

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Estudio de Prefactibilidad y Diseño de Planta Hidroeléctrica en San Jerónimo, Baja Verapaz,
Guatemala

Trabajo de Graduación presentado por Pablo Morales Arrazola para optar al grado académico de
Licenciado en Ingeniería Industrial

Guatemala

2013

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Estudio de Prefactibilidad y Diseño de Planta Hidroeléctrica en San Jerónimo, Baja Verapaz,
Guatemala

Trabajo de Graduación presentado por Pablo Morales Arrazola para optar al grado académico de
Licenciado en Ingeniería Industrial

Guatemala

2013

Vo. Bo.:



(f) _____


(Ing. Carlo Vinicio Prato Córdoba)

Tribunal examinador:

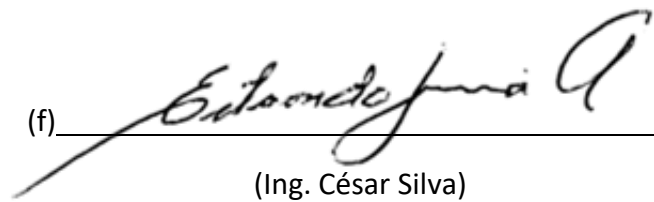


(f) _____

(Ing. Carlo Vinicio Prato Córdoba)

(f)  _____

(Lic. Raúl Dacaret)

Por: (f)  _____
(Ing. César Silva)

Fecha de aprobación: Guatemala, 11 de junio de 2013

Prefacio

El desarrollo de la humanidad inicio cuando nuestros antepasados descruzaren el fuego y sus viertas funciones, paso a paso el hombre ha evolucionado en su desarrollo creando una mejor forma de vivir. Este desarrollo no se podría generar sin la maravillosa ayuda de la energía. Desde el momento en que el sol sale por las mañanas y los ríos recorren este magnífico mundo, podemos apreciar los distintos tipos de energía, pero para poder aprovecharla necesitamos transformarla en su forma natural a lo que conocimos el día de hoy como potencia. Para generala se aprovechan los recuerdos naturales como lo son: el agua, sol, viento y las altas temperaturas. Ahora los desarrollos tecnológicos han permitido producir energía de otras formas, pero nos vamos a centrar en algo más específico: generación por medio de recursos hídricos.

En Guatemala, la generación de energía está basada en bunker, biomasa, carbón, geotérmica e hidroeléctricas. La Comisión Nacional de Energía Eléctrica está incentivando la generación de energía por medio de recursos hídricos con su plan de expansión para el 2022.

De esto nace la necesidad de realizar un estudio de factibilidad y diseño de planta hidroeléctrica en San Jerónimo, Baja Verapaz, Guatemala.

Se agradece la valiosa colaboración de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica -CNEE- de la República de Guatemala, al Ministerio de Energía y Minas de la República de Guatemala y a la empresa AMCA S.A quienes apoyaron dicho estudio de forma excelente, con su tiempo, experiencia e información. Se agradece de sobremanera a la CNEE por su incondicional apoyo, desde la autorización para realizar la investigación hasta la facilidad de brindar y obtener información.

Índice

Prefacio	i
Índice	ii
Listado de tablas	v
Listado de gráficas	vii
Listado figuras	viii
Resumen	x
Abstract	xi
1. Introducción	1
2. Justificación	2
3. Objetivos	3
3.1. Generales	3
3.2. Específicos	3
4. Marco teórico	4
4.1. Estudio del mercado eléctrico guatemalteco	4
4.1.1. Leyes hidroeléctricas	4
4.2. Especificaciones técnicas	6
4.2.1. Centro a filo de agua	7
4.2.2. Generación por embalse o presa	8
4.2.3. Embalse según su estructura	8
4.2.3.1. Presa de gravedad	8
4.2.3.2. Presa de contrafuerte	9
4.2.3.3. Presa de bóveda o presa en arco	9
4.2.4. Clasificación según material	10
4.2.4.1. Presa de hormigón	10
4.2.4.2. Presa de materiales sueltos	10
4.3. Partes de una hidroeléctrica	11
4.3.1.1. Bacatoma	11
4.3.1.1.1. Presa o dique desviado	12
4.3.1.1.2. Solera de captación	12
4.3.1.1.3. Rejillas	12
4.3.1.1.4. Compuerta de puerta	12
4.3.1.2. Canal de conducción	13
4.3.1.3. Desarenador	14
4.3.1.3.1. Tipos de desarenadores	14

4.3.1.3.1.1. Convencional	14
4.3.1.3.1.2. De flujo vertical	15
4.3.1.3.1.3. Tipo vórtice	16
4.3.1.3.2. Vertedero	17
4.3.1.3.3. Compuerta de lavado	17
4.3.1.3.4. Consideraciones para el diseño hidráulico del desarenador	17
4.3.1.3.4.1. Cálculo del diámetro de las partículas a sedimentar	17
4.3.1.3.5. Cálculo de la velocidad de la corriente del agua en el tanque del desarenador	17
4.3.1.4. Tubería a presión	18
4.3.1.5. Chimenea de equilibrio	19
4.3.1.6. Válvula a presión	19
4.3.1.7. Manómetro	19
4.3.1.8. Casa de máquinas	20
4.3.1.9. Turbina	20
4.3.1.9.1. Turbina de acción	20
4.3.1.9.1.1. Turbina Pelton	20
4.3.1.9.1.2. Turbina Michell-Banki o flujo cruzado	21
4.3.1.9.2. Turbina de reacción	22
4.3.1.9.2.1. Bomba rotodinámica operando como turbina	22
4.3.1.9.2.2. Turbina Francis	22
4.3.1.9.2.3. Turbina Kaplan y de hélice	23
4.3.1.9.2.4. Turbina Turgo	24
4.3.1.10. Generadores	26
4.3.1.11. Gobernadores	26
4.3.1.12. Tableros de medición y control	26
4.3.1.12.1. Frecuencímetro	27
4.3.1.12.2. Voltímetro	27
4.3.1.12.3. Amperímetro	27
4.3.1.12.4. Palanca de transferencia	27
4.3.1.12.5. Palanca de corte	27
4.3.1.13. Transformador	27
4.3.1.13.1. Transformadores húmedos	28
4.3.1.13.2. Transformadores secos	28
4.4. Plan de expansión de la CNEE	28
5. Metodología	32
6. Diseño de planta	33
6.1. Caudal del Río Chilascó	35
6.2. Cálculos de generación	38
6.3. Selección de equipo y maquinaria	39
6.4. Selección y bosquejo de planta hidroeléctrica	40

6.4.1.Presa	41
6.4.2.Canal	43
6.4.3.Tubería	44
6.4.4.Casa de máquinas	46
6.5. Normativas de la planta	47
6.6. Plan de seguridad industrial	49
6.7. Plan de mantenimiento de la planta	50
6.7.1.Áreas de mantenimiento	50
6.7.1.1. Tubería	50
6.7.1.2. Turbina	51
6.7.1.3. Generador	51
6.7.1.4. Gobernador	51
6.7.1.5. Transformadores	51
6.7.1.6. Canal, bocatoma y desarenador	51
6.7.1.7. Casa de máquinas	52
6.7.2.Planificación de mantenimiento	52
7. Estudio de factibilidad	54
7.1. Costo de maquinaria y equipo	56
7.2. Costos de construcción	57
7.3. Gastos de administración y operación	60
7.4. Resumen de la inversión inicial y costos	61
7.5. Ingresos del proyecto	65
7.6. Tasa interna de retorno	74
8. Estructura de la empresa	77
8.1. Visión	77
8.2. Misión	77
8.3. Valores	77
8.4. Estructura organización	77
8.4.1.Junta directiva	78
8.4.2.Externamente	78
8.4.3.Gerente General	78
8.4.4.Técnico	78
8.4.5.Operario uno	78
8.4.6.Operario dos y tres	78
8.5. Objetivos	79
8.5.1.General	79
8.5.2.Específico	79
8.6. Responsabilidad	80
Conclusiones	xii
Recomendaciones	xiii

Bibliografia

xiv

Anexos

xv

Listado de tablas

Tabla No.1: Velocidades máximas admisibles en canales	13
Tabla No.2: Velocidades límites	16
Tabla No.3: Diámetro de partículas en función del tipo de turbina	18
Tabla No.4: Materiales separa la tubería a presión	18
Tabla No.5: Selección de turbina por altura	25
Tabla No.6: Eficiencias nominales de la turbina	25
Tabla No.7: Criterios de selección de la turbina dependiendo a la altura	25
Tabla No.8: Potenciales de generación en recursos naturales renovables	30
Tabla No.9: Datos generales del proyecto	33
Tabla No.10: Datos del proyecto	34
Tabla No.11: Duración de caudales en en m ³ /s	37
Tabla No.12: Medidas de los estribos de la presa	42
Tabla No.13: Medidas de la parte central de la presa	43
Tabla No.14: Resumen del área de la presa	43
Tabla No.15: Datos del canal	44
Tabla No.16: Factor de seguridad de los materiales para la tubería	45
Tabla No.17: Porcentaje de costos	54
Tabla No.18: Costos del estudio de factibilidad	55
Tabla No.19: Costos del desarrollo del proyecto	55
Tabla No.20: Costos del desarrollo ingenieril	56
Tabla No.21: Costos de maquinaria y equipo para un caudal de diseño de 0.5 m ³ /s	56
Tabla No.22: Costos de maquinaria y equipo para un caudal de diseño de 1 m ³ /s	57
Tabla No.23: Costo del camino de acceso	57
Tabla No.24: Costos de la presa	58
Tabla No.25: Costos de construcción de bocatoma	58
Tabla No.26: Costos del canal de conducción	59

Tabla No.27: Costo de la tubería a presión	59
Tabla No.28: Costos del desarenador	59
Tabla No.29: Costos de la casa de máquinas	59
Tabla No.30: Resumen de costos de construcción	60
Tabla No.31: Gastos y costos administrativos y de operación	60
Tabla No.32: Costo periódico overhaul cada 15 años	61
Tabla No.33: Inversión inicial con un caudal de 0.5 m ³ /s	61
Tabla No.34: Inversión inicial con un caudal de 1 m ³ /s	63
Tabla No.35: Costos y gastos anuales	64
Tabla No.36: Costos periódicos	65
Tabla No.37: Precio de venta de la energía	66
Tabla No.38: Estado de resultados par aún caudal de diseño de 0.5 m ³ /s	67
Tabla No.39: Continuación de estado de resultados para un caudal de diseño de m ³ /s	68
Tabla No.40: Estado de resultados para un caudal de diseño de 1 m ³ /s	69
Tabla No.41: Continuación de estado de resultados para un caudal de diseño de 1 m ³ /s	70
Tabla No.42: Márgenes para un caudal de 0.5 m ³ /s	71
Tabla No.43: Márgenes para un caudal de 1 m ³ /s	72
Tabla No.44: Proyección de los flujos de efectivo con un caudal de 0.5 m ³ /s	73
Tabla No.45: Proyección con un caudal de 1 m ³ /s	74
Tabla No. 46: Cash flow de un caudal de 0.5 m ³ /s	75
Tabla No.47: Cash flow de un caudal de 1m ³ /s	75
Tabla No.48: TIR y VAN de un caudal de 0.5 m ³ /s	76
Tabla No.49: TIR y VAN de un caudal de 1 m ³ /s	76

Listado de gráficas

Gráfica No.1: Porcentaje de generación eléctrica en el año 2009	29
Gráfica No.2: Prevención para la generación en el 2020	30
Gráfica No.3: Caudales mínimos en m^3/s	35
Gráfica No.4: Caudales máximos en m^3/s	36
Gráfica No.5: Caudales promedio en m^3/s	36
Gráfica No.6: Curva de duración de caudales en m^3/s	37
Gráfica No.7: Carta de ampliación de turbinas	40
Gráfica No.8: Disminución en los márgenes para un caudal de $0.5 m^3/s$	72
Gráfica No.9: Disminución en los márgenes para un caudal de $1 m^3/s$	73

Listado de figuras

Figura No.1: Central de filo de agua	7
Figura No.2: Presa de gravedad	9
Figura No.3: Presa de contrafuerte	9
Figura No.4: Presa en arco	10
Figura No.5: Ejemplo de bocatoma	12
Figura No.6: Secciones comunes en los canales de conducción	14
Figura No.7: Desarenador convencional	15
Figura No.8: Desarenador de flujo vertical	15
Figura No.9: Desarenador de vórtice	16
Figura No.10 Turbina Pelton	21
Figura No.11: Turbina Michell-Banki	22
Figura No.12: Turbina Francis	23
Figura No.13: Turbina Kaplan	24
Figura No.14: Turbina Turgo	24
Figura No.15: Mapa cartográfico del área	33
Figura No.16: Ubicación de las partes del proyecto	34
Figura No.17: Vista desde planta	41
Figura No.18: Vista en elevación	41
Figura No.19: Secciones transversales	42
Figura No.20: Diferentes tipos de canal rectangular	44
Figura No.21: Ejemplo de tubería con diseño para prevenir golpe de ariete	46
Figura No.22: Casa de máquinas	46
Figura No.23: Transformador	41
Figura No.24: Plan de mantenimiento	52

Resumen

El siguiente trabajo de graduación consiste en un estudio de factibilidad y diseño de una planta hidroeléctrica en la Finca Las Tres Marías, ubicada en la ladera San Jerónimo en el departamento de Baja Verapaz, Guatemala. El trabajo está basado en la generación de energía por medio de hidroeléctrica, aferrándose al plan de expansión de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica -CNEE-, de forma que en el 2022 el 60% de la energía sea producida a través de recursos renovables. (CNNE, 2008)

El trabajo consiste en la realización de un estudio de factibilidad económico, según la capacidad de producción de energía por medio del caudal del Río Chilascó, y el diseño de la planta generadora, siguiendo las normativas de la *CNEE* y el Administrador del Mercado Mayorista -AMM- y las expectativas establecidas de una Hidroeléctrica.

Para poder desarrollar el estudio se consideró el caudal de diseño del proyecto y la diferencia de altura encontrada en el terreno. Se introducen los pasos a seguir para el desarrollo de un proyecto de generación de energía y las consideraciones que se tomarán para funcionar en Guatemala.

Abstract

The next graduation work consists of a feasibility study and design of a hydroelectric plant at Finca Las Tres Marías, located on the San Jerónimo hillside in the department of Baja Verapaz, Guatemala. The work is based on the generation of energy through hydroelectric power, adhering to the expansion plan of the National Electric Energy Commission -CNEE-, so that by 2022 60% of the energy will be produced through renewable resources. (CNNE, 2008)

The work consists of carrying out an economic feasibility study, according to the energy production capacity through the flow of the Chilascó River, and the design of the generating plant, following the regulations of the CNEE and the Wholesale Market Administrator -AMM - and the established expectations of a hydroelectric plant.

To carry out the study, the design flow of the project and the height difference found on the ground were considered. The steps to follow for the development of a power generation project and the considerations that will be taken to operate in Guatemala are introduced.

1. Introducción

En Guatemala, desde los inicios de su desarrollo se ha utilizado la generación de energía por medio de hidroeléctricas, siendo estas un recurso natural en todo el mundo. En muchos países europeos han agotado el recurso hídrico para generación de energía y han tenido que buscar otras alternativas para poder cumplir la demanda de energía. En Guatemala toda hay mucho potencial para generar electricidad por medio de recursos hídricos, los sistemas a pequeña escala, considerados así generalmente hasta 5 megavatios, MW, de potencia. Brindando el servicio de electricidad a zonas que no la poseen y fortalecen la red interconectada.

En el departamento de Baja Verapaz, en el municipio de Salamá y aldeas de San Jerónimo y Chilascó pasa el río de Chilascó, el cual recorre estas tierras con un buen potencias hídrico y gracias al terreno irregular se puede obtener un diferencial de altura para generar electricidad. El proyecto nace gracias al plan de expansión del Comité Nacional de Energía Eléctrica, en el cual proponen expandir y regular la generación en Guatemala, aumentando el porcentaje de producción de electricidad por medio de hidroeléctricas en el país.

Para poder iniciar el proyecto es necesario conocer el proceso de generación por medio de hidroeléctricas, el tipo de proyecto que podría ser y los elementos que necesita para generar la energía, al igual que el plan de mantenimiento que requiere una planta hidroeléctrica para poder subsistir y funcionar adecuadamente. Las hidroeléctricas son proyectos duraderos, con un buen cuidado podrían durar más de cincuenta años en funcionamiento sin cambiar ninguna de las partes esenciales. El combustible que necesitan es el agua, un recurso natural que se puede obtener en los ríos, por eso el estudio más importante que se realiza es el de caudales, para verificar si el caudal del río es constante a lo largo d ellos años y así la planta generadora puede contar con el recurso más importante y generar energía para poder ser un proyecto rentable.

2. Justificación

Este trabajo de graduación surge de la necesidad en Guatemala de mover su generación eléctrica a recursos renovables, para disminuir el porcentaje de uso de bunkers dentro del país, reduciendo así la contaminación generada y el costo de la energía eléctrica. Este propósito cumple además con el plan de expansión previsto por la CNEE, que espera que, en el año 2022, el 60% de generación sea por medio de recursos renovables.

El estudio de factibilidad se desarrolla en función del resultado de los ingresos de la capacidad de generación d Elva planta, utilizando los costos actuales del mercado eléctrico guatemalteco, para que supere la inversión inicial en un plazo de diez años, en otras palabras, que se retorne la inversión y obtengan ganancias en un periodo menor o igual a diez años. El diseño de la planta hidroeléctrica se realizará en función del caudal del Río para obtener una generación óptima y así obtener las máximas ganancias en el proyecto.

Debido al análisis extenso que se debe realizar para cubrir todos los factores necesarios para desarrollar un estudio de factibilidad y el diseño de la planta hidroeléctrica, el alcance del trabajo de graduación llega a una propuesta de implementación, a partir de ahí, la empresa que invertirá en el proyecto deberá continuar la ejecución del proyecto hidroeléctrico.

El proyecto tiene contemplado ayudar a las comunidades cercanas para tener un desarrollo en el país, no solo en la expansión de la red eléctrica de Guatemala, sino también dando la oportunidad a los niños y jóvenes de seguir estudiando para progresar personalmente y como comunidad.

3. Objetivos

3.1.General

Realizar el estudio de prefactibilidad, diseño y de mantenimiento de una planta hidroeléctrica en la Finca Las Tres Marías en Chilascó, Baja Verapaz, Guatemala.

3.2.Específicos

- Determinar la potencia generada por el caudal ejercido por el Río Chilascó.
- Elaborar el coste de la inversión inicial y de operación para desarrollar el retorno de la inversión a un plazo de diez años.
- Verificar que la hidroeléctrica esté de acuerdo con las normativas del CNEE y su plan de expansión.
- Desarrollar la estructura administrativa y operativa de la planta.

4. Marco teórico

4.1. Estudio del mercado eléctrico guatemalteco

Para favorecer la conservación del ambiente se deben aprovechar los recursos naturales renovables. Entre las principales ventajas de la energía limpia o renovable es que no produce emisiones de CO₂ u otra clase de gases contaminantes a la atmósfera. Las energías limpias convencionales utilizadas en el mundo son:

- Hidroeléctricas
- Geotermia
- Biomasa
- Eólica
- Solar

(Biomass Users Network, BUNCA, 2002)

Guatemala es privilegiada con todas esas fuentes de energía, pero una de las más abundantes y que encuentran en muchos sitios del país, es la energía hidráulica con potencial para hidroeléctricas. La comisión de Energía Eléctrica tiene estudios que calculan que Guatemala tiene una potencia hídrico enorme en el orden de los 5,000MW. (CNEE, 2008)

4.1.1. Leyes para hidroeléctricas

En Guatemala como en el resto del mundo se tienen que seguir ciertas normativas y especificaciones para poder instalar una generadora, en este caso el enfoque estará en las normativas y leyes para generadoras hidroeléctricas. En primer lugar, se tiene que tomar en cuenta la Ley General de Electricidad de Guatemala.

La Ley de Electricidad habla en el artículo 1, inciso A: Es libre la generación de electricidad y no se requiere para ello autorización o condición previa por el Estado. (Congreso Nacional de Guatemala, 1996)

Dentro de la Ley se describen las funciones de cada órgano ejecutor del sistema eléctrico desde generación hasta el usuario final, tomando en cuenta las instituciones de regulación que son el Ministerio de Energía y Minas, La Comisión Nacional de Energía Eléctrica -CNEE- y el Administrador del Mercado Mayorista –AMM-.

En el artículo 8 de la Ley de Electricidad, retoma lo dicho en el artículo 1 inciso A, agregando que un generador menor a 5 MW no tiene que pedir autorización al Ministerio de Energía y Minas. Cumpliendo con el artículo 10, donde habla que cada generador tiene que realizar una prueba de impacto ambiental por medio de la Comisión Nacional de Medio Ambiente. El resto de la Ley da los términos con los que las instituciones como la CNEE y el AMM funcionan y también las formas de regular a los agentes del sistema eléctrico interconectado.

- Aparte de la Ley de Electricidad Guatemalteca existen ciertas normas y requisitos que tiene que cumplir un agente generador de energía, estos requisitos se tienen que cumplir ante la CNEE y el AMM, los cuales se resumen de la siguiente manera:
- Presentar certificación de la Inscripción en el Registro del Ministerio de Energía y Minas. Solo si excede los 5 MW. La certificación debe de estar actualizada a un plazo no mayor de seis meses.
- Presentar copia legalizada de la escritura de constitución de la entidad, copia de la patente de comercio, y documentación de la representación legal.
- Acta notarial de Declaración Jurada, en la cual se compromete al pago del monto adeudado por su participación en el Mercado Mayorista. Adicionalmente debe comprometerse a permitir acceso a sus equipos de medición.
- Contar con una garantía, a través de una Línea de Crédito en el Banco Liquidador, por un monto inicial establecido por el AMM de acuerdo con lo indicado en la Norma de Coordinación Comercial -NCC-12.
- Presentar la planilla 1.8 “Representantes y delegados ante el AMM”.
- Representar acuerdo de conexión y servicio de transporte con todos y cada uno de los transportistas y distribuidores involucrado en el suministro.
- Solicitar operar en el Mercado Mayorista de Electricidad de Guatemala como Agente Generador.

Requisitos específicos:

- Presentar resolución de la CNEE según artículo 49 de la Ley de Electricidad de Guatemala, donde se autoriza el uso y acceso al sistema de transporte, presentar la documentación que acredite el cumplimiento de las obligaciones impuestas por la CNEE en dicha resolución, cumpliendo con la normas: Norma Técnica para la conexión, operación, control y comercialización de la Generación Distribuida Renovable –NTGDR-, y la Norma Técnica de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución –NTDOID-.
- Contar con equipamiento necesario para los sistemas de comunicaciones que permitan satisfacer el envío de información requerida.

- Presentar nota de conexión en la que el AMM hace constar que verificó la adecuación de la telemetría de acuerdo con lo indicado en la Norma de Coordinación Operativa -NCO-2-
- Presentar para las unidades generadoras e instalaciones de transporte relacionadas con la central generadora, la información correspondiente a las normas: NCO-1 y NCC-1.
- Presentar la información correspondiente a la programación de Largo Plazo incluyendo los programas de pruebas que requieran llevar a cabo y programa de mantenimiento previsto.
- Presentar la declaración de la metodología de cálculo del costo variable de Generación.
- Informar sobre los acuerdos con el Transportista y Distribuidor.
- Presentar el programa definitivo de energización de las instalaciones, incluyendo el protocolo de maniobras y pruebas acordado con el transportista involucrado.
- Presentar un informe por el cual se pueda determinar si los ajustes de sus equipos satisfacen los requerimientos de las normas: NCO-3 y NCO-4.
- Presentar los requerimientos de estudio de factibilidad y estudio ambiental aprobado por la CNEE y el programa de mantenimiento.

Estas normativas y requerimientos se tienen que presentar tanto en la CNEE como en el AMM, una vez aprobadas todas las normas, estudios y requerimientos, la generadora puede entrar a funcionar en el sistema interconectado de Guatemala. (Guerrero Silva, 2009)

4.2. Especificaciones técnicas

La generación a partir de una corriente de agua ha sido la fuente de energía más limpia, ya que utiliza el caudal del río por un tiempo desviando el curso, utilizándolo y regresándolo nuevamente al río, en la mayoría de los casos se produce con centrales a gran escala, las cuales utilizan presas y embalses de grandes proporciones, donde se almacena una gran cantidad de agua para regular la generación a lo largo del año, este tipo de proyecto por su tamaño, en algunos casos los embalses causan impactos ambientales y conflictos sociales debido al temor de la obstrucción de la corriente de los ríos. Por otro lado, los sistemas a pequeña escala, que generan hasta 5 MW provocan un menor impacto social y ambiental, y pueden contribuir a brindar el servicio de energía eléctrica en zonas sin cobertura de red de electrificación o fortalecer la red interconectada.

La energía hidráulica tiene su origen en el ciclo hidrológico, también conocido como el ciclo del agua. Este se basa en la energía del sol, la cual calienta el agua de los océanos y provoca la evaporación. El agua, en su forma gaseosa, sube a la atmósfera para formar las nubes y posteriormente precipitarse en forma de lluvia. Una parte cae en el mar y el resto en la tierra; esta agua es la que se aprovecha para la energía hidráulica. El agua que cae en la tierra se infiltra para formar el agua subterránea, una parte se evapora y otra forma corriente de agua.

La inclinación de las montañas y la distancia hasta el mar condicionan las características de los ríos y quebradas, que por las diferencias de alturas pueden ser susceptibles a ser utilizadas como energía hidráulica y finalmente llegar hasta el mar. Para poder aprovechar la energía

hidráulica se requiere que los ríos transporten los volúmenes de agua necesarios y que las condiciones topográficas sean las adecuadas.

Para explicar las especificaciones técnicas de una hidroeléctrica es necesario detallar los tipos de generadoras que hay y sus especificaciones, se inicia explicando las hidroeléctricas con presa y las hidroeléctricas sin presa conocidas como filo de agua.

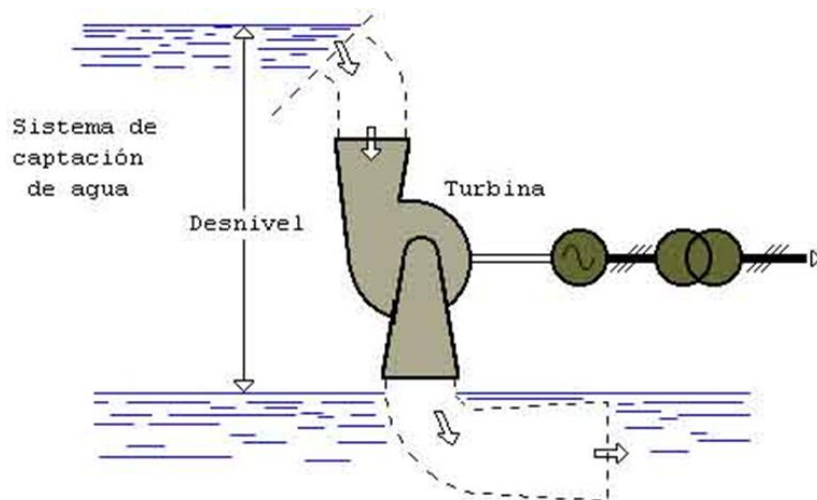
4.2.1. Centro a filo de agua

Son llamadas también de agua fluyente o de pasada. Prácticamente, no cuentan con reserva de agua y el caudal suministrado oscila con las estaciones del año. En los meses lluviosos desarrollan su potencia máxima y en los meses secos la potencia disminuye en función del caudal disponible.

Estas instalaciones captan una parte del caudal del río mediante una obra de toma, dejando por lo menos un caudal ecológico el cual se conduce hacia la central donde se aprovecha y después se devuelve al río. Este tipo de centrales normalmente se utiliza en aprovechamientos de pequeña y mediana escala.

Los impactos ambientales de este tipo de presas son mínimos, ya que no se bloquea el cauce y no se inundan terrenos adyacentes.

Figura No.1: Central a filo de agua



4.2.2. Generación por embalse o presa

Son los aprovechamientos hidroeléctricos que tienen la opción de almacenar las aportaciones de un río a través de un embalse. En estas centrales se regulan los caudales de salida para utilizarlos cuando sea necesario. El uso de presas tiene algunos inconvenientes como inundación de terrenos fértiles y en ocasiones de poblaciones, las cuales deben de ser evaluadas oportunamente. La fauna acuática puede ser alterada si no se toman medidas que las protejan. Esta disposición es característica para centrales medianas y grandes, en donde el caudal aprovechado por las turbinas es muy grande en proporción al caudal promedio anual disponible en el río.

En Guatemala, existen únicamente dos hidroeléctricas con embalse de regulación anual, una es Chixoy y la otra es Jurún Marinalá, que utiliza como embalse el lago de Amatitlán. El resto de las plantas de este tipo son embalses de regulación diaria, normalmente para producir energía en las horas pico.

4.2.3. Embalses según su estructura

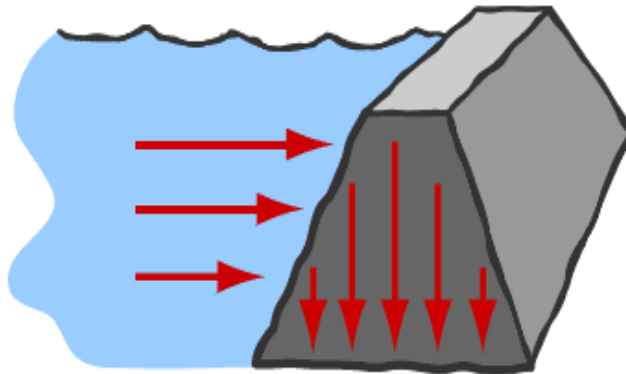
Los embalses pueden ser diseñados según el material y la forma de la presa como se define a continuación:

4.2.3.1. Presas de gravedad

Son todas aquellas en las que su propio peso es el encargado de resistir el empuje del agua. El empuje del embalse es transmitido hacia el suelo, por lo que éste debe ser muy estable, capaz de resistir el peso de la presa y el embalse. Constituyendo las represas de mayor durabilidad y que menor mantenimiento requieren.

Su estructura es parecida a la de un triángulo isósceles ya que su base es ancha y se va estrechando a la medida que asciende; en muchos casos el lado que está hacia el embalse es casi de posición vertical. La razón por la que existe una diferencia notable en el grosor del muro a medida que aumenta la altura de la presa, se debe a que la presión en el fondo del embalse es mayor que en la superficie, por lo que el muro tendrá que soportar más fuerza en la parte inferior que en la superficie. La inclinación sobre la cara hace que el peso del agua sobre la presa incremente su estabilidad.

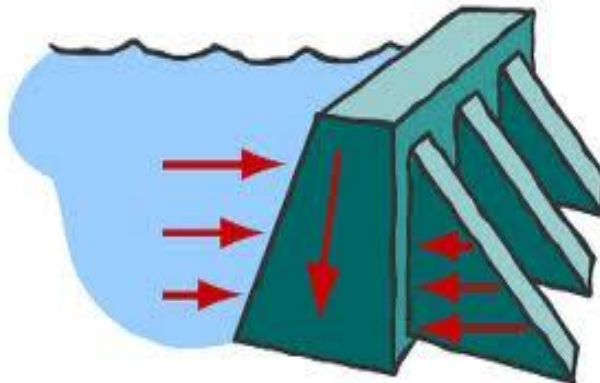
Figura No.2: Presa de gravedad



4.2.3.2. Presas de contrafuerte

Formadas por una pared impermeable situada aguas arriba y contrafuertes resistentes para su estabilidad, situadas aguas abajo.

Figura No.3: Presa de contrafuerte

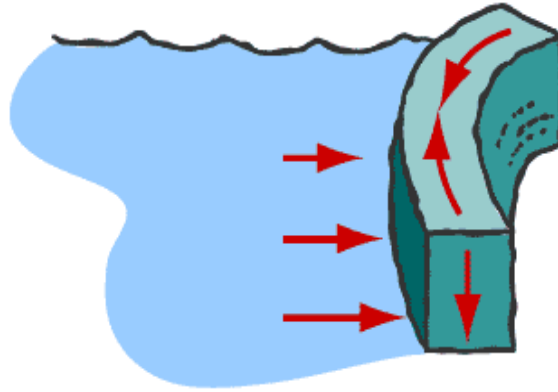


4.2.3.3. Presa de bóveda o presa en arco

Son aquellas en las que su propia forma es la encargada de resistir el empuje del agua. Debido a que la presión se transfiere en forma muy concentrada hacia las laderas, se requiere que esta sea de roca muy dura y resistente. Constituyen las represas más innovadoras en cuanto diseño, se puede mencionar que requieren menor cantidad de hormigón para su construcción

Cuando la presa tiene curvatura en el plano vertical y horizontal, también se denomina de bóveda. Para lograr sus complejas formas se construyen con hormigón y requieren gran habilidad y experiencia de sus constructores que deben recurrir a sistemas de constructivos poco comunes.

Figura No.4: Presa de arco



4.2.4. Clasificación según material

Dependiendo del material a utilizarse en la construcción de la presa se pueden clasificar de la siguiente manera:

4.2.4.1. Presa de hormigón

Son las más comunes en los países desarrollados ya que con este material se pueden elaborar construcciones más estables y duraderas; debido a que su cálculo es del todo fiable frente a las producidas con otros materiales. Normalmente, todas las presas de tipo de gravedad, arco y contrafuerte están diseñadas con este material. Algunas presas pequeñas y las más antiguas son de ladrillo y de mampostería.

4.2.4.2. Presa de materiales sueltos

Son las más utilizadas en los países subdesarrollados ya que son menos costosas y suponen el 77% de las que podemos encontrar en todo el mundo. Consisten en un relleno de tierras, que aportan la resistencia necesaria para contrarrestar el empuje de las aguas.

Este tipo de presas tienen componentes muy permeables, por lo que es necesario añadirles un elemento impermeabilizante. Además, estas estructuras resisten siempre por gravedad, pues la débil cohesión de sus materiales no les permite transmitir los empujes del agua al terreno. Este elemento puede ser arcilla o bien una pantalla de hormigón, la cual se puede construir también en el centro del relleno o bien aguas arriba. Estas presas tienen el inconveniente de que, si son rebalsadas por las aguas en una crecida, corren el riesgo de desmoronarse y arruinarse.

Las presas deben tener una compuerta de desfogue, este elemento es un accesorio que permite la limpieza del material acumulado que fluye directamente a la presa. Esta compuerta es importante para las presas de mini hidroeléctricas, principalmente en zonas donde la erosión es significativa y las presas se llenan de sedimentos.

4.3. Partes de una hidroeléctrica

Una vez especificados los tipos de presas que hay, es necesario conocer las otras partes de la hidroeléctrica.

4.3.1. Bocatoma

Esta obra sirve para introducir el agua y controlar su ingreso al canal o tubería de presión e incluye al menos una compuerta de toma del recurso hídrico y una de lavado, previo al ingreso del agua a un desarenador. La bocatoma sirve como zona de transición entre una corriente y un flujo de agua controlado, tanto en calidad como en cantidad, esta debe tener una ubicación adecuada y un diseño cuidadoso.

La bocatoma tiene la función de captar la cantidad de agua del caudal del río según la capacidad para la que fue diseñada. Esto requiere decir que permite el ingreso máximo de agua, según su diseño y desecha el exceso. El caudal varía según la temporada, normalmente en época seca se reduce considerablemente. Su segunda función es impedir al máximo la entrada de material sólido y hacer que siga el caudal del río.

Las partes de la bocatoma las podemos identificar de la siguiente manera:

4.3.1.1. Presa o dique desviado

Su función es desviar el cauce del río, parcial o totalmente, hacia la solera de captación. En época de lluvias el dique funciona como vertedero.

4.3.1.2. Solera de captación

Se trata de una losa o piso a desnivel respecto de la antecámara o piso de la bocatoma, cuyo objetivo es crear un pozo de sedimentación donde se depositen los materiales en suspensión

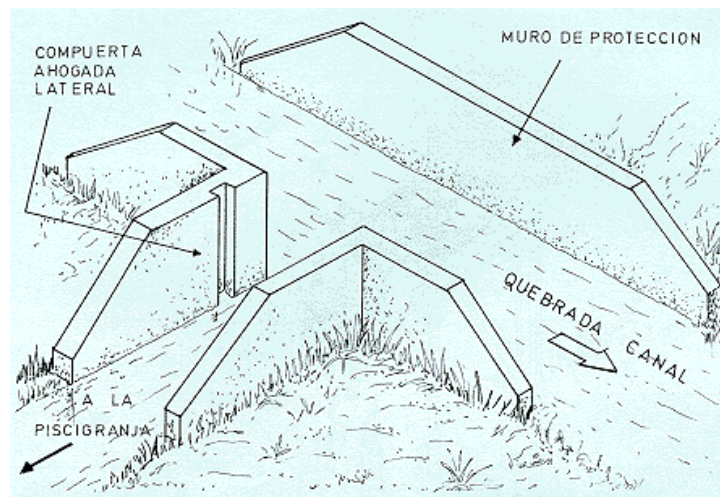
4.3.1.3. Rejillas

Impiden que pase material sólido, flotante, muy grueso al canal de conducción.

4.3.1.4. Compuerta de puerta

Se ubica al lado de la reja de entrada. Su función es eliminar el material grueso mediante la operación de compuerta y mantener limpio el sector frente a la rejilla.

Figura No.5: Ejemplo de bocatoma



4.3.2. Canal de conducción

Sirve para conducir el caudal desde la bocatoma hasta el desarenador; o del primer al segundo desarenador, dependiendo del diseño específico del proyecto. Posee una pequeña pendiente y según el diseño, puede ser un canal, un tubo o una tubería. El caudal en el canal es uniforme y el agua debe tener la misma velocidad a lo largo del mismo. Su pendiente tiene que ser muy suave, para evitar la erosión. En rango de pendiente se manejan de 0.05% a 0.2% en terrenos muy planos y en terrenos con mayor inclinación llega a un 1% hasta 2%. En términos generales se puede aceptar pendientes máximas de 5-6 cm por cada 10 metros. Existen algunos criterios básicos para diseñar los canales y que deben tomarse en cuenta para facilitar su construcción. Por ejemplo, la base de un canal no debe ser inferior a 80 cm., para que un hombre pueda moverse al realizar la excavación.

La profundidad del agua no deberá ser mayor de dos metros y deberá tener una holgura mínima de 30cm. Con el nivel máximo previsto en épocas de lluvia, para que no se inunde, se derrame el agua y como consecuencia destruya el canal por socavamiento. El canal debe tener a cada cierta distancia brinco hidráulicos que son como lo seguros del mismo. Si el canal se llena por completo, toda el agua excedente debe ser evacuada y dirigida hacia el cauce original.

En el diseño del canal es importante considerar las pendientes, ya que si es muy pronunciada ocasionará velocidades altas y puede causar erosión. Es ideal que el canal se diseñe con las velocidades máximas admisibles para el tipo de material con que se construirá. Si existen cambios de pendiente a lo largo del recorrido también puede ocurrir que en una disminución de velocidad se deposite sedimento dentro del canal.

Tabla No.1: Velocidades máximas admisibles en canales

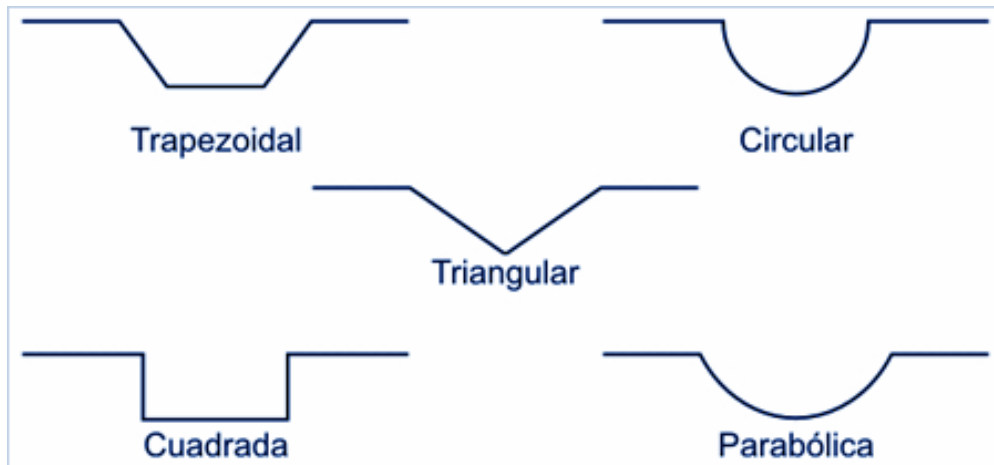
Material del canal	Velocidades en m/s	
	Agua limpia	Agua con sedimento
Arena fina	0.45	0.45
Limoso	0.60	0.60
Arcilla	0.75	0.75
Grava gruesa	1.20	0.90
Acero	3.00	2.40
Madera	6.00	3.00
Concreto	12.00	6.00

(Alegret, 2005)

Si el suelo por el que se va a conducir el canal tiene una baja permeabilidad y existe una cantidad de agua suficiente, no es necesario revestir el canal. Los canales que tienen mayor permeabilidad y que pueden permitir fugas de agua son los que tienen suelos arenosos y limosos. Los canales de tierra son los menos costos ya que se hacen con el material proveniente del terreno, pero tienen la desventaja que el agua se puede infiltrar en la tierra y perder un porcentaje de líquido antes de llegar a los desarenadores. Se utilizan cuando hay abundancia de agua y el material es compacto. Si el agua que se capta es poca y no se quiere tener pérdida durante la conducción, es aconsejable utilizar canales revestidos de concreto, nailon y hierro, entre otros.

En la siguiente ilustración se muestra el tipo de canal (Alegret, 2005) que se puede utilizar:

Figura No.6: Secciones comunes en los canales de conducción



4.3.3. Desarenador

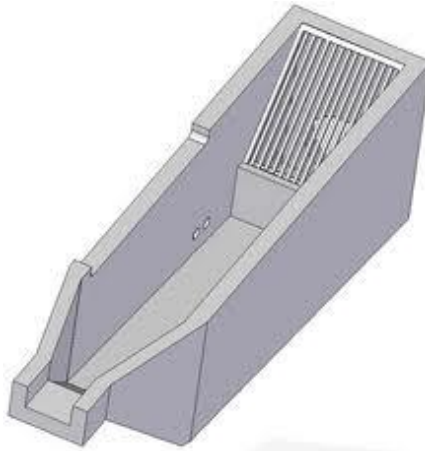
El propósito del desarenador es eliminar partículas de material sólido suspendidas en el agua. Para que estas decanten, se debe disminuir la velocidad mediante el aumento de la sección hidráulica. Por lo general, el desarenador está al final del canal, pero en ciertos proyectos adicionalmente por muchos sólidos en el agua hay necesidad de colocar un desarenador al principio del canal y otro al final. A continuación, se detallan los tipos de desarenador es (Intermediate Technology Development Group, 1995).

4.3.3.1. Tipos de desarenador

4.3.3.1.1. Convencional

Es de flujo horizontal y el más utilizado en nuestro medio. Las partículas se sedimentan al reducir la velocidad con que son transportadas por el agua. Generalmente, son de forma rectangular y alargada, Dependiendo en gran parte de la disponibilidad de espacio y de las características geográficas. La parte esencial de estos es el volumen útil donde ocurre la sedimentación.

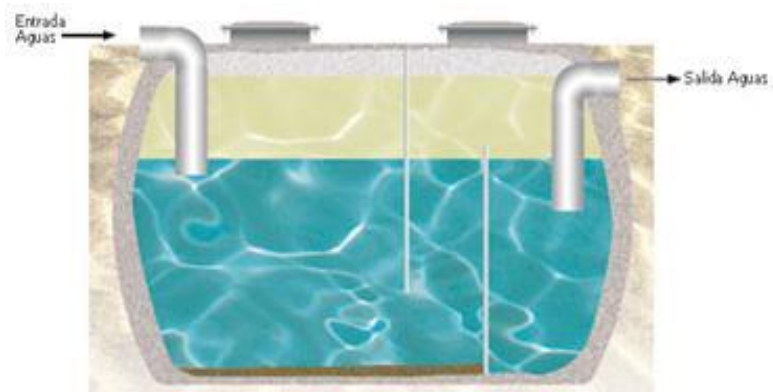
Figura No.7: Desarenador convencional



4.3.3.1.2. De flujo vertical

El flujo traslada desde la parte inferior hacia arriba. Las partículas se sedimentan mientras el agua sube. Pueden ser de formas muy diferentes: circulares, cuadrados o rectangulares. Se construyen cuando existen inconvenientes de ubicación o de espacio. Su costo generalmente es más elevado. Son muy utilizados en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

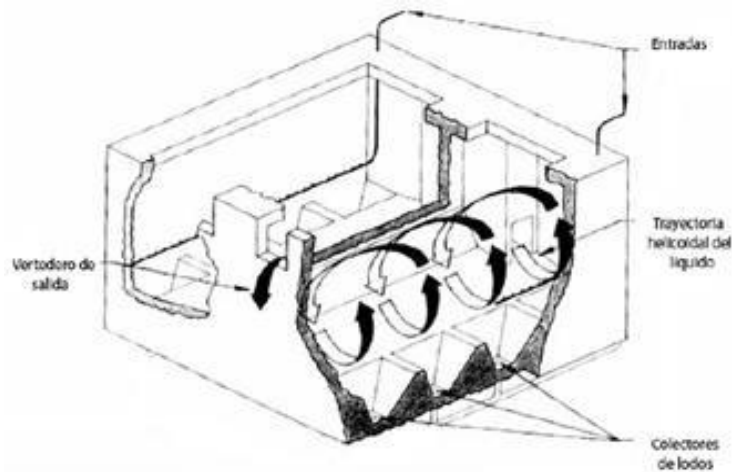
Figura No.8: Desarenador de flujo vertical



4.3.3.1.3. Tipo vórtice

Estos sistemas se basan en la formación de un vórtice o remolino inducido mecánicamente, que captura los sólidos en la tolva central de un tanque circular. Los sistemas por vórtice incluyen dos diseños básicos: cámaras con fondo plano, con abertura pequeña para recoger la arena y cámaras con un fondo inclinado y una abertura grande que lleva a la tolva. A medida que el vórtice dirige los sólidos hacia el centro, unas paletas rotativas aumentan la velocidad lo suficiente para levantar el material orgánico más liviano y de ese modo retornarlo al flujo que pasa a través de la cámara de arena.

Figura No.9: Desarenador de vórtice



Los elementos de un desarenador son: transición de entrada, la cual une el canal con el desarenador. La cámara de sedimentación, en la cual las partículas sólidas caen al fondo debido a la disminución de la velocidad producida por el aumento de la sección transversal. Las velocidades límites por debajo de las cuales el agua cesa de arrastrar los diversos materiales son:

Tabla No.2: Velocidades límites

Material	Velocidad (m/s)
Arcilla	0.081
Arena fina	0.160
Arena gruesa	0.216

(Intermediate Technology Development Group, 1995)

4.3.3.2. Vertedero

Al final de la cámara, se construye un vertedero sobre el cual pasa el agua limpia hacia el canal. Las capas superiores son las que se limpian primero; es por esto por lo que la salida del agua desde el desarenador se hace por medio de un vertedero, que debe trabajar con descarga libre hasta donde sea posible.

Además, mientras más pequeña es la velocidad de paso por el vertedero, menos turbulencia causa en el desarenador y menos materiales en suspensión arrastran. Como máximo se admite que esta velocidad llegue a $v = 1$ m/s. Fundamentalmente, el vertedero sirve para separar del agua todos los elementos sólidos que flotan como hojas, ramas, plásticos, entre otros.

4.3.3.3. Compuerta de lavado

Sirve para desalojar los materiales depositados en el fondo. Para facilitar el movimiento de las arenas hacia la compuerta, debe tener una pendiente fuerte del 2% al 6% al fondo del desarenador. El incremento de la profundidad obtenido por efecto de esta gradiente no se incluye en el tirante de cálculo y el volumen adicional obtenido se toma como depósito para las arenas sedimentadas entre dos lavados sucesivos.

Es necesario hacer un estudio de la cantidad y tamaño de sedimentos que trae el agua para asegurar una adecuada capacidad del desarenador y evitar lavarlo con demasiada frecuencia. Para lavar una cámara del desarenador se cierran las compuertas a gran velocidad arrastrando la mayor parte de sedimentos, mientras que el caudal normal sigue pasando al canal, ya sea a través del canal directo o de otra cámara.

4.3.3.4. Consideraciones para el diseño hidráulico del desarenador

4.3.3.4.1. Cálculo del diámetro de las partículas a sedimentar

Los desarenadores se diseñan para un determinado diámetro de partícula, que se supone que todas las partículas de diámetro superior al escogido deben depositarse. El valor normal admitido para plantas hidroeléctricas es de 0.25mm

4.3.3.5. Cálculo de la velocidad de la corriente del agua en el tanque del desarenador

La velocidad del agua se considera lenta cuando está comprendida entre 0.20 m/s a 0.60 m/s. La elección puede ser arbitraria o puede realizarse utilizando una tabla que describe las partículas admisibles por turbina (Intermediate Technology Development Group -ITDG-, 1995).

Tabla No.3: Diámetro de partículas en función del tipo de turbina

Diámetro de partículas en mm	Tipo de turbina
1-4	Michell Banki
1-3	Kaplan
0.4-1	Francis
0.2-0.4	Pelton y Turgo

4.3.4. Tubería a presión

Es una tubería que transporta el agua bajo presión desde la cámara de carga o tanque de presión hasta la turbina. Se recomienda que sea lo más recta posible, aunque siempre debe ajustarse a las condiciones topográficas del lugar.

La tubería representa uno de los mayores costos en una hidroeléctrica, por lo que debe optimizarse el diseño para reducir costos y escoger los mejores materiales. En el siguiente cuadro se muestran algunos materiales utilizados (Intermediate Technology Development Group -ITDG-, 1995) para la tubería de conducción y de presión. Se hace una comparación de resistencia a la corrosión, costos y presión a la que pueden trabajar estos materiales siendo 1 malo y 5 excelente:

Tabla No.4: Materiales para la tubería a presión

Material	Pérdida por fricción	Peso	Corrosión	Costo	Presión de trabajo
PVC	5	5	4	4	4
Polietileno	5	5	5	3	4
Asbesto Cemento	5	3	4	4	4
Hierro fundido	5	3	2	1	5
Acero	5	3	3	2	5

(Intermediate Technology Development Group, 1995)

4.3.5. Chimenea de equilibrio

Es un tubo que se coloca al principio de la tubería de presión, en forma vertical, paralela al tanque de presión y debe quedar más alto que el nivel del agua. Sirve para aliviar las variaciones de presión que sufre la tubería por las siguientes causas: apertura o cierre brusco de la válvula de cerrado del agua antes de la turbina y cierre o apertura brusca de la compuerta de la turbina.

Estas causas provocan un golpe de ariete, este fenómeno se produce por los cambios bruscos de presión en la tubería, los cuales provocan golpes que se desplazan a lo largo de ésta y chocan en puntos de cambio de dirección. Esto al no preverse adecuadamente puede romper o explotar la tubería, incluso pueden existir pérdidas lamentables.

Para evitar este fenómeno se recomienda que en la fase de diseño se eviten cambios de dirección muy bruscos, así como ajustar el tiempo de cierre del gobernador al máximo posible. También se pueden cerrar las válvulas en forma gradual, evitando hacerlo bruscamente y colocar en un tramo auxiliar una válvula de alivio de presión.

Hay que tener cuidado de no cometer ningún tipo de error en la tubería de presión, otro problema que se puede dar es la cavitación. Cuando existen cambios de presión muy bruscos dentro de la tubería, se forman implosiones que se escuchan como si dentro de la tubería circulara piedrín. El efecto de la cavitación es que la tubería pierde material en los puntos sensibles, lo que provoca debilitamiento de la tubería hasta llegar a romperla.

4.3.6. Válvulas a presión

Generalmente, antes de las turbinas se coloca una válvula, cuyo propósito es controlar el paso del agua de la tubería de presión a la turbina. Las más utilizadas son las de compuerta y las de mariposa. Estas válvulas solo deben operarse en dos posiciones, nunca intermedio por mucho tiempo porque puede provocar cavitación.

Estas válvulas son muy importantes en el sistema, aparte de servir como sistema de seguridad son útiles para dar mantenimiento a la turbina sin tener que quitar el agua de la tubería o bien cortar el agua en un momento de emergencia por problemas en la turbina o cualquier parte del sistema.

4.3.7. Manómetro

En el sistema hidráulico tubería-válvula-turbina, se recomienda colocar un medidor de presión o manómetro. Generalmente se coloca antes de la válvula. Sirve para medir la presión con la que el agua está entrando a la turbina y para comprobar que la tubería está llena de agua.

Los manómetros aparte de servir como un indicador de seguridad en la operación de la tubería de presión y turbina, pueden utilizarse para determinar el nivel de altura entre la bocatoma y la casa de máquinas. En turbinas antiguas, los manómetros se pueden colocar para determinar la altura que tienen y eso podría ayudar para una futura reingeniería de una turbina nueva.

4.3.8. Casa de máquinas

Es una estructura que aloja todo el equipo electromecánico, a través del cual se transforma la energía cinética del agua en energía mecánica y posteriormente en eléctrica. En esta edificación se encuentran las turbinas, gobernadores, generadores, transformadores y sala de mandos, por lo que se debería tomar en cuenta las dimensiones de los equipos a instalar para diseñar la estructura.

4.3.9. Turbina

En el proceso de transformación de la energía de un fluido en energía mecánica, se emplean diferentes tipos de máquinas, que pueden clasificarse como turbinas de acción o turbinas reacción.

A estos dos grupos corresponden las turbinas que se emplean actualmente en las centrales hidráulicas, sean pequeñas o grandes.

4.3.9.1. Turbina de acción

4.3.9.1.1. Turbina Pelton

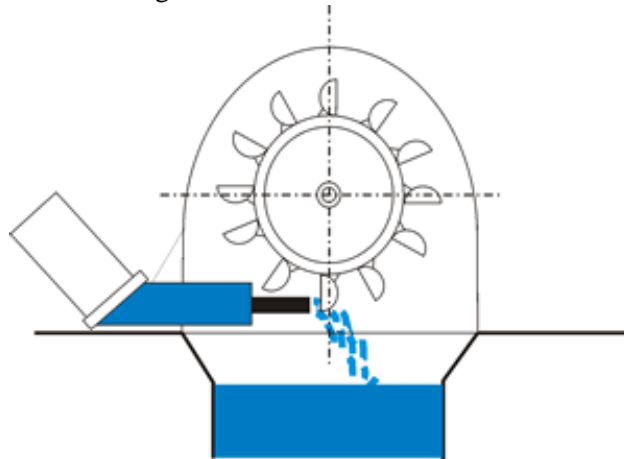
Básicamente constan de las siguientes partes; inyector, rotor, deflector y carcasa. El rotor puede ser de una pieza o ensamblado. Puede tener uno o varios inyectores, cuyos chorros de agua inciden sobre una serie de cucharas montadas sobre la orilla de un disco. El torque o fuerza para hacer girar la turbina es generado por la deflexión del chorro en las cucharas del rotor.

En proyectos de gran escala, del orden de MW, se instalan este tipo de turbinas si se tienen alturas o caídas superiores a los 150 metros. Pero en términos generales, una turbina Pelton puede

utilizarse en saltos entre 50 a 1200 metros. Estas turbinas son especialmente diseñadas para poco caudal y mucha caída, el agua es lanzada desde la tubería de presión a través del inyector, que sale por el chorro contra la serie de paletas dobles en forma de cuchara montadas alrededor del borde de una rueda y la potencia de esta se regula por una palanca o deflector que se mueve verticalmente al inyector desviando el chorro de agua.

Estas turbinas son muy usadas en caídas grandes, la regla general indica que a medida que la caída de agua aumenta se necesita menor caudal de agua para generar la misma potencia.

Figura No.10: Turbina de Pelton



4.3.9.1.2. Turbina Michell-Banki o flujo cruzado

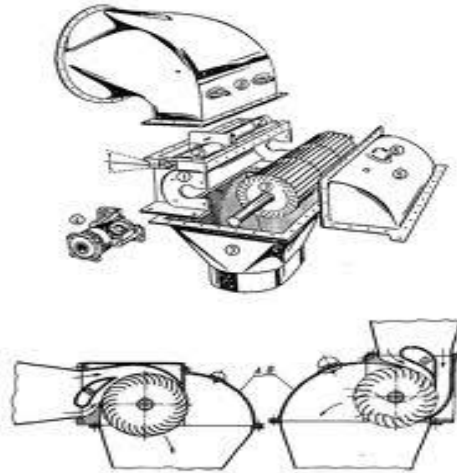
Esta turbina es una máquina utilizada principalmente para pequeños y medianos proyectos hidroeléctricos. Es un diseño sencillo y de fácil construcción. Aunque esta turbina se utiliza para proyectos a pequeña escala, por ejemplo, de 15 Kilovatios (KW), actualmente existen turbinas de este tipo hasta 6 MW.

Se utiliza con una gama muy amplia de caudales, desde 0.04 hasta 10 m³/s y saltos o alturas entre 2.5 m y 200m. La eficiencia es muy baja, comparada con otras tecnologías, pero opera con caudales muy bajos, lo que da una mayor producción de energía. Puede operar con un mínimo del 16% del caudal de diseño.

Es una turbina de libre desviación debido a que su número específico de revoluciones se encuentra entre las turbinas de régimen lento, el sentido de circulación del agua en la corona de paletas ofrece, a diferencia de otros modelos, una auto limpieza. Ofrece un diseño simple el cual consta de una palanca de apertura o cierre del fluido, un tambor con paletas el cual puede ser

diseñado en diferentes secciones, para poder utilizarse en su capacidad total en invierno y por secciones en verano.

Figura No.11: Turbina Michell-Banki



4.3.9.2. Turbina de reacción

4.3.9.2.1. Bomba rotodinámica operando como turbina

Desde hace varios años se han utilizado las bombas en rotación inversa como turbinas, especialmente en zonas aisladas y en algunos casos conectadas a la red. Son equipos de bajo costo, comparados con turbinas construidas a medida para una hidroeléctrica, pero son poco eficientes.

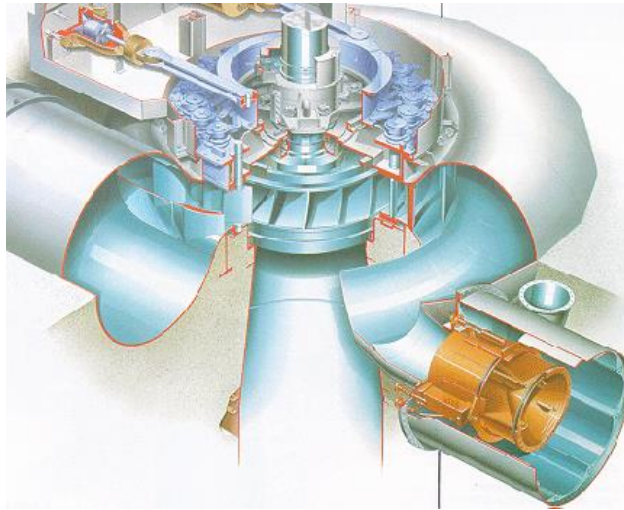
4.3.9.2.2. Turbina Francis

Son turbinas muy utilizadas en saltos de altura media, están equipadas con un distribuidor de álabes regulables y un rodete con álabes fijos. En estas turbinas el agua se desplaza encauzada en una conducción forzada, pasando del distribuidor fijo al rodete móvil, sin entrar en contacto con la atmósfera.

Las turbinas Francis se construyen con el objetivo de lograr una máxima eficiencia que supera el 90%, por lo cual son muy costosas de diseñar, fabricar e instalar por lo que generalmente son instaladas en proyectos grandes, pero pueden funcionar por décadas. Se componen de las siguientes partes:

- Caja principal: que distribuye el fluido.
- Pre-distribución: la función es estructural.
- Distribuidor: consta de alabes que regulan el caudal que entra en la turbina.
- Rotor: es el corazón de la turbina y es el intercambiador de la energía entre el fluido y la máquina.
- Aspirador: es la tubería de desfogue del fluido.

Figura No.12: Turbina Francis

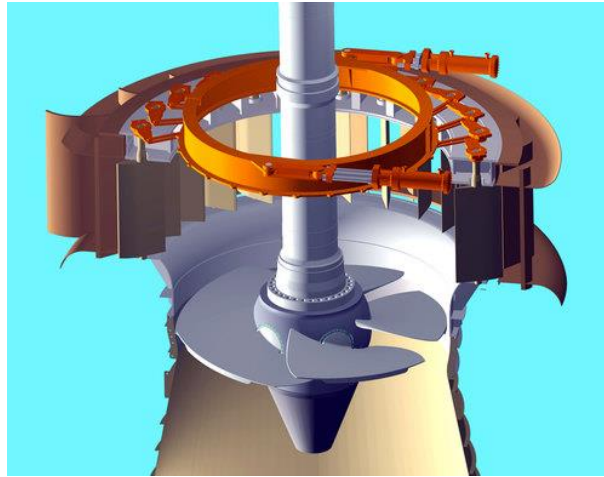


4.3.9.2.3. Turbina Kaplan y de hélice

Son turbinas de reacción de flujo axial. Los álabes del rodete son regulables. En términos muy sencillos, esta turbina es una hélice que se mueve con el flujo del agua. La turbina de bulbo es una derivación de la Kaplan.

Esta turbina funciona como la hélice de un barco, se utiliza en saltos de pequeña altura, con caudales medios y grandes, aproximadamente de 15 metros cúbicos por segundo en adelante. Debido al singular diseño permite desarrollar elevadas velocidades específicas obteniendo buenos rendimientos, incluso dentro de extensos límites de variación de caudal.

Figura No.13: Turbina Kaplan



4.3.9.2.4. Turbina Turgo

Puede trabajar con caídas de 50 a 250 metros. Se trata de una turbina de acción, pero sus álabes tienen distinta forma y disposición así que se clasifica como una turbina de reacción. El chorro incide con un ángulo de 20 grados respecto al plano diametral del rodete, entrando por un lado del disco y saliendo por el otro. El chorro incide simultáneamente sobre varios álabes, de forma semejante a como lo hace el fluido en una turbina de vapor.

La ventaja de la turbina es que el agua no cambia de presión cuando pasa a través de los álabes. La turbina puede tener un rendimiento superior al 90% y puede manejarse con un mayor flujo de agua que la Pelton. La turbina opera en un campo de desnivel en el que se solapan la turbina Francis y Pelton.

Figura No.14: Turbina Turno



Tabla No.5: Selección de turbina por altura

Tipo de turbina	Arriba de 50m	De 10 a 50 metros	Debajo de 10m
Impulso	Pelton	Crossflow	Crossflow
	Turgo	Turgo	
	Multi-jet Pelton	Multi-jet Pelton	
Reacción		Francis	Francis
			Propeller
			Kaplan

(Intermediate Technology Development Group, 1995)

Tabla No.6: Eficiencias nominales de la turbina

Tipo de Turbina	Eficiencia Nominal
Kaplan	93%
Francis	92%
Pelton	91%
Turgo	90%
MichellBanky	82%
Rueda de agua	10 a 50%

(Intermediate Technology Development Group, 1995)

Tabla No.7: Criterios de selección de la turbina dependiendo de la altura

Tipo de Turbina	Rango de caída en metros
Kaplan	1 -20
Michell Banky	1-200
Francis	1-350
Pelton	50-1300
Rueda de Agua	0-3
Turgo	50-250

(Intermediate Technology Development Group, 1995)

4.3.10. Generadores

Convierte en energía eléctrica la mecánica recibida de la turbina a través de un eje. La potencia de los generadores tiene que coincidir con la potencia de la turbina. El generador es una máquina eléctrica de corriente alterna monofásica y/o trifásica, utilizada para transformar la energía mecánica entregada por la turbina en energía eléctrica. Esta transformación se consigue por la acción de un campo magnético, sobre los conductores eléctricos que están disponibles sobre una armadura.

Normalmente en pequeñas centrales hidroeléctricas, se utilizan los generadores sincrónicos conocidos también como alternadores. Estos generan electricidad a corriente directa DC a 12 a 24 voltios. En proyectos más grandes, los generadores producen electricidad a corriente alterna AC a voltajes mayores. Los voltajes de generación de los generadores en AC normalmente son de 120V, 240 V o 440V.

4.3.11. Gobernadores

La función principal es manejar automáticamente la apertura o cierre de la cantidad de agua que entra en una turbina, ya sea a través de paleta, cámaras o desviadores; le brinda más o menos caudal para contrarrestar la demanda que solicita el generador cuando se encienden o se apagan equipos electrodomésticos o iluminación en general. Los gobernadores hidráulicos son los más utilizados en las turbinas de hidroeléctricas. Mantienen automáticamente el régimen de velocidad o revoluciones de una turbina de manera independiente al esfuerzo al cual es sometida.

Funcionan a través de presión de aceite interno, el cual maneja una revolución constante que al pasarse de estas revoluciones accionará una palanca que hará funcionar la paleta o desviadores, según la turbina, para aumentar la cantidad de flujo de agua que entre a esta. En la actualidad estos gobernadores están acoplados a controladores electrónicos que facilitan su operación y eficiencia.

4.3.12. Tableros de medición y control

En la parte eléctrica del sistema se encuentra el tablero de medición que muestra el voltaje, frecuencia y amperaje. Este tablero consta de las siguientes partes:

4.3.12.1. Frecuencímetro

En Guatemala, se utiliza una frecuencia de 60 Hz, por lo que se debe tomar en cuenta esta variable en la transformación eléctrica, sino los motores y diferentes aparatos eléctricos podrían quemarse.

4.3.12.2. Voltímetro

Normalmente, los generadores producen la electricidad a 120, 240 o 480 Voltios, en monofásico y trifásico, por lo cual hay que saber cuál de esas energías se va a usar en cada aparato, para que el sistema esté ajustado

4.3.12.3. Amperímetro

Es el aparato que mide la cantidad de consumo de energía utilizada.

4.3.12.4. Palanca de transferencia

En proyectos que tienen más de una turbina se tiene que instalar una palanca de transferencia, la cual permite únicamente trasladar la energía de uno de los generadores, para que no haya choque de energías. De éstas, hay mecánicas y automáticas.

4.3.12.5. Palanca de corte

Es el dispositivo utilizado para cortar, en un momento dado la energía sin tener que parar el sistema. Así mismo permite detener el sistema para realizar cualquier reparación o cortar la energía por una emergencia. Todos los equipos de generación eléctrica deben tener sistemas de protección eléctrica como pararrayos y tierras físicas.

4.3.13. Transformador

Este equipo electromecánico se utiliza para elevar el voltaje, mantener o unificar la corriente creada por el generador. En los proyectos pequeños, se puede prescindir de este equipo,

pero si hay que transportar la energía a distancias grandes y el generador trabaja a bajo voltaje, es necesario utilizar uno o varios bancos de transformadores.

Si el transformador eleva el voltaje se le llama de subida, si, al contrario, disminuye el voltaje se le llama de bajada. Hay dos tipos de transformadores que se diferencian por su forma constructiva:

4.3.13.1. Transformadores húmedos

El circuito y los devanados están sumergidos en un líquido dieléctrico que garantiza el aislamiento y la evacuación de las pérdidas de calor del transformador. Este líquido se dilata en función de la carga y de la temperatura ambiente. Existen cuatro tipos: respirantes, de colchón de gas, con conservadores y de llenado integral. Actualmente, este tipo de transformadores ya no está disponible debido al alto grado de contaminación y peligro para la salud humana. Normalmente, el líquido dieléctrico que usaban era un aceite denominado PCB, el cual es altamente tóxico y cancerígeno.

4.3.13.2. Transformadores secos

El circuito magnético está aislado o recubierto con un material aislante seco de varios componentes. La refrigeración se consigue por medio del aire del ambiente, sin líquido intermedio.

Este tipo de transformador tiene la ventaja de no presentar ningún riesgo de fuga o contaminación. Los transformadores se fabrican según las necesidades de los usuarios, por lo que las capacidades de estos son ilimitadas. La capacidad de un transformador se mide en VA (volts amperes) y si la capacidad está dada por miles de VA, se simplifica en KVA.

Al finalizar el proceso se debe tomar en cuenta que el agua tiene que regresar al río y se diseña un canal de desfogue hacia el río, este ya no debe tener mayor especificación más que no tener una velocidad mayor al diseño del material.

4.4. Plan de expansión de la CNEE

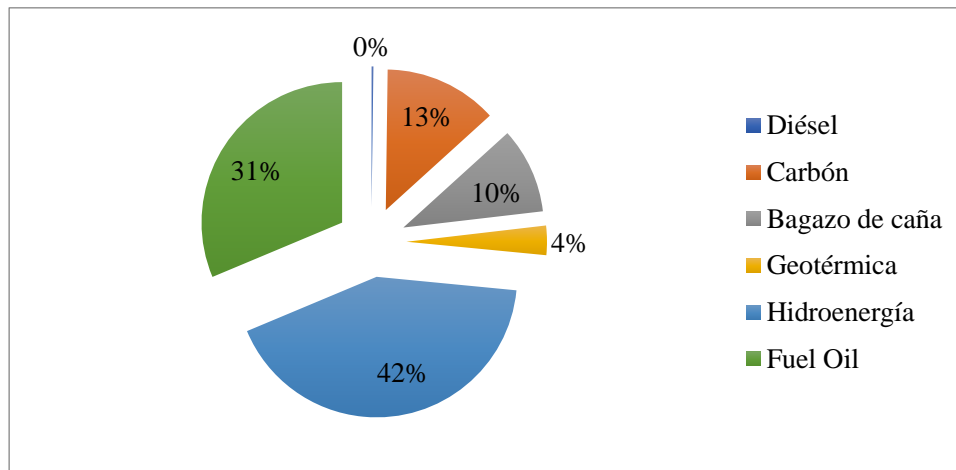
Durante el periodo entre 1990 y 2020, se estima que el consumo energético global se incrementará en un 60% debido al crecimiento poblacional en la urbanización del planeta y por supuesto, la expansión económica e industrial. El consumo de electricidad, la cual se considera

como más versátil de las energías se incrementará incluso con una rapidez mayor; según los escenarios más conservadores, el crecimiento será del 70%. La mayor parte de este crecimiento se espera que sea en países en desarrollo como lo es Guatemala.

Tanto en el mundo como en Guatemala, las energías renovables tienen un enorme potencial para poder enfrentar y solventar este incremento continuo y constante de demanda energética. Para el año 2008, Guatemala contaba con una capacidad instalada de 2,126.28 MW, de los cuales el 47% corresponde a energías renovables, principalmente hidro-electricidad y cogeneración. (Comisión Nacional de Energía Eléctrica -CNEE-, 2008) Con el crecimiento de la demanda energética y las tendencias actuales, en una economía casi en recesión y con un porcentaje de la población sin acceso a servicios de electricidad, la proyección estimada para el 2020 sin los efectos de la eficiencia energética sería una demanda adicional de 1,400 MW. Para poder llevar a cabo esta instalación en potencia se requiere una inversión de unos US\$ 2,400 millones, haciendo una estimación de US\$ 2 millones/MW instalado.

Para lograr cumplir la demanda para el 2020 en Guatemala y las expectativas mundiales según el Protocolo de Tokio, La Comisión Nacional de Energía Eléctrica -CNEE- creó su plan de expansión (Comisión Nacional de Energía Eléctrica -CNEE-, 2008) en el cual motiva a inversionistas a explotar el recurso que hay en el país.

Gráfica No.1: Porcentaje de generación eléctrica en el año 2009



Guatemala tiene un gran potencial en recursos renovables con los que podría afrontar estos requerimientos energéticos. Los potenciales calculados para el país en recursos renovables son:

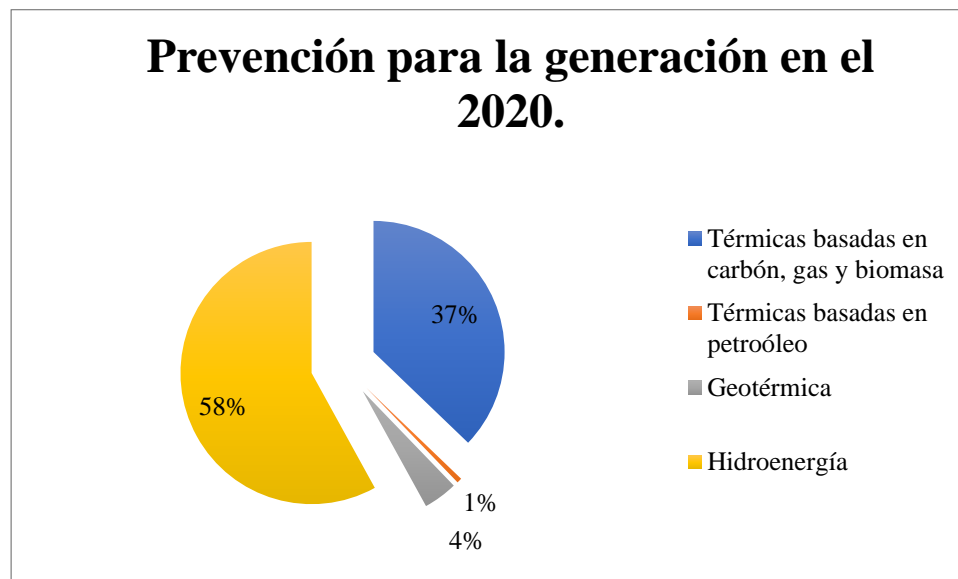
Tabla No.8: Potenciales de generación en recursos naturales renovables

Hidroelectricidad	5,000 a 7,000 MW
Geotermia	1,000 a 2,000 MW
Eólica	1,000 a 7,000 MW
Biomasa	1,000 MW
Solar	Miles de MW

(Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2008)

Según los cálculos y la capacidad que tiene Guatemala la CNEE estableció su plan de expansión de generación de energía eléctrica para los próximos años, para que en el 2020 el país contara con un 58% de generación por medio de Hidroeléctricas (Comisión Nacional de Energía Eléctrica -CNEE-, 2008).

Gráfica No.2: Previsión para la generación en el 2020



(Administración del Mercado Mayorista -AMM-, 2012)

Uno de los incentivos que propone la CNEE es apoyar a los inversionistas de nuevos proyectos de generación renovable en el país y para ello desarrollaron los siguientes beneficios:

- Eliminar los impuestos para las empresas generadoras de energía renovable en sus primeros diez años de operación

- Disminuir la inversión inicial mediante la eliminación de los impuestos de toda la maquinaria necesaria para la construcción de la generadora renovable.

5. Metodología

Primero se realizará un estudio de las normativas de la CNEE para plantas de generación por medio de recursos renovables, en este caso una planta hidroeléctrica; verificando leyes, normas específicas que apliquen al caso y requerimientos necesarios para la implementación de la hidroeléctrica.

Segundo se verificarán las especificaciones técnicas de una hidroeléctrica como el caudal del río Chilascó; esta información ha sido recopilada a lo largo de un mínimo de diez (10) años por el Ministerio de Energía y Minas de las República de Guatemala. En base al caudal se realizarán los cálculos para verificar la capacidad de generación de potencia y energía que tendrá la planta hidroeléctrica. Otra de las especificaciones que se tiene que verificar son la diferencia de altura entre la captación y el cuarto de máquina para poder adecuar toda la maquinaria al caudal de diseño y el diferencial de altura.

Tercero, se realizará un estudio del equipo necesario para la planta hidroeléctrica, además de un bosquejo de la colocación de la planta y la planificación del mantenimiento del equipo de la planta. Esta llevará el punto de captación donde estará la presa, la tubería que conducirá al cuarto de máquinas, el cual estará ubicado con unas diferencias de altura para poder generar la potencia requerida.

Cuarto se desarrollará el estudio de factibilidad para verificar que el costo de inversión y gastos necesarios en los primeros años, para poder obtener un retorno en un plazo de diez años. Por último, se desarrollará la estructura administrativa y operativa necesaria para que la planta hidroeléctrica lleve a cabo exitosamente sus operaciones.

6. Diseño de planta hidroeléctrica

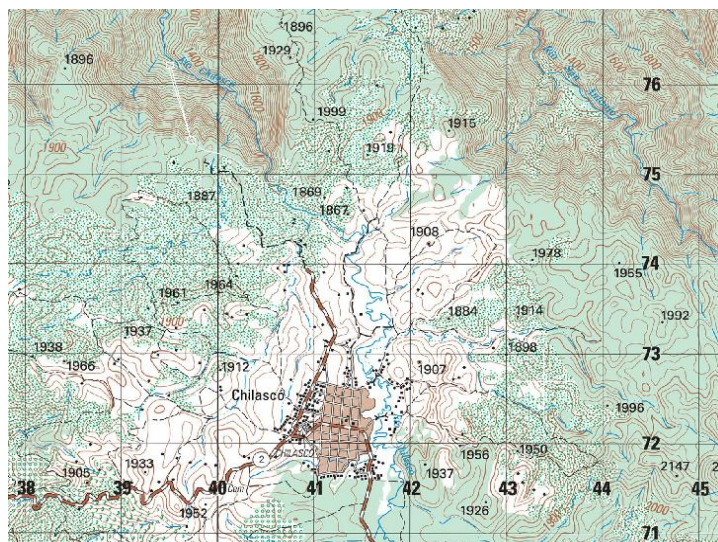
Al saber las bases y criterios del proyecto Hidroeléctrico se puede empezar a desarrollar el mismo, teniendo en cuenta que se cumple con el plan de expansión de la CNEE y sus normativas, el primer paso que hay que dar es conocer los datos básicos del proyecto y lugar de ejecución:

Tabla No.9: Datos generales del proyecto

Datos generales	
Nombre	Chilascó
Cuenca	Polochic
Río	Chilascó
Departamento	Baja Verapaz
Municipio	Salamá
Pueblo	San Jerónimo/ Chilascó
Latitud	15° 5'52.33"N
Longitud	90° 7'4.70"O

Para evaluar el potencial inicial de un proyecto se necesita conocer básicamente dos factores: Altura o desnivel entre dos puntos y el caudal o cantidad de agua. Con estos dos datos se puede calcular el tamaño probable hidroeléctrico que se puede tener. Se inicia con la localización del proyecto, el lugar y ubicación de cada uno de los elementos del proyecto.

Figura No.15: Mapa cartográfico del área



Se escoge el área adecuada del proyecto por medio de estudios topográficos y se identifica el área donde se colocará el equipo. De la hidroeléctrica para tener una idea de distancias y requerimientos básicos

Figura No.16: Ubicación de las partes del proyecto



Como se mencionó anteriormente, se tiene que conocer la diferencia de alturas; esto se debe a que el agua de la corriente tiene una energía potencial y mientras más grande sea el desnivel esta será mayor. La medición de este desnivel se puede realizar de varias formas, desde muy sencillas hasta muy sofisticadas, para explicarlo de una mejor forma se puede ver la figura dieciséis, donde el mapa cartográfico nos muestra una diferencia de altura entre el sistema de captación al finalizar el canal hasta la casa de máquinas de 620 metros. Teniendo claro que la diferencia de altura es de 620 metros. Se miden las distancias que hay entre el embalse y el sistema de captación y la distancia de la tubería como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla No.10: Datos del proyecto

Datos del proyecto	
Presa	Gravedad
Longitud del canal	1000m
Longitud de la tubería de presión	700m
Caída	620m

6.1. Caudal del Río Chilascó

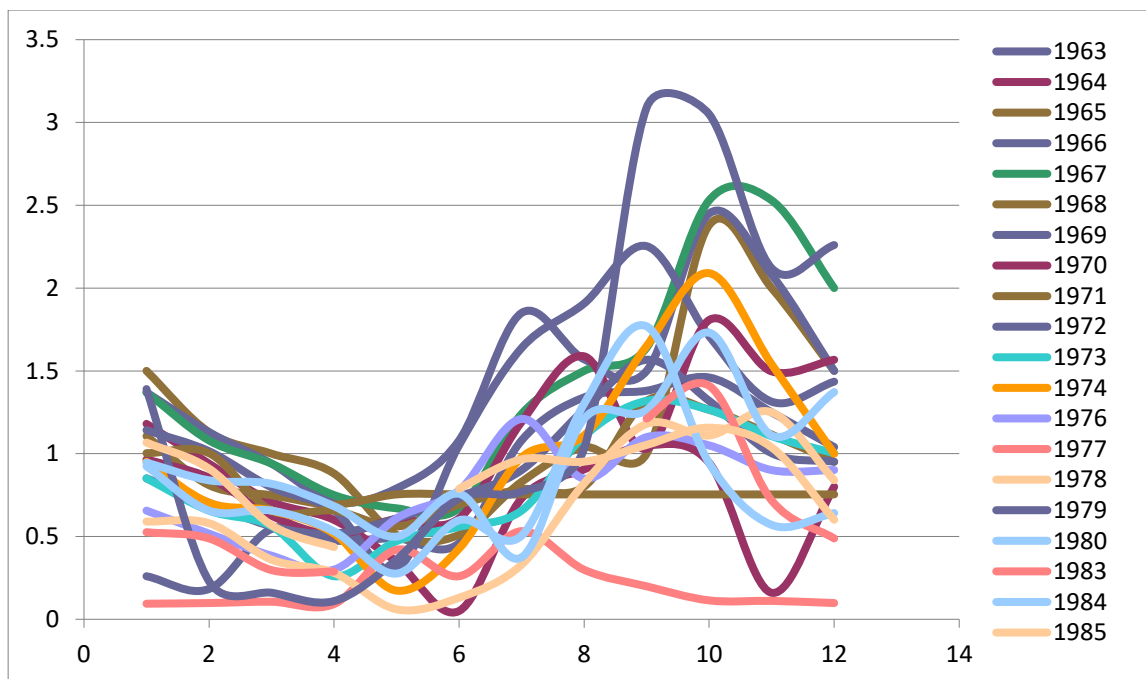
Este es el factor más importante, porque es el combustible del proyecto. Es importante mencionar que los caudales de los ríos varían enormemente entre ambas estaciones, seca y lluviosa, por lo que hay que tener un buen criterio para la medición del caudal.

Lo mejor es tener una serie de mediciones con frecuencia semanal o diaria, durante varios años, lo importante es conocer la cantidad de agua en la época más seca y de lluvia con estos datos se puede definir el caudal promedio para el proyecto.

La forma más fácil es obtenerlos en el Instituto Nacional de Sismología, vulcanología, meteorología e Hidrología -INSIVUMEH-, debido que ellos tienen estudios diarios de la mayoría de las cuencas de Guatemala y para desarrollar el estudio de caudales y cumplir con las normas de la CNEE se necesita un estudio diario al menos de 10 años consecutivos. El listado se entrega en una hoja de Excel donde se informan los caudales diarios tomados durante veinte años consecutivos.

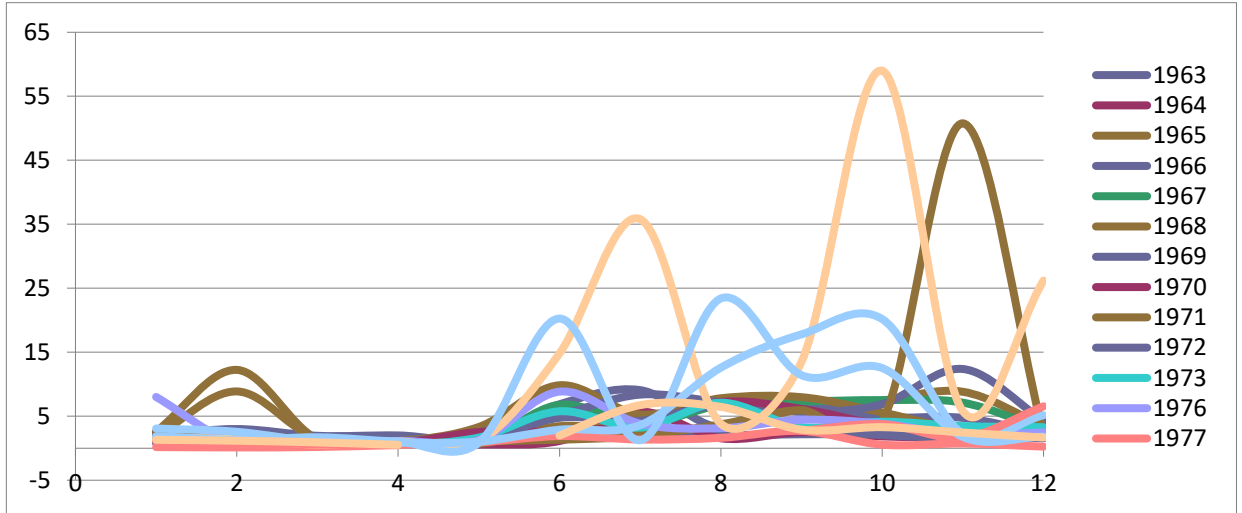
Teniendo los datos se realiza un promedio mensual de los caudales máximos, mínimos y promedios para estudiar su comportamiento a lo largo de los años, ver sus tendencias y puntos atípicos en el sistema.

Gráfica No.3: Caudales mínimos en m³/s



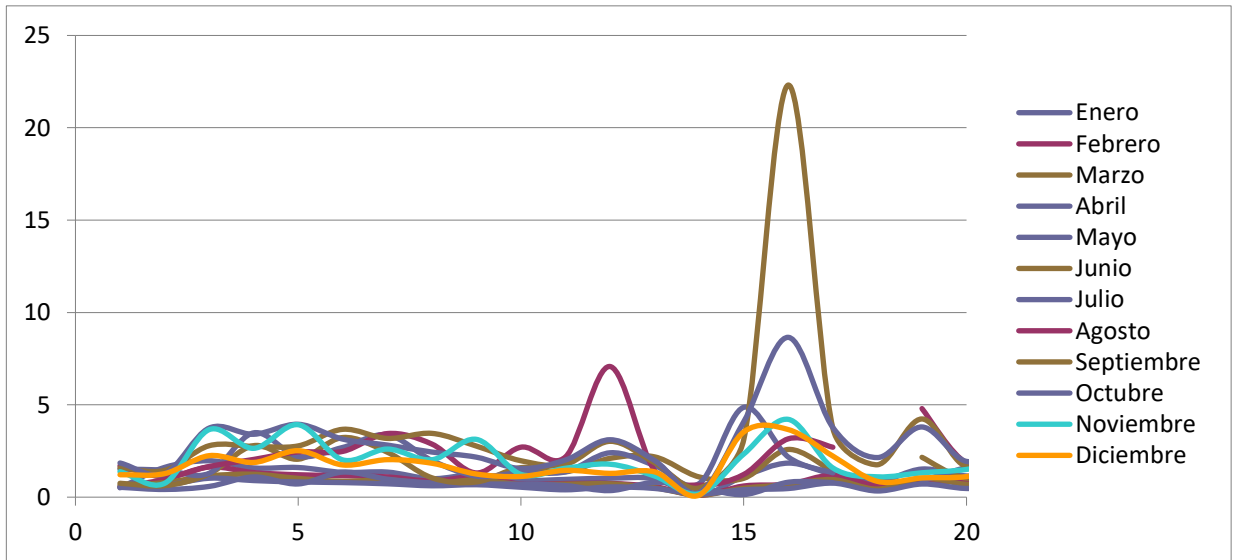
El gráfico de promedios mensuales indica que en la mayoría del tiempo el caudal se encuentra entre 0.5 y 1 m³/s y el resto del tiempo varia en rangos superiores e inferiores

Gráfica No.4: Caudales máximos en m³/s



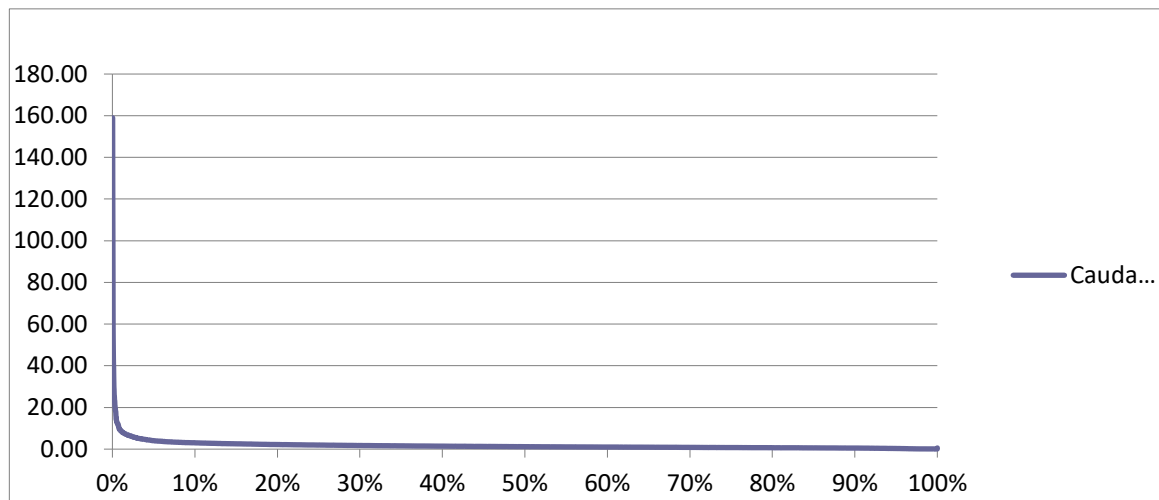
El gráfico de caudales máximos indica que el caudal se mantiene entre 1.5 a 10 m³/s mayor parte del tiempo y el resto los podemos considerar como años fuera de lo común por variaciones en el clima.

Gráfico 5: Caudales promedio en m³/s



Estos gráficos dan una idea de cómo se comporta el río en sus periodos lluviosos y sus periodos de sequía, el gráfico de promedio de caudales nos dice que el caudal tiene un comportamiento entre 0.5 a 2 m³/seg la mayor parte del año, teniendo tres picos que ocurrieron en tres años distintos. Habiendo evaluado el comportamiento de los caudales se realiza el gráfico de duración de caudales, este indica el tiempo que el caudal se da en el año representado en porcentajes.

Gráfica No.6: Curva de duración de caudales en m³/s



El gráfico de duración de caudales muestra que un 90% del tiempo, se va a tener un caudal de 0.5 m/s y que durante un 60% se tiene un caudal de 1.00 m/s que son los dos rangos donde una hidroeléctrica tiene que estar para cumplir la demanda que se va a ofertar al mercado eléctrico guatemalteco. Si se escoge el caudal de un 90% se tendría que construir una planta hidroeléctrica de filo de agua para poder cumplir siempre con la demanda, pero si se escoge el caudal de un 60% se tiene que realizar un proyecto de una hidroeléctrica con presa. El estudio se realizará con los dos porcentajes para tomar una decisión al final.

Tabla No.11: Duración de caudales en m³/s

%	Caudal
10	3.03
20	2.2
30	1.74
40	1.43
50	1.18
60	1.00

%	Caudal
70	0.84
80	0.69
90	0.51
100	0.55

6.2. Cálculos de generación

Para iniciar los cálculos de generación se tienen que tomar en cuenta los dos caudales escogidos que son 0.5 y 1.00 m³/s y la diferencia de altura que es de 620 metros, teniendo estos datos se puede sustituir en la fórmula de cálculo de potencia (Biomass Users Network (BUNCA), 2002).

$$F = Q * h * g * n$$

Donde:

P: potencia, expresada en KW

Q: caudal en m³/s

h: altura, expresada en metros

g: constante de la gravedad

n: factores de eficiencia de una turbina (0.8)

Cálculo utilizando un caudal de 0.5 m³/s

$$P = 0.5 * 620 * 9.81 * 0.8$$

$$P = 2,432.88KW = 2.4MW$$

Cálculo utilizando de un caudal de 1.00 m³/s

$$P = 1.0 * 620 * 9.81 * 0.8$$

$$P = 4,865.76KW = 4.8MW$$

Con el estudio anterior se puede definir la cantidad de horas que la planta hidroeléctrica puede operar durante un año, donde ya se toma en cuenta el tiempo estimado de mantenimiento que se realiza en la planta, que es menor a 24 horas y se desarrolla más adelante en el plan de mantenimiento. Esta cantidad de horas es lo que se denomina factor de planta, es el período que el río tendrá el caudal seleccionado durante el año, que está representado en porcentajes. Se define la cantidad de horas en operación mediante la siguiente fórmula:

$$E = P * F * 8,760$$

Donde:

E: energía generada, Kwh/año

P: potencia, KW

F: factor de planta, el % de horas que opera al año la planta

8,760: Número de horas que tiene un año

Cálculo utilizando un caudal de 0.5 m³/s

$$E = 2,432.88 * 0.9 * 8,760$$

$$E = 12,787,217.28 \frac{\text{Kwh}}{\text{año}}$$

Cálculo utilizando un caudal de 1.00 m³/s

$$E = 4,865.76 * 0.6 * 8,760$$

$$E = 25,574,435.56 \frac{\text{Kwh}}{\text{año}}$$

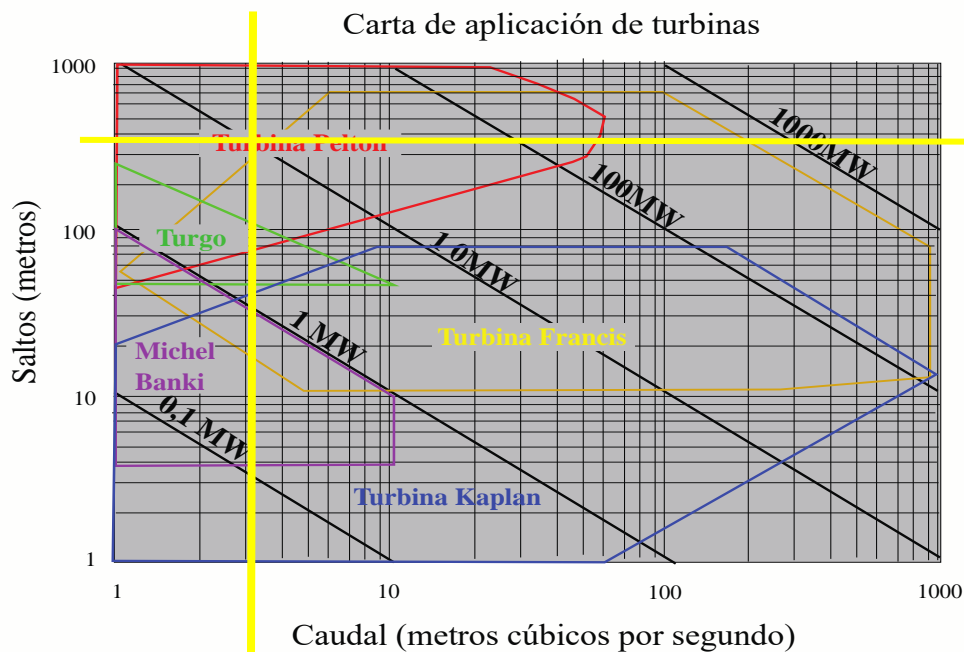
Este cálculo da la cantidad de energía que se producirá al año dentro de la planta hidroeléctrica según el caudal que se escoja.

6.3. Selección de equipo y maquinaria

La selección del equipo y maquinaria se basa en escoger que turbina es apropiada para el proyecto, a raíz de la turbina la empresa que fabrica entrega todo el equipo necesario para la turbina

seleccionada, tanto como el generador, el gobernador, el tablero de mediciones y control, como el transformador adecuado. Para escoger la turbina adecuada se necesita saber la diferencia de altura con la que se va a trabajar y el caudal de diseño que utilizará la planta hidroeléctrica. En el siguiente gráfico se muestra la clasificación de turbinas (Intermediate Technology Development Group - ITDG-, 1995) y facilita seleccionar la adecuada para el proyecto:

Gráfica No.7: Carta de aplicación de turbinas



La turbina adecuada para el proyecto hidroeléctrico es una turbina Pelton, no importando cuál de los dos caudales se seleccione. Las turbinas Pelton tienen la característica de manejar grandes caídas y poco caudal, tiene la ventaja de utilizar poco volumen de agua y que los daños por erosión son fácilmente reparables, teniendo como desventaja que requiere de mucha limpieza en el agua, de lo contrario la turbina podría sufrir daños a corto plazo, la limpieza del agua se realizará en el desarenador que estará ubicado antes de la tubería a presión y después del canal.

6.4. Selección de bosquejo de planta hidroeléctrica

Para selección de cada una de las partes principales de la planta hidroeléctrica es necesario tomar en cuenta el caudal de diseño, diferencia de altura y distancias que hay entre cada uno de los sistemas de la planta hidroeléctrica. Se iniciará con la presa adecuada para el proyecto y se terminará

con la casa de máquinas donde se tomarán en cuenta las medidas del equipo y maquinaria que van adentro.

6.4.1. Presa

La presa se utilizará solo si se escoge un caudal de 1.00 m³/s, de lo contrario el proyecto será un proyecto de filo de agua donde solo se desvía el caudal del río y no es necesario la utilización de una presa.

La presa que más se ajusta al proyecto y a proyectos similares en Guatemala es la presa de gravedad, por su funcionamiento y diseño que aporta una mayor seguridad al proyecto. Se muestran las secciones de una presa de Gravedad:

Figura No.17: Vista desde planta

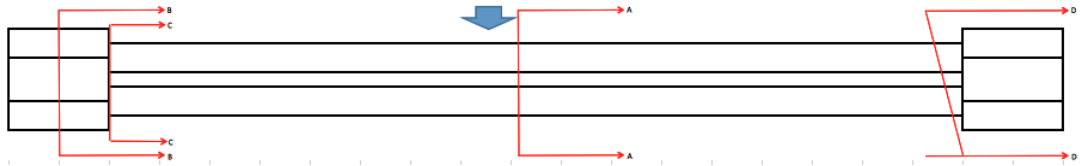


Figura No.18: Vista en elevación

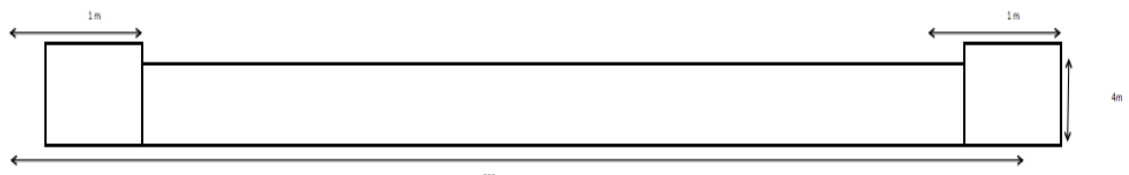
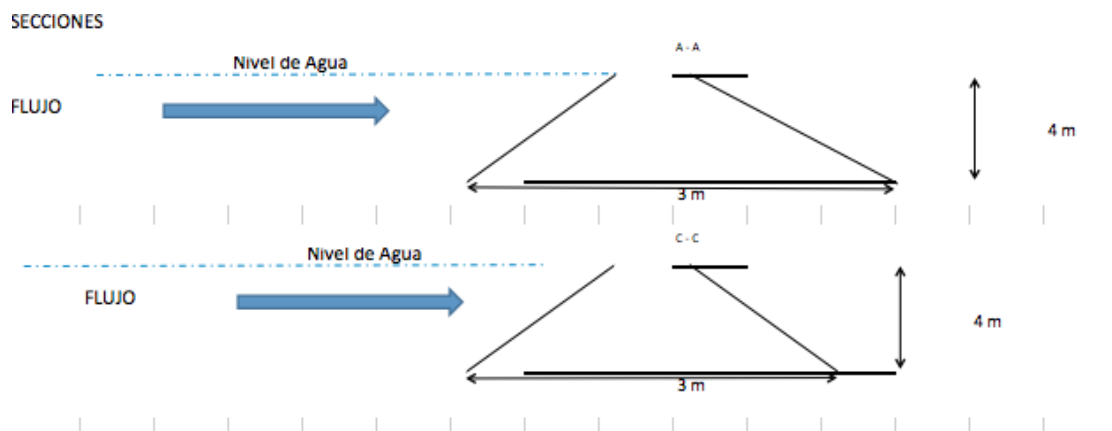


Figura No.19: Secciones transversales



Teniendo las secciones de la presa, se puede calcular el área de esta para posteriormente desarrollar el cálculo financiero de la inversión inicial:

Tabla No.12: Medidas de los estribos de la presa

Estribo	Medidas
Alto	3m
Ancho base	5m
Ancho parte superior	1m
Grosor de estribo	1m
Área frontal	3.61m ²
Área base	3.61m ²
Área superior	1m ²
Ancho base	4m
Ancho parte superior	1m
Área cara interna	1.5m ²
Área total	9.71m ²

Tabla No.13: Medidas de la parte central de la presa

Parte central	Medidas
Alto	2m
Ancho base	3m
Ancho parte superior	1m
Largo	4m
Área frontal	8.94m ²
Área posterior	8.94m ²
Área superior	4m ²
Área total	21.89m ²

Tabla No.14: Resumen del área de la presa

Resumen	Medidas
Estribos	19.42m ²
Parte Central	21.89m ²
Área total	41.31m ²

La presa de gravedad diseñada para el proyecto hidroeléctrico del río Chilascó no es muy grande, ya que el proyecto no requiere de un diseño de esa magnitud y no es necesario almacenar una cantidad enorme de agua durante mucho tiempo, considerando que la regulación de la represa está diseñada para que sea diaria.

6.4.2. Canal

La selección del canal desde la presa o captación hacia la tubería a presión se basa en los costos de construcción ya que la diferencia entre los tipos de canales es el diseño y se debe tener en cuenta la pérdida de agua. Se selecciona el canal de concreto para no tener mayores pérdidas como en un canal natural. La decisión se toma entre un canal rectangular y uno trapezoidal, no tomando en cuenta un canal semicircular ya que sus costos son muy elevados por el tipo de diseño, siendo más complicado y requiere más material de construcción.

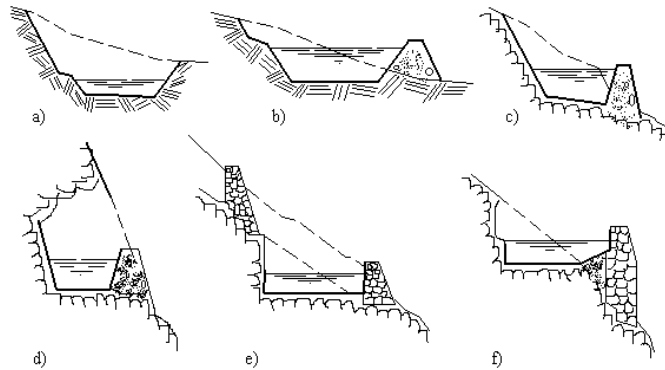
Se considera que el caudal de diseño varía entre 0.5 y 1.0 m³/s, también la longitud del canal que es de 1,000m o 1km y la velocidad adecuada para el canal que es de 1.5 m/s, tomando en cuenta los datos adecuados se puede calcular el costo de los diferentes diseños de canal y tomar una decisión con base en eso:

Tabla No.15: Datos del canal

	Canal Rectangular	Canal Trapezoidal
Grosor	0.15m	0.15m
Perímetro	1.86m	2.84m
Área	0.28m ²	0.43m ²
Volumen	279.28m ³	425.70m ³
Precio por metro cúbico	\$240	\$240
Costo total de construcción del canal	\$ 67,028.35	\$ 102,167.25

Se toma la decisión de construir un canal rectangular por su bajo costo de construcción, teniendo un costo menor por \$ 35,138.90 a comparación de un canal trapezoidal. Lo que se debe tomar en cuenta, es que el canal supere la velocidad de diseño establecida, si se diera el caso, el agua podría erosionar el material y el canal se echaría a perder. En la siguiente ilustración se muestran los tipos de canales rectangulares que hay y se utilizan según las condiciones del terreno del lugar, en este caso por ser un terreno regular en el tramo del canal se utiliza un canal tipo A, sin mayor reforzamiento en los laterales.

Figura No.20: Diferentes tipos de canal rectangular



6.4.3. Tubería

Para seleccionar la tubería de presión, se tienen que tomar en cuenta los tres tipos de materiales para tuberías que se pueden seleccionar en Guatemala, que son de PVC, fibra de vidrio y de acero, así como la longitud correcta de la tubería. La diferencia de altura del proyecto es de 620m, la longitud lineal desde el final del canal y la casa de máquinas es de 700m, con estos datos se calcula la longitud real de la tubería por medio del cálculo de un triángulo rectángulo. No se utiliza otro cálculo o una tubería con diferentes ángulos cada cierto tramo, se debe a que el terreno permite tener una tubería recta y las bases son construidas para apoyar y soportar el tipo de tubería:

$$L \text{ tubería} = \sqrt{h^2 + L \text{ lineal}^2}$$

Donde:

L tubería: longitud real de la tubería

h: diferencia de altura

L lineal: longitud lineal de la casa de máquinas y la parte final del canal

$$L \text{ tubería} = \sqrt{h^2 + L \text{ lineal}^2}$$

$$L \text{ tubería} = \sqrt{620^2 + 700^2}$$

$$L \text{ tubería} = 935m$$

Teniendo la longitud real de la tubería se puede seleccionar el tipo de tubería que se va utilizar para el proyecto hidroeléctrico, la decisión se toma en base al factor de seguridad -FS- de los materiales y se elige el material de menor costo, que tenga un FS mayor a 1.5:

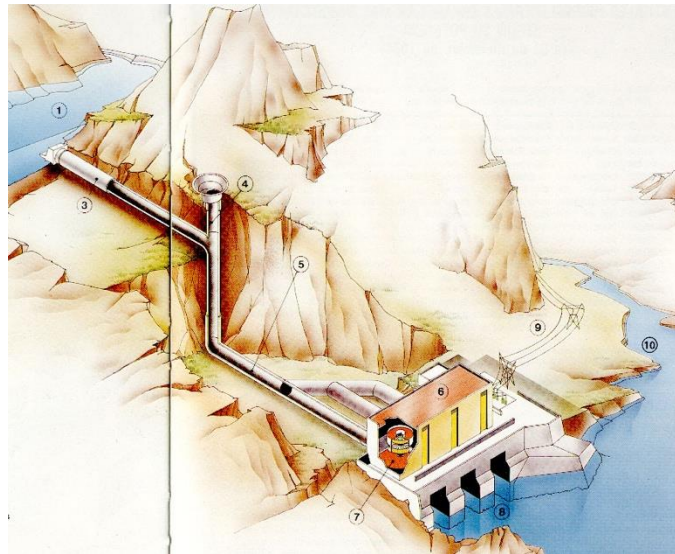
Tabla No.16: Factor de seguridad de los materiales para la tubería

	Materiales		
	PVC	Fibra de vidrio	Acero
Factor de seguridad	0.17	0.03	3.43

(Intermediate Technology Development Group, 1995)

El único material que tiene un FS mayor a 1.5 para este proyecto es el acero, por lo tanto, es el material que se selecciona para el diseño de la tubería de presión del proyecto hidroeléctrico con un grosor de una pulgada que es el grosor adecuado para transportar un caudal de 1 m³/s o menor a 1 m³/s, tomando en cuenta el golpe de ariete.

Figura No.21: Ejemplo de tubería con diseño para prevenir golpe de ariete

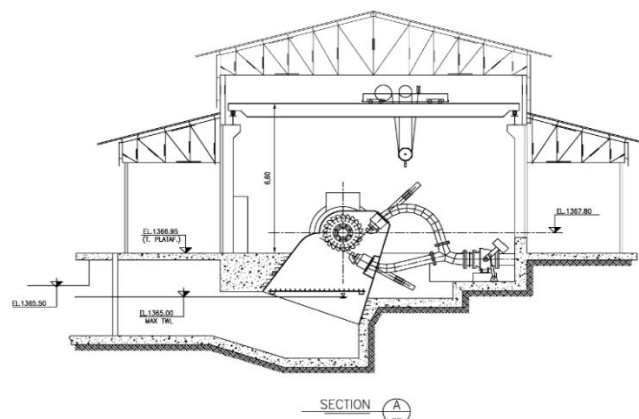


6.4.4. Casa de máquinas

La casa de máquinas es un diseño de una casa donde se encuentra el equipo y maquinaria de la planta generadora, donde se encuentra la turbina, el generador, el gobernador, los controles y sistemas de medición como el transformador, este puede estar dentro o fuera de la casa de máquinas.

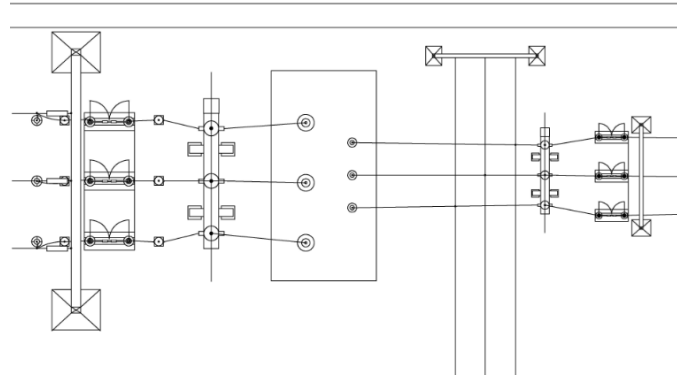
La casa de máquinas tiene un diseño; en un cuarto se encuentran la turbina, el generador y el gobernador, en otro cuarto los controles y sistemas de medición, el cuarto del técnico, una oficina, los baños, la salida del vertedero hacia el río y el transformador se encuentra en la parte de afuera de las instalaciones.

Figura No.22: Casa de máquinas



La casa de máquinas tiene un ancho de 10.5 metros, con un largo de 12.5, una altura de 6 metros, tomando en cuenta la profundidad de esta y el transformador se encuentra en la parte de afuera de la construcción:

Figura No.23: Transformador



6.5. Normativas de la planta

Las normativas de la planta se desarrollan para impedir algún accidente y prevenir daños al personal o a la inversión. Las normativas generales dentro de las instalaciones son:

- Prohibido fumar dentro y en el área de la planta generadora.
- Cumplir sus roles y si es necesario auxiliar a sus compañeros.
- No jugar con los equipos electrónicos.
- Saber utilizar el equipo de seguridad.
- Conocer la ruta de evacuación.
- Utilizar el equipo adecuado para operar el equipo.
- No comer dentro de la planta.
- No utilizar celulares dentro de la planta.

Con la finalidad de que el personal que participará en las etapas de construcción y operación del proyecto pueda reaccionar eficientemente en la atención de planes de emergencia y de contingencia:

- Habrá una brigada especial, que recibirá capacitación para actuar y atender emergencias y contingencias.

- El personal contratado deberá cumplir y hacer que se cumplan todas las normas relacionadas con seguridad, a fin de evitar que se produzcan accidentes que impliquen riesgo para la salud y seguridad humana y para las instalaciones físicas del proyecto.
- Se capacitará al personal acerca de la forma en la que debe reaccionar para atender emergencias.
- Todas las áreas del proyecto contarán con señalización para identificar las zonas de restricción de circulación y acceso, por riesgo de accidentes en general.
- Cuando se realicen pruebas de pre-operación, se efectuará una verificación detallada de todos los componentes del proyecto para reducir el riesgo de accidentes, derrames y fallas de operación que puedan afectar al personal, instalaciones o equipo.
- Colocados estratégicamente, visibles y de fácil acceso, habrá extintores de amplio rango en todos los sectores del área del proyecto donde haya construcción y equipos. Asimismo, se dispondrá de equipo auxiliar como manguera, hachas, mascarillas y recipientes con arena que pueden utilizarse para sofocar incendios.
- El equipo que se utilizará para sofocar incendios deberá mantenerse en perfecto estado de funcionamiento y encontrarse en lugares de fácil acceso y con récord de mantenimiento.
- El proyecto contará con equipo para brindar primeros auxilios y atención médica primaria.
- El proyecto dispondrá de un registro de fácil acceso, con el nombre, dirección y teléfonos de centros hospitalarios, cuerpos de bomberos y cualquier otra institución que pueda brindar apoyo en caso de emergencia extrema.
- En la cobertura de accidentes se cumplirá con las recomendaciones del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, tanto para la presentación de primeros auxilios, como para la referencia y traslado de pacientes que requieran atención médica o ingreso a tratamientos especializados.
- Para el control de fugas o derrames de aceites y lubricantes se practicará mensualmente una revisión en los recipientes y en el área de almacenamiento.
- En caso de derrames se asilará el área afectada y se procederá a sellar la fuga y a recuperar y neutralizar el compuesto derramado para evitar impactos al agua, suelo y aire.

En el caso de incendio se estará preparado de la siguiente manera:

- Se brindará capacitación permanente al personal sobre las medidas de prevención contra incendios.
- Se contará con extintores de incendio tipo ABC, de acuerdo con las características de los productos almacenados que puedan contribuir a la propagación de un incendio y que cumplan, como mínimo, con la siguiente relación: 10 litros de extintor para cada 500 litros o kg de material inflamable, para cada 100m² de área.
- El proyecto contará con alarmas contra incendio del tipo automático.
- El equipo contra incendios estará a disposición de los empleados.
- Estarán identificadas las rutas de evacuación y área o áreas seguras.
- Se mantendrá el equipo contra incendios en perfecto estado y funcionamiento.
- Se documentará periódicamente la inspección de equipo contra incendios, el mantenimiento de las normas de prevención y la capacitación al personal.

En caso de incendio deben actuar de la siguiente manera:

- Suspender el flujo de energía de forma inmediata.
- Evacuar a las personas por las rutas específicas y conducir las al área segura.
- Según magnitud del caso, solicitar asistencia de Bomberos, Hospitales y Policía, o intervenir en condiciones seguras para combatir el fuego, haciendo uso del equipo especial.
- Si se incendia la ropa de alguna persona se debe intervenir rápidamente, evite que corra, tírela al suelo y hágala rodar. Si se cuenta con una frazada envuélvala totalmente para sofocar las llamas. Se evalúa el estado y si es necesario se le da atención médica y se llama a una ambulancia.
- Evaluar daños y crear condiciones seguras para reiniciar operaciones.
- Identificar y documentar la causa del accidente.

En caso de sismo deberán actuar de la siguiente manera:

- Activar la brigada especial de atención de contingencias.
- Conservar la calma y no correr.
- Desactivar el sistema de energía eléctrica.
- Conducir a las personas por la ruta de evacuación hasta lugares seguros en donde no haya riesgo por cableado de energía eléctrica.
- Evaluar las instalaciones para asegurar que no existan estructuras colapsadas ni personas en riesgo.
- Si resultan personas heridas o en estado de nervios alterados en extremo, solicitar auxilio a bomberos o cuerpos de socorro.
- Restringir el acceso a las áreas dañadas hasta que se garantice que la emergencia ha sido superada.
- Revisar el estado de los componentes del proyecto y si se identifican daños en estructuras o equipos, habilitar de inmediato la descarga de agua hacia el cauce natural del río.

6.6. Plan de seguridad industrial

Este plan se propone con la finalidad de contar con disposiciones que contribuyan a mantener condiciones de seguridad en general:

- En el proyecto permanecerán vigentes y visibles las medidas de prohibición y prevención para las personas que visitan ocasionalmente las instalaciones.

- Cuando se empleen combustibles o se realicen actividades que puedan provocar combustión, se mantendrá la observancia de las normas de uso de equipo obligatorio.
- Cuando sea indispensable realizar actividades nocturnas, todas las áreas de trabajo afectadas contarán con iluminación adecuada y las rutas de evacuación deberán señalizarse para facilitar la circulación del personal ante cualquier situación de riesgo que pueda presentarse.
- En caso de que se efectúen trabajos de soldadura ya sea oxiacetilénica o de arco eléctrico, se debe utilizar el equipo de protección personal necesario, y deben utilizarlo todo el tiempo que dure la jornada de trabajo.
- Antes de empezar trabajos de soldadura, se debe revisar que no existan materiales inflamables cerca, como solventes, papel, monte seco, plástico, queroseno, tanques de gas propano, wiper entre otros.
- Previo al inicio de trabajos de soldadura se debe verificar que no existan en el ambiente vapores líquidos de combustibles que puedan entrar en combustión.
- Se debe contar con dos extintores, ambos de clase ABC en el área de trabajo y, si es posible, asignar una persona a cargo exclusivamente de los extintores, para actuar de inmediato si fuera necesario. Esta persona solo podrá retirarse del área cuando se concluya el trabajo de soldadura.
- Nunca se deben colocar residuos u objetos que obstaculicen las áreas de circulación peatonal o vehicular.

6.7. Plan de mantenimiento de la planta

El plan de mantenimiento de los proyectos hidroeléctricos es muy importante para que la planta generadora funcione sin ningún problema y tenga una durabilidad mayor de 50 años. El mantenimiento se planifica anualmente con modificaciones mensuales según los requerimientos de la planta y de la autorización del AMM, ya que el AMM asigna una cantidad de horas al año para que la planta realice el mantenimiento necesario y estas horas se distribuyan mensualmente, este cálculo es igual al tiempo en que la planta generadora estará parada por su factor de planta (Congreso Nacional de Guatemala, 1996).

Para darle un mantenimiento apropiado a la planta generadora es necesario dividir cada una de las partes de la hidroeléctrica:

6.7.1. Áreas de mantenimiento

6.7.1.1. Tubería

Se realiza una limpieza semanal de malezas y raíces al área de la tubería al igual que basura u otros objetos. Se planifica pintar la tubería una vez al año, en meses de poca demanda como lo es enero o febrero. Realizando el mantenimiento como se indica la tubería no debería tener ningún problema al menos que se forme cavitación por el mal uso de la planta y si es así se llama a un técnico que verifique la tubería.

6.7.1.2. Turbina

Revisar el desgaste interno una vez al año, lo que incluye rodetes, carcasa de turbina, cojinetes, fajas, chumaceras y los ejes. En cuanto al engrase se tendrán que seguir las instrucciones del fabricante de los cojinetes y chumaceras. A la turbina hay que realizarle un overhaul cada 15 años.

6.7.1.3. Generador

Revisar los cojinetes cada año y cada dos años se le dará mantenimiento preventivo que incluye barnizado, revisión de cunas y cambios de cojinetes.

6.7.1.4. Gobernador

Se le cambiará el aceite hidráulico una vez al año y el engrase de piezas se realizará según las instrucciones del fabricante.

6.7.1.5. Transformadores

Revisar las conexiones a tierra, los bornes y el nivel de fluido cada día para que no ocurra ningún imprevisto y el equipo no se dañe.

6.7.1.6. Canal, bocatoma y desarenador

Revisar y eliminar objetos que puedan estar dentro del sistema todos los días, el desarenador se limpiará cada dos semanas, de la arena y residuos acumulados.

6.7.1.7. Casa de máquinas

Limpiar la casa todos los días, teniendo cuidado de no tocar el equipo de forma incorrecta.

6.7.2. Planificación de mantenimiento

El plan de mantenimiento dentro de la planta generado es muy importante para no llegar a tener ningún inconveniente en el futuro, con el equipo y maquinaria. A continuación, se muestra un calendario con una planificación mensual del plan de mantenimiento

Figura No.24: Planificación mensual del mantenimiento de la planta

Planificación mensual de mantenimiento

Sunday	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday
					1 1. Transformadores 2. Canal, bocatoma y desarenador. 3. Casa de Máquinas 5. L. Desarenador	2 1. Transformadores 2. Canal, bocatoma y desarenador. 3. Casa de Máquinas
3 1. Transformadores 2. Canal, bocatoma y desarenador. 3. Casa de Máquinas	4 1. Transformadores 2. Canal, bocatoma y desarenador. 3. Casa de Máquinas 4. Tubería	5 1. Transformadores 2. Canal, bocatoma y desarenador. 3. Casa de Máquinas	6 1. Transformadores 2. Canal, bocatoma y desarenador. 3. Casa de Máquinas	7 1. Transformadores 2. Canal, bocatoma y desarenador. 3. Casa de Máquinas	8 1. Transformadores 2. Canal, bocatoma y desarenador. 3. Casa de Máquinas	9 1. Transformadores 2. Canal, bocatoma y desarenador. 3. Casa de Máquinas
10 1. Transformadores 2. Canal, bocatoma y desarenador. 3. Casa de Máquinas	11 1. Transformadores 2. Canal, bocatoma y desarenador. 3. Casa de Máquinas 4. Tubería	12 1. Transformadores 2. Canal, bocatoma y desarenador. 3. Casa de Máquinas	13 1. Transformadores 2. Canal, bocatoma y desarenador. 3. Casa de Máquinas	14 1. Transformadores 2. Canal, bocatoma y desarenador. 3. Casa de Máquinas	15 1. Transformadores 2. Canal, bocatoma y desarenador. 3. Casa de Máquinas 5. L. Desarenador	16 1. Transformadores 2. Canal, bocatoma y desarenador. 3. Casa de Máquinas
17 1. Transformadores 2. Canal, bocatoma y desarenador. 3. Casa de Máquinas	18 1. Transformadores 2. Canal, bocatoma y desarenador. 3. Casa de Máquinas 4. Tubería	19 1. Transformadores 2. Canal, bocatoma y desarenador. 3. Casa de Máquinas	20 1. Transformadores 2. Canal, bocatoma y desarenador. 3. Casa de Máquinas	21 1. Transformadores 2. Canal, bocatoma y desarenador. 3. Casa de Máquinas	22 1. Transformadores 2. Canal, bocatoma y desarenador. 3. Casa de Máquinas	23 1. Transformadores 2. Canal, bocatoma y desarenador. 3. Casa de Máquinas
24 1. Transformadores 2. Canal, bocatoma y desarenador. 3. Casa de Máquinas	25 1. Transformadores 2. Canal, bocatoma y desarenador. 3. Casa de Máquinas 4. Tubería	26 1. Transformadores 2. Canal, bocatoma y desarenador. 3. Casa de Máquinas	27 1. Transformadores 2. Canal, bocatoma y desarenador. 3. Casa de Máquinas	28 1. Transformadores 2. Canal, bocatoma y desarenador. 3. Casa de Máquinas	29 1. Transformadores 2. Canal, bocatoma y desarenador. 3. Casa de Máquinas 5. L. Desarenador	30 1. Transformadores 2. Canal, bocatoma y desarenador. 3. Casa de Máquinas

El calendario muestra cinco actividades dentro del mes de planificación, las primeras tres actividades se realizan todos los días. La cuarta actividad se realiza todos los lunes y la quinta actividad se realiza cada dos semanas los viernes:

- Transformadores: Al iniciar el día se revisan las conexiones a tierra, los bornes y el nivel de fluido
- Canal, bocatoma y desarenador: Dentro del transcurso del día verificar que no haya ningún objeto en las instalaciones y si fuera el caso eliminarlo.
- Casa de máquinas: Realizar la limpieza de la casa de máquinas; barrer, trapear y limpiar el equipo.
- Tubería: Todos los lunes verificar que no haya ningún objeto en los alrededores de la tubería y si fuera el caso eliminarlo, al igual que la maleza y raíces de árboles.
- Limpieza desarenador: Cada dos semanas los viernes se tiene que limpiar el desarenador de residuos y de arena.

7. Estudio de factibilidad

Para conocer el costo de un proyecto hidroeléctrico y saber la capacidad financiera se deben considerar los costos de inversión, de operación, mantenimiento y los montos de estudios previos. Teniendo los costos totales para llegar a construir un proyecto se dividen en directos e indirectos.

Los costos directos incluyen los rubros de servidumbres y de construcción. Los indirectos se refieren a todos los estudios de factibilidad, gastos legales, administración, diseños supervisión de construcción y puesta en servicio de la planta. Normalmente, los costos indirectos, no son despreciables, son los de mayor riesgo inicial y se calculan como un porcentaje de los costos directos. Generalmente, representan entre el 10 y el 15% de los costos directos. Mientras más grande sea el proyecto, el porcentaje que representarán los costos indirectos es menor. Además, como regla general, se destina un 7 a 10% para gastos imprevistos (Liévano., 2004).

Tabla No.17: Porcentaje de costos

Rubro	Porcentaje del costo
Obras civiles	15-30%
Equipo electromecánico	30-50%
Infraestructura	10-15%
Costos indirectos	10-15%

(Liévano, 2004)

La tabla de porcentajes de costos nos da una idea de cómo se distribuirá el dinero dentro del proyecto, teniendo en cuenta que el terreno es de la empresa, disminuyendo así el costo de infraestructura. Se tomará una decisión al final con los datos obtenidos de la tasa interna de retorno -TIR- y del valor presente neto -VAN- de los dos caudales sugeridos que cumplan con un retorno de la inversión en un plazo menor o igual a diez años.

Los primeros costos que se tienen son los del estudio de factibilidad del proyecto, el desarrollo de este y los costos de ingeniería donde se encuentra el diseño de la planta y la documentación del proyecto.

Tabla No.18: Costos del estudio de factibilidad

Rubro	Costos	% Relativo
Investigación del lugar	\$12,000	14%
Evaluación hídrica	\$10,000	11%
Evaluación ambiental	\$10,000	11%
Diseño preliminar	\$1,000	1%
Estimación de costo	\$1,200	1%
Preparación del reporte	\$1,400	2%
Gestión de proyectos	\$1,400	2%
Viajes y viáticos	\$50,000	57%
TOTAL	\$87,000	100%

(Intermediate Technology Development Group, 1995)

Dentro de la Tabla No.18 se muestran todos los costos referentes al estudio de factibilidad del proyecto hidroeléctrico al igual que todos los rubros referentes (Intermediate Technology Development Group -ITDG-, 1995).

Tabla No.19: Costo del desarrollo del proyecto

Rubro	Costo	% Relativo
Negociaciones del PPA	\$10,000	11%
Permisos	\$7,000	7%
Derechos de tierra	\$0	0%
Estudio de comunidad	\$500	1%
Desarrollo legal	\$6,000	6%
Gestión de proyectos	\$65,000	70%
Viajes y viáticos	\$5,000	5%
TOTAL	\$93,500	100%

(Intermediate Technology Development Group, 1995)

Dentro de la Tabla No.19 se muestran todos los costos que representan el desarrollo del proyecto, los permisos dentro de la CNEE y el AMM, el estudio de aceptación de la comunidad, el desarrollo legal, la gestión de proyectos y una de las cosas más importantes y que le da el financiamiento al proyecto, las negociaciones del contrato PPA, en sus siglas en inglés “Power Purchase Agreement”, el contrato de compraventa de energía que se negocia con el consumidor final

que puede ser una o varias empresas grandes o un comercializador. El PPA es uno de los requisitos del AMM para iniciar la construcción y es el pacto entre el comprador y el generador de la compraventa de energía con un plazo de diez años fijando fecha de inicio de operaciones. Por este motivo la planta generadora tiene que estar funcionando en la fecha fijada, si en dado caso no fuese así la generadora tiene que subcontratar a otra planta para cumplir y esto causaría pérdidas al proyecto.

Tabla No.20: Costos del desarrollo ingeniería

Rubro	Costos	% Relativo
Diseño y documentación	\$130,000	49%
Contrato	\$700	2%
Supervisor del proyecto	\$130,000	49%
TOTAL	\$260,700	100%

(Intermediate Technology Development, 1995)

La Tabla No.20 tiene el costo del desarrollo ingeniería del proyecto, tanto los costos de diseño y documentación como los costos del supervisor del proyecto y los del contrato.

7.1.Costo de maquinaria y equipo

El costo de la maquinaria y equipo está basado en la turbina propuesta para el proyecto, en este caso es una turbina tipo Pelton que soporta una caída de 620 metros y un caudal de 0.5 a 1 m³/s , estas especificaciones son requisitos del fabricante que en este caso es SIEMENS, el fabricante se tarda un año en producir el equipo requerido para el proyecto hidroeléctrico; turbina, generador, gobernador y sistemas de medición y control, la cotización de toda la maquinaria y equipo se encuentra adjunta en los Anexos. Así mismo el fabricante entrega toda la maquinaria en el punto donde se efectuará el proyecto y el proyecto no paga los impuestos referentes a la maquinaria y al equipo gracias al incentivo de la CNEE para que inversionistas desarrollen proyectos de este tipo.

Tabla No.21: Costos de maquinaria y equipo para un caudal de diseño de 0.5 m³/s

Maquinaria y equipo	Costos	Porcentaje relativo
Turbina	\$1,400,00	45%
Generador	\$ 560,000	18%
Gobernador	\$ 420,000	14%

Maquinaria y equipo	Costos	Porcentaje relativo
Sistemas de medición y control	\$ 420,000	14%
SUBTOTAL	\$ 2,800,000	
Instalación del equipo	\$ 280,000	9%
TOTAL	\$ 3,080,00	100%

Tabla No.22: Costos de maquinaria y equipo para un caudal de diseño de 1 m³/s

Maquinaria y equipo	Costos	Porcentaje relativo
Turbina	\$2,400,000	45%
Generador	\$ 960,000	18%
Gobernador	\$720,000	14%
Sistemas de medición y control	\$720,000	14%
SUBTOTAL	\$4,800,000	
Instalación del equipo	\$480,000	9%
TOTAL	\$5,280,000	100%

El costo del equipo y la maquinaria están representados en la tabla 21 y 22 cada una muestra el costo del caudal de diseño sugerido, el total de la inversión para un caudal de 0.5 m³/s es de \$3,080,000.00, mientras que la inversión para un caudal de 1 m³/s es de \$5,280,00.00 y todo el equipo se entrega un año después que se anticipa el 50% al fabricante y el otro 50% se entrega un mes antes al día de entrega, los gastos de instalación son del 10% del total del equipo y maquinaria, el período de instalación puede ser de seis meses a un año.

7.2.Costo de construcción

Los costos de construcción son todos aquellos que se refieren a la presa, bocatoma, desarenador, canal, tubería, la casa de máquinas y el camino de acceso al lugar, se inicia con el camino de acceso, la construcción de un kilómetro de carretera cuesta \$50,000.00 y en este caso el proyecto necesita 3 km de acceso. Todos los costos de construcción se pueden verificar en la cotización adjunta en los anexos.

Tabla No.23: Costos del camino de acceso

Km	Costo en \$
3	150,000.00

Para calcular el costo de la presa se necesita saber la cantidad de concreto que se utilizará y los costos de este, si se tomara la decisión de escoger un caudal de diseño de 0.5 m³/s la presa no sería necesaria, en la siguiente tabla se muestra la cantidad de materiales y costos de la presa a diseñar según las especificaciones:

Tabla No.24: Costos de la presa

	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Total	Porcentaje relativo
Concreto	232	m ³	\$ 222.00	\$ 51,504.00	19%
Acero de refuerzo	906.53	qq	\$ 66.60	\$ 60,374.92	23%
Encofrados	204.22	m ²	\$ 40.00	\$ 8,168.75	3%
Sub Total				\$ 120,047.66	
Preparación del sitio de la presa				\$ 50,000.00	19%
Dirección técnica	30%			\$ 51,014.30	19%
Margen	20%			\$ 44,212.39	17%
Total				\$ 265,274.36	100%

Teniendo los costos de la presa se pueden calcular los costos del Bocatoma que son un 10% según se puede ver en la cotización adjunta en los Anexos de los costos de la presa:

Tabla No.25: Costos de construcción de la bocatoma

	Costo
Bocatoma	\$ 25,528.00

Los costos del canal de conducción del proyecto se decidieron en la etapa de diseño, escogiendo un canal rectangular por ser el de menor costo para el proyecto:

Tabla No.26: Costos del canal de conducción

	Costo
Canal Rectangular	\$ 62,028.35

La tubería que se utilizará en el proyecto es una tubería de acero sin revestimiento, se tomó esta decisión en la etapa de diseño porque era el único material que superaba un factor de seguridad arriba del 1.5, comparado con el PVC o la fibra de vidrio, el acero es más caro.

Tabla No.27: Costos de la tubería a presión

	Longitud	Costo Unitario	TOTAL
Tubería de acero	936 m	\$ 150.00	\$ 140,400.00

El desarenador está diseñado para eliminar los residuos de partículas que el caudal podría llevar en él, por ser un caudal pequeño de 05. a 1 m³/s el desarenador también es pequeño y los costos no son muy elevados.

Tabla No.28: Costos del desarenador

	Costo
Desarenador	\$ 50,000.00

El costo de la casa de máquinas está representado en \$1,200.00 por metro cúbico, la casa diseñada para este proyecto tendrá un total de 300 m³.

Tabla No.29: Costos de la casa de máquinas

	Metros cúbicos	Costo unitario	TOTAL
Casa de máquinas	300	\$ 1,200.00	\$ 360,000.00

Por último, se presenta un resumen de todos los costos de construcción que representa el proyecto, tomando en cuenta que el transporte de los materiales es de un 10% del total de los costos representados.

Tabla No.30: Resumen de costos de construcción

	Costo	Porcentaje relativo
Camino de acceso	\$ 150,000.00	13%
Presa	\$ 265,275.00	23%
Bocatoma	\$ 26,528.00	2%
Canal	\$ 67,028.35	6%
Desarenador	\$ 50,000.00	4%
Tubería	\$ 140,400.00	12%
Casa de máquinas	\$ 360,000.00	31%
Transporte de material	\$ 105,923.00	9%
TOTAL	\$ 1,165,154.00	100%

7.3.Gastos de administración y operación

Teniendo en cuenta los costos de la inversión inicial se pueden ver los gastos y costos que tendrá la planta hidroeléctrica para poder operar en el momento de apertura. Se tendrán 3 turnos en el día, de 8 horas, con un total de cuatro empleados por turno y un gerente encargado de llevar el control de la planta hidroeléctrica, tanto lo administrativo como el proceso de esta. Se pagará un seguro para la planta hidroeléctrica por cualquier eventualidad que se presente en el tiempo y un 10% de contingencias durante la operación anual de la planta, la cotización está adjunta en los Anexos. También se toma en cuenta el mantenimiento anual y el overhaul de la turbina, que es cada 15 años, al igual que se designa un porcentaje anual de responsabilidad social y un porcentaje para capacitación al personal en normas de seguridad y primeros auxilios.

Tabla No.31: Gastos y costos administrativos y de operación

	Costos	Porcentaje relativo
Mantenimiento anual	\$ 77,590.00	17%
Mano de obra	\$ 78,750.00	17%
Gerente general	\$ 150,000.00	32%
Viajes y viáticos	\$ 6,000.00	1%
Contingencias	\$ 40,993.00	9%
Prima seguro	\$ 77,590.00	17%

	Costos	Porcentaje relativo
Responsabilidad social	\$ 20,000.00	4%
Capacitación al personal	\$ 15,000.00	3%
TOTAL	\$ 465,923.00	100%

El mantenimiento anual es dado por una empresa externa al igual que la prima del seguro, las contingencias son un 10% de los gastos, costos administrativos y de operación. Los viajes y viáticos son seis viajes que están estipulados para que el inversionista del proyecto visite la planta hidroeléctrica. La mano de obra está calculada en base a 3 turnos diarios de cuatro personas por turno con prestaciones de Ley ganando Q 2,500.00 al mes y el Gerente tiene un sueldo de Q 80,000.00 al mes con prestaciones de Ley. Se le delegaron \$ 20,000.00 anuales a la responsabilidad social para proyectos de desarrollo de la comunidad.

Tabla No.32: Costo periódico de overhaul (cada 15 años)

	Costo total	Amortiguamiento anual
Overhaul	\$ 250,000.00	\$ 16,666.67

El costo de realizar el overhaul cada 15 años es de \$ 250,000.00 pero cada año, se adjunta cotización en Anexos, se guardará una parte del total, para que al cumplir los 15 años la empresa tenga el dinero para realizar la inversión sin ninguna preocupación.

7.4. Resumen de la inversión inicial y costos

Para poder realizar la proyección del proyecto a 10 años de primero se realizará un resumen de todos los gastos y costos de la planta hidroeléctrica, se toma en cuenta que para un caudal de diseño de 0.5 m³/s no es necesario tener una presa ya que el proyecto sería una hidroeléctrica de filo de agua, al igual que el equipo y maquinaria es más económico.

Tabla No.33: Inversión inicial con un caudal de 0.5 m³/s

Costos iniciales	Costo	% Relativo
Estudio de factibilidad		
Investigación del lugar	\$12,000	0.15%
Evaluación hídrica	\$10,000	0.13%
Evaluación ambiental	\$10,000	0.13%

Costos iniciales	Costo	% Relativo
Diseño preliminar	\$1,000	0.01%
Estimación del costo	\$1,200	0.02%
Preparación del reporte	\$1,400	0.02%
Viajes y viáticos	\$50,000	0.63%
Sub-total	\$87,000	1.10%
Desarrollo		
Negociaciones del PAA	\$10,000	0.13%
Permisos	\$7,000	0.09%
Derechos de tierra	\$0	0%
Estudio de comunidad	\$500	0.01%
Desarrollo legal	\$6,000	0.08%
Gestión de proyectos	\$65,000	0.82%
Viajes y viáticos	\$5,000	0.06%
Sub-total	\$93,500	1.18%
Ingeniería		
Diseño y documentación	\$130,000	1.64%
Contrato	\$700	0.01%
Supervisor del proyecto	\$130,000	1.64%
Sub-total	\$260,700	1.18%
Equipo eléctrico		
Control, turbina y generador	\$2,800,000	35.29%
Instalación de equipo	\$280,000	3.53%
Sub-total	\$3,080,000	38.82%
Balance de planta		
Camino de acceso	\$150,000	1.89%
Presa	\$0	0%
Bocatoma	\$26,528	0.33%
Canal	\$67,028	0.84%
Tubería	\$140,400	1.77%
Desarenador	\$50,000	0.63%
Casa de máquina	\$360,000	4.54%
Transporte	\$105,923	1.34%

Costos iniciales	Costo	% Relativo
Sub-total	\$899,979	11.34%
Misceláneos		
Entrenamiento	\$140,000	0.18%
Contingencias	\$663,161	8.36%
Sub-total	\$677,162	8.54%
TOTAL COSTOS INICIALES	\$5,098,241	100%

Tabla No.34: Inversión inicial con un caudal de 1 m³/s

Costos iniciales	Costo	% Relativo
Estudio de factibilidad		
Investigación del lugar	\$12,000	0.15%
Evaluación hídrica	\$10,000	0.13%
Evaluación ambiental	\$10,000	0.13%
Diseño preliminar	\$1,000	0.01%
Estimación del costo	\$1,200	0.02%
Preparación del reporte	\$1,400	0.02%
Viajes y viáticos	\$50,000	0.63%
Sub-total	\$87,000	1.10%
Desarrollo		
Negociaciones del PAA	\$10,000	0.13%
Permisos	\$7,000	0.09%
Derechos de tierra	\$0	0%
Estudio de comunidad	\$500	0.01%
Desarrollo legal	\$6,000	0.08%
Gestión de proyectos	\$65,000	0.82%
Viajes y viáticos	\$5,000	0.06%
Sub-total	\$93,500	1.18%
Ingeniería		
Diseño y documentación	\$130,000	1.64%
Contrato	\$700	0.01%
Supervisor del proyecto	\$130,000	1.64%
Sub-total	\$260,700	3.29%
Equipo eléctrico		

Costos iniciales	Costo	% Relativo
Control, turbina y generador	\$4,800,000	60.50%
Instalación de equipo	\$480,000	6.05%
Sub-total	\$5,280,000	66.55%
Balance de planta		
Camino de acceso	\$150,000	1.89%
Presa	\$265,275	3.34%
Bocatoma	\$26,528	0.33%
Canal	\$67,028	0.84%
Tubería	\$140,400	1.77%
Desarenador	\$50,000	0.63%
Casa de máquina	\$360,000	4.54%
Transporte	\$105,923	1.34%
Sub-total	\$1,165,154	14.69%
Misceláneos		
Entrenamiento	\$140,000	0.18%
Contingencias	\$1,032,953	13.02%
Sub-total	\$1,046,953	13.20%
TOTAL COSTOS INICIALES	\$7,933,307	100%

En la Tabla No.33 y Tabla No.34 se tiene el resumen de la inversión inicial del proyecto, teniendo una diferencia de \$2,835,066.00 entre ambas, la diferencia se muestra en la construcción de la presa y el costo de la maquinaria y equipo. Sabiendo que con un caudal de diseño de 0.5 m³/s el proyecto es más barato, aún no se puede tomar una decisión entre cuál de los dos caudales se va a utilizar.

Los gastos y costos anuales son iguales para los dos proyectos, al igual que el costo del overhaul a los 15 años de operación y se resumen en las siguientes tablas:

Tabla No.35: Costos y gastos anuales

	Costos	% Relativo
Mantenimiento anual	\$77,590.00	17%
Mano de obra	\$78,750.00	17%

	Costos	% Relativo
Gerente General	\$150,000.00	32%
Viajes y viáticos	\$6,000.00	1%
Contingencias	\$40,993.00	9%
Prima seguro	\$77,590.00	17%
Responsabilidad social	\$20,000.00	4%
Capacitación al personal	\$15,000.00	3%
TOTAL	\$465,923.00	100%

Tabla No.36: Costos periódicos

	Costos totales	Costos anuales
Overhaul de turbina	\$250,000	\$ 16,666.67

7.5. Ingresos del proyecto

Los ingresos del proyecto se pueden calcular teniendo el resumen de la inversión inicial y los costos y gastos de operación anuales, se presenta el estado de resultados del proyecto hidroeléctrico, tomando en cuenta que durante los primeros diez años no se pagan impuestos gracias al plan de incentivos de la CNEE y se realiza un cálculo para poder realizar una negociación del documento de compraventa PPA, usando el aumento que ha tenido el precio de la energía durante los últimos diez años, se supone que el aumento para los próximos diez años será igual y se llega al precio de \$0.102 por kilowatt. (Comisión Nacional de Energía Eléctrica -CNEE.).

La otra fuente de ingreso que tiene la planta generadora es por medio del mercado de oportunidad, conocido como el mercado SPOT, donde se realizan transacciones de energía al precio de oportunidad de la energía, que es el máximo costo variable en que se incurre cada hora para abastecer un kWh adicional de demanda, el precio SPOT cambia en cada momento porque se calcula en cada hora que se necesita. La planta generadora recibirá ganancias de este mercado solo si la energía pactada con el comprador no es utilizada por él y entra al mercado de oportunidad administrado por el AMM, el promedio del precio SPOT en el año 2012 fue de \$132.61 por MWh.

Como se dijo anteriormente el precio SPOT es el máximo costo variable que tiene el sistema interconectado de energía en el país y varía según las generadoras que estén conectadas en ese momento, por lo mismo no se sabe en qué momento la planta generadora entrará al mercado SPOT, porque se tiene que cumplir la primicia que el comprador no utilice en la energía pactada, pero en el momento que entre en el mercado de oportunidad se obtiene una ganancia que no está contemplada.

La venta de energía se realiza por medio de negociaciones con los compradores, que pueden ser empresas grandes, catalogadas como consumidores grandes de energía, como Cementos Progreso, Pollo Rey, CBC entre otras, también se puede vender la energía a empresas comercializadoras de energía como lo es la Empresa Eléctrica de Guatemala.

Sabiendo la cantidad de energía que producirá la planta generadora, se pacta con uno o varios compradores el precio de la energía y la cantidad a comprar. Este proceso se realiza una vez cada diez años, ya que los contratos PPA son contratos de diez años o más. Las partes que juegan en este contrato es el ofertante, el comprador y por último el AMM, el cual solo cumple su función como regulador. En los anexos se explica la metodología de venta de energía donde se colocó un diagrama BPMN. Para poder explicar el proceso de venta de energía se utilizará el gráfico BPMN, “business process modeling notation” en inglés y en español notación para el modelo de procesos de negocio. El gráfico muestra el proceso en que se realiza cierta actividad, los distintos gestores dentro de la actividad y su función. El modelado en BPMN se realiza mediante diagramas simples con un conjunto muy pequeño de elementos gráficos, con esto se busca que para los usuarios y los desarrolladores les sea fácil entender el flujo y el proceso.

Tabla No.37: Precio de venta de la energía

Año	Precio de venta	Tasa de aumento
2003	\$0.085	11.6%
2013	\$0.096	
2023	\$0.10752	

(Comisión Nacional de Energía Eléctrica – CNEE)

El precio que entre el 2003 al (Comisión Nacional de Energía Eléctrica -CNEE.) 2013 tiene un aumento del 11.6% casi un 12% y suponiendo que en 10 años va aumentar lo mismo tendría un precio de \$0.10752 por kilowatt, para llegar a un precio justo para la negociación del PPA que es un contrato de 10 años, se utilizó la mitad del crecimiento supuesto, un 6% sobre el precio actual de \$0.096 (Comisión Nacional de Energía Eléctrica -CNEE.), dando el precio de \$0.102 por kilowatt. Este precio es el que se utilizará en el contrato para los próximos 10 años teniendo un precio medio para no perder durante el período pactado. El estado de resultados que se presenta a continuación es del año uno, en los anexos se muestra un estado de resultados de los diez años.

Tabla No.38: Estado de resultados par aun caudal de diseño de 0.5 m³/s

Ingresos						
		Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Caudal		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Potencia generada	KW	2,432.88	2,432.88	2,432.88	2,432.88	2,432.88
Energía generada	Kwh/año	19,180,825.92	19,180,825.92	19,180,825.92	19,180,825.92	19,180,825.92
Precio de genta	\$	\$0.102	\$0.102	\$0.102	\$0.102	\$0.102
Venta gotal		\$1,951,840.85	\$1,951,840.85	\$1,951,840.85	\$1,951,840.85	\$1,951,840.85
Costos anuales						
Total costos anuales		\$465,923.00	\$481,997.34	\$498,626.25	\$515,828.86	\$533,624.95
Ganancia bruta		\$1,485,917.85	\$1,469,844	\$1,453,214.59	\$1,436,012	\$1,418,215.89
Margen bruto		76.13%	75.31%	74.45%	73.57%	72.66%
Pago inversión		\$509,824.09	\$509,824	\$509,824.09	\$509,824	\$509,824.09
		\$509,824	\$509,824	\$509,824	\$509,824	\$509,824
Costos periódicos						
Overhaul de turbina		\$16,666.67	\$16,667	\$16,666.67	\$16,667	\$16,666.67
		\$16,666.67	\$16,667	\$16,666.67	\$16,667	\$16,666.67
GANANCIA TOTAL		\$959,427	\$943,353	\$926,724	\$909,521	\$891,725
Margen neto		49.15%	48.33%	47.48%	46.60%	45.69%

Tabla No.39: Continuación del estado de resultados para un caudal de diseño de 0.5 m³/s

Ingresos						
		Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Caudal		0.50	0.50	0.50	0.50	1.00
Potencia generada	KW	2,432.88	2,432.88	2,432.88	2,432.88	2,432.88
Energía generada	Kwh/año	19,180,825.92	19,180,825.92	19,180,825.92	19,180,825.92	19,180,825.92
Precio de genta	\$	\$0.102	\$0.102	\$0.102	\$0.102	\$0.102
Venta total		\$1,951,840.85	\$1,951,840.85	\$1,951,840.85	\$1,951,840.85	\$1,951,840.85
Costos anuales						
Total costos anuales		\$552,035.01	\$571,080.22	\$590,782.49	\$611,164.49	\$632,249.66
Ganancia bruta		\$1,399,806	\$1,380,760.62	\$1,361,058	\$1,340,676.36	\$1,319,591
Margen bruto		71.72%	70.74%	69.73%	68.69%	67.61%
Pago inversión		\$509,824	\$509,824.09	\$509,824	\$509,824.09	\$509,824
		\$509,824	\$509,824	\$509,824	\$509,824	\$509,824
Costos periódicos						
Overhaul de turbina		\$16,667	\$16,666.67	\$16,667	\$16,666.67	\$16,667
		\$16,667	\$16,666.67	\$16,667	\$16,666.67	\$16,667
GANANCIA TOTAL		\$873,315	\$854,270	\$834,568	\$814,186	\$793,100
Margen neto		44.74%	43.77%	42.76%	41.71%	40.63%

Tabla No.40: Estado de resultados para un caudal de diseño de 1 m³/s

Ingresos						
		Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Caudal		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Potencia generada	KW	4,865.76	4,865.76	4,865.76	4,865.76	4,865.76
Energía generada	Kwh/año	25,574,434.56	25,574,434.56	25,574,434.56	25,574,434.56	25,574,434.56
Precio de venta	\$	\$0.102	\$0.102	\$0.102	\$0.102	\$0.102
Venta total		\$2,602,454.46	\$2,602,454.46	\$2,602,454.46	\$2,602,454.46	\$2,602,454.46
Costos anuales						
Total costos anuales		\$465,923.00	\$481,997.34	\$498,626.25	\$515,828.86	\$533,624.95
Ganancia bruta		\$2,136,531.46	\$2,120,457	\$2,103,828.21	\$2,086,626	\$2,068,829.51
Margen bruto		82.10%	81.48%	80.84%	80.18%	79.50%
Pago inversión		\$509,824.09	\$509,824	\$509,824.09	\$509,824	\$509,824.09
		\$509,824	\$509,824	\$509,824	\$509,824	\$509,824
Costos periódicos						
Overhaul de turbina		\$16,666.67	\$16,667	\$16,666.67	\$16,667	\$16,666.67
		\$16,666.67	\$16,667	\$16,666.67	\$16,667	\$16,666.67
GANANCIA TOTAL		\$1,610,041	\$1,593,966	\$1,577,337	\$1,560,135	\$1,542,339
Margen neto		61.87%	61.25%	60.61%	59.95%	59.26%

Tabla No.41: Continuación del estado de resultados para un caudal de diseño de 1 m³/s

Ingresos						
		Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Caudal		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Potencia generada	KW	4,865.76	4,865.76	4,865.76	4,865.76	4,865.76
Energía generada	Kwh/año	25,574,434.56	25,574,434.56	25,574,434.56	25,574,434.56	25,574,434.56
Precio de venta	\$	\$0.102	\$0.102	\$0.102	\$0.102	\$0.102
venta total		\$2,602,454.46	\$2,602,454.46	\$2,602,454.46	\$2,602,454.46	\$2,602,454.46
Costos anuales						
Total costos anuales		\$552,035.01	\$571,080.22	\$590,782.49	\$611,164.49	\$632,249.66
Ganancia bruta		\$2,050,419	\$2,031,374.24	\$2,011,672	\$1,991,289.98	\$1,970,205
Margen bruto		78.79%	78.06%	77.30%	76.52%	75.71%
Pago inversión		\$509,824	\$509,824.09	\$509,824	\$509,824.09	\$509,824
		\$509,824	\$509,824	\$509,824	\$509,824	\$509,824
Costos periódicos						
Overhaul de turbina		\$16,667	\$16,666.67	\$16,667	\$16,666.67	\$16,667
		\$16,667	\$16,666.67	\$16,667	\$16,666.67	\$16,667
GANANCIA TOTAL		\$1,523,929	\$1,504,883	\$1,485,181	\$1,464,799	\$1,443,714
Margen neto		58.56%	57.83%	57.07%	56.29%	55.48%

Teniendo una potencia generada mayor con un caudal de 1 m³/s, se tiene una mayor ganancia a comparación de un caudal de 0.5 m³/s, pero todavía no se puede tomar una decisión de qué caudal escoger. Los costos de reacondicionamiento son considerados como una provisión para el futuro y no es en sí un gasto de operación, pero es importante tomarlo en cuenta para que la planta generadora funcione a largo plazo, el costo de reacondicionamiento es calculado por el fabricante. A los costos anuales se les dio un incremento del 3.45% por año, basando en la tasa de inflación de cierre del 2012. (Banco de Guatemala, 2012)

Se calcularon los márgenes brutos y netos con los dos caudales de diseño para verificar la disminución de los márgenes a lo largo de los diez años. El propósito de calcularlos es verificar la disminución, ya que los ingresos se mantienen iguales pero los costos tienen un incremento anual por la inflación del país. En las siguientes dos tablas y graficas se puede observar esta disminución, que en total para un caudal de diseño de 1m³/s la disminución es de un 6.39% y para un caudal de diseño de 0.5m³/s la disminución es de 8.52%. Al finalizar el plazo de los diez años la empresa tendrá que renegociar el precio de venta de la energía para obtener nuevamente un margen bruto del 82% o del 76.13%, según el caudal de diseño que se escoja.

Tabla No.42: Márgenes par aun caudal de 0.5 m³/s

Margen bruto	Margen neto
76.13%	49.15%
75.31%	48.33%
74.45%	47.48%
73.57%	46.60%
72.66%	45.69%
71.72%	44.74%
70.74%	43.77%
69.73%	42.76%
68.69%	41.71%
67.61%	40.63%

Gráfica No.8: Disminución en los márgenes para un caudal de 0.5 m³/s

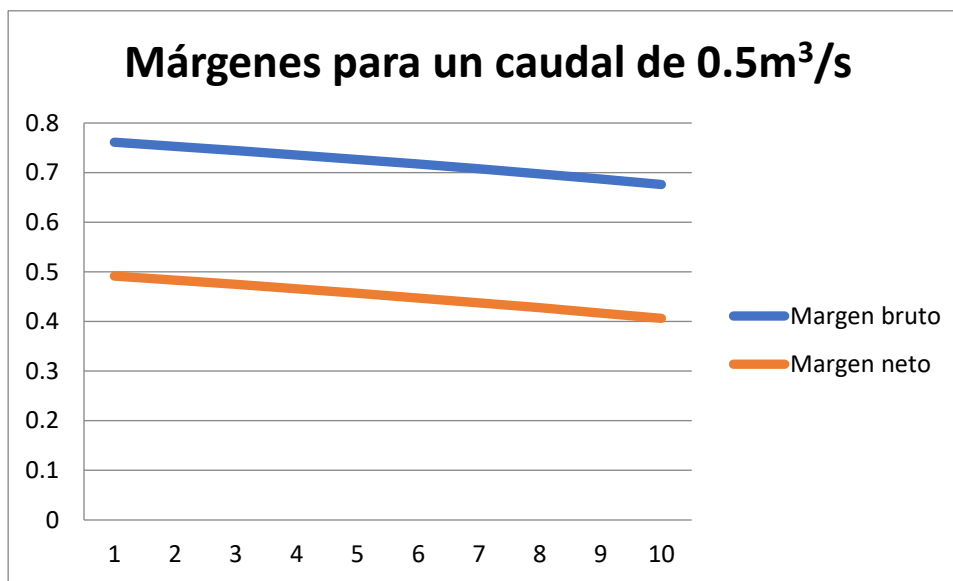


Tabla No.43: Márgenes para un caudal de 1m³/s

Margen bruto	Margen neto
82.10%	61.87%
81.48%	61.25%
80.84%	60.61%
80.18%	59.95%
79.50%	59.26%
78.79%	58.56%
78.06%	57.83%
77.30%	57.07%
76.52%	56.29%
75.71%	55.48%

Gráfica No.9: Disminución en los márgenes para un caudal de 1 m³/s

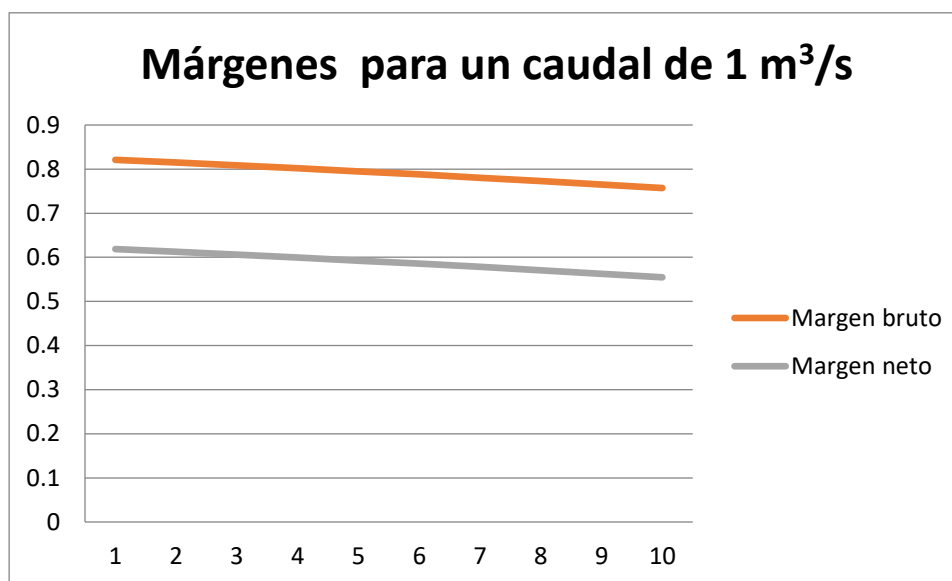


Tabla No.44: Proyección de los flujos de efectivo para un caudal de 0.5 m³/s

Proyección con un caudal de 0.5 m ³ /s			
Año	Costos anuales	Ingreso	Acumulado
0	\$(5,098,241)	0	\$(5,098,241)
1	\$465,923.00	\$1,951,841	\$(3,612,323.00)
2	\$481,997.34	\$1,951,841	\$(2,142,479.50)
3	\$498,626.25	\$1,951,841	\$(689,264.91)
4	\$515,828.86	\$1,951,841	\$ 746,747.08
5	\$533,624.95	\$1,951,841	\$ 2,164,962.97
6	\$552,035.01	\$1,951,841	\$ 3,564,768.80
7	\$571,080.22	\$1,951,841	\$ 4,945,529.43
8	\$590,782.49	\$1,951,841	\$ 6,306,587.78
9	\$611,164.49	\$1,951,841	\$ 7,647,264.14
10	\$632,249.66	\$1,951,841	\$ 8,966,855.33

Tabla No.45: Proyección con caudal de 1 m³/s

Proyección con un caudal de 1 m ³ /s			
Año	Costo	Ingreso	Acumulado
0	\$(7,933,307)	0	\$(7,933,307)
1	\$465,923.00	\$2,602,454	\$(5,796,775.64)
2	\$481,997.34	\$2,602,454	\$(3,676,318.52)
3	\$498,626.25	\$2,602,454	\$(1,572,490.31)
4	\$515,828.86	\$2,602,454	\$ 514,135.29
5	\$533,624.95	\$2,602,454	\$ 2,582,964.80
6	\$552,035.01	\$2,602,454	\$ 4,633,384.24
7	\$571,080.22	\$2,602,454	\$ 6,664,758.48
8	\$590,782.49	\$2,602,454	\$ 8,676,430.45
9	\$611,164.49	\$2,602,454	\$ 10,667,720.43
10	\$632,249.66	\$2,602,454	\$ 12,637,925.23

Se puede observar que utilizando cualquiera de los dos caudales de diseño, siendo la inversión inicial distinta y una potencia de generación distinta, en los dos casos se empieza a tener ganancias al cuarto año de operación, recuperando la inversión inicial en un período menor a diez años cumpliendo con uno de los objetivos del proyecto. Se puede diferenciar que el acumulado al finalizar el período de diez años es mayor escogiendo un caudal de 1 m³/s, lo que da una inclinación hacia este caudal de diseño. Los costos que se toman son el total de los costos anuales, sin tomar el costo del Overhaul ya que este pago se realiza en el año 15.

7.6. Tasa interna de retorno

La tasa interna de retorno conocida como TIR está definida como la tasa con la cual el valor presente neto -VPN- es igual a cero. El VPN es calculado a partir del flujo de caja anual, trasladando todas las cantidades futuras al presente. Es un indicador de la rentabilidad del proyecto, a mayor TIR, mayor rentabilidad. Se utiliza para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión. (Instituto de España Madrid)

La tasa utilizada en el proyecto para calcular el VAN es de un 10%. Esta tasa está conformada con la tasa del riesgo país de Guatemala que es del 5% y la tasa del riesgo del proyecto

que es de un 5% y juntas forman el 10% utilizado en el cálculo de la VAN. (Banco de Guatemala, 2012)

Conociendo la definición de la TIR y del VPN se presenta el cash flow o flujo de caja en las siguientes tablas calculadas para cada caudal:

Tabla No.46: Cash flow de un caudal de 0.5 m³/s

Cash flow	
Año	Flujo
0	\$(5,098,241)
1	\$ 1,485,917.85
2	\$ 1,469,843.50
3	\$ 1,453,214.59
4	\$ 1,436,011.99
5	\$ 1,418,215.89
6	\$ 1,399,805.83
7	\$ 1,380,760.62
8	\$ 1,361,058.36
9	\$ 1,340,676.36
10	\$ 1,319,591.19

Tabla No.47: Cash flow de un caudal de 1 m³/s

Cash flow	
Año	Flujo
0	\$(7,933,307)
1	\$ 2,136,531.46
2	\$ 2,120,457.12

Año	Flujo
3	\$ 2,103,828.21
4	\$ 2,086,625.60
5	\$ 2,068,829.51
6	\$ 2,050,419.45
7	\$ 2,031,374.24
8	\$ 2,011,671.97
9	\$ 1,991,289.98
10	\$ 1,970,204.80

Tabla No.48: TIR y VAN de un caudal de 0.5 m³/s

TIR	25%
VPN	\$ 3,631,561.25

Tabla No.49: TIR y VAN e un caudal de 1 m³/s

TIR	23%
VPN	\$ 4,794,232.02

8. Estructura de la empresa

La empresa está dedicada a producir energía renovable por medio de una generadora hidroeléctrica ubicada en el río Chilascó. Para poder cumplir su objetivo es necesario fundamentar las bases y metas de la empresa para el futuro. La empresa tiene en cuenta que el desarrollo de la comunidad es un aspecto de importancia para el crecimiento del país, por lo que tiene un monto designado para ejecutar proyectos en las comunidades cercanas, este rubro está considerado en responsabilidad social.

8.1. Visión

Ser la empresa líder de generación de energía eléctrica en la región de Baja Verapaz por medio del uso de recursos naturales.

8.2. Misión

Hacer uso de los recursos naturales hidrológicos disponibles en la región para contribuir al cambio de la matriz energética de Guatemala y mejorar las condiciones de vida de las personas que viven alrededor del proyecto hidroeléctrico.

8.3. Valores

- Ética y transparencia en todos los procesos de desarrollo.
- Respeto a la cultura y sus valores.
- Constante búsqueda en la rentabilidad.
- Permanente búsqueda de la rentabilidad.
- Máximo compromiso con la calidad y plazos de entrada.

8.4. Estructura organización

La estructura organizacional de la empresa es simplemente gracias a que no se necesitan muchas personas para operar una hidroeléctrica y se divide de la siguiente manera:

8.4.1. Junta directiva

En el nivel más alto de la estructura está la Junta Directiva, donde se encuentran los inversionistas del proyecto, en este caso una Sociedad Anónima.

8.4.2. Externamente

Se encuentra una auditoría externa y la empresa que le da mantenimiento a la planta hidroeléctrica.

8.4.3. Gerente General

Bajo la junta directiva se encuentra el Gerente General encargado del funcionamiento adecuado de la planta y de la administración de todos los recursos.

8.4.4. Técnico

En el tercer nivel de la planta se encuentran tres técnicos operativos uno para cada turno del día, ellos están encargados de realizar las mediciones en la casa de máquinas y de activar la planta generadora cuando el AMM lo solicite.

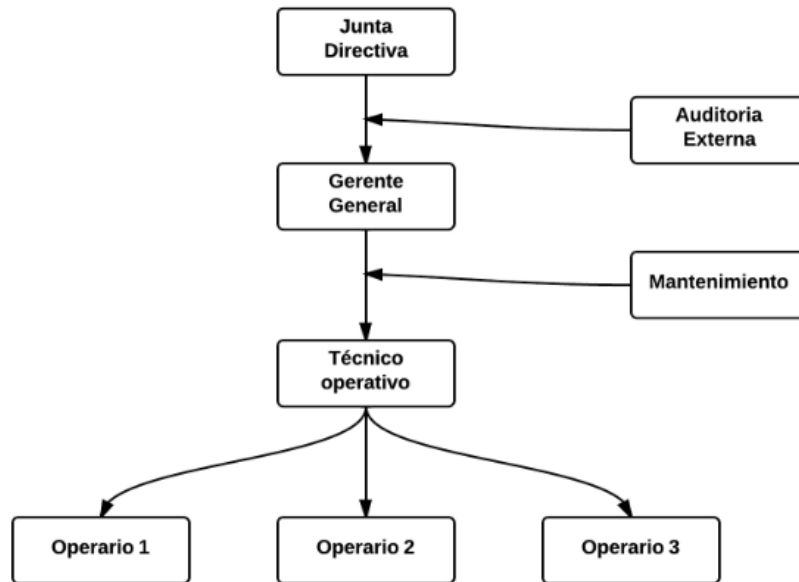
8.4.5. Operario uno

El operario 1 está a cargo de verificar que no haya ningún problema en la presa y la bocatoma.

8.4.6. Operario dos y tres

Se encargan de verificar que no haya ningún objeto dentro del canal y de limpiar el desarenador cuando lo requiera, al igual que quitar la maleza y objetos de la tubería.

Figura No.25: Estructura organizacional



Las posiciones de técnico operativo y los operarios 1, 2 y 3 son ocupadas por tres personas distintas, en cada turno del día hay cuatro personas, una para cada posición durante ocho horas del día.

8.5. Objetivos

8.5.1. General

Ser una generadora rentable, operando con la señora más de seguridad par ano incurrir en accidentes y cumplir con las obligaciones requeridas.

8.5.2. Específicos

- Recuperar la inversión inicial en un periodo menor a 10 años.
- Crear un equipo comprometido con la empresa.
- Cambiar las condiciones de vida de las comunidades alrededor de la planta hidroeléctrica.

8.6. Responsabilidad

La empresa es consciente que el desarrollo de la comunidad ayudará a tener una mejor relación con las personas y obtener un crecimiento cultural, crecimiento en la calidad de vida de las personas. Para ello la empresa quiere desarrollar un programa de reforzamiento escolar, en las primeras visitas se notó que la mayoría vive en la pobreza o en condiciones de pobreza extrema. Bajo tales condiciones, los niños no pueden tener alimentos nutritivos, lo que afecta negativamente su rendimiento académico. Durante las horas de la tarde, los estudiantes suelen trabajar en las granjas locales de campo o recolectar productos reciclables en la basura como un medio para obtener ingresos. Los niños que viven en estas aldeas están en peligro de involucrarse en organizaciones y pandillas de los alrededores porque no hay quien los controle y tienen mucho tiempo libre, la empresa decidió ayudar a la comunidad mediante un plan de reforzamiento escolar tres veces por semana que consta de:

- Programa de alimentación: Partiendo de una comida con un alto valor nutritivo preparada por las autoridades locales y supervisado por un nutricionista.
- Tutoría: tres tutores que fortalezcan las áreas más débiles académicas de los niños. Un tutor en el desarrollo de habilidades en áreas como el deporte, artes, valores y medio ambiente.
- Salud: los niños estarán provistos de revisiones continuas y atención dental a través de jornadas médicas cada dos meses.

Conclusiones

- Se concluye que el proyecto es factible, el estudio muestra una tasa interna de retorno de un 24% con una inversión inicial de \$7,933,307.00, con costos anuales de \$465,923.00 y una ganancia anual de \$1,326,534.00 dejando un proyecto sólido y confiable.
- Se concluye que el caudal de diseño a utilizar es un caudal de 1 m³/s, porque produce una mayor ganancia a la empresa y se puede comprobar con la VAN siendo mayor al caudal de 0.5 m³/s, recuperando la inversión inicial y empezando a obtener ganancias en un periodo de cuatro años, cumpliendo con el objetivo de recuperar la inversión en un período menor a diez años.
- Se concluye que la planta hidroeléctrica tendrá una vida útil arriba de los 20 años siempre y cuando se cumpla con el plan de mantenimiento propuesto y se realizará el overhaul cada 15 años para cuidar de los equipos eléctricos.
- Se concluye que la potencia generada por el río Chilascó es de 4.8 MW, siendo un proyecto hidroeléctrico de pequeña escala menor a 5 MW, utilizando un caudal de 1 m³/s y esto se obtiene gracias a la caída de 620 metros.
- Se concluye que la planta generadora cumple con las normativas de la CNNE y con su plan de expansión al estar todo según especificaciones y cumplir con expandir la generación por medio de recursos hídricos, para disminuir la generación de bunkers y aumentar el porcentaje de generación hidráulica.
- Se concluye que se desarrolló la estructura administrativa y operativa de la planta, teniendo un total de 3 operarios por turno, un técnico operativo por turno y un gerente general el cual está encargado del área administrativa y el funcionamiento correcto de la planta.

Recomendaciones

Debido a que cada estudio de factibilidad cuenta con características distintas, se recomienda a las personas o empresas que estén desarrollando un estudio de factibilidad de una planta generadora tomar en cuenta todos los rubros que componen el proyecto, porque podrían afectar significativamente el resultado de este. Por ejemplo, en este proyecto no se tomó en cuenta el rubro de alquiler o compra de tierra, puesto que le pertenece a la empresa inversionista, pero no es así en todos los casos.

A la hora de realizar el estudio de caudales, se tiene que tomar en cuenta que el historial de caudal diario o semanal esté recolectado con un mínimo de diez años, para poder tener un análisis más profundo tomando en cuenta factores aleatorios al comportamiento normal del río, como catástrofes naturales y el efecto de los cambios ambientales actuales.

En el desarrollo del diseño de la planta hidroeléctrica se verificará que la construcción y la maquinaria sean adecuadas al caudal de diseño, de lo contrario se podría tener una pérdida de tiempo y dinero. Uno de los rubros más elevados y que es necesario verificar bien, es el costo de la turbina, es fundamental verificar que sea la turbina correcta para el caudal de diseño y el diferencial de altura.

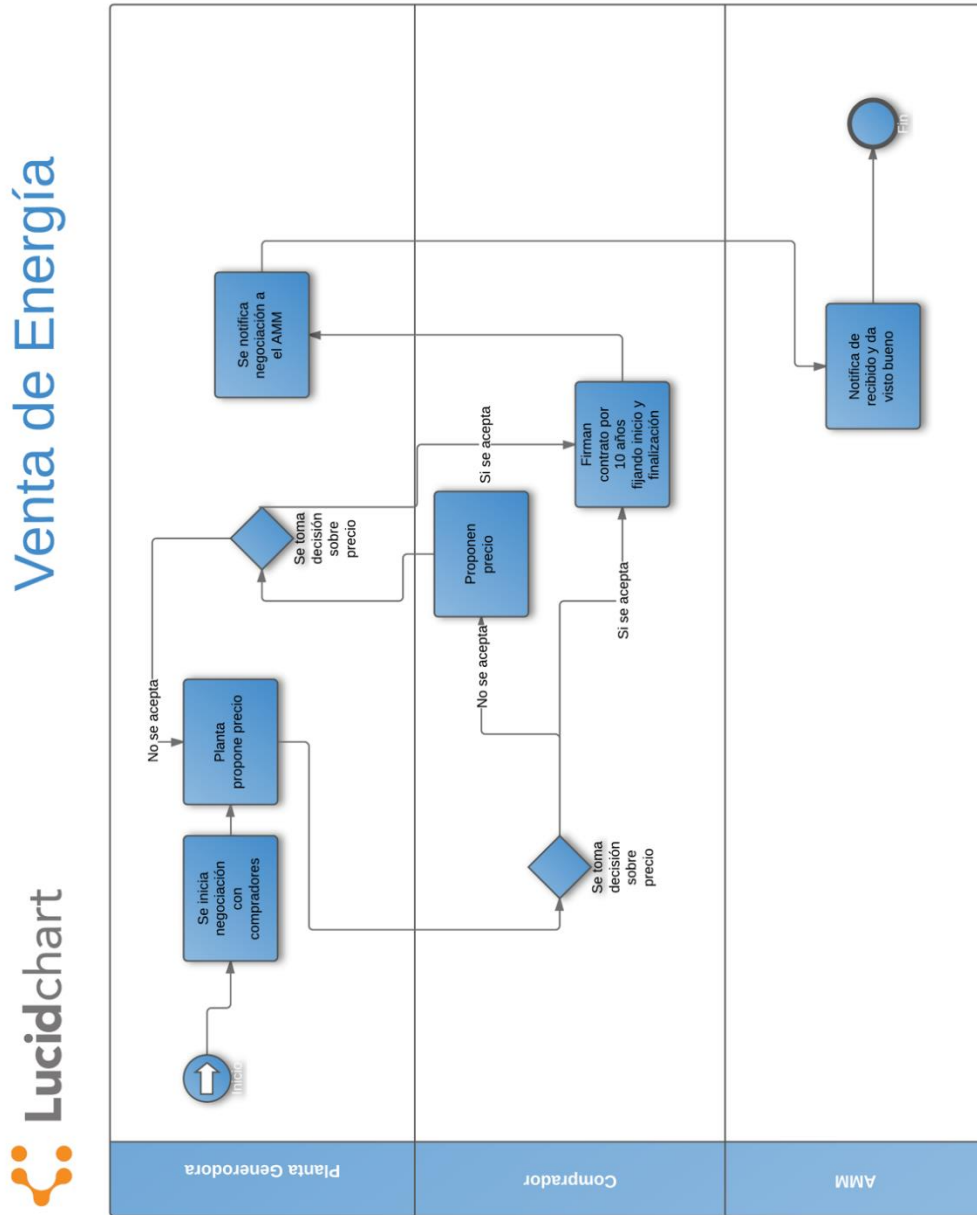
Se recomienda crear un plan de mantenimiento adecuado según las necesidades de la planta, dar constante capacitación al personal para mantenerla en funcionamiento por un largo plazo, considerando todas las medidas de seguridad para la planta y los operarios, evitando así lesiones o pérdidas lamentables.

Bibliografía

- Alegret, E. Yy. (200). Diseño hidráulico de aliviaderos para presas pequeñas. La Habana. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.
- Banco de Guatemala. (2012). Banguat. Consultado en web. <http://www.banguat.gob.gt/publica/conferencias/mejorando-calific-guate-131005.pdf>
- Benguela, J. L. (2008). Requisitos para la implementación de un proyecto hidroenergético. Guatemala. Anacafé.
- Biomass User Network (BUNCA). (2002). Hidráulica a pequeña escala. Biomass Users Network (BUNCA).
- Comisión Nacional de Energía Eléctrica -CNEE-. (1996). Informe estadístico. Guatemala. Congreso Nacional de energía eléctrica.
- Comisión Nacional de Energía Eléctrica -CNEE-. (2009). Informe estadístico. Guatemala. Congreso Nacional de energía eléctrica.
- Comisión Nacional de Energía Eléctrica -CNEE-. (2012). Informe estadístico. Guatemala. Congreso Nacional de energía eléctrica.
- Comisión Nacional de Energía Eléctrica -CNEE-. (20 de 08 de 2008). www.cnee.gob.gt. Retrieved 15 de 01 de 2013 from www.cnee.gob.gt: <http://www.cnee.gob.gt/peg/Docs/PET%20esp.pdf>
- Guerrero Silva, E. R. (2009). Guía detallada para la autorización y conexión de proyectos hidroeléctricos. Guatemala: Guerrero Silva, Erick René .
- Intermediate Technology Development Group -ITDG-. (1995). Manual de Mini y Micro centrales hidráulicas. Peru: Intermediate Technology Development Group -ITDG-.
- Liévano., D. C. (2004). Guía para estudios de prefactibilidad de pequeñas centrales hidroeléctricas como parte de sistemas híbridos. Bogotá: Diego Camilo y Hustado Liévano.

Anexos

Anexo A: Diagrama BPMN del proceso de venta de energía



Venta de Energía

Lucidchart

Anexo B: Cotización



*Desde 2003, 10 años
al servicio de la Industria*

Guatemala, 05 de abril de 2013



Señor:
Pablo Morales
Guatemala

Atn: **Pablo Morales**

Ref: Cotización para Trabajo de Graduación Universidad del Valle
Nuestra oferta EL13005.00

Estimados señores:

Tenemos el placer de ofertarles de acuerdo a su solicitud lo siguiente:

Cotización parcial de costos para hidroeléctrica

COSTOS

- Costos de Maquinaria y equipo
- Costos de la presa
- Costo del camino de acceso
- Costos de construcción del bocatoma
- Costo de la tubería a presión
- Costos del canal de conducción
- Costos del desarenador
- Costos de la casa de maquinas

El monto total de los trabajos anteriormente descritos asciende a: **Q 10,443.83 por 15 días hábiles.**

Opcional: si fuese necesario que el supervisor trabaje el día sábado el monto por este día será de Q700.00 en horario de 07:00am a 17:00pm.





FULL ENERGY

fullenergy.gt.com

*Desde 2003, 10 años
al servicio de la Industria*

A continuación se describe el equipo según lo acordado:

PEPPERL+FUCHS
VALVULAS Y TRANSDUCTORES DE
PRESION INDUSTRIALES

- Generador Marca SIEMENS, 2800 KUV o 4800 KUV, Rpm 895, Voltaje 4.16 KV
- conexión 3Y, Eff 93.6 PF 0.86. Cojinetes NU 330 ECM /C3
- Peso 9,460 Kg. **Garantía 3 años**
- Prima de seguro
- 80 Metros de cable de salida 4/A para alto voltaje
- Acoplamiento rígido de 170mm, en hierro fundido.
- Pre-balanceado @900Rpm,
- Eje de transmisión en acero 705, (5 Metros)
- Alineación laser entre acoplamiento de generador y acoplamiento de turbina
- Descarga de generador con pluma de 80 Toneladas

Sistema de protección a Generadores:

PROINDUL
INSTRUMENTOS DE MEDICION

- 16 Sensores de Vibración marca SIEMENS 550
- 4 Monitores Smart Monitor SIEMENS
- 16 Sensores de Temperatura RTD para cojinetes y Fases
- 16 Transductores de Resistencia a Miliamperios
- 3 Amperímetros Gase Mounted, Marca ABB
- 3 Voltímetros Case Mounted, Marca ABB
- 3 VARímetros Gase Mounted, Marca SIEMENS
- 1 Sincronometro
- 1 Control de Excitatriz de 400 KVU, marca ABB
- 1 Tarrjeta reguladora SGR marca SIEMENS
- 1 RTU, unidad de Temperatura SIEMENS Modelo RTMD 21



*Desde 2003, 10 años
al servicio de la Industria*

TRABAJOS A REALIZAR

PERPERL-FUCHS
INGENIERIA Y CONSULTORIA

COSTOS DE MAQUINARIA (CAUDAL 0.5m³/s)

Maquinaria y Equipo	Costos
Turbina	\$1,400,000.00
Generador	\$ 560,000.00
Gobernador	\$ 420,000.00
Sistemas de medición y control	\$ 420,000.00
SUBTOTAL	\$ 2,800,000.00
Instalación del equipo	\$ 280,000.00
TOTAL	\$ 3,080,000.00

COSTOS DE MAQUINARIA (CAUDAL 1 m³/s)

PROINDUL
INGENIERIA Y CONSULTORIA

Maquinaria y Equipo	Costos
Turbina	\$2,400,000.00
Generador	\$ 960,000.00
Gobernador	\$ 720,000.00
Sistemas de medición y control	\$ 720,000.00
SUBTOTAL	\$ 4,800,000.00
Instalación del equipo	\$480,000.00
TOTAL	\$5,280,000.00

COSTOS DE CONSTRUCCION DE LA PRESA

PEPPERL+FUCHS
INGENIERIA Y CONSULTORIA

	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Total
Concreto	232	m ³	\$ 222.00	\$ 51,504.00
Acero de Refuerzo	906.53	qq	\$ 66.60	\$ 60,374.92
Encofrados	204.22	m ²	\$ 40.00	\$ 8,168.75
Sub Total				\$ 120,047.66
Preparación del sitio de la presa				\$ 50,000.00
Dirección técnica	30%			\$ 51,014.30
Margen	20%			\$ 44,212.39
Total				\$ 265,274.36

PROINDUL
INGENIERIA Y CONSULTORIA

COSTOS RELACIONADO CON LA CONSTRUCCION

	Costo en \$
3 km Camino de acceso	150,000.00
Bocatoma	25,528.00
Canal Rectangular	62,028.35
Desarenador	50,000.00
Casa de Maquinas 300m ³	360,000.00
Tubería de acero 936m	140,400.00



FULL ENERGY

fullenergy.gt.com

*Desde 2003, 10 años
al servicio de la Industria*

PEPPERL+FUCHS
TECNOLOGIA INDUSTRIAL

La empresa le brindara el servicio de **mantenimiento** al año por un costo de **\$77,590.00** el cual incluye :

- Revisar el desgaste interno; rodetes, carcasa de turbina, cojinetes, faja, chumaceras y los ejes.
- Engrase de cojinetes y chumaceras de turbina y generador.
- Cambio de aceite hidráulico al gobernador.
- Verificación de la tubería.
- Chequeo de los controles y medidores.
- Chequeo de los transformadores.
- * Cada 15 años se aconseja realizar el overhaul a la turbina (\$250,000.00).

* El costo del Overhaul no esta incluido en el mantenimiento anual, este tiene un costo diferente y se realiza cada 15 años .

La empresa **asegura** el equipo por cualquier eventualidad por un costo anual de **\$77,580.00**, dando la reposición inmediata en caso de una catástrofe. La garantía del equipo solo cubre los desperfectos eléctricos no incluye el mal uso del equipo o alguna catástrofe, por eso se le aconseja asegurar su equipo.

PROINDUL
INDUSTRIAS

Condiciones

Validez de la Oferta: es exclusivamente para motivos de entrega de trabajo de graduación esta oferta no tiene ninguna validez en el mercado y cualquier relación con la misma será omisa la empresa no se responsabiliza de las actividades que esta puede causar

Full Energy S.A.