivas, niveles de ingreso, servicios de que disponen (agua potable, energía, escuelas, etcétera) información histórica sobre su crecimiento etcétera y una tipificación de posibles niveles de satisfacción de necesidades energéticas. El estudio permitirá, además de la determinación de la demanda, establecer un estimativo de la capacidad de pago posible de las comunidades, lo que unido al estudio económico del proyecto (relaciones beneficio / costo, costo / eficiencia) permitirán el establecimiento de la tarifa por el servicio.

4.1.1. Características sobre los aspectos socioeconómicos

Son muy importantes para determinar la necesidad que tiene el lugar de incrementar la producción de energía eléctrica, debido al crecimiento demográfico y a la actividad económica del mismo. Las principales características son:

- Estimación de la población futura
- Actividad económica

4.1.1.1. Estimación de la población futura

El aumento de la población es un parámetro importante que se debe tomar en cuenta para el diseño o restauración de todo proyecto de ingeniería, mostrando estadísticamente la misma a unos veinte años plazo como mínimo, debiéndose especificar el porcentaje que tiene el lugar respecto de la población total del área donde se encuentra el proyecto, el sexo masculino y femenino, clasificando la distribución porcentual de la población por región, la densidad demográfica, el porcentaje de población e indicando las poblaciones de mayor importancia.

La población a servir es una población que tiene que ser pronosticada y para tal efecto existen dos métodos, que se utilizan de acuerdo a la información que se obtenga, los cuales son:

- Métodos analíticos

Los métodos analíticos más comunes que se utilizan en un pronóstico son los siguientes:

- Método geométrico

Este método se utiliza para niveles de complejidad bajo, medio y alto, para poblaciones de actividad económica importante, el crecimiento es geométrico si el aumento de población es proporcional al tamaño.

La fórmula que se utiliza es:

$$P = P_1(r + 1)^n$$

En donde:

P_1 = población al tiempo t_1 (censo más antiguo)

P = población al tiempo t

r = tasa de crecimiento geométrico

n = período de diseño

En Guatemala la tasa de crecimiento oscila entre un 6%, mientras que en otros países es del 3%. Este dato se puede obtener en el Instituto Nacional de Estadística para todos los municipios, existen tasas rurales y urbanas.

- Método aritmético

Este método se considera en las zonas en donde se espera que haya un crecimiento muy lento. Cuando la población está bastante desarrollada.

La fórmula que se utiliza es:

$$P = P_1 + (P_2 - P_1) \left(\frac{t - t_1}{t_2 - t_1} \right)$$

En donde:

P_1 = población al tiempo t_1 (censo más antiguo)

P_2 = población al tiempo t_2 (censo más reciente)

P = población al tiempo t

- Métodos gráficos

Los gráficos se toman en cuenta cuando se tiene el número de datos suficientes, para acomodarlos en una curva, los cuales son:

- Proyección a ojo
- Proyección comparada

4.1.2. Fuentes de información

Las fuentes primarias para obtener información, pueden ser los servicios de estadística de los que disponga el país, en Guatemala se puede encontrar información en las siguientes instituciones:

- Instituto Nacional de Estadística (es el responsable de realizar los censos de población).
- Registros municipales y de salud (nacimientos y defunciones).
- Comités comunitarios de desarrollo (COCODES).
- Censos escolares.
- Censos de población que se efectúa previo al diseño (éste conviene realizarlo cuando la cuadrilla lleva a cabo los trabajos de topografía).

4.1.3. Actividad económica

Consiste en realizar un análisis acerca de la producción que tiene el departamento, dándole énfasis al tipo de actividades e industrias con que cuenta la misma.

Con relación a la agricultura, se necesita indicar el tipo de cultivos agrícolas producidos en el lugar, destacándose el número de industrias por estrato ocupacional ubicadas, describiendo las características más importantes de cada una, como la fecha de inicio, el volumen de producción y otros datos que se consideren importantes, tomando en cuenta el crecimiento industrial que tendrá la región a mediano y largo plazo.

4.2. Aspectos de mercado

Este tiene como finalidad determinar la factibilidad de mercado, para lo cual se deben analizar las siguientes variables:

- Mercado eléctrico en Guatemala: es el encargado de generar, transmitir y distribuir energía eléctrica.
- Contratos PPA: constituyen acuerdos de compra de energía en los cuales el inversionista construye una planta de generación y un comercializador de energía paga una tarifa establecida entre 15 y 20 años de plazo. Este pago le otorga el derecho potencial de adquirir la energía aunque dicha planta permanezca apagada y no genere un solo kilovatio, es decir, los contratos PPA son un seguro que contrata el inversionista.
- Mercado libre: es el sistema en el cual el precio de los bienes o servicios es acordado por el consentimiento entre los comercializadores y los consumidores, mediante la oferta y demanda.

4.3. Geotecnia

Este estudio es muy importante para definir las características del terreno en que se fundarán las obras hidráulicas y las estructuras hidromecánicas y eléctricas, para determinar su estabilidad frente a sismos, vientos, erupciones volcánicas, etcétera.

Dependiendo del tamaño de la central hidroeléctrica se deberá ser más riguroso en el alcance de los estudios geológicos, geotécnicos y sísmicos.

4.3.1. Mecánica de suelos

El origen geológico de los materiales del suelo en el aprovechamiento desempeña un papel esencial, este determina sus características físicas. Para determinar el origen de los suelos, los estudios se basan principalmente en observaciones de campo e información de la región y eventualmente, de acuerdo a las necesidades constructivas, en estudios específicos para determinar la ubicación adecuada de la captación y las obras anexas, verificando una buena ubicación para los cimientos; al igual que para constatar la calidad de los suelos para ser usados como materiales de construcción.

4.3.2. Método de excavación

Por medio de los métodos de excavación es posible determinar la estratigrafía, realizar ensayos y tomar las muestras necesarias para los ensayos de laboratorio.

4.3.2.1. Sondeo

Con este método se busca localizar los estratos de grava y roca, determinando los componentes en la primera etapa de exploración. Esto se hace hincando barras en el suelo con acción dinámica o estática, con ayuda de equipos manuales o mecánicos motorizados, anotando continua o discontinuamente la resistencia de penetración.

4.3.2.2. Perforaciones

Se realizan excavaciones en el terreno, con el fin de obtener muestras de suelo y determinar la estratigrafía y las propiedades de estos materiales. En la perforación se observa la permeabilidad, la deformación del suelo y la presión de poros. Las perforaciones se realizan con equipos de perforación que generalmente usan barrenos y en muestreos continuos.

4.3.2.3. Pozos de inspección

Se usan como complemento de las investigaciones de las perforaciones y principalmente se realizan para asegurarse de la información obtenida, estableciendo niveles impenetrables del suelo, por medio de sondeos. Un pozo de inspección se realiza por cada cinco perforaciones del suelo en un área alejada del centro.

4.4. Geología

La finalidad de estos estudios es la de determinar las características básicas y composición del suelo y subsuelo del cauce del río y su cuenca de aporte, para establecer bases de orientación general para la construcción.

En otras palabras, determinar si las rocas darán un buen soporte, si el local es sísmico o no, si hay posibilidades de deslizamientos de taludes, licuefacción de suelos, si hay necesidad de anclaje en la base, etcétera.

Los principales aspectos a definir son: formaciones geológicas, fenómenos kársticos (disolución de calizas al reaccionar con el agua), determinación de fallas, orientación y actividad volcánica, sismos (probabilidad y magnitud), identificación de estructuras (escapes, vertientes, etcétera) propiedades mecánicas del suelo, estabilidad y niveles freáticos.

En el caso de pequeñas centrales hidroeléctricas, por razones económicas, se debe considerar que los costos de los estudios necesarios sean los menores posibles, por lo que es conveniente que los estudios geológicos se realicen principalmente mediante excavaciones y sondeos no muy profundos y la utilización de mapas geológicos que existan sobre la zona.

4.5. Hidrología

Los resultados de los estudios hidrológicos representan uno de los datos más importantes para el diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas; ellos caracterizan la dimensión y régimen del río en estudio (cantidad de agua y su distribución en el tiempo).

El objetivo principal de los estudios hidrológicos, es estimar los caudales aprovechables para la generación de energía y para el diseño de las obras civiles. Esto se hace generalmente determinando caudales promedios y caudales externos (máximos y mínimos).

Es muy importante tomar en cuenta que el caudal de un río es variable a través de las diferentes estaciones del año, por lo que es necesario optimizar el uso del agua para la generación eléctrica por medio de un diseño de caudales máximos y mínimos.

En zonas aisladas, los datos hidrológicos son escasos y muchas veces se necesitan datos de cuencas pequeñas, donde la información es aún menor. El estudio hidrológico se puede simplificar sin tener márgenes de error muy significativos, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Mediciones de caudales (caudal máximo, mínimo, promedio)
- Medición de la velocidad de la corriente
- Relación entre niveles y caudales

En este estudio se pueden dar varias situaciones de falta de datos y de acuerdo a estas se presentan las siguientes situaciones: si se tiene información pluviométrica más no hidrológica es posible determinar los caudales máximo, mínimo y medio. Si no se tiene información ni hidrológica ni pluviométrica o si se tiene información de un sitio de la cuenca del afluente alejado de la bocatoma, es posible transponer información de una cuenca vecina o de una cuenca similar, si el proyecto es muy pequeño puede ser suficiente con información de uno o dos años en el lugar de la bocatoma.

- Caso 1: si existe información

Si se cuenta con información de alrededor de 10 años, se determina el caudal de diseño usando las curvas de duración de caudales y de frecuencias. Usando el caudal máximo y mínimo se calcula la estabilidad de la presa y se determina el sitio de ubicación de la casa de máquinas evitando una posible inundación. Con base al volumen de sedimentos suspendidos se diseña el desarenador.

- Caso 2: cuando hay registros pluviométricos

En regiones alejadas, es muy probable encontrar poca información y por lo general la información que se obtiene son registros pluviométricos. Con estos registros es posible estimar los caudales anuales, aplicando balances hidrológicos a partir de los registros en las diferentes estaciones, mapas de isoyetas y los registros de caudales mínimos de un año; reduciendo el área cubierta por las estaciones a solamente el área de interés, obteniendo el caudal máximo y mínimo anual.

- Caso 3: si se cuenta con registros de caudal de una estación

En ocasiones los datos que se tienen son de una cuenca paralela o de una sobre el aprovechamiento pero lejos del sitio de la toma, en este caso se transponen los datos al sitio de interés.

4.5.1. Métodos de medición de caudales

Para la medición de caudales de un río (aforo), generalmente se utiliza, el método volumétrico y el método de sección por velocidad.

4.5.1.1. Método volumétrico

Consiste en hacer llegar el caudal a un depósito impermeable cuyo volumen sea conocido y contar el tiempo total en que se llena el depósito.

La fórmula para calcular el caudal es:

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

En donde:

Q = caudal (m³/s)

V = volumen (m³)

t = tiempo (segundos)

Este método es de utilización práctica siempre que se trate de mediciones de pequeños caudales.

4.5.1.2. Método de sección por velocidad

Consiste esencialmente en medir el área de una sección normal a la corriente y determinar la velocidad media en dicha sección con lo que se obtiene el caudal con la fórmula:

$$Q = A \times v$$

En donde:

Q = caudal (m³/s)

A = área de la sección (m²)

v = velocidad (m/s)

4.5.1.3. Determinación por medio de flotadores

Se escoge un tramo de aforo y libre de obstáculos cuya longitud se trata de que no sea menos de seis veces el ancho del río. Se determinan tres perfiles transversales (entrada centro y salida del tramo).

Se ponen los flotadores en el agua con la menor brusquedad posible, al principio del tramo escogido y se mide el tiempo en segundos que tarda el flotador en recorrer toda la longitud del tramo. Esta acción se repetirá un mínimo de 10 veces y el promedio de los tiempos es el que se utilizará para la valorización del aforo. La velocidad media será entonces:

$$v = \frac{L}{t}$$

En donde:

v = velocidad media (m/s)

L = longitud del tramo

t = tiempo (segundos)

4.5.1.4. Determinación por medio de la pendiente

Cuando las condiciones naturales de la corriente dificultan el uso del molinete o del flotador, se puede determinar la velocidad media a través de la pendiente.

El método consiste en demarcar un tramo recto del río y determinar la diferencia de nivel y la distancia entre los dos puntos resultando de esta operación:

$$\text{Pendiente "S"} = \frac{\text{diferencia de elevación}}{\text{longitud}}$$

$$\text{Velocidad – Maning} \rightarrow v = \frac{1}{\mu} R^{2/3} S^{1/2}$$

En donde:

S = pendiente del tramo

R = A / p --radio hidráulico promedio del tramo

A = área promedio del tramo

p = perímetro mojado promedio del tramo

μ = coeficiente de rugosidad

4.5.2. Estudio hidrológico de la cuenca

El estudio hidrológico de la cuenca del río comprende una investigación exhausta, debiéndose hacer una que incluya los siguientes aspectos:

- Cartografía, mapas con curvas de nivel.
- Fotografías aéreas de diferentes épocas.
- Estudios anteriores sobre desarrollos de ingeniería en la región, debiéndose incluir monografías sobre la zona.
- Caudales que incluyan toda la información sobre caudales medios diarios, máximos instantáneos.
- Uso actual y futuro de la tierra en la región.

Para complementar el estudio es necesario conocer el área de la cuenca, el perfil del suelo y la cobertura vegetal.

4.5.3. Determinación de la curva de duración de caudales

Es el gráfico que representa la probabilidad de la ocurrencia de caudales medios en el área elegida.

La curva de duración tiene formas típicas, según sean las características fisiográficas y de infiltración de la cuenca vertiente y de acuerdo con el período tomado para el análisis que puede ser, diario, mensual o anual.

Con los datos obtenidos del análisis de la curva de caudales diarios, se hacen los estudios de potencia y energía; de esta manera se deduce el caudal. Cuando la información existente no es adecuada para hacer el análisis de frecuencias de los caudales diarios en el sitio de toma, hay necesidad de deducir la curva de duración utilizando técnicas de regresión, modelos de generación de caudales y tránsito de caudales diarios o extensión de registros de caudales en las quebradas.

4.6. Hidráulica

Este estudio es muy importante, permite tomar decisiones sobre la conformación de algunas de las estructuras que comprenden las centrales hidroeléctricas, como por ejemplo; el desarenador, el embalse, canales de conducción, etcétera.

Algunos de los parámetros a ser estudiados y que tienen incidencia sobre la velocidad y el régimen hidráulico del río son: el área de las secciones de interés, su perímetro mojado, la pendiente del río, la naturaleza del lecho y las paredes del río (rocas, aluviones, etcétera) y por ende su rugosidad, capacidad de transporte de sedimentos, etcétera.

4.7. Ambiente

La realización de un proyecto de un sistema híbrido de generación de energía eléctrica, genera un impacto sobre el ambiente aledaño. El estudio del impacto generado es un factor muy importante para determinar la viabilidad del proyecto. El eje principal de este es la sociedad y el individuo frente a este proyecto, pero es indispensable evaluar también desde este punto de vista el proyecto en general.

Para los estudios ambientales se deben tener en cuenta las condiciones topográficas, hidrológicas, geológicas y ambientales de la cuenca; las obras civiles y sus sistemas constructivos y técnicos; así como, los factores culturales y socioeconómicos que esta restauración afectará.

4.7.1. Evaluación de impacto ambiental

El objetivo planteado al elaborar el estudio de impacto ambiental de la restauración de una minicentral hidroeléctrica, es el de formular las medidas precautorias que se deben adoptar en la fase de restauración, con la finalidad de identificar los impactos ambientales positivos y negativos que se originan durante el proyecto y de esta manera compensarlos, mitigarlos, atenuarlos o eliminarlos. Del desarrollo del estudio es posible además, obtener las medidas adecuadas para potenciar los impactos positivos resultantes.

4.7.2. Métodos de evaluación de impacto ambiental

Existen varios métodos para evaluación de impacto ambiental, entre estos se tiene los siguientes:

- Método de Matriz de Evaluación de Impacto Rápida (RIAM).

- El sistema de evaluación ambiental *Battelle* para evaluación global.
- El método Leopold para evaluación global.
- Método de indicadores de características.
- Método de Dean & Nishry.

El método de RIAM es el que se utilizará en la evaluación de impacto ambiental de la restauración de la minicentral hidroeléctrica, motivo por el cual es el único que se explica.

4.7.2.1. Método de RIAM

Es una herramienta para organizar, analizar y presentar los resultados integrados de una evaluación de impacto ambiental. Fue desarrollado en 1998 en Dinamarca por Christopher Pastakia, del Instituto de Ambiente Acuatico (VKI).

Este método proporciona componentes que son determinados con un valor total utilizando criterios definidos, lo que proporciona una medida del impacto en el ambiente esperado para cada componente.

4.7.2.2. Criterios de evaluación del método de RIAM

Estos criterios se basan en los dos grupos A y B, considerando una valoración (escala) asociada a efectos extensivos, beneficios o cambios en el estado natural con características de permanencia, reversibilidad o acumulación.

Los criterios de evaluación se muestran en la tabla III.

Tabla III. **Criterios para evaluación del impacto ambiental del método de RIAM**

Categoría	Escala	Descripción
A1: Importancia de la condición	4	De importancia nacional / de interés internacional
	3	De importancia regional / de interés nacional
	2	De importancia a áreas inmediatas fuera de la condición local
	1	De importancia solamente a la condición local
	0	No importante
A:2 Magnitud de cambio / efecto	+3	Beneficios positivos mayores
	+2	Mejoramiento significativo en status quo
	+1	Mejoramiento en status quo
	0	No cambio / status quo
	-1	Cambio negativo en status quo
	-2	Cambio negativo significativos
	-3	Cambios negativos mayores
B1: Permanencia	1	No cambio / no aplicable
	2	Temporal
	3	Permanente
B2: Reversibilidad	1	No cambio / no aplicable
	2	Reversible
	3	Irreversible
B3: Acumulativo	1	No cambio / no aplicable
	2	No acumulativo / sencillo
	3	Acumulativo / sinérgico

Fuente: PASTAKIA, Chistopher M. R. 2001. The Rapid Impact Assessment Matrix (RIAM). DHI Water & Environment Horsholm, denmark. p 32.

4.7.2.3. Componentes ambientales del método de RIAM

El método RIAM requiere de una evaluación específica de los componentes a ser definidos a través del proceso de *scoping*, el cual consiste en la evaluación del impacto ambiental del alcance a través de los términos establecidos con base en la legislación ambiental. Estos componentes deberán estar en cada una de las evaluaciones, con su respectiva identificación para efectos de análisis gráficos, los que se describen a continuación.

- Físico / Químico (PC) -Negro-
Cubre todos los aspectos físicos y químicos del ambiente.
- Biológico / Ecológico (BE) -Gris medio-
Cubre todos los aspectos biológicos y ecológicos del ambiente.
- Sociológico / Cultural (SC) -Gris oscuro-
Cubre los aspectos humanos del ambiente, desde el punto de vista social y cultural.
- Económico / Operacional (EO) -Gris claro-
Identifica las consecuencias económicas de los cambios ambientales, tanto temporales como permanentes.

4.7.2.4. Evaluación de resultados del método de RIAM

Para realizar el sistema de evaluación, se produce una matriz determinando la fase del proyecto a evaluar, creando celdas que muestren los criterios utilizados en conjunto con cada componente definido. Partiendo de la tabla III, el modelo o programa computarizado calcula el puntaje ambiental para cada componente, los que sumados proporcionan el resultado final.

Con el objeto de proveer una evaluación completa, los puntajes son clasificados en bandas de rangos a efecto que puedan ser comparados entre sí. La tabla IV proporciona los rangos establecidos para la conversión de los puntajes obtenidos, los que se encuentran entre los valores de más / menos 108 y la banda de rangos es de más / menos E. Cuando estos son clasificados pueden ser presentados en forma numérica o gráfica utilizando esquemas computarizados.

Tabla IV. **Rango de evaluación de resultados del método RIAM**

Puntaje ambiental (ES)	Banda de rangos (RB)	Descripción de la banda de rangos
+72 a + 108	+E	Cambios / impactos positivos mayores
+36 a + 71	+D	Cambios / impactos positivos significativos
+19 a + 35	+C	Cambios / impactos positivos moderados
+10 a + 18	+B	Cambios / impactos positivos
+1 a + 9	+A	Cambios / impactos ligeramente positivos
0	N	No cambios / status quo / no aplicable
-1 a -9	-A	Cambios / impactos ligeramente negativos
-10 a -18	-B	Cambios / negativos
-19 a -35	-C	Cambios / impactos negativos
-36 a -71	-D	Cambios / impactos negativos significativos
-72 a -108	-E	Cambios / impactos negativos mayores

Fuente: PASTAKIA, Chistopher M. R. 2001. The Rapid Impact Assessment Matrix (RIAM). DHI Water & Environment Horsholm, denmark. p. 35.

4.8. Obras civiles

Las posibilidades del desarrollo de la restauración, determinan el análisis del rendimiento económico relativo y la capacidad instalada óptima aproximada de la misma, que satisfaga las condiciones particulares del lugar. Comparando criterios económicos, como el menor costo unitario de la energía demandada.

4.8.1. Criterios de diseño

Se basan en el aprovechamiento del recurso, dando soluciones óptimas desde un punto de vista económico y dependiendo de muchos factores, tales como la situación de los centros de consumo y sus necesidades energéticas, la topografía de la zona, el desnivel pluvial y el caudal disponible.

La ubicación de una minicentral hidroeléctrica debe ser próximo a las fuentes de consumo ya que, con ello, la longitud de la línea de interconexión será mínima, lo que supone un menor costo y la reducción de las pérdidas que se producen en el transporte de la energía eléctrica estando condicionadas por la topografía; tomando en cuenta la existencia de desniveles naturales del terreno que hacen posible un mejor aprovechamiento hidroeléctrico.

4.8.1.1. Presa

La presa a considerar será con base en las condiciones topográficas y estudios geológicos hechos en el sitio. Los tipos constructivos de presas usadas en Guatemala son de gravedad, de tierra y de enrocamiento. Aunque, generalmente, para pequeñas centrales se utilizan las de gravedad de concreto y las de gravedad construida por gaviones.

El objetivo de construir una presa es obtener una elevación del río, con la creación o no de un embalse; este último permite regular las aportaciones.

Entre los datos más importantes que se deben considerar en el diseño de la presa de una pequeña central hidroeléctrica se encuentran:

- Topografía.
- Informe geológico.
- Registros de pozos de pruebas y sondeos.
- Datos hidráulicos (capacidades y requisitos).
- Datos hidrológicos.
- Localización de bancos y de depósitos de agregados, así como servicios de transporte disponibles.
- Fotografías aéreas.

4.8.1.2. Bocatoma

Se puede emplear en casos en que sea necesario una regulación muy exacta del caudal. Además, debido a la poca desarenación que tiene esta estructura debe disponerse antes o en la cámara de carga, un desarenador. Las principales consideraciones de diseño de una bocatoma son:

- Asegurar la derivación permanente del caudal de diseño.
- Captar el mínimo de sólidos y disponer de medios apropiados para su evacuación.
- Proveer de un sistema adecuado que permita el paso de las avenidas que tienen gran cantidad de sólidos y material flotante.

- Estar ubicadas en un lugar que presente condiciones favorables, desde el punto de vista de funcionamiento hidráulico y de facilidades de construcción.

4.8.1.3. Desarenador

Los desarenadores son muy importantes ya que ellos impiden el paso de materiales sólidos que pueden producir daños considerables, ya que se van sedimentando en el fondo del canal y con el tiempo van reduciendo su capacidad.

Algunos criterios que se deben tomar en cuenta durante su diseño son:

- La transición de entrada debe tener un ángulo horizontal suave, no mayor de 12 grados con respecto del trazo longitudinal del canal.
- La profundidad varía entre 1,5 y 4 metros.
- La pendiente longitudinal del canal de central de la cámara varía entre 2 y 6%.
- La pendiente transversal generalmente varía de 1:5 a 1:8 que es la relación de la medida vertical respecto de la medida horizontal.
- El diámetro máximo de la granulometría debe estar dentro del rango de 0,15 a 0,40 milímetros.
- La capacidad de desarenación debe ser más de 1,5 a 2 veces la capacidad teórica.

- La sedimentación varía de acuerdo con el tamaño y al peso de la partícula.
- Es necesario hacer un estudio de la cantidad y tamaño de sedimentos que arrastra el agua para asegurar una adecuada capacidad del desarenador y no necesitar lavarlo con demasiada frecuencia.
- Para un lavado rápido y eficaz se debe dar al agua una sólida velocidad de 3 a 5 metros sobre segundo, pero debe ser determinada en función de la cantidad de sedimento.

4.8.1.4. Canales

Existen algunos criterios desde el punto de vista de diseño, construcción o restauración que tienen que tomarse en cuenta, pues esto facilitará su ejecución. La dimensión mínima de una canal no debe ser inferior a 0,80 metros para que una persona pueda moverse al realizar la excavación.

El tirante del agua no deberá ser mayor de 2 metros y las paredes deberán tener una holgura mínima de 0,30 metros en relación con el tirante máximo previsto en épocas de creciente.

En el diseño de una canal es importante considerar las pendientes que puede tolerar; así pues, una pendiente muy fuerte ocasionará erosión. La misma que puede ser mayor en caso de suelos de grano fino, pero dependiendo también del material cementante.

4.8.1.5. Cámara de carga

La cámara de carga debe ser diseñada para que cumpla las siguientes funciones:

- Permitir la conexión entre el sistema de conducción y tubería de presión.
- Producir la sedimentación y eliminación de materiales sólidos que vienen por el canal.
- Impedir la entrada de materiales sólidos de arrastres y flotantes en la tubería de presión.
- Desalojar el exceso de agua en horas en las cuales la cantidad de agua consumida por las turbinas es inferior al caudal de diseño.
- Crear un volumen de reserva de agua que permita satisfacer las necesidades de las turbinas, durante los aumentos bruscos de demanda.
- Mantener sobre la tubería una altura de agua suficiente para evitar la entrada de aire a la misma.

4.8.1.6. Aliviaderos de cámara de carga

Para diseñar un aliviadero, se toma en cuenta el caudal de rebalse y el caudal de la compuerta de limpieza, el más grande de los dos es con el que se diseñan las dimensiones del canal o tubería.

4.8.1.7. Tubería de presión

Para el diseño de la tubería de presión se necesita encontrar su diámetro, para eso se deben tener los siguientes datos:

- Caída o salto, que es la diferencia de cota que hay entre la cámara de carga y la casa de máquinas.
- El caudal a conducir en la tubería deberá ser únicamente el necesario para generar la potencia establecida.
- Tipo de material de la tubería.
- Longitud de la línea de conducción.

4.9. Potencia de la turbina

La potencia generada se obtiene de las fórmulas que se describen a continuación:

$$P_E = P \eta_{GR} \eta_G$$

$$P = gQH\eta$$

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

En donde:

- P_E = potencia en los bornes del generador, kW
 P = potencia al eje de la turbina, kW
 Q = caudal de la turbina, en m³/s
 H = altura, en m
 η = eficiencia de la turbina (entre 0,75 y 0,90 para turbinas grandes y para pequeños tamaños entre 0,5 y 0,7)
 η_{TR} = eficiencia de la transmisión
 η_G = eficiencia del generador eléctrico (entre 0,92 y 0,97 para generadores de regular tamaño y para pequeños un promedio de 0,85)

En caso de no tener información directa de la eficiencia de las turbinas o generador se utiliza la información de la tabla II. Para la eficiencia de la turbina y los datos de la tabla V. Para la eficiencia del grupo de generación.

Tabla V. **Eficiencia del grupo de generación**

Potencia (kW)	Tipo de turbina			
	Pelton	Michell-Banki	Francis	Axial
< 50	58 - 65 %	54 - 62 %	59 - 65 %	58 - 86 %
51 - 500	65 - 69 %	62 - 65 %	66 - 70 %	66 - 70 %
501 - 5 000	69 - 73 %	65*	70 - 74 %	70 - 74 %

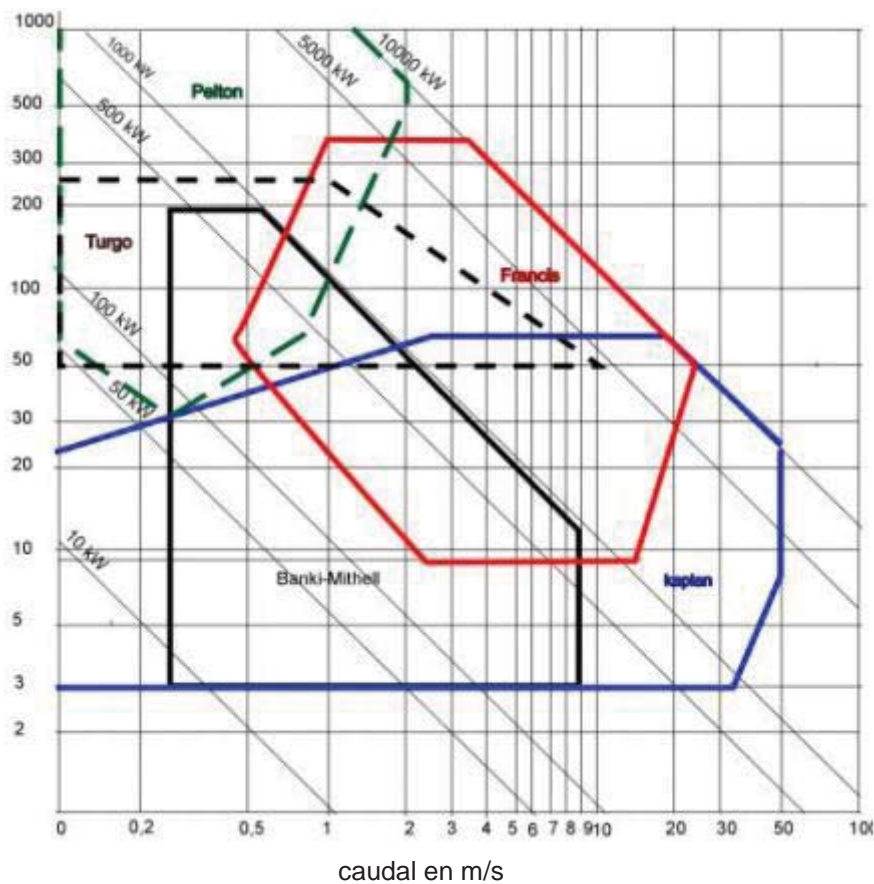
*Limitación por máxima potencia de 1 000.

Fuente: SÁNCHEZ, Teodoro y RAMÍREZ, Javier. Manual y microcentrales hidráulicas. p. 135.

4.10. Selección de la turbina hidráulica

La selección rápida de una turbina hidráulica puede realizarse utilizando el diagrama de la figura 9, en la cual aparecen las diversas turbinas que se usan en la actualidad ubicadas por zona de aplicación referidas al salto neto, caudal, potencia y una eficiencia promedio.

Figura 9. Diagrama de selección de turbinas hidráulicas



Fuente: PENCHE, Celso. Manual de la pequeña hidráulica. p. 183.

4.10.1. Velocidad de giro de una turbina hidráulica

También es conocida como velocidad nominal, velocidad sincrónica de la turbina o velocidad de sincronismo del grupo, depende fundamentalmente de la frecuencia que ha de ser suministrada la corriente eléctrica, normalmente depende de la frecuencia y del número de polos de los generadores.

La tabla VI muestra la velocidad de sincronismo de los generadores dependiendo de la cantidad de polos y de la frecuencia en Hertz (Hz).

Tabla VI. Velocidad de sincronismo de los generadores eléctricos

No. Polos	Frecuencia		No. Polos	Frecuencia	
	50 Hz	60 Hz		50 Hz	60 HZ
2	3 000	3 600	16	375	450
4	1 500	1 800	18	333	400
6	1 000	1 200	20	300	360
8	750	900	22	272	327
10	600	720	24	250	300
12	500	600	26	231	277
14	428	540	28	214	257

Fuente: PENCHE, Celso. Manual de la pequeña hidráulica. p. 187.

4.10.2. Velocidad específica de una turbina hidráulica

Denominada también velocidad específica absoluta, velocidad angular específica, número específico de revoluciones de caudal o número de Brauer. Representada normalmente por (N_s), corresponde al número de revoluciones por minuto (rpm) que daría una turbina semejante a la que se desea proyectar (de igual forma pero en dimensiones reducidas).

La fórmula para calcular N_s es la siguiente:

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

En donde:

N_s = velocidad específica

N = número de revoluciones (rpm)

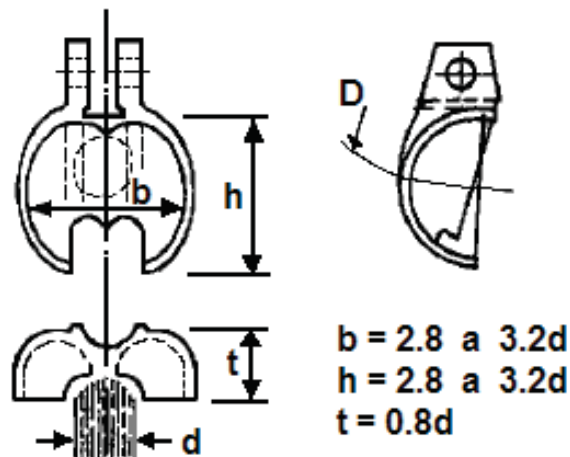
Q = caudal (m^3/s)

H = altura (m)

4.10.3. Dimensionamiento de la turbina Pelton

En centrales hidroeléctricas el uso de esta turbina puede resultar económico con caudales a partir de los 0,05 metros cúbicos por segundo y caídas desde 20 metros. En la figura 10 se muestran las ecuaciones de dimensionamiento de los álabes para una turbina Pelton.

Figura 10. Dimensionamiento del álabe de una turbina Pelton



Fuente: SANTOS SOLARES, José Adolfo. Estudio para la implementación de una pequeña hidroeléctrica, en un beneficio húmedo de café. p. 75.

Un aspecto importante en el dimensionamiento de la turbina consiste en el cálculo de la velocidad del chorro a la salida del inyector (C), diámetro del chorro (d), diámetro de Pelton o de rodete (D), número de álabes, altura de montaje y dimensiones de los álabes (ver figura10) se muestran en las siguientes fórmulas:

- Velocidad de chorro a la salida del inyector (C):

$$C = \varphi \sqrt{(2gH)}$$

- Diámetro de cada chorro (d):

$$d = 0,55 \frac{\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H}}$$

- Diámetro Pelton o rodete (D)

$$D = fm * \frac{\sqrt{H}}{N}$$

- Número de cucharas (Z):

$$Z = 0,5 * \frac{D}{d} + 14 \text{ a } 16$$

- Altura de montaje mínima (Hm):

$$Hm = 10d + \frac{H}{N}$$

En donde:

φ = coeficiente de velocidad (0,97 a 0,99)

g = gravedad (9,8 m²/s)

H = altura (m)

Q = caudal (m³/s)

f_m = factor multiplicador (37 a 39)

N = número de revoluciones (rpm)

4.10.4. Dimensionamiento de la turbina Francis

El dimensionamiento en estas turbinas es más laborioso; sin embargo, se pueden estimar las dimensiones generales en forma empírica de acuerdo a la figura 11, cada letra corresponde a un valor como se muestra a continuación:

a	b	c	d	e	f	g	h	i	k
1,5	1,9	1,7	2,0	1,3	1,05	2,9	1,4	2,0	3,8

Obtener las dimensiones reales, multiplicar estos valores por el diámetro del rodete D .

$$D = \left(0,239 + 0,0081 \frac{N\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \right) \frac{60}{\pi N} \sqrt{2gH}$$

En donde:

D = diámetro del rodete (m)

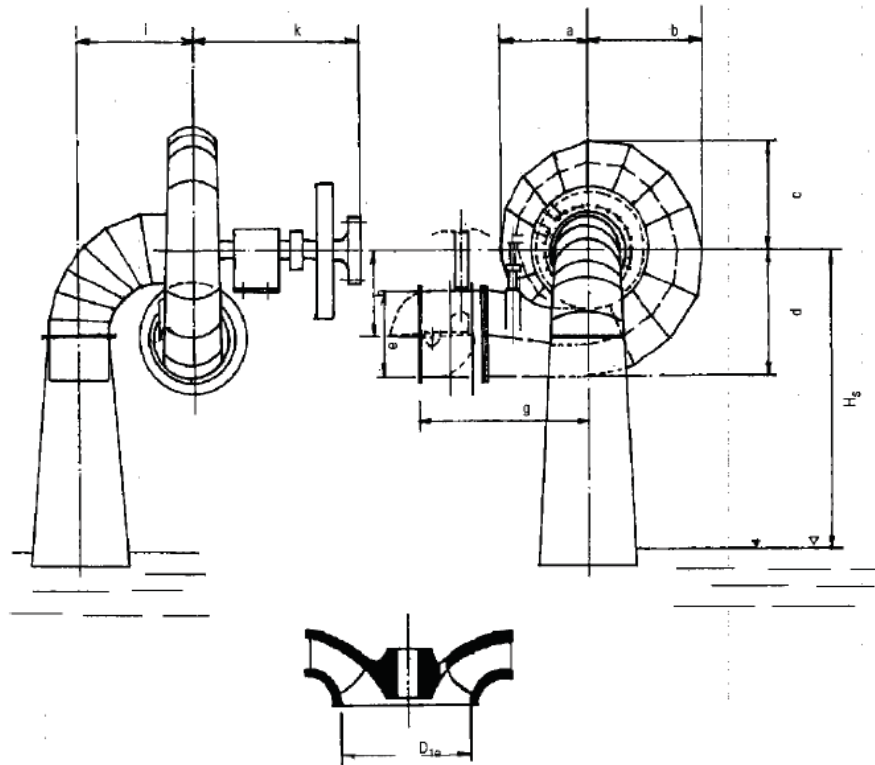
N = número de revoluciones (rpm)

Q = caudal (m³/s)

H = altura (m)

g = gravedad (9,8 m²/s)

Figura 11. Dimensiones básicas de una turbina Francis



Fuente: SÁNCHEZ, Teodoro y RAMÍREZ, Javier. Manual de mini y microcentrales hidráulicas. p. 145.

4.10.5. Dimensionamiento de una turbina Michell-Banki

La turbina Michell-Banki es especialmente apropiada para ríos con pequeños caudales. Estos generalmente llevan durante varios meses muy poca agua, por lo que en su diseño debe considerarse para el mínimo caudal que será el parcial y para épocas de abundancia de agua, se considerará el caudal total que será utilizado para usos productivos. Por tal motivo, el diámetro de esta turbina no depende del caudal, esto se afirma por el hecho de que esta turbina puede trabajar dentro de un amplio rango de velocidades de rotación. De acuerdo con esto el diámetro podrá ser seleccionado en primer término.

Los diámetros comúnmente utilizados van desde los 200 milímetros hasta los 500 milímetros, una vez seleccionado el diámetro se procede a obtener lo siguiente:

- Velocidad de giro de la turbina:

$$n = 40 \frac{\sqrt{h}}{D}$$

- Velocidad absoluta del chorro al inyector:

$$C_1 = K_C \sqrt{2gh}$$

- Velocidad tangencial de la turbina:

$$U_1 = 2,13K_C\sqrt{h}$$

- Velocidad relativa en la entrada del rotor:

$$W_1 = 2,46K_C\sqrt{h} \quad \text{Ecu}$$

En donde:

- n = velocidad de giro de la turbina (rpm)
- C₁ = velocidad absoluta del chorro al inyector (m/s)
- K_C = coeficiente de tobera 0,97
- h = altura neta (m)
- g = gravedad (9,8m²/s)
- U₁ = velocidad tangencial de la turbina (m/s)
- K_C = coeficiente de tobera 0,97
- W₁ = velocidad relativa (m/s)

4.11. Estudio económico y financieros

El estudio económico financiero conforma la tercera etapa de los proyectos de inversión, en que figura de manera sistemática y ordenada la información de carácter monetario, en resultado a la investigación y análisis efectuado en la etapa anterior; que será de gran utilidad en la evaluación de la rentabilidad económica del proyecto.

Este estudio en especial, comprende el monto de los recursos económicos necesarios que implica la realización del proyecto previo a su puesta en marcha, así como, la determinación del costo total requerido en su período de operación.

4.11.1. Precio de la energía

El establecimiento del precio de la energía o cuota del servicio eléctrico del proyecto de la restauración de la minicentral hidroeléctrica es crucial para su éxito o fracaso. Por un lado, se requiere que sea autosostenible, es decir, que con los ingresos generados por la presentación del servicio, se cubran sus costos de operación y mantenimiento; sin embargo, se debe asegurar que los usuarios estarán en la posibilidad de pagar sus cuotas, para que no se prescinda del servicio por incapacidad de pago o se den casos de morosidad.

Para la fijación del precio de la energía se considera el cálculo del costo unitario de la energía (CUE) que consiste en la división de los costos totales anuales del consumo de energía anual estimado, esto dará un resultado en quetzales por kilovatio hora.

$$CUE [Q/kWh] = \frac{\text{Costo total anual [Q]}}{\text{Consumo de energía anual [IWh]}}$$

$$CUE [Q/kWh] = \frac{\text{Costo de O\&M} + \text{Cuota anual préstamo [Q]}}{\text{Potencia instalada} * 8\,640 \frac{\text{h}}{\text{año}} * \text{factor de planta [IWh]}}$$

4.11.2. Factor de planta en minicentrales hidroeléctricas

El factor planta es la relación entre la energía utilizada y la energía que el sistema está en capacidad de entregar; esta relación tiene un valor menor o igual a la relación de potencia. La energía que el sistema está en capacidad de entregar se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$F.P. = \frac{\text{Energía efectivamente utilizada [kWh/año]}}{\text{Energía que la planta está en capacidad de entregar [kWh/año]}}$$

4.11.3. Flujo Neto Efectivo (FNE)

Son los flujos de efectivo que se deben generar después de poner en marcha un proyecto, de este parte la importancia en realizar un pronóstico muy acertado con el fin de evitar errores en la toma de decisiones.

4.11.4. Valor Actual Neto o Valor Presente Neto (VAN O VPN)

Es el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial. El Valor Presente Neto utiliza una tasa de descuento (puede ser el promedio de la tasa de inflación durante los últimos diez años), llamada así porque descuenta el valor de dinero en el futuro a su equivalente en el presente.

A los flujos traídos al tiempo cero que se les llama flujos descontados, se puede obtener utilizando la siguiente fórmula:

$$VPN = \sum FNEA * Inversión$$

Donde:

$\sum FNEA$ = sumatorias de Flujos Netos de Efectivo actualizados

El criterio de decisión para saber si se acepta o se rechaza un proyecto, según el VPN se contempla en la tabla VII.

Tabla VII. Criterio de decisión del VPN

Resultado	Decisión
Positivo (VPN > 0)	Se acepta (alternativa que más conviene)
Cero (VPN = 0)	Según criterio
Negativo (VPN < 0)	Se rechaza

Fuente: CASIA CARDAMO, Mónica Soledad. Evaluación Económica y Financiera.

p. 10.

El Factor de Actualización (FA) se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$F. A. = \frac{1}{(1 + r)^n}$$

Donde:

r = promedio tasa de inflación en Guatemala

n = vida útil del proyecto

4.11.5. Tasa Interna de Retorno (TRI)

Es la tasa que iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial durante n períodos. Para calcular la TIR se utiliza la siguiente fórmula:

$$TIR = R + (R_2 + R_1) \left[\frac{VPN (+)}{VPN (+) - VPN (-)} \right]$$

Donde:

R = tasa inicial de descuento

R₁ = tasa de descuento que origina el VPN (+) (Tasa inicial de descuento)

R₂ = tasa de descuento que origina el VPN (-)

El criterio de decisión para conocer si se acepta o se rechaza un proyecto, según la TIR se contempla en la tabla VIII

Tabla VIII. **Criterio de decisión de la TIR**

Resultado	Decisión
$TIR > \text{Tasa de inflación}$	Se acepta (Alternativa que más conviene)
$TIR < \text{Tasa de inflación}$	Se acepta (según criterio)

Fuente: CASIA CARDAMO, Mónica Soledad. Evaluación Económica y Financiera.. p. 13.

4.11.6. Análisis de viabilidad

Este análisis consiste en un estudio que busca determinar las posibilidades de suceso económico y financiero de un determinado proyecto. A través de dicho estudio se hacen previsiones de las ganancias y los costos generados calculando diversos indicativos de viabilidad, basados en la evaluación de los flujos generados, entre los cuales está el VPN y la TIR.

5. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

5.1. Antecedentes

En noviembre de 1998 durante el huracán Mitch, el equipo electromecánico de la minicentral hidroeléctrica fue dañado. El sistema contaba con dos turbinas para conversión de energía hidráulica, una para accionar una turbina tipo Pelton que generaba electricidad, para abastecer las oficinas, casa patronal y para iluminar el beneficio de café, esta parte en la actualidad se encuentra todavía fuera de servicio; la segunda se utiliza para mover una turbina más pequeña, también tipo Pelton, con la cual se acciona por medio de un eje central toda la maquinaria del beneficio de café, este sistema en la actualidad se encuentra en funcionamiento.

5.2. Objetivos del proyecto propuesto

- General

Proponer actividades para restaurar la minicentral hidroeléctrica de la Asociación de Agricultores y Campesinos Comunidad El Arenal, en el municipio de Senahú, Alta Verapaz, por medio del aprovechamiento de recursos renovables.

- Específicos
 - Establecer la demanda de energía eléctrica por parte de la comunidad para que se logre cubrir en su totalidad a la población.
 - Proponer un sistema de unificación utilizando una turbina con mayor capacidad de generación de energía eléctrica.
 - Determinar el costo mínimo de kilowatts hora por mes que deben pagar los usuarios de tal manera que permita el autosostenimiento del proyecto.

5.3. Justificación del proyecto propuesto

Según estadísticas del Instituto de Electrificación Nacional INDE en el país hay unas tres mil cuatrocientos veintidós (3 422) comunidades (compuestas por ciento treinta siete mil cuatrocientos setenta (137 470) viviendas y una población de setecientos mil (700 000) habitantes) sin acceso a electricidad, ya que la mayoría se encuentra en zonas lejanas a la infraestructura eléctrica. Esto se traduce en una población con pocas oportunidades de desarrollo.

La AACC El Arenal es una de las comunidades citadas anteriormente. Por lo que es de vital importancia restaurar la minicentral hidroeléctrica, que se encuentra dentro de la finca propiedad de la AACC El Arenal, con esto se logra abastecer a 145 familias con fluido eléctrico, de forma constante y económica. Además de contribuir al mejoramiento de la matriz energética de Guatemala y promoviendo el desarrollo sostenible de la comunidad.

Se tienen datos de los pobladores que en 1998, durante el huracán Mitch, la casa de máquinas se inundó, arruinando por completo el generador de energía eléctrica, banco de transformadores y panel de control. Esto ha disminuido el potencial productivo de los pobladores que limitan sus actividades a horas diurnas.

5.4. Descripción del proyecto

El proyecto consiste en brindar la metodología para restaurar la minicentral hidroeléctrica de la asociación de agricultores y campesinos de la comunidad El Arenal, en el municipio de Senahú, Alta Verapaz. Para la generación de energía eléctrica, utilizando el agua proveniente del río La Cascada.

5.4.1. Planteamiento del problema

La Asociación de Agricultores y Campesinos de la Comunidad (AACC) El Arenal, no cuenta con servicio de energía eléctrica que permita satisfacer las necesidades de la población, mejorando de esta forma la calidad de vida de sus habitantes.

Actualmente esta población se encuentra alejada del Sistema de Interconexión Nacional (SIN), se estima que la electricidad llegará a estos sectores dentro de las próximas décadas, pero el futuro es incierto y las políticas de gobierno no están enfocadas a dar solución a este problema.

Por su parte, el INDE no cuenta con los recursos para llegar a estas comunidades y el tema de transporte ha quedado en empresas privadas, pero a precios altos. Es importante tener en cuenta que el servicio de energía eléctrica, en las comunidades campesinas, facilita el funcionamiento de equipos y máquinas; como para uso doméstico, pequeños negocios, usos productivos, salud, educación y comunicación.

5.4.2. Localización del proyecto

El proyecto de restauración de la minicentral hidroeléctrica de la asociación de agricultores y campesinos de la comunidad El Arenal, se localiza sobre el río La Cascada en la Finca El Arenal, en el municipio de Senahú, departamento de Alta Verapaz.

5.5. Estimación de la oferta y demanda de energía eléctrica

La estimación de la oferta y demanda son aspectos importantes para el estudio de una minicentral hidroeléctrica, sus resultados deben aportar el consumo actual de la población a la que se desea suministrar energía.

5.5.1. Oferta de energía eléctrica

El Plan de Desarrollo Municipal (PDM) del municipio de San Antonio Senahú, del departamento de Alta Verapaz, 2011-2025, contiene entre sus objetivos brindar a la población el acceso al servicio de energía eléctrica para el 2025 en un 85 % a las viviendas rurales aisladas de distintas comunidades del municipio y entre ellas se encuentra la Comunidad El Arenal.

Por otro lado, la energía sustituta de la electricidad que actualmente utilizan las familias, para iluminación y entretenimiento son; velas, baterías y el gas corriente. Dicha acción deja en manifiesto los altos niveles de vulnerabilidad que tienen las viviendas en cuanto a poder sufrir daños en la infraestructura o en el peor de los casos, daños en los integrantes de las familias, principalmente en los niños.

5.5.2. Estimación de la demanda actual

El suministro de energía eléctrica tiene el propósito de mejorar las condiciones de vida del usuario al ofertar energía para el uso doméstico y productivo con un servicio confiable durante todo el año. Por esta razón, es necesario que se tenga una idea clara del estado energético.

Debido a que la comunidad El Arenal no cuenta con suministro de energía eléctrica, se realizaron los cálculos de una estimación actual tomando como modelo de referencia una vivienda de nivel socioeconómico bajo.

5.5.2.1. Demanda residencial

La Comunidad el Arenal está formada por 145 familias de beneficiarios originales y 18 familias adicionales correspondientes a hijos de beneficiarios. Cada vivienda tiene un tamaño de 32 metros cuadrados y solamente el 60% cuentan con una cocina de 15 metros cuadrados.

La tabla IX y X muestran el cálculo diario de estimación aproximada de energía eléctrica en kW/h.

Tabla IX. **Estimación de la demanda de energía eléctrica para vivienda sin cocina**

Artefactos eléctricos	Cantidad	Capacidad (Watts)	Horas de consumo diario	Consumo kW/h
Foco	3	60	4	0,72
Radio	1	30	5	0,15
			Total	0,87

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Estimación de la demanda de energía eléctrica para vivienda con cocina**

Artefactos eléctricos	Cantidad	Capacidad (Watts)	Horas de consumo diario	Consumo kW/h
Foco	4	60	4	0,96
Radio	1	30	5	0,15
			Total	1,11

Fuente: elaboración propia.

La potencia requerida por vivienda sin cocina es de 0,87 kW/h y de vivienda con cocina es de 1,11 kW/h, tomando en cuenta que únicamente el 60% de las viviendas poseen cocina, el total de potencia para las viviendas con cocina es de 108,78 kW/h y de las viviendas sin concina es de 56,55 kW/h. Aproximando un total de demanda residencial de 165,33 kW/h.

5.5.2.2. Demanda institucional

Dentro de las instituciones que cuenta la comunidad El Arenal en la actualidad existen 4 iglesias con un tamaño de 224 metros cuadrados, integradas por 40 familias cada una y 22 tiendas con un tamaño de 15 metros cuadrados.

En las tablas XI y XII se muestra el cálculo de la demanda institucional, recordando que no se cuenta con suministro de energía eléctrica en la actualidad, la estimación se realizó con base a los principales artefactos eléctricos que al inicio puedan poseer cada una de las instituciones.

Tabla XI. **Estimación de la demanda de energía para iglesias**

Artefactos eléctricos	Potencia (W)	Cantidad	Horas de consumo	Consumo diario kW/h
Lámparas	40	20	4	3,2

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Estimación de la demanda de energía eléctrica para tiendas**

Artefactos eléctricos	Potencia (W)	Cantidad	Horas de consumo	Consumo diario kW/h
Focos	60	2	4	0,48
Refrigeradora	320	1	24	7,68
			Total	8,16

Fuente: elaboración propia.

El total de la demanda por las iglesias es de 12,8 kilowatts por hora y de las tiendas es de 179,52 kilowatts por hora, por lo tanto la demanda institucional es de 192,32 kilowatts por hora.

5.5.2.3. Demanda industrial

La mayor demanda productiva está conformada por la producción del café y cardamomo, por lo que se realizó la estimación de energía eléctrica dividida entre infraestructura y potencia de motores tal como se muestra en las tablas. XIII y XIV.

Tabla XIII. **Estimación de la demanda de energía eléctrica para la infraestructura productiva**

Infraestructura productiva	Iluminación (kW/h)
Casa patronal	10,4
Oficina	1,6
Beneficio de café primer nivel	16,8
Beneficio de café segundo nivel	16,8
Recibidor de café	1,8
Local beneficio de cardamomo	4,8
Local para bodega	1,8
Exterior cada patronal y beneficio de café	7,2
Total	61,2

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Potencia de motores para el beneficio de café y cardamomo**

Motor de maquinaria utilizada para beneficio de café y cardamomo	Unidad	Potencia (kW/h)
Secadora tipo Guardiola capacidad de 80 qq	1	26,86
Secadora tipo Guardiola capacidad de 60 qq	1	22,38
Secadora tipo Guardiola capacidad de 40 qq	1	17,9
Despulpadora de 4 palacios	1	47,74
Una bomba elevador de café húmedo a canal de correteo	1	2,98
Secadora estacionaria de cardamomo capacidad de 50 qq	3	20,14
	Total	138

Fuente: elaboración propia.

El total de la demanda productiva es de 199,2 kilowatts por hora.

5.5.2.4. Demanda pública

Para el cálculo de la demanda pública se aproximaron 30 lámparas de Halógeno de 50 watts, como se muestra en la tabla XV.

Tabla XV. **Demanda pública**

Iluminación	Unidad	Potencia (watts)	Hora de consumo	Consumo diario (kW/h)
Lámparas de halógeno	30	50	12	18

Fuente: elaboración propia.

5.5.2.5. **Demanda total de energía eléctrica**

En la tabla XVI, se muestra el total de la demanda de energía eléctrica propuesto para abastecer la comunidad, la producción de café y la producción de cardamomo.

Tabla XVI. **Estimación de la demanda total de energía eléctrica**

Servicio	Potencia (kW/h)
Residencial	165,33
Institucional	192,32
Industrial	199,2
Alumbrado público	18
Total	574,85

Fuente: elaboración propia.

5.6. Evaluación de la influencia en el ambiente

Consiste en formular las medidas precautorias que se deben adoptar en la restauración del proyecto, el método (RIAM) es el que se utilizará para realizar la evaluación de los impactos de las actividades originadas por la restauración.

5.6.1. Identificación de los impactos

Entre las diferentes actividades de restauración se identifican los siguientes impactos:

Componente Físico - Químico (PC)

- Reducción de emisiones de CO₂
- Alteración de caudales

Componente Biológico - Ecológico (BE)

- Reducción del hábitat y limpieza de la cobertura vegetal.
- Destrucción del suelo y la vegetación en las áreas de extracción de materiales.
- Impactos sobre la producción agropecuaria por disminución de las tierras.

Componente Sociológico – Cultural (SC)

- Impacto visual de las vías de acceso y de la posible ampliación de obras.
- Incremento en la demanda de vivienda y de servicios de salud, educación, agua potable y otros.

- Manejo sociocultural.

Componente Económico – Operacional

- Impactos sobre el comercio (incremento de precios por mayor demanda de alimentos y otros bienes).
- Movilización de recursos financieros por inversión.

5.6.2. Evaluación de impacto ambiental

La evaluación de los impactos ambientales, consiste en la comparación de la magnitud que cada uno provoca durante la restauración de la minicentral hidroeléctrica. Con el fin de determinar su significancia y en su caso considerar la necesidad de aplicar medidas de prevención y mitigación.

En la evaluación de impactos para la restauración de la minicentral hidroeléctrica se optó por utilizar el método de RIAM y su resultado es el que se muestra en la tabla XVII.

Tabla XVII. **Matriz de Impactos**

**Evaluación de impacto ambiental. Minicentral hidroeléctrica de la (AACC)
El Arenal Senahú Alta Verapaz**

Physical and chemical components (PC)

Components		ES	RB	A1	A2	B1	B2	B3
FQ1	Reducción de emisiones de CO2	36	D	4	1	3	3	3
FQ2	Alteración de caudales	4	A	1	1	1	1	2

Biological and ecological components (BE)

Components		ES	RB	A1	A2	B1	B2	B3
BE1	Reducción del hábitat y limpieza de la cobertura vegetal	-9	-A	1	-1	3	3	3
BE2	Destrucción del suelo y la vegetación en las áreas de extracción de materiales	-6	-A	1	-1	2	2	2
BE3	Impactos sobre la producción agropecuaria por disminución de las tierras	0	N	1	0	1	1	1

Sociological and cultural components (SC)

Components		ES	RB	A1	A2	B1	B2	B3
SC1	Impacto visual de las vías de acceso y de la posible ampliación de obras	36	D	2	2	3	3	3
SC2	Incremento en la demanda de vivienda y de servicios de salud, educación, agua potable y otros.	32	C	2	2	3	2	3
SC3	Manejo sociocultural	0	N	1	0	1	1	1

Economical and operational components (EO)

Components		ES	RB	A1	A2	B1	B2	B3
EO1	Impactos sobre el comercio (incremento de precios por mayor demanda de alimentos y otros bienes)	-36	-D	2	-2	3	3	3
EO2	Movilización de recursos financieros por inversión.	54	D	2	3	3	3	3

Fuente: Software RIAM.

Tabla XVIII. **Matriz de resultados**

Summary of scores

Range	-108	-71	-35	-18	-9	0	1	10	19	36	72
	-72	-36	-19	-10	-1	0	9	18	35	71	108
Class	-E	-D	-C	-B	-A	N	A	B	C	D	E
PC	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
BE	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0
SC	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0
EO	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Total	0	1	0	0	2	2	1	0	1	3	0

Fuente: Software RIAM.

5.6.3. Interpretación de resultados

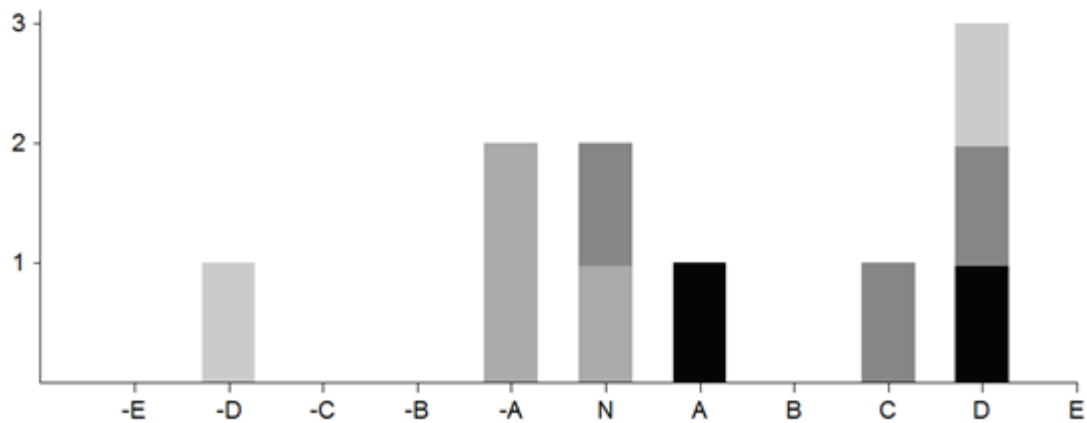
La tabla XVIII muestra los resultados finales de la evaluación de los principales impactos ocasionados al ambiente durante la restauración de la minicentral hidroeléctrica de la AACCC El Arenal.

Como puede observarse en la fila total se encuentra la cantidad de impactos producidos, lo cual indica que en la columna -E, -C, -B, B y E no existen impactos de cambios negativos mayores para cada una de las categorías, mientras que para las columnas -D, A y C existe un impacto en categorías como Económico / Operacional, Físico / Químico y Sociológico / Cultural.

Gráficamente, los resultados de la evaluación de impacto ambiental para la minicentral hidroeléctrica de la AACCC El Arenal, quedan expresados en la figura 12.

Figura 12. **Histograma de evaluación de impactos**

**Evaluación de impacto ambiental. Minicentral hidroeléctrica de la (AACC)
El Arenal Senahú Alta Verapaz**



Fuente: Software RIAM.

El eje X corresponde a la Banda de Rangos (RB), conveniente a los Puntajes Ambientales (ES) que están dentro de -E hasta E. Tomando en cuenta que el intervalo N, le corresponde un valor 0 relacionado con la RB los impactos no cambios / estatus quo / no aplicable.

Mientras que el eje Y se refiere a la cantidad de impactos observados dentro de cada categoría o componente ambiental. El color negro identifica los impactos de las actividades del proyecto evaluados contra el componente ambiental Físico / Químico (PC) y el gris medio corresponde a los impactos ambientales evaluados contra el componente ambiental Biológico / Ecológico (BE). Al componente Sociológico / Cultural (SV) le corresponde el color gris oscuro, en tanto que el componente Económico / Operacional (EO) está relacionado con el color gris claro.

En la figura 12, se observa, en su orden un primer impacto ambiental ubicado en la primera columna con cambios / impactos negativos significativos, banda de rangos –D, dentro del componente económico / operacional, color gris claro, identificado como Impactos sobre el comercio.

En la siguiente columna, se observan dos impactos ambientales en la banda de rangos –A, los que implican cambios / impactos ligeramente negativos. Estos impactos están relacionados en color gris medio identificados en reducción del hábitat y limpieza de la cobertura vegetal y destrucción del suelo y la vegetación en las áreas de extracción de materiales, con una valoración de -9 y -6.

Seguidamente en la banda de rangos N, correspondiente a no cambios / status quo / no aplicable. Estos impactos relacionados con color gris medio y gris oscuro identificados como impactos sobre la producción agropecuaria por disminución de las tierras y manejo sociocultural, ambos con valoración 0.

En la siguiente columna se observa un impacto, en la banda de rangos A, correspondiente a cambios / impactos ligeramente positivos, relacionado con el color negro (PC), impacto identificado como alteración de caudales con una valoración de 4.

En la banda de rangos C, correspondiente a cambios / impactos positivos moderados, se observa un impacto relacionado con el color gris (SC), identificado como incremento en la demanda de vivienda y de servicios de salud, educación, agua potable y otros, con una valoración de 32.

Por último se observan tres impactos, dentro de la banda de rangos D, correspondiente a cambios / impactos significativos relacionados con el color negro (PC), color gris (SC) y gris claro (EO), correspondiente a los impactos de reducción de emisiones de CO₂, impacto visual de las vías de acceso y de la posible ampliación de obras y movilización de recursos financieros por inversión, los primeros dos con valoraciones de 36 y el último con una valoración de 54.

5.7. Optimización de la capacidad instalada del proyecto

Es el proceso colectivo sobre la determinación del conjunto de condiciones requeridas para alcanzar el mejor resultado de la restauración de la minicentral, a través de la optimización de recursos para reducir los costos operativos y mejorar la confiabilidad.

5.7.1. Selección de turbina

Para seleccionar la turbina, fue necesario realizar aforos sobre el río La Cascada, Finca El Arenal, obteniendo un caudal de 0,3 metros cúbicos por segundo y una altura de 35 metros. Con la información obtenida y con base en la figura 9 sobre el diagrama de selección de turbinas hidráulicas (véase p 78), se observa que la turbina que mejor se adapta a la información obtenida, es una turbina Michell-Banki.

5.7.2. Cálculo de la potencia a ser generada

Con los datos obtenidos de caudal y altura, se calcula la energía potencial del agua en el punto de recepción, por medio de la fórmula del cálculo de potencia (véase p 76) conociendo que la turbina que mejor se adapta al proyecto es una turbina Michell–Banki, se toma su eficiencia máxima de 82 %, (véase p 41).

$$P = (9,8 \text{ m/s}^2)(0,3 \text{ m}^3/\text{s})(35 \text{ m})(0,82)$$

$$P = 84,38 \text{ kW}$$

La potencia a generar es de 84,38 kW, por lo que de energía se obtendría:

$$E = 84,38\text{kW} * 24 \text{ h}$$

$$E = 2 025,12 \text{ kWh}$$

5.8. Aspectos económicos y financieros

Tiene como finalidad dar un diagnóstico de las características económicas y financieras en las que está basado el proceso de restauración del proyecto, para verificar su viabilidad.

5.8.1. Análisis de costos

Para realizar el cálculo de la restauración de la minicentral hidroeléctrica de la AACC El Arenal, se consideran los aspectos que mayor importancia presentan al ser efectuado el análisis, como lo son:

- Costo inicial
- Costo de operación y mantenimiento
- Costo financiero

5.8.2. Costo inicial

Al calcular el costo inicial de la restauración de la minicentral hidroeléctrica de la AACC El Arenal, se considera los costos directos e indirectos.

Dentro de los costos directos se incluye únicamente el equipo electromecánico formado por la turbina y generador. Utilizando la cotización brindada por la empresa Turbinas 3HC, presentada en dólares de Estados Unidos de América, tal como se muestra en la tabla XIX.

Mientras que en los costos indirectos se toma en cuenta la supervisión de la restauración, la puesta en marcha y los posibles imprevistos que se pueden llevar a cabo. Generalmente su valor se estima como un porcentaje del costo directo que puede ir entre un 10 % y un 15 %. El costo de la inversión inicial asciende a Q 687 199,75 incluyendo el 15 % de costos indirectos, como se detalla en la tabla XX.

Tabla XIX. Descripción del equipo electromecánico

Descripción de equipo electromecánico	Costo US\$	Costo (Q*)
Turbina Michell-Banki Potencia 100 kW	67 765	536 025
Generador Síncrono 1 800 rpm	7 780	61 540
Total equipo electromecánico	75 545	597 565

Fuente: elaboración propia (tasa de cambio US\$1,00 = Q7,91)

Tabla XX. Costos de inversión inicial de la minicentral hidroeléctrica de la AACC El Arenal

Inversión inicial	Valor (Q)	Valor (\$)
Equipo electromecánico	597 565,00	75 545 51
Costos indirecto (15% costos directos)	89 634 75	11 331,83
Total costos inversión inicial	687 199,75	86 877,34

Fuente: elaboración propia (tasa de cambio US\$1,00 = Q 7,91)

5.8.3. Costos de operación y mantenimiento

Los costos de operación y mantenimiento de la minicentral hidroeléctrica de la AACC El Arenal, se dividieron en costo de personal, gastos administrativos, aceites y lubricantes, amortización de reposición del equipo electromecánico y mantenimiento red de distribución; los que representan los principales rubros en el costo de la restauración.

Como se muestra en la tabla XXI con el resumen de los costos de operación y mantenimiento del primer año de operación.

Tabla XXI. **Resumen de costos de operación y mantenimiento de la minicentral hidroeléctrica de la AACC El Arenal**

No.	Descripción costos de operación y mantenimiento	Costo anual (Q)	Costo anual (\$)	Proporción
1	Costo de personal	91 986,00	11 629,08	67,02 %
2	Gastos administrativos	12 600,00	1 592,92	9,18 %
3	Aceites y lubricantes	300,00	37,93	0,21 %
4	Amortización equipo electromecánico	22 050,21	2 787,64	15,18 %
5	Mantenimiento red de distribución	10 308,00	1 303,16	7,11 %
	Total costos de operación y mantenimiento	137 244,21	17 350,72	100 %

Fuente: elaboración propia.

- Costo de personal

En el estudio administrativo se indica el personal de la minicentral hidroeléctrica de la AACC de la Comunidad El Arenal, el cual está constituido por un administrador/contador, un técnico electricista y un auxiliar técnico. Representando el mayor porcentaje de los costos de operación y mantenimiento de la restauración con el 67,42 % el cual en su primer año es de Q 91 986,00, aumentando a una tasa del 5 % anual durante el tiempo de su vida útil, como se muestra en la tabla XXII.

Tabla XXII. **Estimación de costo del personal**

Puesto de trabajo	Salario devengado mensual (Q)	Bonificación incentivo dcto 37-2001 (Q)
Administrador/contador	2 000	250
Electricista 1	1 600	250
Auxiliar técnico	1 100	250
Sub-totales	4 700	750

Descripción	Q/año
Total de salarios devengados	56 400,00
Total presentaciones laborales (30,16 %)	17 010,24
Total bonificación incentivos (Dcto 37 - 2001)	12 000,00
Total cuota patronal IGSS (10,67 %)	6 012,24
Total cuota patronal INTECAP (1 %)	564,00
Costo total	91 986,00

Fuente: elaboración propia.

Para realizar la estimación de los salarios devengados, se tomó en cuenta la Bonificación Incentivo (Decreto 37-2001) que corresponde a Q250,00 mensuales, una tasa de 31,16 % para el cálculo de las prestaciones laborales de la Ley en Guatemala (bono 14, aguinaldo, indemnización y vacaciones) y las cuotas patronales como lo son IGSS (10,67 %) e INTECAP (1 %). Véase tabla XXII.

- **Gastos administrativos**

Los gastos administrativos representan aproximadamente 9,18 % del total de costos de operación y mantenimiento para la minicentral hidroeléctrica de la AACC El Arenal siendo un total de Q 12 600,00. Aumentando a una tasa de 3 % anual por el crecimiento de los usuarios a brindar el servicio, entre los gastos están: la impresión de documentos para llevar a cabo los ingresos y egresos, gastos de viaje periódicos para realizar trámites, depósitos bancarios, compra de útiles, etcétera. Véase tabla XXIII.

Tabla XXIII. Estimación de gastos administrativos

Descripción	Q/mes	Q/año
Suministros de oficina	250	3 000
Impresiones de documentos	500	6 000
Envíos y comunicaciones	250	3 000
Útiles y enseres de limpieza	100	1 200
Gastos de viaje	50	600
Consultorías y asesorías	450	5 400
Gastos generales	100	1 200
Costo total gasto de administrativos	1 700	20 400

Fuente: elaboración propia.

- Costo de conexión de nuevos usuarios

La conexión de nuevos usuarios implica una diversidad de costos para la minicentral hidroeléctrica de la AACCC El Arenal, debido a la compra de contador, alambre y accesorios.

Tomando como base la tasa de crecimiento poblacional del municipio de Senahú del departamento de Verapaz correspondiente a 3,4 % se establece un costo aproximado de Q 700,00.

- Aceites y lubricantes

Para el funcionamiento adecuado del equipo electromecánico se requiere el reemplazo periódico de aceites y lubricantes, tomando en cuenta la experiencia de información proporcionada en otras minicentrales hidroeléctricas este costo es de Q 300,00.

- Amortización de reposición de equipo electromecánico

El fondo de amortización se calcula únicamente a las piezas susceptibles a deterioro como rotor de turbina y generador al finalizar la vida útil del proyecto (20 años).

Utilizando las cotizaciones brindadas por la empresa Turbinas 3HC, presentadas en dólares de Estados Unidos de América, tal como se muestra en la tabla XXIV.

Tabla XXIV. **Costos de repuestos rotor 184 kW y generador 180 kW**

Descripción repuestos	Costo US\$	Costo Q*
Rotor de turbina Michell-Banki de 84.38 kW	24 000,00	189 840,00
Generador 180 kW	7 780,00	61 539,80
Total repuestos	31 780,00	251 279,80
Fuente: cotizaciones empresa 3HC Centrales hidroeléctricas		

Fuente: elaboración propia. (tasa de cambio US\$1,00=Q 7,91).

Según la tabla XXIV el valor presente del fondo de amortización es de Q 251 279,80 y utilizando la tasa inflacionaria promedio de los últimos 10 años en Guatemala (2003-2013) de 6,08 % se calcula la anualidad utilizando la siguiente fórmula:

$$A = P \left[\frac{i}{\left(1 - \left(\frac{1}{1+i}\right)^n\right)} \right]$$

En donde:

A = anualidad

P = valor presente

I = tasa de interés

n = número de años

Sustituyendo datos de P = 251 279,80 i = 6,08 % y tomando 20 años de vida útil, se obtiene una anualidad de:

$$A = 251\,279,80 \left[\frac{0,0608}{\left(1 - \left(\frac{1}{1 + 0,0608}\right)^{20}\right)} \right]$$

$$A = 22\,050,21$$

- Mantenimiento de la red de distribución

Para este cálculo se estimó el 1,5 % del costo de inversión inicial, debido a que este genera gastos en la infraestructura y distribución eléctrica constituyendo un total de Q 10 308,00

5.8.4. Costos financieros

Para llevar a cabo la restauración de la minicentral hidroeléctrica de la AACC El Arenal, se necesita tener una inversión de Q 687 199,75 y debido a que es una comunidad en estado de pobreza y lejana al SIN, representa un mercado no atractivo, por lo que se recomienda que sea un proyecto subsidiado en su acceso o bien solicitando un préstamo.

5.8.5. Cálculo de la cuota base

Para el cálculo de la cuota base se sustituyen los siguientes datos en la fórmula de parámetro del costo unitario vea página 86.

Costos de O&M = Q 137 244,21

Cuota anual o préstamo = 0

Potencia instalada = 84,38 kW
Factor planta = 8 %

$$CUE = \frac{Q137\ 244,21 + 0}{84,38 * 8640 \frac{h}{año} * 0,08}$$

$$CUE = 2,35[Q/kWh]$$

El costo unitario por kilovatio hora se multiplica por el total de kilovatios promedio de 28,8 kWh/mes y se obtiene que un usuario promedio tendría que pagar Q 67,68 por mes, si este precio se multiplica por las 145 familias de la comunidad y las 18 familias correspondientes a los hijos de beneficiarios, se obtiene un costo total de Q 132 382,08, por lo que no se cubre el costo anual de operación y mantenimiento.

Con base al resultado, es necesario adicionar una cuota de Q 2,52 a la cuota base obteniendo una cuota fija de Q 70,20 por mes, que cubra el derecho de consumir 28,8 kW/mes, con esto se estaría cubriendo el costo anual de operación y mantenimiento sobre la demanda residencial promedio de la comunidad.

5.8.6. Ingresos por conexiones a usuarios nuevos

Las conexiones nuevas representan un costo para la minicentral hidroeléctrica de la AACCC El Arenal de Q 700,00, por tal razón, únicamente se le cobrará a cada usuario nuevo un costo de Q 150,00 el cual servirá de ayuda para financiar las conexiones a nuevos usuarios.

5.8.7. Flujo Neto de Efectivo

Está constituido por la diferencia entre el valor total de ingresos anuales y el total de egresos anuales en cada año de vida útil del proyecto; para la minicentral hidroeléctrica de la AACC El Arenal se estableció un tiempo de 20 años de vida útil. El flujo neto de efectivo está dividido en cuatro ramas:

- Ingresos
- Egresos
- Flujo neto de efectivo
- Flujo acumulado de efectivo

5.8.7.1. Ingresos Flujo Neto de Efectivo

Los ingresos son calculados con base en lo siguiente:

- Promedio de energía de 28,8 kilowatts por mes del total de los usuarios.
- Según la tasa de crecimiento poblacional de Senahú, el crecimiento de la demanda es de 4 %.
- Año 1
 - Ingresos por venta de energía:
 $(163 \text{ usuarios})(Q 70,20)(12 \text{ meses}) = Q 137 311,20$
 - Ingreso por conexiones de nuevos usuarios = 0
 - Total de ingresos : Q 137 311,20

- Año 2
 - Ingresos por venta de energía:
(170 usuarios))(Q 70,20)(12 meses) = Q 143 208,00
 - Ingreso por conexión de nuevos usuarios:
(7 usuarios)(Q 150,00) = Q 1 050,00
 - Total de ingresos = Q 144 258,00

El cálculo continúa sucesivamente como se muestra en el apéndice.

5.8.7.2. Egresos Flujo Feto de Efectivo

Los egresos son calculados con base en los costos de operación y mantenimiento de la minicentral hidroeléctrica de la AACC de la comunidad El Arenal:

- Costo de personal: este iniciará con Q 91 986,00 y se irá incrementando a razón del 5 % anual durante la vida útil del proyecto (ver tabla XXV).
- Costos de administración: iniciará con Q 12 600,00 y se irá incrementando a razón del 4 % anual, porcentaje acorde al crecimiento de usuarios nuevos.
- Costo de mantenimiento: este se mantiene constante con Q 10 308,00 anuales.
- Amortización de equipo electromecánico: se mantiene constante con Q 22 050,21 anuales.

- Aceites y lubricantes: se mantiene constante con Q 300,00 anuales.
- Costo de conexiones nuevas: en el primer año tiene un costo de cero y cada año aumenta según la tasa de crecimiento de conexiones nuevas basadas a la tasa de crecimiento de la población de Senahú a razón del 4 % anual.
- Total de egresos: es la suma de los egresos detallados como en el apéndice.

5.8.7.3. Flujo Neto de Efectivo (FNE)

El Flujo Neto de Efectivo lo constituye la resta entre las columnas de total de ingresos y total de egresos, en el primer año de operación es de Q 66,99 y va en aumento proporcional a la cantidad de conexiones de nuevos usuarios; debido a la los ingresos aumentan a una tasa mayor de la que aumentan los egresos, como se observa en el apéndice.

5.8.7.4. Flujo Acumulado de Efectivo (FAE)

Es la suma del Flujo Neto del año anterior y el presente, durante el primer año de operación la cantidad es de Q 66,99 y continua positivo a lo largo de su vida útil incrementándose hasta sumar Q 1 171 662,58 en el año 20, observe el apéndice.

5.9. Evaluación económica y financiera

Para realizar la evaluación es necesario utilizar las herramientas de análisis que son:

- Tabla de Flujo Neto de Efectivo (FNE)
- Valor Presente Neto (VPN)
- Tasa Interna de Retorno (TIR)
- Análisis de viabilidad socioeconómica

Es muy importante realizar la evaluación económica y financiera analizando dos casos:

- La inversión inicial es una donación
- La inversión inicial es un préstamo

5.9.1. Análisis de tabla de FNE

- La inversión es una donación

Según el análisis de los datos mostrados en la tabla XXV el FNE se mantiene positivo a lo largo de su vida útil, esto indica que el proyecto es capaz de autosostenerse en su etapa de operación, asegurándose la continuidad del servicio energético para la comunidad.

El análisis el FNE va en aumento a través de los años, esto se debe a que los ingresos incrementan a mayor razón que los egresos; obteniendo un excedente de Q 1 079 810,56 durante los 20 años de su vida útil como se observa en la columna del FAE.

- La inversión inicial es un préstamo

Según el análisis de los datos mostrados en la tabla XXV el proyecto es capaz de recuperar su inversión inicial, debido a que el flujo acumulado durante el último año de su vida útil (año 20) es de Q 1079 810,56 contra Q 687 199,75.

5.9.2. Valor Presente Neto (VPN)

- La inversión es una donación

Se calcula el VPN utilizando la ecuación (vea p 87) y se sustituyen los flujos netos de efectivo por cada año de vida útil (ver tabla XXV), tomando en cuenta que a la inversión inicial le corresponde el valor cero por no considerarse.

Tabla XXV. **Cálculo del Valor Presente Neto**

Años	Inversión	FNE (Q)	VPN(6.08%)	VPN
0	86 877,34	0	0	
1		66,99	0,9427	63,15
2		1 609,79	0,8886	1 430,46
3		6 851,39	0,8377	5 739,41
4		12 197,82	0,7897	9 632,62
5		17 522,24	0,7444	13 043,56
6		22 273,76	0,7018	15 631,72
7		28 393,87	0,6616	18 785,38
8		34 489,22	0,6236	21 507,48
9		40 008,81	0,5879	23 521,18
10		46 894,02	0,5542	25 988,67
11		52 908,97	0,5224	27 639,65
12		59 187,35	0,4925	29 149,77
13		66 828,01	0,4643	31 028,25
14		74 437,33	0,4377	32 581,22
15		81 464,06	0,4126	33 612,07
16		89 849,30	0,3889	34 942,39
17		97 649,30	0,3667	35 808,00
18		106 805,04	0,3456	36 911,82
19		115 922,66	0,3258	37 767,60
20		124 450,63	0,3071	38 218,79
		1 079 810,56		473 003,18

Fuente: elaboración propia.

Se sustituye como tasa de descuento el promedio de las tasas de inflación de los últimos 10 años en Guatemala de 6,08 % y el valor de salvamiento toma el valor de cero, debido a que después de los 20 años correspondientes a la vida útil del proyecto, todos los bienes de muebles e inmuebles ya no tendrían valor fiscal. A demás se adiciona el fondo de amortización, obteniendo como resultado:

$$VPN = 0 + Q 473 003,18 + Q 251 379,80$$

$$VPN = Q 724 382,98$$

- La inversión inicial es un préstamo

Para este caso únicamente se sustituye su valor inicial y los de más datos permanecen igual al inciso anterior.

$$VPN = -Q 687 199 75 + Q 473 003,18 + Q 251 379,80$$

$$VPN = Q 37 183,23$$

El VPN para los casos resulto positivo, lo que significa que tendrá un incremento equivalente al monto del valor presente neto y el proyecto será rentable y se podrá recuperar su inversión inicial si fuera un préstamo.

5.9.3. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Si la inversión inicial es una donación no se considera el cálculo de la TIR, debido a que no se considera la recuperación de la cantidad de la inversión. Mientras que para el caso en el cual la inversión es un préstamo, se calcula la TRI. Una vez establecido un VPN positivo (ver tabla XXV) se procede a buscar el VPN negativo.

Se determina la nueva tasa que se calcula por medio del método de prueba y error.

Promedio de tasa de inflación en Guatemala durante los últimos 10 años es 6,08 %, se le suma el 5 % y se obtendría una tasa de 11,08 %. La cual se utiliza para calcular el VPN negativo como se muestra en la tabla XXVI.

Tabla XXVI. **Cálculo de la Tasa Interna de Retorno**

Años	Inversión	FNE (Q)	VPN(11.08%)	VPN
0	86 877,34	0,00		
1		66,99	0,9002	60,30
2		1 609,79	0,8104	1 304,57
3		6 851,39	0,7296	4 998,77
4		12 197,82	0,6568	8 011,53
5		17 522,24	0,5913	10 360,90
6		22 273,76	0,5323	11 856,32
7		28 393,87	0,4792	13 606,34
8		34 489,22	0,4214	14 533,76
9		40 008,81	0,3884	15 539,42
10		46 894,02	0,3496	16 394,15
11		52 908,97	0,3148	16 655,74
12		59 187,35	0,2834	16 773,69
13		66 828,01	0,2551	17 047,83
14		74 437,33	0,2297	17 098,25
15		81 464,06	0,2068	16 846,77
16		89 849,30	0,1861	16 720,95
17		97649,30	0,1676	16 366,02
18		106 805,04	0,1508	16 106,20
19		115 922,66	0,1358	15 742,30
20		124 450,63	0,1222	15 207,87
				261 231,70

Fuente: elaboración propia.

Realizando la aplicación de la fórmula para determinar el VPN negativo

$$\text{VPN} = -Q 687 199,75 + Q 261 231,70 + Q 251 379,80$$

$$\text{VPN} = -Q 9 851,90$$

Se procede al cálculo de la TIR utilizando la fórmula ver p. 88.

$$\text{TIR} = 6,08 + (11,08 - 6,08) \left[\frac{37 183,23}{(37 183,23 - 9 851,90)} \right]$$

$$\text{TIR} = 10,03 \%$$

Una vez realizados los cálculos correspondientes para determinar la TIR, se concluyó que el proyecto logra cubrir el requerimiento del 6,08 % y que adicional a esta tasa brinda un 3,95 % más. Por lo que se recomienda la viabilidad de la restauración.

5.9.4. Viabilidad socioeconómica

El proyecto de la restauración de la minicentral hidroeléctrica de la comunidad El Arenal, es autosostenible en caso de que la inversión inicial fuera una donación o se realizará un préstamo. Es capaz de cubrir sus costos de operación y mantenimiento, siempre y cuando, cada uno de las 163 familias paguen una cuota fija de Q 70,20.

CONCLUSIONES

1. Realizar la restauración de la minicentral hidroeléctrica de la AACC El Arenal, del municipio de Senahú correspondiente al departamento de Alta Verapaz, es de importancia debido al desarrollo económico de la comunidad, para mejorar la calidad de vida de la población.
2. El desarrollo de una metodología es útil para evaluar proyectos de esta índole, ya que permite considerar todos los aspectos importantes y tomar decisiones sobre la realización del proyecto.
3. La capacidad instalada en la minicentral hidroeléctrica de la AACC El Arenal, es de 84,38 kW, siendo esta potencia útil y necesaria para la demanda de suministro de energía eléctrica presentada por la comunidad.
4. La turbina que mejor se adapta a las necesidades del proyecto es la tipo Michell-Banki, siendo de gran utilidad respecto a los beneficios y al bajo costo de mantenimiento que esta brinda.
5. En la evaluación del estudio de impacto ambiental, se observó que no existe ningún impacto de gravedad negativo durante la restauración de la minicentral hidroeléctrica, para tal efecto se utilizó el método de RIAM.

6. Los esquemas de financiamiento que resultan factibles para el desarrollo de la restauración de la minicentral hidroeléctrica de la AACCC El Arenal, son mediante la participación pública y privada de donaciones o bien obteniendo un préstamo, debido a que el proyecto es capaz de cubrir sus costos de operación y mantenimiento durante el tiempo de vida útil.

7. Desde el punto de vista económico, la restauración de la minicentral hidroeléctrica, presenta un beneficio positivo de Q 1 079 810,56 y una tasa interna de retorno de 10,03 % anual.

RECOMENDACIONES

1. Es conveniente hacer un estudio de la obra civil existente debido a que el funcionamiento de la minicentral hidroeléctrica de la AACCC El Arenal, se maneja en conjunto con el equipo electromecánico.
2. Todo proyecto hidroeléctrico produce un bajo impacto ambiental comparado con fuentes de recursos no renovables.
3. Que el equipo electromecánico esté en control con el mantenimiento adecuado y periódico.
4. Implementar y darle seguimiento a un plan de gestión ambiental para que el proyecto sea ambientalmente sustentable.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alianza en energía y ambiente con Centroamérica. *Guía Centroamericana de Financiamiento de Carbono*. 2a ed. Finlandia: Alianza en energía y ambiente con Centroamérica 2007, 196 p.
2. CASIA CÁRCAMO, Mónica Soledad. *Evaluación financiera económica de una proyecto privado de agua potable en la Aldea Chochal, Municipio de Chiantla Departamento de Huehuetenango*. Trabajo de Maestría en Administración Financiera. Facultad de Ciencias Económicas. Escuela de Estudios de Posgrado, 2006. 90 p.
3. Centro de demostración y capacitación en energías renovables. *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*. Lima: CDCER, 2010. 159 p.
4. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Informe estadístico 2012*. Guatemala: CNEE, 61 p.
5. COZ, Federico. *Manual de mini y microcentrales hidráulicas*. Perú: Programa de Energía, 1995. 25 p.
6. División de investigación y recursos. *Mini Hidráulica en el país Vasco*. Bilbao: 1995. 495 p.

7. ESPAÑA GONZÁLEZ, Héctor Vinicio. *Generación distribuida por medio de energías alternas renovables y su influencia en la evolución del sistema eléctrico secundario de distribución tradicional*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Eléctrica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008. 178 p.
8. FERNÁNDEZ DÍEZ, Pedro. *Turbinas hidráulicas*. México: Facultad de Ingeniería UNA, 1995. 148 p.
9. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Programa nacional de cambio climático*. Guatemala: MARN, 2008. 20 p.
10. Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Energía Republica de Guatemala. *Guía del subsector eléctrico y de las energías renovables*. Guatemala: MEM, 2012. 27 p.
11. _____. *Energías renovables en Guatemala*: MEM, 2011. 15 p.
12. PASTAKIA, Chistopher. *The Rapid Impact Assessment Matrix (RIAM)*. DHI Water & Environment Horsholm. denmark. 2001. 32 p.
13. PÉREZ PAZ, Edgar. *Metodología de diseño hidráulico y mecánico de una turbina Mitchell-Banki*. Lima: Facultad de Ingeniería de Ciencias Físicas, 10 p.
14. SÁNCHEZ, Teodoro. *Manual de mini y micro centrales hidráulicas*. Lima: Programa de Energía del Perú, 1995. 283 p.
15. SANIABRA, César. *Clasificación de máquinas hidráulicas*. México: Facultad de Ingeniería UNA, 38 p.

16. SANTOS SOLARES, José Adolfo. *Estudio para la implementación de una pequeña hidroeléctrica, en un beneficio húmedo de café.* Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Eléctrica. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 2006. 195 p.
17. Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. *Plan de desarrollo Senahú Alta Verapaz 2011-2025.* Guatemala: SEGEPLAN 2010. 104 p.

APÉNDICE

Apéndice 1. Tabla de ingresos y egresos

Años	INGRESOS					EGRESOS							Flujo acumulado
	Ingreso venta de energía	Ingresos conexiones nuevas	Total de ingresos	Costo Personal	Gastos de administración	Amortización equipo electromecánico	Aceites y lubricantes	Costo de mantenimiento red de distribución	Costos de nuevas conexiones	Total de egresos	FNE		
0													
1	Q137 311,20	Q0,00	Q137 311,20	Q91 985,00	Q12 600,00	Q22 050,21	Q300,00	Q10 308,00	Q0,00	Q137 244,21	Q66,99	Q66,99	
2	Q143 208,00	Q1 050,00	Q144 258,00	Q91 985,00	Q13 104,00	Q2 050,21	Q300,00	Q10 308,00	Q4 900,00	Q142 648,21	Q1 609,79	Q1 676,78	
3	Q149 104,80	Q1 050,01	Q150 157,80	Q91 985,00	Q13 759,20	Q2 050,21	Q300,00	Q10 308,00	Q4 900,00	Q143 303,41	Q6 851,39	Q8 258,17	
4	Q155 001,60	Q1 050,00	Q156 051,60	Q91 985,00	Q14 309,57	Q22 050,21	Q300,00	Q10 308,00	Q4 900,00	Q143 853,78	Q12 197,82	Q20 725,99	
5	Q160 898,40	Q1 050,00	Q161 948,40	Q91 985,00	Q14 881,95	Q22 050,21	Q300,00	Q10 308,00	Q4 900,00	Q144 426,16	Q17 522,24	Q38 248,23	
6	Q166 795,20	Q1 200,00	Q167 995,20	Q91 985,00	Q15 477,23	Q22 050,21	Q300,00	Q10 308,00	Q5 600,00	Q145 721,44	Q22 273,76	Q60 521,99	
7	Q173 534,40	Q1 200,00	Q174 734,40	Q91 985,00	Q16 096,32	Q22 050,21	Q300,00	Q10 308,00	Q5 600,00	Q146 340,53	Q28 393,87	Q88 915,86	
8	Q180 273,60	Q1 200,00	Q181 473,60	Q91 985,00	Q16 740,17	Q22 050,21	Q300,00	Q10 308,00	Q5 600,00	Q146 984,38	Q34 489,22	Q123 405,08	
9	Q187 012,80	Q1 350,00	Q188 362,80	Q91 985,00	Q17 409,78	Q22 050,21	Q300,00	Q10 308,00	Q6 300,00	Q148 333,99	Q40 008,81	Q163 413,89	
10	Q194 594,40	Q1 350,00	Q195 944,40	Q91 985,00	Q18 106,17	Q22 050,21	Q300,00	Q10 308,00	Q6 300,00	Q149 050,38	Q46 894,02	Q210 307,91	
11	Q201 333,60	Q1 350,00	Q201 683,60	Q91 985,00	Q18 830,42	Q22 050,21	Q300,00	Q10 308,00	Q6 300,00	Q149 774,63	Q52 908,97	Q263 216,88	
12	Q208 915,20	Q1 500,00	Q210 415,20	Q91 985,00	Q19 583,64	Q22 050,21	Q300,00	Q10 308,00	Q7 000,00	Q151 227,85	Q59 187,55	Q322 404,23	
13	Q217 339,20	Q1 500,00	Q218 839,20	Q91 985,00	Q20 366,98	Q22 050,21	Q300,00	Q10 308,00	Q7 000,00	Q152 011,19	Q66 828,01	Q389 232,24	
14	Q225 763,20	Q1 500,00	Q227 263,20	Q91 985,00	Q21 181,66	Q22 050,21	Q300,00	Q10 308,00	Q7 000,00	Q152 825,87	Q74 437,33	Q463 669,57	
15	Q234 187,20	Q1 650,00	Q235 837,20	Q91 985,00	Q22 028,93	Q22 050,21	Q300,00	Q10 308,00	Q7 700,00	Q154 373,14	Q81 464,06	Q545 133,63	
16	Q243 453,60	Q1 650,00	Q245 103,60	Q91 985,00	Q22 910,09	Q22 050,21	Q300,00	Q10 308,00	Q7 700,00	Q155 254,30	Q89 849,30	Q654 982,93	
17	Q252 720,00	Q1 800,00	Q254 520,00	Q91 985,00	Q23 826,49	Q22 050,21	Q300,00	Q10 308,00	Q8 400,00	Q156 870,70	Q97 649,50	Q732 632,23	
18	Q262 828,80	Q1 800,00	Q264 628,80	Q91 985,00	Q24 779,55	Q22 050,21	Q300,00	Q10 308,00	Q8 400,00	Q157 823,76	Q106 805,04	Q839 437,27	
19	Q272 937,60	Q1 800,00	Q274 737,60	Q91 985,00	Q25 770,73	Q22 050,21	Q300,00	Q10 308,00	Q8 400,00	Q158 814,94	Q115 922,66	Q955 359,93	
20	Q283 045,40	Q1 950,00	Q284 995,40	Q91 985,00	Q26 801,56	Q22 050,21	Q300,00	Q10 308,00	Q9 100,00	Q160 545,77	Q124 450,63	Q1 079 810,56	
													Q1 079 810,56

Fuente: elaboración propia.

