



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL PROYECTO DE MICRO
HIDROELÉCTRICA PARA LA COMUNIDAD DE CHEL, SAN
GASPAR CHAJUL, EL QUICHÉ

Ana Carolina Palma Cajas

Asesorada por Ingeniera Alba Maritza Guerrero
Spínola de López

Guatemala, mayo de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL PROYECTO DE MICRO
HIDROELÉCTRICA PARA LA COMUNIDAD DE CHEL, SAN GASPAR
CHAJUL, EL QUICHÉ

TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ANA CAROLINA PALMA CAJAS

ASESORADO POR INGENIERA ALBA MARITZA GUERRERO

SPÍNOLA DE LÓPEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA INDUSTRIAL

GUATEMALA, MAYO DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahan Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Zelada
VOCAL IV	Bch. Keneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Bch. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Edgar Darío Alvarez Cotí
EXAMINADOR	Ing. Harry Oxom Paredes
EXAMINADOR	Ing. Otto Santiago de León
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL PROYECTO DE MICRO
HIDROELÉCTRICA PARA LA COMUNIDAD DE CHEL, SAN GASPAR
CHAJUL, EL QUICHÉ

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha marzo de 2003.

Ana Carolina Palma Cajas

AGRADECIMIENTOS

A mi mamá, Thelma Cajas, por la formación que me brindó con amor, dedicación y paciencia.

A mi papá, Francisco Palma, por ser un impulso y guía en mis estudios.

A Víctor Fuentes, por su apoyo incondicional.

A mi hermana, Mónica Palma, por ser un ejemplo de aplicación y por su ayuda en la comprensión de los cursos de la carrera.

A Fundación Solar, por brindarme la oportunidad de realizar mi trabajo de graduación, especialmente a Iván Azurdia, por su confianza y apoyo.

A mi pequeña familia, Norbert Bons y Lou Bons, por la presión, el ánimo y la ayuda para la culminación del presente trabajo de graduación.

A mi asesora, Ing. Alba Maritza Guerrero, por su guía y apoyo.

ACTO QUE DEDICO

A mi madre Thelma Cajas

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. ASPECTOS GENERALES	1
1.1. Contexto de la electrificación rural en Guatemala	1
1.1.1. Electrificación interconectada	3
1.1.2. Electrificación rural por medio de aplicaciones aisladas	3
1.2. Aprovechamiento de los recursos hidroeléctricos a filo de agua en el Quiché ..	4
1.2.1. Ríos de la región ixil	5
1.2.2. Portafolio de proyectos micro hidroeléctricos con pre-factibilidad para la región ixil	5
1.3. Aspectos geográficos generales.....	6
1.3.1. Ubicación y acceso.....	6
1.3.2. Clima	7
1.3.3. Topografía	7
1.3.4. Recurso hídrico	7
1.3.5. Vegetación típica del lugar.....	7
1.4. Aspectos socioeconómicos de Chel.....	8
1.4.1. Aspectos sociales	8
1.4.2. Aspectos económicos	11
2. ESTUDIO DE MERCADO	15
2.1. Antecedentes de los mercados eléctricos rurales.....	15
2.2. Características principales del servicio de energía eléctrica.....	16
2.3. Demanda de energía eléctrica.....	16

2.4. Demanda de potencia pico.....	18
2.5. Perfil de los tipos de usuarios	19
2.5.1. Usuarios residenciales	19
2.5.2. Usuarios comerciales y talleres de oficios	20
2.5.3. Usuarios agroindustriales	21
2.5.4. Usuarios institucionales.....	22
2.6. Oferta de energía.....	22
2.6.1. Servicio del SNI	23
2.6.2. Formas tradicionales del uso de la energía.....	23
2.7. Precio de la energía.....	24
2.7.1. Marco legal del establecimiento de la tarifa eléctrica	25
2.7.2. Precio de la energía	26
2.8. Beneficios potenciales para las comunidades.....	27
2.8.1. Crecimiento económico.....	28
2.8.2. Incremento en la equidad	29
2.8.3. Ambiente	30
2.8.4. Otros beneficios.....	30
3. ESTUDIO TÉCNICO	31
3.1. Localización.....	31
3.1.1. Macro localización	31
3.1.2. Micro localización.....	31
3.2. Potencial hidráulico	32
3.2.1. Caudal aprovechable	32
3.2.2. Caída aprovechable	33
3.2.3. Tamaño o potencia disponible de la MCH Chel	33
3.3. Diseño de la micro central hidroeléctrica Chel.....	34
3.3.1. Sistema de micro hidrogenación	34
3.3.2. Turbinas y equipo electromecánico.....	35
3.3.3. Obra civil.....	35

3.3.4. Línea de transmisión y red de distribución	39
3.3.5. Transporte y arrendamiento de maquinaria.....	39
3.4. Factor de planta	40
3.4.1. Relación de potencia MCH Chel.....	40
3.4.2. Factor de planta MCH Chel	41
3.5. Operación y mantenimiento.....	42
3.5.1. Mantenimiento de la obra civil	42
3.5.2. Mantenimiento del equipo electromecánico	43
3.5.3. Mantenimiento de la red de distribución.....	44
3.5.4. Operación de la MCH Chel.....	44
3.6. Evaluación de impacto ambiental.....	44
3.6.1. Identificación del proyecto.....	45
3.6.2. Identificación del solicitante del proyecto	45
3.6.3. Descripción breve del proyecto.....	45
3.6.4. Factores que impactan en el medio ambiente.....	46
3.6.5. Descripción de impactos y medidas de mitigación	46
3.6.6. Conclusiones sobre la viabilidad ambiental del proyecto	51
4. ESTUDIO ADMINISTRATIVO LEGAL.....	53
4.1. Marco legal de los servicios energéticos rurales	53
4.2. Tipo legal de organización	55
4.3. Estructura orgánica	56
4.4. Logística de la organización.....	57
5. ASPECTOS ECONÓMICOS Y FINANCIEROS.....	59
5.1. Análisis de costos	59
5.1.1. Costo de inversión inicial.....	59
5.1.2. Costos de operación y mantenimiento	60
5.1.3. Costos financieros	64
5.2. Ingresos.....	65
5.2.1. Cálculo de la cuota base.....	65

5.2.2. Fijación de la cuota variable.....	66
5.2.3. Ingresos por conexiones de nuevos usuarios.....	66
5.3. Flujo neto de efectivo	66
5.3.1. Ingresos-FNE.....	67
5.3.2. Egresos-FNE	67
5.3.3. Flujo neto de efectivo (FNE).....	69
5.3.4. Flujo acumulado de efectivo (FAE).....	69
6. EVALUACIÓN ECONÓMICA-FINANCIERA	71
6.1. Análisis de la tabla de FNE.....	71
6.2. Valor presente neto (VPN)	72
6.3. Tasa interna de retorno (TIR)	73
6.4. Análisis de sensibilidad	74
6.5. Viabilidad socioeconómica.....	75
CONCLUSIONES	77
RECOMENDACIONES	81
REFERENCIAS	83
BIBLIOGRAFÍA.....	85
APÉNDICES.....	87
ANEXOS.....	111

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Pirámide poblacional de Chel, Las Flores y Xesayí, 2001.....	9
2.	Organigrama general de la AHC	58
3.	FNE de la MCH Chel	69
4.	Estimación energía y potencia residencial.....	89
5.	Estimación energía y potencia usos productivos	91
6.	Estimación costo de personal y gastos administrativos.....	93
7.	Cálculo fondo de amortización.....	95
8.	Estimación ingresos	97
9.	Flujo neto de efectivo	99
10.	Gráfico de ingresos y egresos.....	101
11.	Estimación Ingresos AS.....	103
12.	Cálculo cuota préstamo AS	105
13.	Flujo neto de efectivo AS	107
14.	Gráfico de ingresos y egresos AS.....	109
15.	Mapa ubicación Proyecto MCH Chel.....	113
16.	Matriz de Leopold para la MCH Chel.....	117

TABLAS

I	Coberturas eléctricas registradas en el 2000 en Guatemala.....	1
II	Programas gubernamentales de electrificación rural (2000-2004)	2
III	Población y vivienda de Chel, Las Flores y Xesayí, 2001	9
IV	Alfabetismo y nivel de escolaridad de Chel, Las Flores y Xesayí, 2001	10
V	Grupos vulnerables y personas enfermas de Chel, Las Flores y Xesayí, 2001	10
VI	Relación de gastos en iluminación y energía e ingresos de Chel, Las Flores y Xesayí, 2001	12
VII	Distribución del rango de ingresos de Q0 a Q500 y su relación con los gastos en iluminación y energía.....	13
VIII	Características de las viviendas de Chel, Las Flores y Xesayí, 2001	13
IX	Bienes patrimoniales de Chel, Las Flores y Xesayí, 2001.....	14
X	Resumen estimación demanda de energía anual MCH Chel.....	17
XI	Resumen demanda de potencia pico según tipo de usuario MCH Chel	18
XII	Perfil socioeconómico y demanda de electricidad de usuarios residenciales clasificados por niveles de ingresos familiares (Q/mes).....	19
XIII	Demanda de potencia y energía eléctrica para actividades productivas proyecto Chel.....	21
XIV	Costos de inversión inicial MCH Chel	60
XV	Resumen costos de operación & mantenimiento MCH Chel	61
XVI	Costos de repuestos rotor 165 kW y generador 180 kW	63
XVII	Características hidrológicas y energéticas para 11 sitios en la región ixil.....	115

GLOSARIO

Afluente	Río que desemboca en otro principal.
AHC	Asociación Hidroeléctrica Chelense
AMM	Administrador del Mercado Mayorista. Es el órgano encargado del conjunto de operaciones de compra y venta de bloques de potencia y energía, que se efectúan a corto y largo plazo entre agentes del mercado eléctrico.
Bornes	Terminales de salida del generador.
Cambio climático	Se le llama al acelerado calentamiento global por causa de la emisión de gases de efecto invernadero.
Carga	Cantidad de energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de cualquier dispositivo o aparato eléctrico en un momento dado. También se denomina carga al propio dispositivo o aparato que recibe la energía.
Caudal de estiaje	Caudal de un río o arroyo en la época seca del año[l/s]
Ceja de montaña	La cima de la montaña.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica. Es un órgano técnico del Ministerio de Energía y Minas, con independencia funcional para el ejercicio de sus atribuciones.
Cuenca	Territorio regado por un río y sus afluentes.
Cunetas	Zanja que conduce agua.
Desarrollo sostenible	Proceso de cambio progresivo en la calidad de vida del ser humano, con equidad social, en armonía con la naturaleza, que no compromete y garantiza la calidad de vida de las generaciones futuras.
Desfogue	Salida.
DGE	Dirección General de Energía

Dolina	Formación kárstica que se produce por el colapso del techo de una cueva, formando una sima o por disolución de la roca.
EIA	Evaluación de Impacto Ambiental
Energía eléctrica	Es la capacidad de realizar un trabajo [kW-hora]
FNE	Flujo neto de efectivo
GEF	Fondo mundial del medio ambiente, por sus siglas en inglés.
Generador	Artefacto donde se transforma cualquier energía en energía eléctrica.
H.P.	Caballos de Fuerza, unidad de potencia frecuentemente utilizada para maquinaria [H.P.=745.7.W]
Horas pico	Son los rangos de tiempo durante el día en que se da la potencia pico.
IGN	Instituto Geográfico Nacional
INDE	Instituto Nacional de Electricidad
Karst	Es el tipo de topografía en la que el paisaje está grandemente marcado por la acción disolvente del agua en una cama de roca carbonatada (usualmente piedra caliza, dolomita o marfil)
Kilovatio (kW)	Unidad de potencia equivalente a mil watts.
Kilovatio hora (kWh)	Unidad de energía equivalente a mil watts-horas. La potencia multiplicada por el tiempo es igual a la energía.
Mampostería	Obra hecha de piedras pequeñas unidas con una mezcla de cal, arena y agua.
MCH	Micro central hidroeléctrica
MEM	Ministerio de Energía y Minas
Micro hidroeléctrica	Hidroeléctrica a filo de agua con potencia que va de 1 a 200 kilovatios.
Molino de nixtamal	Artefacto para moler el maíz y obtener la masa con la que se hacen las tortillas, tamales, etc.
msnm	Metros sobre el nivel del mar.

Megavatio (MW)	Unidad que mide potencia [10^6 W]
PNUD	Plan de las Naciones Unidas para el Desarrollo
Potencia pico	Es la potencia máxima requerida a la empresa eléctrica en un momento dado o período en el tiempo [W]
Potencia	Trabajo que es posible realizar en la unidad de tiempo [$W=J/s$]
Roca metamórfica	Roca que sufre profunda transformación física y química bajo la influencia de acciones internas (calor y presión)
Rodera	Camino estrecho y sin asfaltar.
SNI	Sistema Nacional Interconectado
Talud	Inclinación del paramento de un muro o un terreno.
TIR	Tasa interna de retorno
TTF	Thematic Trust Fund
Usuario	Persona individual o jurídica que recibe servicio eléctrico de la empresa eléctrica por medio de la acometida correspondiente.
Vereda	Camino estrecho que normalmente se transita a pie o en bestia.
Volt (V)	Cantidad de fuerza electromotriz que, aplicada a un conductor cuya resistencia es de 1Ω , produce una corriente de 1 A.
VPN	Valor presente neto
Watt (W)	Vatio, unidad que mide potencia.

RESUMEN

A través del presente trabajo de graduación se desarrolló el estudio de factibilidad para la micro central hidroeléctrica Chel, ubicada en Chajul, Quiché. La MCH Chel proveerá electricidad a 440 usuarios residenciales de las comunidades de Chel, Las Flores y Xesayí, caracterizadas por su alto nivel de pobreza y difícil acceso. Para la generación eléctrica se instalará una planta a filo de agua de 165 kW. Debido al bajo perfil de consumo eléctrico por usuario su factor de planta será de 9 % lo cual es muy bajo, característica típica de una demanda eléctrica de tipo rural residencial; por otro lado el uso de la electricidad para actividades productivas es incierto. El proyecto es viable ambientalmente, pues el beneficio social y económico que representa es mayor que los impactos determinados. Éste será manejado por las comunidades mismas a través de la Asociación Hidroeléctrica Chelense, que no está facultada para cobrar una tarifa por el servicio sino una compensación para cubrir sus costos de operación y mantenimiento. La inversión inicial del proyecto se cuantificó en Q 4,601,000 y su costo de operación y mantenimiento en Q 157,000 por año. El proyecto será capaz de cubrir sus costos de operación y mantenimiento con Q 30.00/mes por usuario, siempre que su inversión inicial sea no reembolsable. A través del subsidio a la inversión inicial del proyecto se facilitará el acceso al servicio eléctrico a comunidades que no representan un mercado atractivo para la iniciativa privada, ni están incluidas en los actuales planes gubernamentales de electrificación rural.

OBJETIVOS

- **General**

Determinar la factibilidad del proyecto micro hidroeléctrico para las comunidades de Chel, Las Flores y Xesayí, municipio de Chajul, departamento de Quiché; desde las perspectivas de mercado, ingeniería, impacto ambiental, administrativo legal y financiero económico.

- **Específicos**

1. Describir el contexto en el que se sitúa el proyecto en estudio, desde la electrificación rural en Guatemala, hasta la descripción geográfica y socioeconómica del área del proyecto y las comunidades a ser electrificadas respectivamente.
2. Plantear los aspectos de mercado del proyecto micro hidroeléctrico, la demanda, la oferta y la estructura de precios; así también analizar los beneficios potenciales del proyecto para las comunidades. De tal forma de proveer insumos que permitan la estimación de los ingresos del proyecto.
3. Estructurar los aspectos técnicos del proyecto, localización, tamaño, diseño de la micro central hidroeléctrica, operación y mantenimiento, de tal forma de proveer los insumos para el cálculo de la inversión inicial y cálculo de los costos de operación y mantenimiento. Así también analizar los aspectos de impacto ambiental y determinar la viabilidad ambiental del proyecto.
4. Contemplar los aspectos administrativos y legales que deben considerarse para la operación de la empresa que preste el servicio eléctrico, y obtener los gastos administrativos del proyecto en su etapa de operación.

5. Plantear los aspectos financieros del proyecto: análisis de costos, proyección de ingresos, financiamiento, y proyección del flujo neto de efectivo; de tal forma que se establezcan los insumos que permitan realizar la evaluación económica financiera.
6. Realizar la evaluación económica financiera del proyecto a través del cálculo de los indicadores que toman en cuenta el valor del dinero a través del tiempo: la tasa interna de retorno (TIR) y el valor presente neto (VPN) y realizar un análisis de sensibilidad. Así también analizar el proyecto desde la perspectiva socioeconómica para el planteamiento de estrategias que contribuyan a la sostenibilidad del mismo.

INTRODUCCIÓN

El estudio de factibilidad determinará la conveniencia de la ejecución de la central micro hidroeléctrica Chel para las comunidades de Chel, las Flores y Xesayí, vecinas y con alrededor de 400 viviendas, ubicadas en la región ixil del Quiché y caracterizadas por su lejanía y difícil acceso, y el estado de pobreza de sus habitantes. Su ubicación geográfica ha influido para que actualmente sus pobladores no cuenten con el servicio de energía eléctrica; que ha sido imprescindible para el desarrollo de los pueblos a lo largo de la historia.

Fundación Solar, organización privada de desarrollo que trabaja en el campo de la energía renovable, detectó la posibilidad de cubrir esta necesidad a través de una micro central hidroeléctrica, haciendo uso del recurso hidráulico abundante en la zona. El estudio de factibilidad está estructurado en, aspectos generales, estudio de mercado, estudio técnico, estudio administrativo legal, estudio económico financiero, y evaluación económica financiera.

Estos estudios nos llevan a que, aunque la demanda de energía eléctrica en las comunidades de Chel, Las Flores y Xesayí es baja, el proyecto es capaz de cubrir sus costos de operación y mantenimiento, a través del cobro de una cuota base que incluye cierta cantidad de kilovatios hora, suficientes para suplir las necesidades eléctricas de la mayoría de usuarios.

Para proveer del servicio eléctrico se construirá una planta de 165 kW que aprovechará el potencial hidráulico del arroyo Xesayí; el factor de planta se calculó en 9%, esto es bastante bajo, y es una característica de una demanda rural residencial. El proyecto es técnicamente viable desde la perspectiva ambiental.

El proyecto será administrado por la Asociación Hidroeléctrica Chelense, que tiene el fin de desarrollar sus comunidades, y no está facultada para cobrar una tarifa eléctrica sino una compensación para cubrir sus costos de operación y mantenimiento.

Como es característica de las tecnologías de energía renovable la inversión inicial es elevada, incrementándose los costos por la ubicación del proyecto. El proyecto no es capaz de recuperar su inversión inicial, por lo que será subsidiada con fondos gubernamentales, de la cooperación internacional y aporte comunitario en mano de obra. A través del subsidio a la inversión inicial se determinó un flujo neto de efectivo positivo a lo largo de la vida útil del proyecto, esto permite la autosostenibilidad del mismo y proveería a la AHC ciertos ingresos para invertir en otros proyectos que beneficien a las comunidades.

Por otro lado a través del análisis de sensibilidad, al incrementar el factor de planta de un 9% a un 30% se obtuvo que el proyecto podría cubrir sólo un 30% de su inversión inicial a través de un préstamo blando.

1. ASPECTOS GENERALES

1.1. Contexto de la electrificación rural en Guatemala

En Guatemala, para el año 2000, se registró una cobertura eléctrica de 76% a nivel nacional y 55% en el área rural¹. En la tabla I se puede ver el detalle de las coberturas eléctricas por departamento para el año 2000. En la tabla se puede ver, que los tres departamentos con menores índices de electrificación son: Alta Verapaz (29%), Petén (47%), y Quiché (55%); en las zonas norte y nor-occidente del país.

Tabla I. Coberturas eléctricas registradas en el 2000 en Guatemala

Región	Departamento	Cobertura 2000
Central	Chimaltenango	58%
	Escuintla	80%
	Sacatepéquez	91%
Metropolitana	Guatemala	95%
Noroccidente	Huehuetenango	61%
	Quiché	55%
Nororient	Chiquimula	90%
	El Progreso	87%
	Izabal	62%
Norte	Zacapa	86%
	Alta Verapaz	29%
	Baja Verapaz	61%
Petén	Petén	47%
Suroccidente	Quetzaltenango	91%
	Retalhuleu	83%
	San Marcos	66%
	Sololá	94%
	Suchitepéquez	71%
Surorient	Totonicapán	91%
	Jalapa	59%
	Jutiapa	66%
	Santa Rosa	91%
Nivel nacional		76%

Fuente: DGE/MEM. **Plan indicativo del subsector eléctrico**. Guatemala, 2001. p. 42

Con el fin de aumentar la cobertura eléctrica al 90% en el 2004 y al 96% en el 2006, el Ministerio de Energía y Minas* a través de la Coordinadora de Electrificación Rural (CODERURAL) está dando seguimiento a tres ejes de acción: 1) El fideicomiso de administración INDE, obras rurales de occidente y oriente; 2) Estudio de estrategia para la expansión de la electrificación rural en Guatemala y 3) Otras iniciativas, como el programa de paneles solares y el programa de electrificación de poblaciones fronterizas entre México y Guatemala.

Aun con el cumplimiento de la meta de 96% en cobertura eléctrica a nivel nacional para el año 2006, alrededor de 230,000 hogares² se quedarán sin acceso a este servicio. Estos hogares tendrán pocas posibilidades de obtener electricidad si la estrategia del Gobierno para el aumento de cobertura eléctrica, sigue concentrándose en la expansión de la red eléctrica del Sistema Nacional Interconectado (SNI). En la tabla II se muestran los resultados esperados por el MEM en electrificación rural para el 2004.

Tabla II. Programas gubernamentales de electrificación rural (2000-2004)

Programa	Usuarios	Período de ejecución
Fideicomiso del INDE	280,798	2000-2004
Programa de electrificación de poblaciones fronterizas con México	3,721	-
Programa de paneles solares	6,000	2000-2004

Fuente: DGE/MEM. **Plan indicativo del subsector eléctrico**. Guatemala, 2001 p. 19,26,27

*El Ministerio de Energía y Minas es el órgano del Estado responsable de formular y coordinar las políticas, planes de Estado, y programas indicativos relativos al subsector eléctrico.

1.1.1. Electrificación interconectada

Dentro del esquema de electrificación interconectada se está desarrollando el programa más importante de electrificación rural de Guatemala: el fideicomiso de administración INDE, obras rurales de occidente y oriente; éste es administrado por el Instituto Nacional de Electrificación (INDE) y ejecutado por el mismo en su componente de transporte, mientras que en su componente de distribución es ejecutado por las empresas privadas de oriente y occidente DEORSA y DEOCSA respectivamente.

El Fideicomiso contempla 8 proyectos regionales: oriental, atlántica, franja transversal del norte, bajo norte, Petén, Quiché, costa sur occidental, y el altiplano occidental; que permitirán la incorporación al sistema eléctrico a cerca de 280,000 nuevos usuarios en 2,634 comunidades.

1.1.2. Electrificación rural por medio de aplicaciones aisladas

La estrategia gubernamental de expansión de red excluye de los planes de electrificación rural a las comunidades lejanas, dispersas y de difícil acceso, que en la mayoría de los casos son las más pobres y desatendidas del país. Considerando que para estas comunidades quizá la mejor solución está en aplicaciones aisladas, que se valgan de los recursos energéticos naturales locales. En este sentido, el MEM a través de la Dirección General de Energía (DGE) tiene la meta de instalar 6,000 paneles solares para el período de 2000 a 2004.

El trabajo que se ha hecho en Guatemala en materia de aplicaciones energéticas aisladas para comunidades rurales es aún incipiente. En total desde 1993, se han electrificado a través de sistemas fotovoltaicos de iluminación alrededor de 4,500 viviendas rurales en nuestro país. La participación del MEM a través de la DGE ha sido de alrededor de la mitad de estos sistemas instalados, mientras que la otra mitad ha sido realizado principalmente por organizaciones no gubernamentales, que trabajan principalmente con fondos de la cooperación internacional.³

Entre las aplicaciones energéticas aisladas que se han desarrollado y que hacen uso de los recursos naturales renovables están, los proyectos solares fotovoltaicos para iluminación de viviendas, centros comunitarios, centros de salud y escuelas; así también educación telesecundaria, y refrigeración para vacunas. También se han hecho en menor escala proyectos de iluminación y telecomunicaciones con energía eólica. Además se empieza a vislumbrar un retorno al uso de pequeñas centrales hidroeléctricas, como ya se ha hecho en el pasado por algunas municipalidades (ejemplo, San Marcos, Tacaná, Cahabón, etc.)

1.2. Aprovechamiento de los recursos hidroeléctricos a filo de agua en el Quiché

La región ixil del Quiché cuenta con capacidad de hidro-generación a filo de agua que permitiría el desarrollo de un programa de electrificación de la región complementario al Plan Nacional de Energía. Aprovechamiento a filo de agua significa desviar una parte del caudal de un río o arroyo sin necesidad de utilizar una represa, para su utilización en el movimiento de una turbina.

El programa del Fideicomiso para la electrificación rural de administración INDE, no es garantía para una electrificación a corto plazo de las comunidades más alejadas de la región ixil, cuya futura electrificación dependerá de soluciones alternativas, que deben considerarse dentro de los esquemas de los recursos naturales renovables locales, como la hidro-generación a filo de agua.⁴

1.2.1. Ríos de la región ixil

Los cauces de los ríos Xacbal o Chajul, que fluye hacia el norte, y el Cotzal que fluye hacia el oriente, cortan la meseta de suave pendiente hacia el norte de Los Cuchumatanes. En la zona nor-oriental pasa el río Copón, en el municipio de Uspantán, que como afluente del río Negro ha reunido las aguas de los ríos Cotzal, el Desengaño y Concab que se unen para formar el río Putul, que se une con los ríos Zatán, Jute, Xabil y otros. Todos los ríos mencionados, en mayor o menor grado tienen configuraciones geográficas aprovechables para el rango de hidroeléctricas⁵.

Tanto en la sierra de Chamá como en los Cuchumatanes, al estar formados por roca caliza de naturaleza metamórfica, se forma un suelo de naturaleza cárstica. Este tipo de suelo se erosiona superficialmente por las corrientes de agua, pero también se erosiona verticalmente al producirse pozas durante las lluvias. Lo que crea en el proceso grandes cavernas que comunican las dolinas o siguanes que se observan en las grutas en donde nacen los ríos. Las laderas norte de los Cuchumatanes, manifiestan la presencia de muchas dolinas, que hacen presumir la existencia de grandes cavernas en el interior de la montaña, en la zona sur de San Juan Cotzal (vertiente sur del río Cotzal)⁶

1.2.2. Portafolio de proyectos micro hidroeléctricos con pre-factibilidad para la región ixil

Dentro del estudio de pre-inversión para micro hidroeléctricas en la región ixil, se determinaron 11 ubicaciones probables para proyectos micro hidroeléctricos, con una capacidad propuesta total de 7.145 MW; y potencias propuestas por sitio que van desde 250 kW, hasta 1.75 MW. El estudio se valió del análisis de los mapas a escala 1:50,000 del IGN, en las hojas denominadas “Ilom”, “Tzijaá”, “Nebaj” y “Uspantán” que contienen la información geográfica de la región ixil. En la figura 15 se muestra la integración gráfica de las cuatro hojas geográficas empleadas, en las cuales se ha determinado las cuencas de las once instalaciones propuestas.

Debido a que la medición de caudales en dichas ubicaciones se empezó en los inicios de la época de lluvias se realizó un estudio comparativo de acuerdo a los regímenes de precipitación pluvial, medidos en años anteriores, verificando así los caudales de estiaje medidos en el estudio. Vea en la tabla XVII, el detalle de los caudales de estiaje, diferencias de nivel aprovechables y la capacidad propuesta, para los once puntos detectados.

1.3. Aspectos geográficos generales

1.3.1. Ubicación y acceso

El departamento de Quiché se encuentra en la zona nor-occidental de la República y cuenta con un área aproximada de 8,378 km², colinda al norte con México; al este con los departamentos de Alta y Baja Verapaz; al sur con Chimaltenango y Sololá; al oeste con Totonicapán y Huehuetenango, y cuenta con 18 municipios. Las principales rutas nacionales son la RN-15, que proviene de Chimaltenango y Sololá, para llegar a la cabecera de Chajul; también la RN 07-W, que se origina en el departamento de Alta Verapaz, cruza el Quiché de este a oeste y termina en el departamento de Huehuetenango. Cuenta también con varias carreteras departamentales, municipales, roderas y veredas que unen sus municipios entre sí y con sus vecinos.

La región ixil pertenece al Quiché y se extiende en la meseta formada por las cordilleras de los Cuchumatanes, con alturas de hasta 3,100 metros en la zona sur, que la separa parcialmente de la cuenca del río Negro, hasta la sierra de Chamá, con alturas de 1,800 metros. La región ixil está conformada por los municipios, Cotzal, Chajul y Nebaj, cuyas extensiones territoriales son de: 182, 608, 1,523 km² respectivamente. La altitud y las coordenadas medidas por el Instituto Geográfico Nacional en el parque de la cabecera municipal de Chajul son 1,991.30 msnm, 15°29'03", 91°02'11" latitud y longitud.

1.3.2. Clima

En el departamento de Quiché predominan los climas frío y templado, habiendo también algunas zonas de clima cálido. El clima en el municipio de Chajul es característico de las zonas subtropicales y de ceja de montaña. Durante parte del año el área está cubierta de nubes y neblina, con fuertes precipitaciones que, por lo general, oscilan entre los 2,000 a 3,000 mm por año.

1.3.3. Topografía

Su aspecto físico es variado, presentando alturas de casi 3,000 msnm en la cordillera que atraviesa el departamento de oeste a este, como la estribación de la sierra de los Cuchumatanes, donde es menos pronunciada, diferenciándose por su marcada densidad de valles, su pronunciado relieve y el aparecimiento de formaciones que asemejan altiplanicies sobresaliendo de las elevaciones calcáreas de la Verapaz. La citada principal estribación se conoce por el lado norte como sierra de Chamá y por el sur, sierra de Chuacús. La topografía predominante es de tipo karst.

1.3.4. Recurso hídrico

El departamento de Quiché es rico en recurso hídrico entre los ríos con que cuenta se tienen: río Xacbal o Chajul que fluye hacia el norte, y el Cotzal que fluye hacia el oriente; en la zona nororiental pasa el río Copón, en el municipio de Uspantán, que como afluente del río Negro ha reunido las aguas de los ríos Cotzal, el Desengaño y Concab que se unen para formar el río Putul, que se une con los ríos Zatán, Jute, Xabil y otros.

1.3.5. Vegetación típica del lugar

En cuanto a las zonas de vida vegetal, se cataloga como bosque muy húmedo subtropical cálido. La región está forestada con especies de árboles decíduos (hojas caedizas) y coníferas; el área es apta para el cultivo del café.

1.4. Aspectos socioeconómicos de Chel

En el año 2000 la Fundación Solar, organización privada de desarrollo que promueve la utilización de la energía renovable para el desarrollo rural en Guatemala, recibió la solicitud por parte de la aldea Chel, de realizar un proyecto de electrificación en su comunidad; a partir de esta solicitud se inició un proceso de investigación y gestión para determinar la viabilidad y factibilidad de realizar un proyecto de hidroeléctrica, considerando que esta región cuenta con recursos hídricos adecuados.

Las comunidades Chel, Las Flores y Xesayí, pertenecen al municipio de Chajul, en la región ixil del Quiché, por su ubicación física pueden considerarse como una misma comunidad, pues están separadas por un máximo de 300 metros entre sí. Estas comunidades no cuentan con el servicio de energía eléctrica, encontrándose el SNI a más de 10 km. de distancia; sin embargo, cuentan en su cercanía con recurso hidroeléctrico que podría ser aprovechado. Para saber si un proyecto de micro hidroeléctrica, es funcional para estas comunidades es importante conocer su situación socioeconómica. Los datos que se presentan a continuación se clasificarán en: aspectos sociales y aspectos económicos.

1.4.1. Aspectos sociales

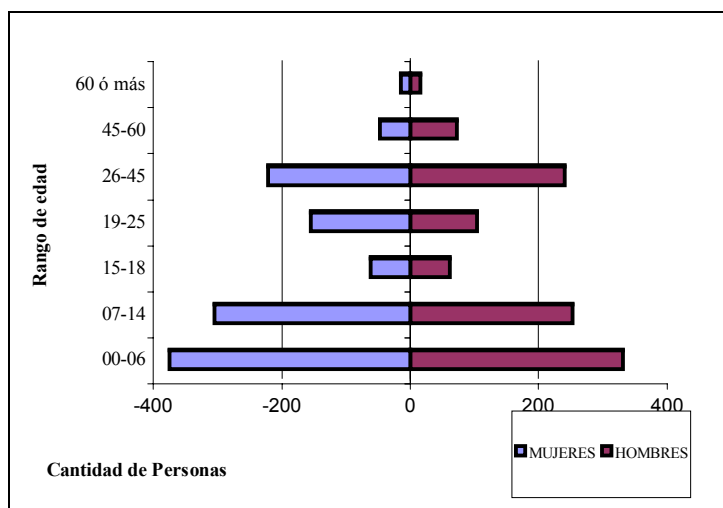
Entre los aspectos sociales se presentan características básicas de carácter demográfico, escolaridad y alfabetismo, grupos vulnerables, enfermos e idiomas que se hablan; esto dará un diagnóstico social de la comunidad.

Como síntesis se menciona que las comunidades de Chel, Las Flores y Xesayí son comunidades indígenas de la etnia ixil, que suman 2,258 habitantes y 432 viviendas. Estas comunidades fueron de las más afectadas por el conflicto armado interno, sufriendo una masacre en 1982. La mayoría de personas (87%) es monolingüe y practica el idioma ixil. Además, tienen un índice de alfabetismo menor al 50%.

▪ **Población y vivienda**

El total de sus habitantes es de 2,258 de los cuales el 52% son mujeres. El total de viviendas es de 432, siendo el promedio de habitantes por vivienda de 5.23, vea la tabla III. La región ixil fue una de las regiones más afectadas por el conflicto armado interno que inició en 1960 y se intensificó en los años ochenta, finalizando con la firma de la paz en 1996. Por su parte la comunidad de Chel sufrió una masacre en 1982, esto se refleja en su pirámide poblacional (figura 1) con una marcada disminución poblacional en los rangos de edades de los 18 a los 25 años.

Figura 1. Pirámide poblacional de Chel, Las Flores y Xesayí, 2001



Fuente: Fundación Solar / PNUD-GEF. Censo Poblacional de Chel, Las Flores y Xesayí. Guatemala, 2001. Anexo.

Tabla III. Población y vivienda de Chel, Las Flores y Xesayí, 2001

No.	Aldea	H	M	No. personas	No. viviendas
1	Chel	891	980	1871	351
2	Las Flores	161	161	322	67
3	Xesayí	27	38	65	14
	Totales	1079	1179	2258	432

Fuente: Adaptada de Fundación Solar / PNUD-GEF. Censo Poblacional de Chel, Las Flores y Xesayí. Guatemala, 2001. Anexo.

▪ **Escolaridad y alfabetismo**

La aldea Chel cuenta con una escuela primaria, donde asisten niños y niñas de las tres comunidades. En la tabla IV a continuación, se muestran datos de alfabetismo y nivel de escolaridad.

Tabla IV. Alfabetismo y nivel de escolaridad de Chel, Las Flores y Xesayí, 2001

Comunidad	Alfabetismo		Nivel de Escolaridad					
	alfabetos	analfabetos	ninguno	1-3 prim.	4-6 prim.	1-3 básico	4-6 diversif.	Univer-sitario
Chel	444	1427	1435	336	83	13	4	
Las Flores	68	254	249	51	22			
Xesayí	20	45	42	22	1			
Total	532	1726	1726	409	106	13	4	

Fuente: Adaptada de Fundación Solar / PNUD-GEF. **Censo Poblacional de Chel, Las Flores y Xesayí**. Guatemala, 2001. Anexo.

▪ **Grupos vulnerables**

Un 4% de la población pertenece a un grupo vulnerable (viudas, discapacitados, abandonados, etc.) Y 6% de la población reportó alguna enfermedad, siendo las principales: las respiratorias, infectocontagiosas, nerviosas, gastrointestinales y de desnutrición (vea la tabla V).

Tabla V. Grupos vulnerables y personas enfermas de Chel, Las Flores y Xesayí, 2001

No.	Aldea	Total de Personas	Grupo Vulnerable	Estado de Salud	
				Sanos	Enfermos
1	Chel	1871	82	1752	117
2	Las Flores	322	11	310	12
3	Xesayí	65	8	62	3
	Totales	2258	101	2124	132

Fuente: Adaptada de Fundación Solar / PNUD-GEF. **Censo Poblacional de Chel, Las Flores y Xesayí**. Guatemala, 2001. Anexo.

- **Idioma**

El idioma predominante en las tres comunidades es el ixil, siendo monolingües el 87% de las personas habitantes; de éstas, 6 de cada 10 son mujeres. El bilingüismo predominante es el ixil-castellano, también se habla en menor escala el quiché y kanjobal.

1.4.2. Aspectos económicos

Este segmento tiene como fin dar un diagnóstico de las características económicas básicas de las comunidades de Chel, Las Flores y Xesayí. Se presenta información sobre: actividades económicas de las familias, niveles de ingresos, gastos en iluminación y energía (que consiste en el uso de candelas, gas, ocote y baterías) y situación patrimonial. Como síntesis se menciona que estas comunidades se dedican principalmente al cultivo de café, y maíz para autoconsumo; y que los niveles de ingresos familiares mensuales de alrededor del 50% de los casos está en un rango de Q 0 a Q 200; además, alrededor del 90% se encuentra por debajo del salario mínimo en el área rural de Q 900*, con lo cual las familias se encuentran en estado de pobreza y pobreza extrema.

- **Actividades económicas**

La actividad económica principal de las familias de las comunidades de Chel, Las Flores y Xesayí es la agricultura, y su principal cultivo es el café; así también cultivan maíz para autoconsumo. Los ingresos de estas familias provienen principalmente de salarios por jornales que realizan en fincas vecinas, unos pocos en la costa sur, y otros con vecinos de la localidad; esto se hace de forma intermitente durante todo el año.

* Salario mínimo en el año 2001, cuando se realizó el censo poblacional de Chel, Las Flores y Xesayí.

Así también otros se dedican a sus propios cultivos de café en pequeña escala. Dentro de estas comunidades también se realizan labores de carnicería, carpintería, comercio, sastrería, tiendas de abarrotes, molinos de nixtamal, así también algunos pocos son asalariados formales como los maestros, promotores de educación y promotores de salud.

▪ **Ingresos familiares y su relación con gastos de iluminación y energía (I&E)**

El 80% de familias están dentro del rango de ingresos mensuales de Q 0 a Q 500 (vea tabla VI) con un promedio de gastos en iluminación y energía de Q 27 al mes, que representa un 15% de sus ingresos. Por otro lado, tanto las familias que tienen ingresos entre Q 500 y Q 1000 (14% del total) y las familias dentro del rango de Q 1000 a Q 1500 (4% del total) gastan en promedio Q 38 y Q 37 respectivamente en I&E, lo cual representa un 6% y un 3% de sus ingresos respectivamente. Por último, un 2% de las familias tienen ingresos mayores a Q 1500 y sus gastos en I&E ascienden en promedio a Q 70 mensuales.

Tabla VI. Relación de gastos en iluminación y energía e ingresos de Chel, Las Flores y Xesayí, 2001

Rango de ingresos en quetzales	Ingresos promedio (Q)	Frecuencia	Frecuencia relativa acumulada	Promedio de gastos de I&E en quetzales	Relación (Q) Ingresos/Gastos I&E
0 – 500	181	331	80%	27	15%
500 – 1000	667	56	94%	38	6%
1000 – 1500	1168	18	98%	37	3%
1500 –	3066	10	100%	70	2%
Total (*)		415			

Fuente: Adaptada de Fundación Solar / PNUD-GEF. **Censo Poblacional de Chel, Las Flores y Xesayí**. Guatemala, 2001. Anexo. (*) El total de familias considerado fue de 415 debido a que los restantes 17 no reportaron sus ingresos familiares.

Para obtener una imagen más precisa de las familias con ingresos de Q 0 a Q 500 se realizó la tabla VII que se presenta en la siguiente página; en dicha tabla la frecuencia relativa acumulada se presenta en base al total de familias (415) es por esto que su último rubro es 80% y no 100%.

En la tabla VII se muestra que el 53% de familias no sobrepasa los Q 200 en ingresos mensuales; de las cuales 23% tiene ingresos menores o iguales a Q 100 y el otro 30% tiene ingresos entre Q 100 y Q 200; éstos gastan en promedio Q 21 y Q 27 por concepto de I&E respectivamente; lo cual representa un 33% y un 19% de sus ingresos respectivamente.

Tabla VII. Distribución del rango de ingresos de Q 0 a Q 500 y su relación con los gastos de iluminación y energía

Rango de ingresos en quetzales	Promedio ingresos en quetzales	Frecuencia	Frecuencia relativa acumulada (*)	Promedio de gastos de I&E en quetzales	Relación ingresos/gastos I&E
0 – 100	64	94	23%	21	33%
101 – 200	145	124	53%	27	19%
201 – 300	248	60	67%	35	14%
301 – 400	355	31	74%	33	9%
401 – 500	461	22	80%	30	7%
Total		331			

Fuente: Adaptada de Fundación Solar / PNUD-GEF. **Censo Poblacional de Chel, Las Flores y Xesayí**. Guatemala, 2001. Anexo. (*) La frecuencia relativa acumulada está calculada en base al total 415 familias.

▪ Situación patrimonial

La mayoría de las familias viven en casa propia de paredes de madera y techo de lámina; en menor cantidad existen viviendas de paredes de adobe, caña o block. Algunas viviendas tienen techo de madera (vea tabla VIII).

Tabla VIII. Características de las viviendas de Chel, Las Flores y Xesayí, 2001

No.	Aldea	Total de Viviendas	Tenencia			Paredes				Techo		
			Alquilada	Propia	Usufructo	Madera	Block	Adobe	Caña	Lámina	Madera	Otro
1	Chel	351	17	319	4	299	3	35	11	318	9	12
2	Las Flores	67	5	60		57		2	5	64		1
3	Xesayí	14	1	12		14				13		1
Totales		432	23	391	4	370	3	37	16	395	9	14

Fuente: Adaptada de Fundación Solar / PNUD-GEF. **Censo Poblacional de Chel, Las Flores y Xesayí**. Guatemala, 2001. Anexo.

Actualmente las comunidades cuentan únicamente con los servicios de agua entubada (81%) y letrinas (90%) también un 46% aproximadamente manifestó tener otros servicios. Ninguna de las tres comunidades cuenta con el servicio de energía eléctrica, lo cual motiva el presente estudio. A continuación, en la tabla IX se presentan los bienes reportados por los habitantes de dichas comunidades a través del censo realizado.

Tabla IX. Bienes patrimoniales de Chel, Las Flores y Xesayí, 2001

Aldea	No. de entrevistados	Terrenos	Casas	Animales	Negocio	Otro
Chel	351	302	319	98	27	151
Las Flores	67	58	60	9	4	20
Xesayí	14	9	12	3		11
Totales	432	369	391	110	31	182

Fuente: Adaptada de Fundación Solar / PNUD-GEF. **Censo Poblacional de Chel, Las Flores y Xesayí**. Guatemala, 2001. Anexo.

2. ESTUDIO DE MERCADO

El estudio de mercado es uno de los principales análisis que deben realizarse para determinar la factibilidad de un proyecto; con el cálculo de la demanda y determinación del precio, será posible luego proyectar el flujo de ingresos. Así también el análisis de la oferta nos ayuda a entender el entorno del proyecto, la competencia, o los factores aleados. En el presente estudio no se analizarán los canales de comercialización, por la naturaleza del producto, la electricidad; sin embargo, se hará un análisis de los beneficios potenciales que conllevará la realización de la MCH Chel.

2.1. Antecedentes de los mercados eléctricos rurales

En términos generales los mercados eléctricos en áreas rurales se caracterizan porque sus actividades comerciales e industriales son incipientes, por otro lado el uso de aparatos eléctricos dentro de los hogares es escaso, con lo cual la demanda eléctrica por hogar es reducida, esta situación comúnmente va cambiando según el grado de urbanización de las poblaciones.

A menos que se trate de una situación extraordinaria, una baja demanda de energía eléctrica, en términos de consumo por vivienda, negocio o comercio, siempre caracterizará a una comunidad recién electrificada y por lo general, a una comunidad rural, en donde según Yax los consumos van de 20 a 125 kWh por mes⁷.

La demanda de energía eléctrica por hogar podría ser inferior, según el sondeo de mercado realizado por Fundación Solar en la comunidad de Santa Avelina, comunidad de la región ixil con características similares a Chel y con dos años de tener el servicio eléctrico del SNI, donde se encontró que la mayoría de usuarios consumen únicamente 10 kWh/mes. Esta situación hace poco atractiva la inclusión de muchas comunidades rurales en los planes de extensión de redes eléctricas de las empresas eléctricas privadas.

2.2. Características principales del servicio de energía eléctrica

Existen dos características principales con las que se mide la demanda del servicio de energía eléctrica, éstas son: 1) la demanda de energía eléctrica y 2) la demanda de potencia en las horas pico. De estos factores dependerá el tamaño del sistema de micro hidrogenación, ¿qué capacidad debe tener el sistema de generación eléctrica, según las necesidades de los usuarios? Por otro lado, la demanda de energía y potencia, influyen en el sistema de precios a establecer, y por ende en la proyección de ingresos de la empresa.

2.3. Demanda de energía eléctrica

La MCH Chel surge como solución a la demanda del servicio de energía eléctrica residencial de las comunidades de Chel, Las Flores y Xesayí, con un total de 440 usuarios residenciales. Por otro lado, también se investigaron las posibilidades de aprovechar la energía eléctrica para actividades productivas, comerciales, institucionales y agroindustriales, que podrían requerir de la energía eléctrica para hacer sus procesos más eficientes y mejorar la calidad de sus productos. Como se demuestra más adelante, se descubrió que, ante la situación económica actual de dichas comunidades, la demanda eléctrica fuera de la residencial, no es muy representativa, ni se tiene la seguridad de que ocurra en la operación del proyecto.

Tabla X. Resumen estimación demanda de energía anual MCH Chel

Tipo de usuario	Energía (kWh/año)	(%)
Residencial	123,288	100%
Comercial	18,000	15%
Agroindustrial	6,000	5%
Institucional	2,000	2%

En el análisis de demanda se clasificaron los usuarios en cuatro tipos: a) Usuarios residenciales, b) Usuarios comerciales, c) Usuarios agroindustriales, y d) Usuarios institucionales. Los totales de la cuantificación de demanda de energía según los tipos de usuario se presentan anteriormente en la tabla X, más adelante se presenta el detalle de estos cálculos.

Según la cuantificación de la demanda de energía anual, el tipo de usuario más representativo para la MCH Chel es el usuario residencial, en base al cual se hizo una comparación con los demás tipos de usuario; la demanda comercial representa un 15% de la demanda residencial, encontrándose como principales cargas los molinos de nixtamal y herramientas de carpintería; sin embargo, este uso productivo de la electricidad no es seguro, ya que esto implicaría que los comerciantes cambien su equipo accionado con diesel, por equipo accionado con energía eléctrica, lo que les representa una inversión adicional; o bien se supone que los carpinteros y demás comerciantes adquieran herramienta y equipos eléctricos, lo cual también requiere de una inversión adicional.

También se ve que la demanda de energía agroindustrial anual estimada representa únicamente un 5% de la demanda residencial, esta demanda está constituida por un único usuario, la Asociación Chajulense, que se dedica al procesamiento artesanal de café. Por último, la demanda menos significativa es la de las instituciones representando sólo un 2% de la demanda residencial, y constituida principalmente por ocho iglesias existentes en las comunidades en estudio.

Por lo tanto, la demanda de energía real más segura e importante para la evaluación del proyecto es la residencial, puesto que cuando empiece a operar el proyecto se contará efectivamente con los 440 usuarios residenciales; no así la demanda comercial y agroindustrial, las que son supuestas y requieren de un esfuerzo extra para efectuarse; por último, la demanda institucional no es representativa.

2.4. Demanda de potencia pico

Para cuantificar la demanda de potencia se hizo una estimación de las cargas eléctricas que los diferentes usuarios utilizarán en las horas pico. Para las tres comunidades, el punto más alto de demanda de potencia (demanda pico) ocurrirá cuando las personas necesiten iluminación en sus hogares, de 4:00 a 7:00 y de 17:00 a 21:00 horas, éste constituye el horario pico. En la tabla XI se presenta el resumen de la cuantificación de demanda de potencia pico de los tipos de usuarios definidos.

Tabla XI. Resumen demanda de potencia pico según tipo de usuario MCH Chel

Tipo de usuario	Potencia pico (kW)
Residencial	77
Institucional	3
Comercial	9
Agroindustrial	0
Total	89

Con la participación de todos los usuarios definidos, se tiene un requerimiento de potencia de 89 kW, esto define la capacidad que requiere la planta de micro hidrogenación. Para la estimación de la demanda residencial se asumieron lámparas de 75W.

2.5. Perfil de los tipos de usuarios

En base a investigaciones realizadas tanto en las comunidades de Chel, Las Flores y Xesayí, como en la comunidad de Santa Avelina, y fuentes secundarias de información, se definieron los perfiles eléctricos de los posibles usuarios residenciales, institucionales, comerciales y agroindustriales, como se muestra a continuación.

2.5.1. Usuarios residenciales

A través de reuniones de organización comunitaria realizadas por Fundación Solar, fueron determinados 440 futuros usuarios residenciales del servicio de energía eléctrica. Para realizar un cálculo más acertado de la demanda de energía y potencia de estos usuarios, fueron clasificados según sus niveles de ingresos familiares en tres tipos: Residencial A, Residencial B y Residencial C. En la siguiente tabla se presentan las principales características de cada tipo de usuario residencial.

Tabla XII. Perfil socioeconómico y demanda de electricidad de usuarios residenciales clasificados por niveles de ingresos familiares*(Q/mes)

Descripción	Unidad	Residencial A 0-500	Residencial B 500-1000	Residencial C 1000-	Totales y promedios
Proporción poblacional perteneciente al grupo (*)	(%)	80	13	7	100
Usuarios potenciales del servicio de E.E. (*)	Usuarios	352	57	31	440
Promedio de ambientes por vivienda (**)	Ambientes	2	3	4	-
Uso que se le dará a la electricidad (**)	-	Iluminación y radio	Iluminación, radio y plancha	Iluminación, radio y plancha	-
Demanda esperada de energía por vivienda	kWh/mes	21	30	38	23
Demanda esperada de potencia por vivienda	kW	0.16	0.28	0.41	0.19
Demanda esperada de energía anual	kWh	88,704	20,417	14,173	123,295
Potencia esperada en las horas pico (***)	kW	55.00	13.00	10.00	78

Fuente (*): Adaptada de Fundación Solar / PNUD-GEF. **Censo Poblacional de Chel, Las Flores y Xesayí**. Guatemala, 2001. Anexo.

Fuente (**): En base a datos recopilados por Fundación Solar. 2002.

Fuente (***) : Para el cálculo de potencia en horas pico se consideraron las lámparas y radios.

En la tabla anterior se puede observar que el 80% de usuarios residenciales (residencial A) se encuentra dentro del rango de ingresos de Q 500 o menos, por lo que existe una alta concentración de usuarios dentro del rango de ingresos más bajo. Estos usuarios representan la mayor demanda de energía para la MCH Chel, con un estimado de 21 kWh/mes cada uno. No obstante se encontró en la comunidad de Santa Avelina, comunidad de la región con dos años de contar con servicio eléctrico de la red, que la mayoría de personas entrevistadas, con ingresos por familia de Q 500 o menos, consume no más de 10 kWh/mes, esto nos alerta de que podría ocurrir una situación similar en Chel.

Las familias de Chel, Las Flores y Xesayí presentan ciertas tendencias en sus características socioeconómicas y eléctricas, según el rango de ingresos al que pertenecen: el usuario residencial A, tiene en promedio dos ambientes por vivienda, el usuario B tres ambientes, y el usuario C tiene cuatro; esto va directamente relacionado al número de lámparas que utilizarán las viviendas, correspondiendo una lámpara para cada ambiente; las lámparas son las cargas más significativas de los usuarios rurales. Aparte, según la información obtenida mediante el sondeo de mercado, se detectó que la mitad de los usuarios A utilizarán un radio, y casi la totalidad de los usuarios B y C. También habrá un leve uso de planchas por los usuarios B y C (vea la figura 4 en donde están las tablas con los cálculos realizados). No se incluyó el uso de refrigeradoras debido al nivel de pobreza de las familias y ubicación; tampoco se incluyó el uso de televisores pues no hay señal televisiva.

2.5.2. Usuarios comerciales y talleres de oficios

Además de la agricultura, en las comunidades también existen personas que se dedican a otras labores productivas como: carniceros, carpinteros, sastres y artesanos; quienes a través de la MCH tendrán la disponibilidad de hacer más eficientes sus actividades productivas con el uso de equipo y herramienta eléctrica.

A continuación se presenta una tabla con la demanda de energía y potencia eléctrica para usos productivos, con el supuesto que las personas que actualmente tienen algún oficio (carpintería) o negocio (tiendas, carnicerías, etc.), adquieren herramientas y aparatos eléctricos; o bien cambian las actuales herramientas manuales o de motor diesel, por herramientas eléctricas. Vea los cálculos en la figura 5.

Tabla XIII. Demanda de potencia y energía eléctrica para actividades productivas proyecto Chel

Actividad / Oficio	No.	Cargas eléctricas a utilizar	Potencia unitaria (kW)	Potencia pico (kW)	Energía (kW-h/año)
Carniceros	2	Refrigeradora	0.3	0.60	864
Carpinteros	4	Torno/cepillo	5.59	-	8054
Sastres	2	Máquina de coser	0.2	0.40	144
Tiendas	2	Refrigeradora	0.3	0.60	864
Molinos de nixtamal	2	Molino eléctrico	3.73	7.46	8054
Totales	-	-	-	9.06	17,980

Fuente: Estimaciones realizadas en base a datos recopilados en las comunidades de Chel, Las Flores y Xesayí, por Fundación Solar en el 2002.

Se debe procurar que los usos productivos de la electricidad no interfieran con las horas pico; sin embargo, algunas cargas destinadas a labores productivas podrían coincidir con las horas pico, se estima que éstas son: refrigeradoras para las carnicerías y tiendas, máquinas de coser y molinos eléctricos, que en su conjunto suman 9.06 kW, como se muestra en la tabla anterior. El consumo de energía estimado, si los comercios y talleres de oficio actuales hacen uso productivo de la electricidad es de 17,980 kWh, que representa aproximadamente un 15% de la demanda de energía residencial.

2.5.3. Usuarios agroindustriales

Actualmente en las comunidades de Chel, Las Flores y Xesayí, la principal actividad productiva es el cultivo de café; encontrándose en Chel la Asociación Chajulense, la cual hace beneficiado artesanal. Esta asociación utiliza maquinaria eléctrica que es accionada con una planta diesel. La temporada de cosecha de café es de noviembre a mayo y en promedio se producen 10,000 quintales de café por temporada.

Se cuenta con la siguiente maquinaria: una despulpadora y una desmusiladora, de 3.5 H.P. (2.61 kW) y 15.3 H.P. (11.41 kW) respectivamente. La capacidad de producción de estas máquinas es de 20 quintales y 40 quintales por hora, respectivamente. La suma de potencias de estas máquinas incluyendo sus accesorios eléctricos es de 18 kW, y teniendo una demanda de energía de 5,986 kWh por temporada. Por otro lado, la Asociación Chajulense trabaja en horario de 7:00 a 17:00 horas, por lo que no interferiría con las horas pico.

2.5.4. Usuarios institucionales

Dentro de los usuarios residenciales se investigó el consumo de oficinas, escuelas, e iglesias; sin embargo, las instituciones que representan la mayor demanda de potencia y energía son las iglesias. Actualmente existen 8 iglesias en Chel, Las Flores y Xesayí; las cargas eléctricas que utilizan son principalmente para iluminación y sonido; que funcionan actualmente con motores diesel y baterías desechables. Entre los aparatos de sonido utilizados están: bocinas, guitarras eléctricas y teclados. Según cálculos realizados, cada iglesia en Chel consume en promedio 21 kWh/mes, y tiene una demanda de potencia máxima de alrededor de 1 kW. Durante las horas pico las iglesias en total tendrán una participación de 3 kW de potencia, por su horario nocturno. Su consumo energético anual total se estima en alrededor de 2,000 kWh/año.

2.6. Oferta de energía

El análisis de la oferta energética para el caso de Chel, Las Flores y Xesayí, lo constituye básicamente la posibilidad que tienen actualmente de ser incorporadas al SNI, y por otro lado, la energía sustituta de la electricidad, que actualmente utilizan las familias, para iluminación, entretenimiento, y usos productivos tales como: candelas, candiles, baterías y plantas diesel. A continuación, se desarrolla el análisis de la oferta.

2.6.1. Servicio del SNI

La región ixil no se electrificará completamente a través del fideicomiso de administración INDE, a pesar de que en una de las premisas establecidas en los Acuerdos de Paz se estableció proveer de energía eléctrica a las regiones rurales, preferentemente a aquellas involucradas en el conflicto armado ocurrido en el país.

Las comunidades de Chel, Las Flores y Xesayí, pertenecientes a la parte norte de la región ixil tienen escasas esperanzas de ser conectadas a la red interconectada nacional de electricidad, debido a que no aparecen en los planes de electrificación rural del fideicomiso de administración INDE, en donde, se atiende sólo la parte sur de la región ixil, considerando que aún para esa zona geográfica las líneas de conducción son ya demasiado extensas, teniendo en cuenta que los centros de generación se concentran en el sur-oriente del país⁸. Esto último se confirma al escuchar las quejas y comentarios de los habitantes de Nebaj (al sur de Chajul) sobre el mal servicio eléctrico, los apagones y bajones de voltaje que padecen con regularidad.

2.6.2. Formas tradicionales del uso de la energía

Según la encuesta de mercado, realizada en las comunidades de Chel, Las Flores y Xesayí, actualmente las familias utilizan fuentes energéticas tradicionales para uso residencial y usos productivos. Los usos residenciales se limitan a iluminación, para lo cual utilizan velas, gas y ocote; y radio para lo cual utilizan baterías desechables. Se estima que alrededor del 60% de las personas de dichas comunidades utiliza radio.

Con respecto al uso productivo de la energía, se utilizan velas cuando se requiere de iluminación por las noches para escoger el café, en un período de dos meses y medio; las condiciones en que se hace esta tarea es incómoda debido a la mala calidad de iluminación, y vulnerabilidad de apagarse las velas con el viento. Algunas pocas familias poseen pequeñas plantas diesel para operar máquinas despulpadoras de café y molinos de nixtamal.

Como dato de referencia se tiene que según cálculos realizados para la comunidad de Unión 31 de Mayo, ubicada en el municipio de Uspantán, Quiché, un molino de nixtamal accionado con motor diesel, tiene un costo mensual por concepto de combustible de Q 300 mensuales, (incluyendo el transporte) consumiendo ½ galón de diesel por día. Según el censo realizado la mayor cantidad de población concentra su gasto mensual en iluminación y energía, entre Q 10 y Q 30; oscilando los gastos mensuales promedio por este concepto entre Q 7.40 a Q 325.

Lo anterior nos indica que las posibilidades de pago de las familias por concepto de iluminación y energía, se concentra entre Q 10 y Q 30 por mes, que es lo que actualmente gastan.

2.7. Precio de la energía

El establecimiento del precio de la energía, o cuota del servicio eléctrico del proyecto MCH Chel es crucial para su éxito o fracaso. Por un lado se requiere que la MCH sea autosostenible, es decir que con los ingresos generados por la prestación del servicio, se cubran sus costos de operación y mantenimiento; sin embargo, se debe asegurar que los usuarios estarán en la posibilidad de pagar sus cuotas, para que no se prescinda del servicio por incapacidad de pago o se den casos de morosidad. Este es un gran reto si se considera que las familias usuarias son pobres y extremadamente pobres, teniendo una capacidad limitada de pago, por lo que la estructura de precios deberá ser acorde a sus posibilidades.

2.7.1. Marco legal del establecimiento de la tarifa eléctrica

La fijación de precios de la energía eléctrica para la Asociación Hidroeléctrica Chelense (AHC), la entidad que administrará el proyecto MCH Chel, no está sujeta a autorización por parte de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), ni al Administrador del Mercado Mayorista (AMM) debido a que no llega a la capacidad mínima para ser reconocida como agente del mercado, para lo cual las empresas distribuidoras deben tener al menos 20,000 usuarios, y las empresas generadoras deben tener una capacidad mínima de 10 MW, según el Artículo 39 del Reglamento de la Ley General de Electricidad (Decreto 93-96).

La MCH Chel al concebirse como una planta aislada de 165 kW (como se define en la página 33) con red local y que contará inicialmente con 440 usuarios del servicio, está respaldada por la Ley General de Electricidad (Decreto 93-96) que dicta que en consideración a que el Estado no cuenta con la capacidad para cubrir la creciente demanda de servicio eléctrico, y a que la Constitución (Art. 129) declara de urgencia nacional la electrificación del país, se liberalizó el mercado eléctrico en 1996 a través de la nombrada ley. Esta ley tiene como fin agilizar y optimizar el crecimiento del subsector a través de la inversión privada en empresas de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.

La AHC al no ser reconocida por la CNEE, tampoco puede optar al subsidio otorgado a través de la tarifa social, y no está facultada para cobrar una tarifa por el consumo eléctrico, sino más bien debe obtener una compensación para cubrir sus costos de operación y mantenimiento.

2.7.2. Precio de la energía

Para la fijación del precio de la energía se considerará el cálculo del costo unitario de la energía (CUE) que consiste en la división de los costos totales anuales, dentro del consumo de energía anual estimado, esto nos da un resultado en quetzales por kilovatio hora. Vea la fórmula 1 a continuación.

$$\text{CUE [Q/kWh]} = \frac{\text{Costo total anual [Q]}}{\text{Consumo de energía anual [kWh]}} \quad \text{Fórmula 1}$$

Para calcular el CUE, también puede utilizarse la fórmula siguiente⁹:

$$\text{CUE [Q/kWh]} = \frac{\text{Costo de O\&M + Cuota anual préstamo [Q]}}{\text{Potencia instalada * 8640 h/año * factor de planta [kWh]}} \quad \text{Fórmula 2}$$

Tomando los datos de potencia instalada (165 kW) y factor de planta (9%) de las páginas 33 y 40 respectivamente, y el dato del costo total anual de Q 157,000 (aproximado) de la página 61, se obtiene que el CUE es igual a Q 1.27/kWh, vea este cálculo en la página 65.

Sin embargo, si se establece una estructura de cobro basada en una cuota por kWh consumido se corre el riesgo de que ante fluctuaciones en la demanda estimada no se lleguen a cubrir los costos de operación y mantenimiento, ya que en el caso de micro centrales hidroeléctricas los costos anuales no dependen de los kilovatios hora vendidos, sino tienen una naturaleza fija, esto conlleva la necesidad de asegurar la cobertura de los costos totales anuales, sin depender de las fluctuaciones en el consumo de energía. Por lo tanto, para la MCH Chel conviene la fijación de una cuota base por usuario que cubra los costos totales anuales, la cual se calculó en Q 30.00/mes por usuario que cubrirá 30 kWh/mes es decir Q 1.00/kWh.

A través del pago de la cuota base la mayoría de usuarios cubrirá sus necesidades eléctricas, luego se cobrará un precio por kilovatio hora extra de Q 0.50/kWh. Este precio de kilovatio hora extra se fijó con el criterio de proveer energía barata para incentivar los usos productivos de la electricidad, procurando que la electricidad sea competitiva en comparación a los combustibles que se utilizan actualmente como el diesel. Por lo tanto, para el cobro del servicio eléctrico en Chel, se propone el siguiente esquema:

$$\begin{aligned} \text{Cuota por servicio eléctrico (Q/mes)} &= \text{Cuota base} + \# (\text{kWh extra}) * \text{Precio (kWh extra)} && \text{Fórmula 3} \\ &= \text{Q30.00} + \# \text{ kWh extra} * \text{Q0.50 / kWh extra} \end{aligned}$$

▪ **Perspectiva de los usuarios para la fijación de la cuota base**

El establecimiento de la cuota base de Q 30.00 por mes como cobro por el servicio eléctrico se encuentra dentro del rango de gastos en iluminación y energía que actualmente gasta la mayoría de la población que está entre Q 10.00 y Q 30.00 por mes, según datos del censo.

Por otro lado Q 30.00 por mes se considera una cuota alta según el sondeo de mercado, en donde los entrevistados que pertenecen al rango de ingresos familiares de Q 500 o menos, manifestaron una voluntad de pago de hasta Q 20.00/mes (éstos representan el 80% de los futuros usuarios).

2.8. Beneficios potenciales para las comunidades

La energía es un factor vital para la vida y para el desarrollo de las sociedades, el servicio de energía eléctrica ha sido determinante para el mejoramiento en la cantidad y calidad de vida de los núcleos sociales a través del tiempo; sin embargo, aún en el año 2004, no todos los pueblos tienen acceso a este servicio, encontrándose así excluidos de beneficios que les den oportunidades para salir del subdesarrollo.

Organizaciones nacionales y de la cooperación internacional enfocan sus esfuerzos en dar a comunidades aisladas acceso a servicios energéticos. Según el programa del *Thematic Trust Fund* de PNUD sobre energía para el desarrollo sostenible, son requeridas estrategias e intervenciones, para promover la energía como motor de crecimiento económico equitativo y desarrollo sostenible, por lo tanto, son necesarios nuevos enfoques para la entrega de servicios energéticos.

A continuación se presenta un análisis, en base a las comunidades de Chel, Las Flores y Xesayí, sobre los beneficios de desarrollo que les puede traer la energía eléctrica.

2.8.1. Crecimiento económico

La electricidad es un factor clave para el crecimiento económico, la generación de ingresos y empleos, actividades industriales, comerciales, del sector de servicios, comunicaciones y transporte. Para las comunidades Chel, Las Flores y Xesayí se han detectado los siguientes beneficios económicos:

- **OLAPE**

La OLAPE es un innovador concepto empresarial, sus siglas significan organización local para la administración de proyectos de energía, consiste en la formación de micro-empresas rurales para la administración del servicio eléctrico en sus comunidades, basándose en el aprovechamiento de los recursos energéticos naturales locales. Este concepto implica un fuerte fortalecimiento de la capacidad empresarial de las comunidades, permitiéndoles la adquisición de nuevos conocimientos y destrezas y la generación de empleos.

- **UPE**

Estas siglas significan usos productivos de la electricidad. Si bien la electricidad implica comodidad para las familias en cuanto a mejoramiento en la calidad de iluminación, acceso a medios de comunicación, información y entretenimiento; se requiere también para la sostenibilidad del proyecto y para un cambio en el estatus económico de las familias hacer usos productivos de la electricidad. De esta forma se incrementa el consumo de la energía eléctrica permitiendo mayores ingresos a la micro-empresa eléctrica y aumento en la productividad de las micro-empresas existentes, surgimiento de nuevas oportunidades de negocio y mejoramiento de su competitividad al automatizarse los procesos productivos.

2.8.2. Incremento en la equidad

En todo el mundo las familias más pobres gastan un mayor porcentaje de sus ingresos en servicios energéticos. Baterías de celdas secas, kerosén y velas proveen energía de baja calidad y de alto costo a los pobres.

Esto se pudo observar también dentro de las comunidades en estudio, donde para las familias más pobres, el gasto en iluminación y energía es un 33% de sus ingresos y para las más adineradas es un 2%. Así también según revela el PNUD “las fuerzas del mercado por sí solas no cubrirán las necesidades energéticas de los pobres” A través del proyecto Chel se permitirá la equidad al proveer de energía eléctrica a comunidades que de otra forma no lo obtendrían.

2.8.3. Ambiente

Las opciones de combustible y los patrones de generación, distribución y consumo de energía, tienen impactos negativos directos en el ambiente de la localidad, de la región y a nivel global. Al instalar una planta micro-hidroeléctrica, se interpreta a nivel global en el marco del mercado de carbono, como una alternativa a una planta diesel, ahorrando emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y mitigando el cambio climático. A nivel local se evita contaminación por ruido y contaminación del aire.

El agua como recurso natural recibe un valor agregado al ser utilizada para generación de energía eléctrica, esto podría influir a una mejor conservación y manejo de la cuenca. Además, el uso del recurso hidroeléctrico a filo de agua causa mínimo impacto al ambiente al no provocar inundaciones, y devolver el caudal tomado aguas abajo.

2.8.4. Otros beneficios

Otros beneficios que conlleva este tipo de proyecto son: oportunidades de desarrollo para mujeres, esto se debe a que las tareas del hogar demandan energía para diversos usos como, cocinar, acarreo de agua, calidad de iluminación en el hogar, etc., descentralización de la gobernanza del uso de los recursos locales, beneficios de salud, información y comunicaciones y mitigación de crisis.

3. ESTUDIO TÉCNICO

3.1. Localización

3.1.1. Macro localización

Las comunidades del norte de la región ixil, específicamente en Chajul, no tienen acceso al servicio de energía eléctrica por su lejanía y difícil acceso; sin embargo, esta región cuenta con recursos hídricos que pueden ser aprovechados para generación eléctrica. Al firmarse los Acuerdos de Paz en 1996 se iniciaron esfuerzos por parte del Gobierno, organizaciones no gubernamentales y la cooperación internacional para compensar o incentivar el desarrollo en las comunidades más afectadas por el conflicto armado interno. Fundación Solar inició su trabajo en la región ixil zonapaz en el año 2000 a través del proyecto "Desarrollo de micro empresas para energía renovable en el Quiché" financiado por el Fondo Mundial de Medio Ambiente (GEF) a través del PNUD.

3.1.2. Micro localización

Las comunidades de Chel, Las Flores y Xesayí ubicadas en Chajul recurrieron a Fundación Solar para solicitar la introducción de energía eléctrica en sus comunidades a través de sistemas alternativos al SNI, Fundación Solar detectó potencial hidroeléctrico para atender la demanda de dichas comunidades utilizando el arroyo Xesayí que corre paralelo a la comunidad del mismo nombre. Además encontró voluntad política por parte de la cooperación internacional y el Gobierno para financiar proyectos de desarrollo en esta región.

La aldea Chel se ubica en el municipio de Chajul, Quiché, tiene coordenadas de 15°38'24" latitud y 91°04'10" longitud, y una altitud de 1000 msnm. Se ubica a 32 km al norte por camino de terracería de la cabecera municipal hasta el cruce con el camino que va a la finca La Perla, luego continúan 7 km a pie por camino de herradura en malas condiciones durante época de lluvias. Justo antes de Chel se encuentra la comunidad de Las Flores, estando separadas únicamente por el río Chel, que fluye en dirección sur oriente hasta desembocar en el río Xaclbal o Cotzal. Aproximadamente a 300 metros de Chel se encuentra la comunidad de Xesayí, que cobra su nombre por encontrarse a lo largo de las márgenes del arroyo Xesayí afluente del río Chel. Es este arroyo que presenta potencial para la implementación de una micro central hidroeléctrica que supla de electricidad a estas comunidades.

A continuación se describe la evaluación del potencial hidráulico del arroyo Xesayí, y la propuesta de diseño del sistema para la micro central denominada Chel, por ser la comunidad de Chel la más grande de las comunidades a atender a través de este proyecto.

3.2. Potencial hidráulico

El potencial hidráulico depende de dos factores, la diferencia de nivel o altura que proporciona energía potencial, y el caudal de flujo hídrico, que proporciona energía cinética, ambos factores combinados dan el potencial hidro-energético o hidráulico; que determina la capacidad para mover una turbina que puede ser utilizada para generar electricidad o para hacer algún trabajo mecánico.

3.2.1. Caudal aprovechable

El caudal es una característica de la mecánica de fluidos que nos indica la masa de agua que pasa por cierta área por unidad de tiempo.

Según las mediciones de caudal realizadas por Fundación Solar en el arroyo Xesayí, se registró un caudal máximo de 9,000 litros/segundo para 0.25 meses al año, un caudal normal de 600 litros/segundo para 10.75 meses al año; y un caudal mínimo de 420 litros/segundo para 2.00 meses al año. El caudal de diseño de la micro central hidroeléctrica Chel es de 360 litros/segundo, que es menor al caudal mínimo medido, esto asegura tener una disponibilidad del caudal de diseño el 100% del tiempo.

3.2.2. Caída aprovechable

Para la micro central hidroeléctrica Chel se midió una caída bruta de 100.96 metros, estableciéndose como caída aprovechable para el diseño 81 metros.

3.2.3. Tamaño o potencia disponible de la MCH Chel

Partiendo de los dos parámetros anteriores, se definió la capacidad de la planta micro hidroeléctrica en kilovatios a través de la fórmula 4, que se presenta a continuación, esta fórmula ya considera las pérdidas.

$$P(\text{neta}) = G * E_o * Q * H(\text{disp}) \text{ [kW]} \quad \text{Fórmula 4}$$

En donde:

$P(\text{neta})$ = Potencia neta [kW]

$G = 9.8 \text{ m/s}^2$ que es la constante de la aceleración de los cuerpos ante la fuerza de la gravedad

E_o = Eficiencia del sistema de transformación de energía mecánica y cinética en energía eléctrica.

Q = Caudal disponible [m^3/s]

$H(\text{disp})$ = Altura disponible [m]

Entonces para el caso de la central micro hidroeléctrica Chel, en donde el caudal de diseño es $0.360 \text{ m}^3/\text{s}$, y la altura neta es de 81 metros, aplicando una eficiencia de 58%, se obtiene una potencia disponible en los bornes del generador de 165 kW aproximadamente, como se muestra a continuación:

$$P(\text{neta}) = 9.8 \text{ m/s}^2 * 0.58 * 0.360 \text{ m}^3/\text{s} * 81 \text{ m [kW]} = 165.75 \text{ kW}$$

El criterio adoptado por el equipo de ingenieros de Fundación Solar para la definición del tamaño del sistema fue el máximo aprovechamiento del potencial hidroenergético detectado en el arroyo Xesayí. Sin embargo, si se compara la potencia de diseño con la demanda de potencia estimada en el estudio de mercado, la potencia de diseño es aproximadamente el doble de esta última, la ventaja que esto presenta es que da holgura para un crecimiento anual de la demanda, permitiendo cubrirla al menos 20 años con una tasa de crecimiento de 4.6% y más si se hace un uso eficiente de la energía.

3.3. Diseño de la micro central hidroeléctrica Chel

3.3.1. Sistema de micro hidrogeneración

El funcionamiento de un sistema de micro hidrogeneración se da de la siguiente forma: el muro de derivación desvía el caudal de agua a través de una abertura al costado del río (la abertura de “la toma”) hacia un canal abierto. Para separar las partículas de arena de agua se usa un desarenador. El canal sigue los contornos del cerro con el fin de mantener la elevación del agua derivada. A continuación, el agua ingresa a un depósito (cámara de carga) y luego pasa a una tubería cerrada (tubería de presión), la cual está conectada a una máquina hidráulica conocida como turbina .

Los sistemas de micro-hidrogeneración constan de: equipo electromecánico, obra civil y sistema de transmisión y distribución. El costo total de la MCH Chel se estimó en Q 4,601,000 según las cotizaciones y presupuestos realizados por Fundación Solar.

3.3.2. Turbinas y equipo electromecánico

Una turbina hidráulica es una máquina cuyo trabajo mecánico proviene de la variación de la cantidad de movimiento del agua al fluir a través de un sistema de aspas rotativas. Las aspas al rotar producen un trabajo mecánico el cual a su vez puede aprovecharse en una aplicación mecánica o bien, puede utilizarse para producir energía eléctrica mediante un generador.

Para la MCH Chel se adquirirá una turbina hidráulica de tipo flujo cruzado (Michell -Banki) de 165 kW de potencia, con eje horizontal de acero. Además, se utilizará una transmisión de multiplicación de velocidad de la turbina tipo banda plana, un generador de 180 kW (220 kVA), tablero de protección y medición, y gobernador hidráulico. El equipo electromecánico tiene un costo total de Q 659,000 incluyendo la instalación.

3.3.3. Obra civil

La obra civil de una central micro hidroeléctrica consta de los siguientes componentes: derivación, bocatoma, desarenadores, cámara de carga, canales de conducción, tubería de presión, y casa de máquinas. El costo total de las obras civiles es de Q 2,384,000 según el presupuesto presentado por la empresa constructora. Estos costos fueron divididos en: costo de materiales no locales (Q 1,271,000), costo de materiales locales (Q 10,000), mano de obra no calificada (Q 283,000), mano de obra calificada (Q 420,000) y acarreo de materiales y equipo (Q 400,000) A continuación se describe la obra civil para la MCH Chel.

- **Bocatoma**

Las bocatomas son obras hidráulicas cuya función es regular y captar un determinado caudal de agua, en este caso, para la producción de hidroenergía sea ésta mecánica o eléctrica.

Para el diseño de la bocatoma de la MCH Chel, se considera que el caudal de conducción es aproximadamente el 86% del caudal de estío, por lo que es conveniente la construcción de una derivación. La toma del caudal de 0.360 m³/s, a utilizarse, se efectuará lateralmente sobre el lado derecho de la presa, en la cota 1,107.8 msnm como nivel de rebalse y será controlado con una compuerta de guillotina de acero. La estructura de la toma será de concreto reforzado, con un ancho de 1.22 m y 0.762 m de altura.

- **Presa de derivación**

Es una estructura de derivación que sirve para elevar el nivel de las aguas, y se construye en sentido transversal del río con fines de captación, en aquellos casos en que el tirante del río no es lo suficientemente grande y no abastece los requisitos de captación. En el caso de Chel se diseñó una presa derivadora ya que el caudal de diseño es mayor al 30% del caudal del arroyo en estío, parámetro de la necesidad de esta estructura.

Se determinó la cota 1,109.14 como altura máxima de la presa, la cual estará hecha de concreto ciclópeo y reforzado. Ésta se dividirá en tres cuerpos: en la parte izquierda con 3.5 metros de longitud con sección rectangular de 3.00 x 3.00 metros; la parte central servirá de vertedero de demasías con 9.00 metros de longitud; por último en la parte derecha se tendrá una sección trapezoidal de 3.00 x 3.00 metros y longitud de 4.50 metros. La longitud total de la presa será de 17.00 metros.

El vertedero de demasías estará ubicado en la cota 1,108.44, tendrá una capacidad de diseño de 3.50 m³/s, como caudal máximo de crecidas, con altura sobre el vertedero de 0.50 metros.

- **Canal de conducción**

El canal es una estructura hidráulica de forma regular artificialmente construida, que en razón de su pendiente puede conducir agua de un lugar a otro. Desde la boca toma hasta el desarenador, se construirá el canal de conducción a cielo abierto, hecho de mampostería de piedra, recubierta con concreto repellado de arena y cemento, de sección rectangular con una longitud de 33.55 metros; y una pendiente de 8.5 mm / m. Sus dimensiones serán 120.00 cm de ancho y 60.00 cm de altura.

- **Desarenador**

Debido a que en épocas lluviosas, los ríos acarrean abundantes materiales sólidos, tanto de fondo como en suspensión, debido a la erosión que provocan en todo su recorrido, es importante contar con desarenadores, en el caso del arroyo Xesayí se supone un arrastre de 1.5 kg/m^3 de material fino, y retención de partículas mayores de 0.1 milímetro de diámetro. Para esto se diseñó un desarenador de doble cámara de 4.20 metros de longitud, 1.20 metros de ancho, 2.00 metros de altura, con dos cámaras que conducen a las tuberías de limpieza de 12.0 pulgadas de PVC, que descargarán nuevamente al río. Para regular el paso del caudal por el desarenador se utilizarán compuertas de guillotina.

La estructura del desarenador será construida de mampostería de piedra, recubierta con concreto, las compuertas de guillotina de acero. Se utilizarán cunetas revestidas con piedra ligada con cemento para conducir las aguas de los desfuegos de limpieza del desarenador.

- **Tubería de conducción**

A la salida del desarenador se utilizará en vez de un canal abierto, tubería cerrada y enterrada, por la topografía del lugar y para no afectar áreas de cultivo por donde pasará. La tubería será de acero corrugado de 0.762 m de diámetro, y longitud de 330.55 m y pendiente de 8.5 mm / metro. Se utilizarán cajas de mampostería y concreto para cambios de dirección horizontal.

- **Cámara de carga**

En un sistema de turbinas acopladas a un generador de energía eléctrica, debe considerarse el efecto de regulación debido a la fluctuación de la demanda eléctrica durante las horas del día. Para regular estas fluctuaciones puede hacerse a través de la regulación del caudal de alimentación a las turbinas. Este sistema causa el retorno del caudal no utilizado, que deberá liberarse antes de que éste pase a la tubería de presión, mediante una caja de rebose. El caudal no utilizado será desviado a través de la tubería de desfogue, que tendrá la misma capacidad que la tubería de conducción. Luego el caudal demandado será conducido por la tubería de presión que sale desde la cámara de carga hasta la casa de máquinas. La cámara de carga se construirá de concreto 3000.

- **Tubería de presión**

La tubería de presión sirve para transportar el agua bajo presión hasta la turbina. Se construirá en dos fases con una longitud total de 686.48 metros: para la primera fase se utilizará PVC (250 PSI), diámetro exterior de 469.9 mm e interior de 457.2 mm; y acero A36 para la segunda, diámetro interior de 509.47 mm e interior de 469.90 mm; con una altura neta de 81 metros.

- **Casa de máquinas**

Se construirán dos edificios: uno para pernoctancia de los operarios y uno para las máquinas y el sistema de control. Los muros serán de mampuestos fabricados con material local y cemento. La estructura del techo será de madera con cubierta de lámina. El piso será de concreto.

- **Canal de descarga**

A la salida del agua de la turbina caerá a la parte inferior de la cimentación de máquinas, en donde empezará el canal de descarga con la cota invert de 1004.60, y conducirá el agua una sección de 1.00 x 0.60 metros hasta el cauce del río, con una pendiente de 2.0%. Se utilizarán cunetas revestidas con piedra ligada con cemento sin que se produzcan efectos de erosión y al pie de taludes de corte.

3.3.4. Línea de transmisión y red de distribución

La sección de generación y línea de distribución tendrá un voltaje de 220 voltios, trifásica, conexión estrella, con potencia nominal de 3 x 75 kVA, voltaje secundario de 120/208 voltios, y una longitud total de 3,200 metros. La sección de distribución tendrá un voltaje de 120/240 voltios, monofásica, con una longitud total de 4,500 metros. Los postes serán de madera tratada. El costo del sistema de transmisión y distribución será de Q 822,000, compuesto por Q 695,000 de la red de distribución y Q 127,000 de la sub-estación eléctrica.

3.3.5. Transporte y arrendamiento de maquinaria

Se estima un costo por transporte de materiales y equipo; y arrendamiento de maquinaria por un total de Q 136,000.

3.4. Factor de planta

El factor de planta es la razón entre la energía eléctrica que será utilizada y la que el sistema está en capacidad de entregar. Este factor indica la eficiencia en el diseño del sistema, ya que un factor de planta bajo indica energía eléctrica cara. Como se verá a continuación el factor de planta de la MCH es bajo (9%), esto se debe en parte a que como criterio de diseño de la planta se consideró el máximo aprovechamiento del potencial hidroeléctrico del sitio. La potencia de diseño es aproximadamente el doble de la requerida en el primer año de operación; además una demanda de energía rural que se limita a la demanda residencial siempre dará como resultado un factor de planta bajo.

3.4.1. Relación de potencia MCH Chel

La relación de potencia se establece entre la potencia pico demandada y la potencia nominal del sistema. En el caso de la MCH Chel se tendrá una potencia disponible de 165 kW en los bornes del generador, mientras que el estudio de mercado indica que la potencia pico será de 77 kW (considerando únicamente las cargas residenciales). La relación de potencia se calcula según:

$$\text{Relación de potencia} = \text{potencia pico [kW]} / \text{potencia del sistema [kW]} \quad \text{Fórmula 5}$$

$$\text{R.P. MCH Chel} = 77 \text{ kW} / 165 \text{ kW} = 0.47$$

Como pudo observarse, el cálculo de la relación de potencia no considera las horas en que efectivamente se utilizó la potencia, mientras que el cálculo del factor de planta es la relación entre energías.

3.4.2. Factor de planta MCH Chel

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

$$\text{Energía del sistema / año} = \text{Potencia de diseño [kW]} * 24 \text{ horas} * 360 \text{ días} \quad \text{Fórmula 6}$$

$$\text{Energía de la MCH Chel} = 165 \text{ kW} * 24 \text{ h} * 360 \text{ d} = 1,425,600 \text{ kWh/año}$$

Según el estudio de mercado la demanda de energía de la MCH Chel durante el primer año será de 123,288 kWh/año (vea la página 17) considerando únicamente la demanda residencial. Por lo que el factor de planta se calcula con la fórmula siguiente:

$$\text{F.P.} = \frac{\text{Energía efectivamente utilizada [kWh/año]}}{\text{Energía que la planta está en capacidad de entregar [kWh/año]}} \quad \text{Fórmula 7}$$

$$\text{F.P. MCH Chel} = 123,288 \text{ kWh/año} / 1,425,600 \text{ kWh/año} = 0.09 \text{ aproximadamente.}$$

Considerando que la demanda de energía es de tipo residencial, las principales cargas son para iluminación durante las horas pico, por lo que es posible hacer una rápida estimación del factor de planta, en base a la relación horaria y a la relación de potencia, vea la fórmula a continuación:

$$\text{F.P.} = \text{Relación de potencia} * \text{Relación horaria} \quad \text{Fórmula 8}$$

En donde la relación horaria es la relación de las horas en que se utiliza la energía al día y el total de horas en un día, es decir:

$$\text{Relación horaria} = 4 \text{ horas} / 24 \text{ horas} = 0.17 \text{ aproximadamente}$$

Entonces:

$$\text{F.P. MCH Chel} = 0.47 * 0.17 = 0.08 \text{ aproximadamente.}$$

A través de este método rápido el F.P. es 8% que difiere en un punto porcentual, al 9% calculado en base al método detallado de estimación.

3.5. Operación y mantenimiento

Los sistemas de generación a través de energía renovable se caracterizan por requerir de una alta inversión inicial, y un bajo costo de operación y mantenimiento, ya que el recurso energético que alimenta el sistema es un recurso natural renovable (el agua que fluye en el caso de las micro centrales hidroeléctricas).

El total de egresos o costos de operación y mantenimiento para el primer año de operación de la MCH Chel se calculó en Q 157,339 (vea página 61) este monto incluye: costo de personal, costos administrativos, costo de mantenimiento de la red de distribución, fondo de amortización para la reposición de equipo electromecánico, y compra de aceites y lubricantes, como se describirá detalladamente en el capítulo de aspectos económicos y financieros.

3.5.1. Mantenimiento de la obra civil

En general la obra civil requiere de poco mantenimiento y consiste básicamente en la limpieza del canal y desarenador, y el mantenimiento preventivo de las estructuras de la obra civil, a lo que debe ponerse mayor atención en época lluviosa.

El canal debe ser inspeccionado periódicamente, cuidando de remover piedras, vegetación y sedimentos; prevenir fugas y repararlas tan pronto como aparezcan. Los acueductos deben ser inspeccionados en sus soportes y estructura en general, cualquiera que sea el material del que están fabricados.

El desarenador es una parte importante de una micro central hidroeléctrica, pues determina el deterioro por erosión del rodete de la turbina. Los sedimentos recolectados deben ser expulsados periódicamente por la tubería de limpieza.

También debe ser monitoreado periódicamente lo siguiente: limpieza y estado de la cimentación y estructura del muro de derivación, bocatoma, cajas de rebose, anclajes y soportes de la tubería de presión.

Para mantener libre la entrada del flujo de agua por la bocatoma, se diseñó para la MCH Chel un muro que circula la bocatoma en sus partes frontal y laterales; siendo la altura de este muro igual al límite superior de la ventana de captación. Debido a su diseño el muro detiene las piedras y arena en su parte inferior, y en su parte superior obstruye el paso a los objetos flotantes.

3.5.2. Mantenimiento del equipo electromecánico

La turbina requerirá de poco mantenimiento en la medida que el agua que pasa se mantenga limpia. Es recomendable realizar inspecciones anuales del estado de la turbina para planificar reparaciones. También será necesario verificar el estado de las fajas y demás accesorios. Por otro lado deberá revisarse el estado de lubricantes y refrigeración para los acoplamientos, gobernador y generador. Los aceites y lubricantes representan un costo de Q 200.00 al año.

Para un adecuado mantenimiento y operación del equipo electromecánico, se deberán seguir las instrucciones de los manuales de uso y mantenimiento, que el fabricante está en obligación de entregar.

Como medida de seguridad se asumió el reemplazo de ciertos componentes del equipo electromecánico a los 20 años de operación del sistema, esto representa una anualidad de Q 27,928 (ver página 64).

3.5.3. Mantenimiento de la red de distribución

El calentamiento de la línea de transmisión debe ser minuciosamente inspeccionado, asimismo, si algunas ramas de árboles tocan las líneas, deben ser cortadas periódicamente. En el caso de los transformadores es necesario verificar el nivel de aceite y el estado de los deshumecedores. También es importante verificar la existencia de avisos que adviertan sobre la presencia de alta tensión. Se estimó un costo anual por mantenimiento del sistema de transmisión y distribución de Q 12,330 (vea página 64).

3.5.4. Operación de la MCH Chel

En cuanto a operación lo ideal es que el sistema funcione las 24 horas del día, para esto las labores de mantenimiento deben realizarse durante los meses de estiaje, fines de semana y horas nocturnas o de madrugada. Es importante que el contratista entregue un manual que describa las acciones de operación y mantenimiento del sistema; se debe contar con una propuesta de periodicidad de las acciones de mantenimiento sobre la base de sugerencias del fabricante de los equipos.

3.6. Evaluación de impacto ambiental

A continuación se presenta el resumen del estudio de evaluación de impacto ambiental de la microcentral hidroeléctrica, aldea Chel, Chajul, departamento de Quiché, realizado en Guatemala, en mayo de 2001 por un grupo especialista de consultores y consultoras.

3.6.1. Identificación del proyecto

El proyecto de microcentral hidroeléctrica Chel consiste en una micro central hidroeléctrica, proyectada para obtener una capacidad de 165 kW a 220 voltios, que utilizará las aguas del arroyo Xesayí, mediante una turbina tipo paso a través, con generador de 165 kW. Se tiene previsto beneficiar a 440 familias localizadas en las comunidades de Chel, Las Flores y Xesayí.

3.6.2. Identificación del solicitante del proyecto

La entidad Fundación Solar ha solicitado la ejecución de la presente Evaluación de Impacto Ambiental, cumpliendo con lo establecido por la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente (Decreto No. 68-86 y sus reformas Decreto No. 90-2000). Fundación Solar es una organización privada guatemalteca de desarrollo sin fines lucrativos, que se dedica a apoyar el desarrollo rural a través del impulso a la energía renovable, las políticas energéticas y ambientales, y los servicios ambientales. Este impulso se canaliza a través de programas y proyectos ligados a la estimulación de la capacidad local, y la identificación de alianzas institucionales. con el potencial de generar nuevos recursos y estrategias para el desarrollo comunitario.

3.6.3. Descripción breve del proyecto

El proyecto se ubicará en la aldea Chel, municipio de Chajul, departamento de Quiché, con coordenadas geográficas: latitud 15°38'24" y longitud 90°04'10", y una altitud de 1000 msnm. El proyecto incluye las siguientes características:

- Derivación y bocatoma: 17 m de longitud y 3 m de altura
- Canal de conducción abierto: 33.55 m
- Desarenador de doble cámara: 4.20 m de longitud, 120 cm de ancho, 200 cm de altura

- Tubería de conducción: 0.762 m de diámetro, 330.55 m de longitud
- Tubería de presión PVC (250 PSI): Φ exterior 469.9 mm, Φ interior 457.2 mm
- Tubería de presión acero A36: Φ exterior 509.47 mm, Φ interior 469.90 mm
- Tubería de presión (las 2 fases): 686.48 m de longitud
- Casa de máquinas: 2 edificios: 1 pernoctancia de operarios, 1 para máquinas
- Turbina: 1 de 165 kW con generador de 180 kW
- Línea de transmisión: 220 voltios, trifásica, longitud de 3,200 m
- Red de distribución: 120/240 voltios, monofásica, longitud de 4,500 metros
20 usuarios en Xesayí, 69 en Las Flores y 331 en Chel

3.6.4. Factores que impactan en el medio ambiente

El presente estudio de evaluación de impacto ambiental (EIA), tiene el propósito de analizar, estimar y predecir los efectos (impactos) ambientales que puedan derivarse en sus fases de construcción, de operación y mantenimiento del proyecto "Microcentral Hidroeléctrica Chel" proponiendo las acciones y medidas para prevenir, controlar o corregir sus efectos degradantes.

3.6.5. Descripción de impactos y medidas de mitigación

Se utilizó un sistema matricial Leopold (vea figura 16) para la calificación de los efectos causados al relacionar las actividades relevantes del proyecto "Microcentral Hidroeléctrica Chel" con cada uno de los factores y componentes principales del medio biótico, físico químico y socio económico del área de influencia del proyecto, con el fin de identificar, calificar, cuantificar y jerarquizar causa y efecto.

La calificación está basada en la experiencia de los consultores, clasificando cualitativamente a los impactos en seis características y cuantitativamente en dos grupos, cada uno con ponderación numérica:

Clasificación cualitativa

- Carácter: Benéfico (B); Adverso (A); Incierto (I)
- Acción: Directo (D); Indirecto (E)
- Naturaleza: Reversible (R); Irreversible (S)
- Tiempo: Temporal (T); Continuo (C)
- Cobertura: Local (L); Regional (G); Nacional (N)
- Probabilidad de ocurrencia: Baja (J); Mediana (M); Alta (K)

Clasificación cuantitativa

- Magnitud: Despreciable (1); Baja (2); Moderada (3); Alta (4); Severa (5).
- Importancia: Crítica (1); Alta (2); Moderada (3); Baja (4); Despreciable (5).

FASE DE CONSTRUCCIÓN

Impacto 1: alteración del suelo en trabajos preliminares y movimiento de tierras.

Medidas de mitigación

- Utilizar técnicas manuales (machete) de desbroce y chapeo.
- Mantener la cubierta vegetal nativa en el derecho de vía y áreas construidas hasta nivel de arbustos como máximo.
- Compensar la tala que fuera estrictamente necesaria, con reforestación en otras áreas.

- Eliminar el exceso de sub-suelo después de rellenar las zanjas de las tuberías o reutilizarlo como relleno en lugar de esparcirlo sobre el área de servidumbre de paso.

Impacto 2: tierra floja o suelta, sonidos, polvo. Acarreo, preparación y aplicación de materiales de construcción.

Medidas de mitigación

- Restringir el acceso de personas ajenas a los distintos lugares donde se ejecutan las obras.
- Colocar rótulos gráficos en lugares visibles.
- Circular el perímetro del área destinada para la casa de máquinas. Permitir el acceso únicamente a personal autorizado.
- Durante toda la fase de construcción, proveer al personal de la obra del equipo de seguridad adecuado a las tareas que realiza.
- Mantener en la obra como mínimo un botiquín de primeros auxilios.

Impacto 3: acumulación del material de construcción sobrante.

Medidas de mitigación

- Destinar un área para el efecto con la separación de desechos y depósitos en: a) papel y cartón; b) plástico; c) hierro y otros metales; d) ripio.
- Utilizar en lo posible, el material rocoso extraído para la construcción de pequeños muros de contención, cunetas, banquetas u otras obras menores.
- Disponer del material sobrante de la excavación, tendiéndolo adecuadamente, tratando de no formar acumulaciones concentradas de tierra o rocas.
- Canalización y/o delimitación de las "lechadas" de concreto.

Impacto 4: manejo de desechos sólidos, líquidos y disposición de excretas humanas.

Medidas de mitigación

- Destinar un área para el efecto con la separación de desechos y depósitos en:
a) papel y cartón; b) plástico; c) restos de comida.
- El campamento deberá contar, o bien tener acceso, a por lo menos dos módulos sanitarios que incluyan ducha, lavamanos y letrina o retrete.

Impacto 5: montaje de líneas y equipo

Medidas de mitigación

- Dar aviso a la comunidad de la calendarización de esta actividad, con suficiente anticipación.
- Proteger el perímetro del área estimada para la instalación y colocar rótulos gráficos en lugares visibles.

FASE DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Impacto 1: crecimiento de malezas en el derecho de vía

Medidas de mitigación

- Utilizar técnicas manuales de desbroce y chapeo.
- Mantener a baja altura la cubierta vegetal (a nivel de arbustos)

Impacto 2: sonidos

Medidas de mitigación

- Establecer puntos clave para el monitoreo y determinar los niveles de sonido para conocer si la intensidad se encuentra entre los rangos permisibles para el oído humano.

Impacto 3: caudal y calidad del agua de río

Medidas de mitigación

- Establecer puntos clave para el monitoreo y determinar el comportamiento del caudal y la calidad del agua durante el proceso.

Impacto 4: acumulación de sedimentos en presa de derivación y el desarenador

Medidas de mitigación

- Las estructuras deben contar con instalaciones de drenaje con la suficiencia adecuada y de fácil operación, para impedir la extracción de los sedimentos en forma hidráulica.

Impacto 5: erosión y desprendimientos de suelo

Medidas de mitigación

- Monitorear el uso del suelo en la cuenca hidrográfica, previniendo la tala de bosque.
- Protección y manejo de cuenca.

FASE DE ABANDONO O DESMANTELAMIENTO

Impacto 1: acumulación de desechos y sobrantes

Medidas de mitigación

- Destinar un área para el efecto con la separación de desechos en: a) papel y cartón; b) plásticos; c) hierro y otros metales; d) ripio.
- En caso de demolición, se debe aplicar medidas contra el polvo y ruido. El ripio deberá retirarse y depositarse en sitio autorizado.
- Los equipos que aun tienen valor económico, deberán almacenarse en lugar apropiado.

3.6.6. Conclusiones sobre la viabilidad ambiental del proyecto

El proyecto es técnicamente viable de conformidad con información suministrada por la entidad promotora (Fundación Solar), habiendo informado de los siguientes aspectos.

Análisis y determinación de la disponibilidad y costo de los suministros e insumos, en cantidad y calidad; la determinación del tamaño óptimo del proyecto; la localización óptima del proyecto; así como la ingeniería del proyecto en cuanto a la construcción, incluida la logística de transporte de materiales y equipos hasta la operación y mantenimiento del sistema y marco organizativo.

El proyecto se encuentra dentro de la "Zona de Usos Múltiples" de la reserva de biosfera IXIL, VISIS-CABA, ubicada en el departamento de Quiché, la cual se dispone alrededor de la zona modificable, con el fin primordial de amortiguamiento de ésta y de la zona núcleo, a través del aprovechamiento racional y sostenible de los recursos naturales.

De conformidad al presente estudio, las obras y el funcionamiento de la micro central no provocarán una sensible alteración de las condiciones ecológicas locales, debiéndose continuar con el fortalecimiento de la gestión comunitaria del manejo local de los recursos naturales.

El proyecto beneficia a las comunidades de Chel, Las Flores y Xesayí, al brindarles una oferta de servicio eléctrico que cubra sus necesidades básicas familiares y posibilitar la creación de nuevas fuentes de trabajo en actividades productivas. El beneficio social y económico que representa la microcentral hidroeléctrica, es mayor que los impactos que fueron determinados.

La totalidad de los impactos negativos son de tipo localizado. Con el cumplimiento de las medidas de mitigación en cada caso, los efectos de los impactos serán minimizados.

Es necesario realizar un monitoreo ambiental constante de las actividades de producción.

4. ESTUDIO ADMINISTRATIVO LEGAL

4.1. Marco legal de los servicios energéticos rurales

En consideración a que el Estado no cuenta con la capacidad para cubrir la creciente demanda de servicio eléctrico, y a que la Constitución (Art. 129) declara de urgencia nacional la electrificación del país, por considerársele de vital importancia para su desarrollo; se liberalizó el mercado eléctrico en 1996 a través de la Ley General de Electricidad (Decreto 93-96), para agilizar y optimizar el crecimiento del subsector a través de la inversión privada en empresas de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica. La Ley General de Electricidad tiene las siguientes características principales:

- Liberalización de las actividades de generación, transporte y distribución de energía eléctrica. No requiere para ello autorización alguna, más que las reconocidas por la Constitución Política de la República y las leyes de Guatemala. Se exceptúa las actividades de transporte y distribución cuando requieran de la utilización de bienes de dominio público.
- Liberalización de los precios por la prestación del servicio de electricidad, con la excepción de los servicios de transporte y distribución sujetos a autorización.
- Creación de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica como ente regulador.

- Separación de funciones en la actividad eléctrica en donde, una misma persona, individual o jurídica, al efectuar simultáneamente las actividades de generar y transportar y/o distribuir energía eléctrica en el Sistema Eléctrico Nacional -SEN- deberá realizarlo a través de empresas o personas jurídicas diferentes. Con excepción de las plantas generadoras de 5 MW o menos y de las Empresas Eléctricas Municipales, cualquiera que sea su capacidad instalada, salvo el caso cuando se trate de empresas o entidades municipales de capital mixto o financiadas con recursos no municipales.
- Creación del mercado mayorista y de su administrador como coordinador de la operación del Sistema Nacional Interconectado y operación del Mercado Spot.
- Requerimiento de cumplimiento de estándares de calidad para el servicio de distribución eléctrica.

Al amparo de la Ley General de Electricidad (93-96) la central de generación micro hidroeléctrica Chel de 165 kW, con red de distribución local (no interconectada al SNI), y con 440 usuarios residenciales, no está sujeta de autorización por parte del Ministerio de Energía y Minas, así tampoco está sujeta a regulación de precio por servicio de electricidad, ya que no utilizará bienes de dominio público para su transformación y distribución. Así tampoco está obligada a la separación de funciones en la actividad eléctrica para la generación, transformación y distribución.

4.2. Tipo legal de organización

El modelo organizacional bajo el que se desea realizar el proyecto de MCH Chel es una Asociación Civil formada por personas de las comunidades de Chel, Las Flores y Xesayí. Este tipo de organización permite la descentralización en el manejo y aprovechamiento de los recursos energéticos renovables, en donde personas locales manejarán y aprovecharán el recurso hidroeléctrico del arroyo Xesayí, para proveer de electricidad a sus comunidades.

Para esto se empezó un programa de fortalecimiento de la capacidad local, en aspectos de organización, gestión empresarial, y sobre la tecnología de micro centrales hidroeléctricas con los hombres y mujeres de las comunidades de Chel, Las Flores y Xesayí; este programa se realiza con fondos del GEF a través del PNUD y ejecución de Fundación Solar.

En abril de 2001, las comunidades de Chel, Las Flores y Xesayí con acompañamiento de Fundación Solar, decidieron constituir una Asociación Civil. El fundamento legal de las asociaciones civiles es el Código Civil en sus artículos del 15 al 31, y el Acuerdo Gubernativo 512-98; sus principios filosóficos son la libre adhesión y la voluntad de participación, los intereses que persiguen son sociales, culturales, gremiales y no lucrativos.

La Asociación Hidroeléctrica Chelense (AHC), cuenta con 500 afiliados y afiliadas, aproximadamente 250 hombres y 250 mujeres. La asociación civil les permitirá brindar el servicio de energía eléctrica a sus comunidades, con personalidad jurídica que les respalde.

Por su carácter no lucrativo, los ingresos que la Asociación obtenga de la venta de electricidad, se utilizarán para mantener y mejorar el servicio. Según el Artículo 5°. del reglamento interno de la AHC, el fin general de la asociación es velar por el desarrollo directo e indirecto de la población de Chel y comunidades circunvecinas, basado en el bien común.

Según el Artículo 52 del reglamento interno de la Asociación Hidroeléctrica Chelense, el patrimonio de la asociación lo constituyen todos los bienes que tenga en su inventario, el fruto de los bienes, las donaciones que se le hagan. Así mismo se integrará a su patrimonio el producto de las cuotas, multas, cobros por servicio y contribuciones que se les haga.

4.3. Estructura orgánica

El documento que define la estructura orgánica de la Asociación Hidroeléctrica Chelense es su reglamento interno. Según el Capítulo V del reglamento interno, la estructura orgánica de la asociación es la siguiente:

- Asamblea General
- Junta Directiva
- Órgano de Fiscalización y Vigilancia
- Comisiones y Unidades Ejecutoras.

Según el Artículo 21 del reglamento interno, la Asamblea General es la autoridad máxima de la asociación y se integra por los asociados activos. De conformidad con el Capítulo III de la Escritura Constitutiva, las Asambleas Generales pueden ser Ordinarias y Extraordinarias.

Según el Artículo 29 del reglamento interno, la Junta Directiva es el órgano ejecutivo y administrativo de la asociación, durará en su cargo por dos años, pudiendo ser reelectos por un período consecutivo más. Los cargos de la Junta Directiva, según Artículo 30 son: Presidente; Vicepresidente; Secretario; Tesorero; Vocales I, II y III. La Asamblea General de Asociados será quien elija a los miembros que conformarán la Junta Directiva.

Según el Artículo 39 del reglamento interno, la Junta Directiva podrá asesorarse de un Órgano de Fiscalización y Vigilancia y/o Tribunal de Honor, que será un apoyo, el cual estará integrado por miembros de reconocida honorabilidad, probidad, sabiduría y competencia.

Según el Artículo 48 del reglamento interno, la AHC tendrá la potestad de integrar Comisiones y Unidades Ejecutoras para que le asistan en el manejo e implementación de proyectos específicos. La Unidad Ejecutora que se encargue de las actividades del servicio eléctrico, tendrá su personal operativo que consistirá en: un(a) administrador(a), una asesoría contable, un departamento técnico y un departamento administrativo. En la figura 2 que se presenta en la página siguiente, encontrará el organigrama general de la AHC.

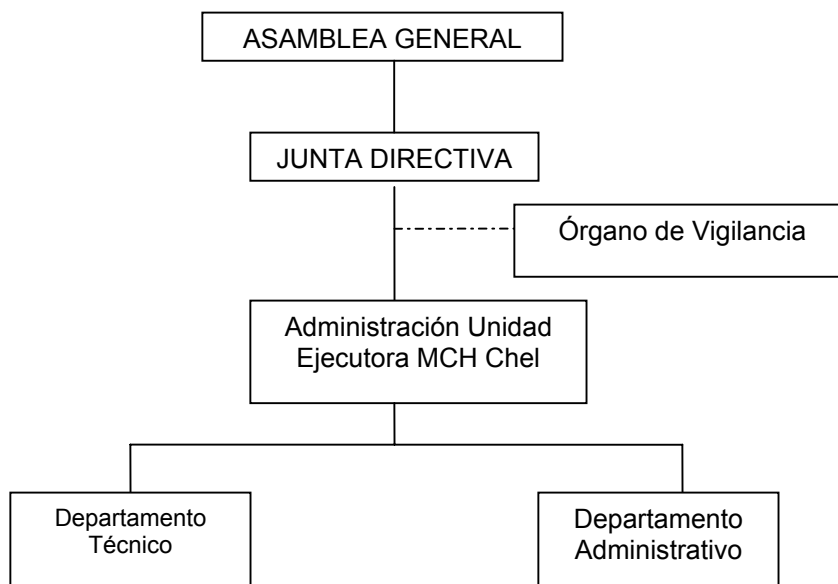
4.4. Logística de la organización

Las funciones del personal de la Unidad Ejecutora de la MCH Chel se describen a continuación.

El administrador se encargará de planificar, dirigir, coordinar y controlar, la empresa de energía eléctrica. Su jefe inmediato será la Junta Directiva, quien se encargará de su contratación, y a quienes deberá rendir cuentas. Llevará los libros contables, ingresos, gastos, control de clientes, manejo de inventarios, etc.

El trabajo de los electricistas será de operar y mantener, los componentes del sistema de micro hidrogenación: obra civil, casa de máquinas y red de distribución (vea páginas 43 y 44). Se requerirá de un auxiliar para apoyar las labores de la parte técnica; y a partir del año 11 se requerirá un auxiliar para la parte administrativa también. El costo total anual por personal se estimó en Q 92,281 durante los primeros 10 años y Q 115,778 a partir del año 11 al 20 (vea la planilla en la figura 6).

Figura 2. Organigrama general de la AHC



5. ASPECTOS ECONÓMICOS Y FINANCIEROS

5.1. Análisis de costos

Al calcular el costo de un proyecto micro hidroeléctrico se deben considerar los siguientes rubros: 1) Costo de inversión inicial; 2) Costos de operación y mantenimiento; y 3) Costos financieros.

5.1.1. Costo de inversión inicial

Para el cálculo de la inversión inicial en micro centrales hidroeléctricas, los costos se pueden dividir en: costos directos y costos indirectos. Dentro de los costos directos se incluye la adquisición del activo fijo: obra civil, equipo electromecánico, red de distribución, y demás infraestructura necesaria. Dentro de los costos indirectos se incluyen los gastos legales y de administración, costos de ingeniería por diseños, supervisión de construcción, documentos de licitación, supervisión y fiscalización de la construcción de la obra, y supervisión de la puesta en marcha e imprevistos. Generalmente su valor se estima como un porcentaje del costo directo que puede ir entre un 10% y un 15%. El costo de la inversión inicial asciende a Q 4,601,000 (que incluye un 15% en costos indirectos) como se detalla en la tabla XIV en la siguiente página.

Las condiciones de lejanía y difícil acceso al área donde se localiza el proyecto elevan considerablemente los costos de inversión inicial; principalmente los rubros de obra civil (60% de los costos directos) y de la red eléctrica de distribución (21% de los costos directos). La ubicación del proyecto afecta también los rubros de transporte y arrendamiento de maquinaria.

En otros términos la inversión inicial de la MCH Chel es aproximadamente US\$ 3,000 por kilovatio instalado, esto sobrepasa el parámetro para las micro y pequeñas centrales hidroeléctricas con potencia instalada entre 100 y 1,000 kW cuyos costos están entre 1,500 y 2,000 US\$/kW¹⁰.

Tabla XIV. Costos de inversión inicial MCH Chel*

Inversión inicial	Valor (Q)	Valor (\$) **	Proporción
Obra civil	2,384,000	298,000	60%
Equipo electromecánico	659,000	82,375	16%
Red eléctrica	822,000	102,750	21%
Transporte y arrendamiento de maquinaria	136,000	17,000	3%
Sub-total costos directos	4,001,000	500,125	100%
Costos indirectos (15% costos directos)	600,000	75,000	15%
Total Costos de Inversión	4,601,000	575,125	115%

Fuente (*): Información proporcionada por Fundación Solar, 2004.

Fuente (**): Tasa de cambio: US\$1.00 = Q 8.00.

5.1.2. Costos de operación y mantenimiento

Los costos totales de operación y mantenimiento se estimaron en Q 157,339 para el primer año, como se detalla en la tabla XV en la página siguiente, esto es Q 0.11/kWh que se obtiene al dividir los costos de operación y mantenimiento entre el total de energía que el sistema está en capacidad de producir (1,425,600 kWh como se calcula en la página 41). Las micro centrales hidroeléctricas al igual que las demás tecnologías de energía renovable se caracterizan por un bajo costo de operación y mantenimiento, en contraposición con su alto costo de inversión inicial. Los costos de operación y mantenimiento pueden expresarse en costo unitario por año en función del tamaño de la central o como un monto anual dado en un porcentaje de la inversión total del proyecto. Generalmente estos costos fluctúan entre \$ 0,01 y \$ 0,02 por kWh¹¹, esto es Q 0.08 y Q 0.16 por kWh (tasa de cambio 1 US\$ = Q 8) así se puede ver que la MCH Chel está dentro de ese rango.

Para calcular los costos de operación y mantenimiento de la MCH Chel se dividieron en: 1) Costo de personal, 2) Gastos administrativos, 3) Mantenimiento de la red de distribución, 4) Amortización de reposición del equipo electromecánico, 5) Aceites y lubricantes, 6) Conexión de nuevos usuarios; los que representan los rubros principales en el costeo del proyecto. Vea a continuación la tabla con el resumen de los costos para la operación y mantenimiento del primer año de operación:

Tabla XV. Resumen costos de operación & mantenimiento MCH Chel

No.	Descripción costos de operación y mantenimiento	Costo anual (Q)	Costo anual (\$)*	Proporción
1	Costo de personal (1-10)	92,281	11,535	59%
2	Gastos administrativos	24,600	3,075	15%
4	Aceites y lubricantes	200	25	0%
5	Amortización equipo electromecánico	27,928	3,491	18%
6	Mantenimiento red de distribución	12,330	1,541	8%
	Total costos de operación y mantenimiento	157,339	19,188	100%

(*) Tasa de cambio 1 US\$ = Q 8

▪ **Costo de personal**

Este rubro representa el mayor porcentaje de los costos de operación y mantenimiento del proyecto con el 59% del total de los costos a lo largo de su vida útil; asciende a Q 92,281 durante los primeros 10 años, y Q 115,778 para los siguientes 10 años (US\$ 11,535 y US\$ 14,472 respectivamente) Vea la planilla de trabajadores en la figura 6.

Como se indica en el estudio administrativo, el personal de la MCH Chel estará constituido por: un administrador/contador, dos técnicos electricistas, y un auxiliar técnico. Sin embargo, se estima que a partir del año once, por el aumento de los usuarios atendidos (tasa de crecimiento poblacional del Quiché 4.6%) al año, se requerirá también de un auxiliar para el área contable administrativa lo que implica un aumento en los costos de personal a partir del año 11.

Para la estimación de los salarios mensuales devengados fue necesario ubicarse en el contexto de la localidad en donde el 80% de las familias perciben ingresos por debajo de Q 500 mensuales y un 50 % están por debajo de los Q 200 mensuales. Por lo que se asignaron salarios que permitirán a los trabajadores estar en mejores condiciones de las que ofrece la localidad, éstos van desde Q 700 que gana el auxiliar técnico hasta Q 1,600 que gana el administrador-contador.

Al salario mensual devengado se le suma la Bonificación Incentivo (Decreto 37-2001) de Q 250 mensuales. También se consideró una tasa de 31% sobre los salarios devengados para el cálculo de las prestaciones laborales de Ley en Guatemala (Bono 14, Aguinaldo, Indemnización y Vacaciones), luego se consideraron también las cuotas patronales de IGSS (10.66%) e INTECAP (1%) (vea figura 6).

- **Gastos administrativos**

Como se apreció en la tabla XV, los gastos administrativos representan aproximadamente el 15% del total de costos de operación y mantenimiento para la MCH Chel; entre sus rubros más representativos están: la impresión de documentos, que incluye papelería preimpresa para llevar el control de ingresos y egresos, este costo es proporcional a la cantidad de usuarios, por lo que irá aumentando conforme aumenten los usuarios atendidos; otro rubro representativo son los gastos de viaje, personas de la empresa deberán viajar periódicamente a la cabecera municipal de Chajul, a realizar trámites como, depósitos bancarios, compra de útiles, etc. Otro rubro representativo es consultorías y asesorías, la empresa eléctrica de Chel se verá en la necesidad de la contratación de servicios externos para asesorarse en distintas ramas.

El total anual estimado para cubrir los gastos administrativos es de Q 24,600 (US\$ 3,075 aprox, vea figura 6); éstos se incrementan cada año a una tasa de 3%, con lo que se cubren los rubros afectados por el crecimiento de usuarios atendidos.

- **Costo de conexión de nuevos usuarios**

Se contempla una tasa anual de conexiones nuevas utilizando la tasa de crecimiento poblacional del Quiché que es de 4.6%. La conexión de nuevos usuarios implica un costo para la MCH Chel por compra del contador, alambre y accesorios del poste a la vivienda; se estima un costo por conexión de Q 500 (US\$ 62.50).

- **Aceites y lubricantes**

Para el funcionamiento adecuado del equipo electromecánico se requiere el reemplazo periódico de aceites y lubricantes, según la experiencia en otras micro centrales hidroeléctricas este costo es de Q 200 anuales (US\$ 25).

- **Amortización de reposición de equipo electromecánico**

El equipo electromecánico de las micro centrales hidroeléctricas es sumamente confiable, este equipo, si es operado adecuadamente, puede tardar más de 50 años; sin embargo, existen algunas piezas más susceptibles a deterioro según expertos en micro hidrogenación: el rotor de la turbina y el generador. Se trabajará bajo el supuesto de que estas piezas necesiten reemplazo al final de la vida útil del proyecto (20 años) para esto se creará un fondo de amortización de reposición de equipo. Se realizaron cotizaciones de este equipo con suplidores nacionales, éstas fueron presentadas en dólares de Estados Unidos de América. Vea en la tabla a continuación los datos de las cotizaciones realizadas para los repuestos.

Tabla XVI. Costos de repuestos rotor 165 kW y generador 180 kW

Descripción repuestos	Costo US\$	Costo Q*
Rotor de turbina Michell Banki de 165 kW	28,410	227,280
Generador 180 kW	6,710	53,680
Total repuestos	35,120	280,960

Fuente: Cotizaciones empresa suplidora, 2004.

Fuente*: Tasa de cambio: US\$ 1.00 = Q 8.00.

Entonces, según la tabla XVI el valor presente del fondo de amortización es de aproximadamente Q 281,000 y se utilizará la tasa inflacionaria promedio de los últimos 10 años en Guatemala (1994-2003) que es de 7.68%. La fórmula para el cálculo de anualidades en base a un valor presente es la siguiente:

$$A = P * [i / (1 - (1 / 1 + i)^n)] \quad \text{Fórmula 9}$$

En donde:

A = Anualidad
P = Valor en el presente
i = Tasa de interés
n = Número de años

Para el caso de la MCH Chel los datos a ingresar en la fórmula son: P = Q 281,000, i = 7.68%, y n = 20 años, lo cual da como resultado una anualidad (A) de Q 27,928 (US\$ 3,491) Para ver la tabla de amortización consulte la figura 7.

▪ **Mantenimiento de la red de distribución**

La infraestructura de transformación y distribución eléctrica conlleva costos anuales de mantenimiento estimados como un porcentaje del 1.5% de su costo de inversión, lo cual constituye un total de Q 12,330/año (US\$ 1,541)

5.1.3. Costos financieros

El proyecto MCH Chel carece de costos financieros debido a que la inversión inicial del proyecto (Q 4,601,000) se reunirá a través de donaciones de agencias gubernamentales, instituciones de la cooperación internacional, y aporte comunitario de las poblaciones de Chel, Las Flores y Xesayí. Esto significa que el proyecto será subsidiado en su acceso, lo cual se justifica considerando que se trata de comunidades en estado de pobreza y pobreza extrema, lejanas al SNI, con lo que no representan un mercado atractivo para las empresas privadas de distribución, ni alcanzarán a ser conectadas a través del fideicomiso de administración INDE.

Como parámetro de comparación, el costo en quetzales por usuario a conectar a través del fideicomiso INDE es de Q 9,503 (US\$ 1,188)¹² y el costo por usuario a conectar a través del proyecto de MCH Chel se estima en Q 9,093 (US\$ 1,137 aprox.).

5.2. Ingresos

Como se vio en el estudio de mercado en la fijación del precio al servicio de energía, se utilizará un modelo de cobro que incluye una cuota fija de Q 30.00 por usuario que permite cubrir los costos de operación y mantenimiento, y que da derecho al usuario a 30 kWh/mes siendo esto suficiente para cubrir las necesidades de la mayoría de usuarios residenciales, y se cobrará una cuota variable de Q 0.50 por kilovatio hora extra consumido, lo que representa energía barata para incentivar los usos productivos de la energía. Vea a continuación el cálculo de esta cuota.

5.2.1. Cálculo de la cuota base

Para el cálculo de la cuota base se utilizó como parámetro el costo unitario de la energía, con la fórmula 2 presentada en el estudio de mercado:

$$\text{CUE [Q/kWh]} = \frac{\text{Costo de O\&M} + \text{Cuota Anual Préstamo [Q]}}{\text{Potencia instalada} * 8640 \text{ h/año} * \text{factor de planta [kWh]}}$$

Datos:

Costo de O&M = Q 157,000	(página 61)
Cuota anual préstamo = 0	(página 64)
Potencia instalada = 165 kW	(página 33)
Factor de planta = 9 %	(página 40)

$$\text{CUE [Q/kWh]} = \frac{Q157,000 + 0}{165 \text{ kW} * 8640 \text{ h} * 0.09} = 1.27 \text{ [Q / kWh]}$$

Entonces, si multiplicamos el costo unitario por kilovatio hora, por el total de kilovatios hora por mes estimado para un usuario promedio (23 kWh/mes) resulta que un usuario promedio tendría que pagar Q 29.73 por mes, esto multiplicado por 440 usuarios, da un total de Q 157,000 con lo que se cubre el costo anual de operación y mantenimiento. En base a esto se fijará una cuota fija por mes de Q 30.00, que cubra el derecho de consumir 30 kWh/mes, con esto estaría cubierta la demanda de energía estimada para un 93% de usuarios (vea la tabla XII) a un costo de Q 1.00/kWh.

5.2.2. Fijación de la cuota variable

La cuota variable para el cobro del kilovatio hora extra consumido, será baja, para incentivar los usos productivos de la energía, y que la electricidad sea una opción económicamente conveniente para sustituir el uso del diesel en motores de nixtamal, maquinaria para el beneficio de café, etc. Ésta se fijará en Q 0.50/kWh.

5.2.3. Ingresos por conexiones de nuevos usuarios

Las conexiones de nuevos usuarios representan un costo de Q 500 para la MCH Chel, para ayudar a la empresa a financiar estas conexiones se cobrará a cada nuevo usuario un total de Q 100 por conexión.

5.3. Flujo neto de efectivo

El flujo neto de efectivo está constituido por la diferencia entre el total de ingresos anuales y el total de egresos anuales en cada año de vida útil del proyecto; para la MCH Chel se estableció un tiempo de vida útil de 20 años. A continuación se explicará cada rubro que compone el flujo neto de efectivo para la MCH Chel; se dividirá en cuatro grandes ramas: 1) Ingresos; 2) Egresos; 3) Flujo Neto de Efectivo; y 4) Flujo Acumulado de Efectivo. Vea en la figura 9, la tabla de flujo neto de efectivo de la MCH Chel.

5.3.1. Ingresos-FNE

Los ingresos serán calculados en base a los siguientes antecedentes:

- El total de usuarios tiene un consumo promedio de energía de 23 kWh/mes (por lo que no habrán ingresos por kilovatio hora extra).
 - El crecimiento anual de demanda es de 4.6%, según la tasa de crecimiento poblacional del Quiché.
- **Año 1**
 - Ingresos por venta de energía: $440 \text{ usuarios} * Q 30.00 * 12 \text{ meses} = Q 158,400$
 - Ingresos por conexión de nuevos usuarios = 0
 - Total de ingresos = Q 158,400
 - **Año 2**
 - Ingresos por venta de energía: $460 \text{ usuarios} * Q 30.00 * 12 \text{ meses} = Q 165,600$
 - Ingresos por conexión de nuevos usuarios: $20 \text{ nuevos usuarios} * Q 100.00 = Q 2,000$
 - Total de ingresos = Q 167,600

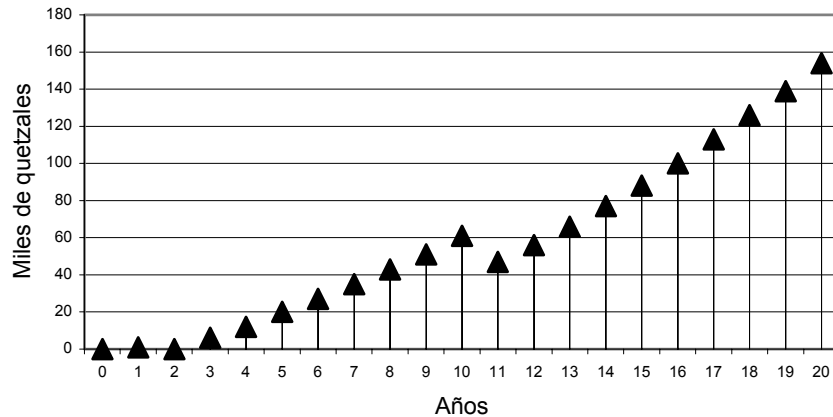
Y así sucesivamente (vea en la figura 8 la hoja de cálculo de los ingresos y en la figura 9 la tabla de FNE) En la tabla del FNE el total de ingresos es una cifra redondeada a miles, esto se hace con el fin de tener cifras más claras en las columnas de resultados.

5.3.2. Egresos-FNE

- Costo de personal: éste rubro adoptará dos valores durante la vida útil del proyecto, del año 1 al 10 será un total de Q 92,281, con cuatro personas en la planilla. Y del año 11 al 20, Q 115,778 con cinco personas (vea figuras 6 y 9).

- Costo de administración: éste iniciará con Q 24,600 y se irá incrementando a razón de 3% anual, porcentaje acorde al crecimiento de usuarios atendidos, este incremento se debe principalmente a rubros que tienen que ver directamente con el aumento en los usuarios (vea figuras 6 y 9).
- Costo de mantenimiento de la red de distribución: se mantiene constante con Q 12,330 anuales (vea páginas 64 y 99).
- Amortización de equipo electromecánico: se mantiene constante con Q 27,928 anuales (vea páginas 63 y 95).
- Aceites y lubricantes: se mantiene constante con Q 200 anuales (vea páginas 64 y 99).
- Costo de conexiones nuevas: es cero el primer año y va aumentando según la tasa de crecimiento de conexiones nuevas del 4.6% (vea páginas 63 y 99).
- Total de egresos: es la suma de los egresos detallados anteriormente. Al igual que la columna de total de ingresos está redondeada a miles (vea página 99).

Figura 3. FNE de la MCH Chel



5.3.3. Flujo neto de efectivo (FNE)

El flujo neto de efectivo lo constituye la resta entre las columnas de total de ingresos y total de egresos, es cero en el año cero, debido a que la inversión inicial está subsidiada, luego es Q 1,000 en el primer año de operación, y va aumentando conforme se aumentan los usuarios atendidos; esto se debe a que los ingresos incrementan a una tasa mayor de la que aumentan los egresos. La figura 3 arriba representa el FNE, el cálculo lo encuentra en la figura 9 y el gráfico de ingresos y egresos en la figura 10.

5.3.4. Flujo acumulado de efectivo (FAE)

La columna de flujo acumulado de efectivo es la suma del flujo neto del año anterior y el presente, es Q 1,000 en el primer año de operación y continúa positivo a lo largo de su vida útil, incrementándose hasta sumar Q 1,222,000 en el año 20 (vea la figura 9).

6. EVALUACIÓN ECONÓMICA-FINANCIERA

Si entendemos por evaluación económica la que nos permite demostrar que la inversión propuesta será económicamente rentable, podemos concluir que el proyecto de MCH Chel no lo es; sin embargo, si su inversión inicial es subsidiada, sí será capaz a través de sus ingresos de cubrir sus costos de operación y mantenimiento. A continuación se presenta el análisis y evaluación económica-financiera.

En la evaluación económica-financiera del proyecto de MCH Chel se utilizarán como herramientas de análisis: la tabla de Flujo Neto de Efectivo (FNE), el Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), el análisis de sensibilidad y análisis de la viabilidad socioeconómica. Para esto se analizarán dos casos: 1) La inversión inicial es una donación por lo que no precisa ser recuperada; 2) La inversión inicial es un préstamo.

6.1. Análisis de la tabla de FNE

Para analizar el caso 1, nos basaremos en la tabla del FNE, figura 9, en donde vemos que el FNE es cero o se mantiene positivo a lo largo de la vida útil del proyecto, esto indica que el proyecto sí será capaz de auto sostenerse en su etapa de operación, con esto se asegura la continuidad del servicio energético para los usuarios, la cual se espera supere los 20 años. Además se aprecia que a través de los años el FNE va aumentando, esto se debe a que los ingresos incrementan a mayor razón que los egresos; esto da como resultado un excedente de Q 1,222,000 a los 20 años de operación, sin considerar una tasa de rendimiento, como se ve en la columna del flujo acumulado.

Para el caso 2, también nos basaremos en la tabla del FNE, figura 9, en donde se ve que el proyecto no es capaz de recuperar su inversión inicial, ya que el flujo acumulado en el año 20 es de Q 1,222,000 versus Q 4,601,000 de la inversión inicial, esto sin ni siquiera considerar una tasa de descuento; así se puede concluir que el proyecto no es rentable y no es atractivo para inversionistas privados. Luego, a través del análisis de sensibilidad, se sondea bajo qué condiciones y en qué medida el proyecto podría ser financiado a través de un préstamo blando.

6.2. Valor presente neto (VPN)

El valor presente neto (VPN) es el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial. Al calcular el VPN para la MCH Chel resulta: en el caso uno, sin considerar la recuperación de la inversión inicial y utilizando la tasa inflacionaria promedio de los últimos 10 años en Guatemala, un valor positivo de Q 718,000; y en el caso dos al considerar la recuperación de la inversión inicial bajo la misma tasa se obtiene un valor negativo de – Q 3,883,000 (vea figura 9) Esto indica que el proyecto no es rentable y no está cerca de recuperar la inversión inicial en 20 años. Sin embargo, si la inversión inicial tiene carácter de donación el proyecto será capaz de obtener un rendimiento de sus operaciones. A continuación se presentan los cálculos realizados.

La ecuación del VPN es:

$$VPN = -P + \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \frac{FNE_3}{(1+i)^3} + (...) + \frac{FNE_n + VS}{(1+i)^n}$$

Fórmula 10

En donde:

VPN = Valor presente neto
P = Inversión inicial
FNE = Flujo neto de efectivo
i = Tasa de descuento
VS = Valor de salvamento

Aplicando la ecuación anterior al proyecto de MCH Chel tenemos que:

Caso 1: al no considerarse la inversión inicial, ésta toma valor cero, los flujos netos de efectivo se toman de la tabla de FNE del año 1 al 20, se toma como tasa de descuento 7.68% que es el promedio de las tasas de inflación de los últimos 10 años en Guatemala, y el valor de salvamento es cero ya que después de 20 años de operación todos los bienes muebles e inmuebles de la MCH Chel ya no tendrían valor fiscal. Se incluirá el valor presente del fondo de amortización creado para reposición de equipo electromecánico. Entonces se tiene: $P = 0$, $i = 7.68\%$, $\Sigma FNE(\text{tiempo presente}) = Q 437,000$, $VS=0$, y Fondo de Amortización (tiempo presente) = $Q 281,000$.

$VPN (\text{Caso 1}) = -P + \Sigma FNE(\text{tiempo presente}) + \text{Fondo de Amortización}$

$VPN (\text{Caso 1}) = 0 + Q 437,000 + Q 281,000 = Q 718,000$

Caso 2: La inversión inicial es considerada $Q 4,601,000$, las demás condiciones permanecen igual a las del caso 1.

$VPN (\text{Caso 2}) = - Q 4,601,000 + Q 437,000 + Q 281,000 = - Q 3,883,000$

6.3. Tasa interna de retorno (TIR)

Debido a la no rentabilidad del proyecto de MCH Chel, el cálculo de la TIR no tiene sentido. La TIR es la tasa que iguala la suma de los flujos descontados a la inversión, debido a que en el caso uno no se considera la recuperación de la inversión inicial, el cálculo de la TIR no tiene sentido. Por otro lado el caso dos posee un VPN negativo, es decir no es rentable, por lo que no es posible calcular una tasa de rentabilidad.

6.4. Análisis de sensibilidad

A través del análisis de sensibilidad se supuso que existe mayor demanda de energía, por su utilización en actividades productivas, aumentando el factor de planta (FP) de 9% a 30%, que es un valor aceptable para proyectos micro hidroeléctricos; también se supuso la obtención de un préstamo blando, a una tasa de interés de 8.5% y plazo de 20 años, para financiar la inversión inicial.

Variando el porcentaje de la inversión inicial a cubrir mediante el préstamo se obtuvo que el proyecto sería capaz de financiar hasta un 30% de su inversión inicial, lo cual equivale a Q 1,380,300, debiendo ser el 70% restante una donación. (Vea el cálculo de los ingresos para el análisis de sensibilidad en la figura 11, el cálculo de la cuota nivelada para el pago del préstamo en la figura 12, la tabla del flujo neto de efectivo del análisis de sensibilidad en la figura 13, y su gráfica en la figura 14).

La tabla del flujo neto de efectivo del análisis de sensibilidad (FNEAS) en la figura 13, tiene dos columnas adicionales a la tabla del flujo neto de efectivo de la figura 9, del lado de los ingresos se aumentó la columna ingresos UPE, y del lado de los egresos la columna cuota préstamo. El FNE es Q 8,000 en el primer año y Q 160,000 en el año 20; por otro lado el VPN es de Q 449,882, que restándole la parte a cubrir con donación resulta en - Q 2,720,818, utilizando una tasa de 7.68% (vea figuras 13 y 14).

6.5. Viabilidad socioeconómica

El proyecto de MCH Chel es un proyecto autosostenible (con la donación de su inversión inicial) capaz de cubrir sus costos de operación y mantenimiento, siempre y cuando, cada uno de los 440 usuarios pague una cuota fija de Q 30.00 por mes; sin embargo, según el estudio de mercado, la voluntad de pago de la mayoría es de hasta Q 20.00 por mes y su capacidad de pago se concentra entre Q 10.00 y Q 30.00. Los datos anteriores indican que hay riesgo de que algunos usuarios no quieran o no puedan pagar la cuota de Q 30.00/mes.

CONCLUSIONES

1. El Quiché es uno de los departamentos con menor índice de electrificación en Guatemala y la mayoría de comunidades del norte de la región ixil no cuentan con servicio de energía eléctrica y tienen escasas posibilidades de ser interconectados a través del Fideicomiso de Administración INDE. Estas comunidades están poco accesibles, aisladas y sus habitantes se encuentran en estado de pobreza y pobreza extrema, éste es el caso de Chel, Las Flores y Xesayí, en donde el 50% de las familias tiene ingresos de Q 200 o menos. Sin embargo, esta región cuenta con potencial hidroeléctrico a filo de agua que permitiría el desarrollo de un programa de electrificación de la región complementario al plan nacional de energía.
2. En las comunidades de Chel, Las Flores y Xesayí la demanda de energía eléctrica es baja con 440 posibles usuarios residenciales del servicio, siendo la demanda promedio por usuario de 23 kWh/mes; por otro lado la demanda de energía para usos comerciales, institucionales y agroindustriales se estimó en 27% de la demanda residencial; sin embargo, su ocurrencia es incierta. La potencia pico estimada es 77 kW. Se diseñó una forma de pago por el servicio que consiste en una cuota fija de Q 30.00/mes por usuario que cubre 30 kWh y una cuota variable de Q 0.50/kWh extra para incentivar los usos productivos de la electricidad. Los beneficios potenciales identificados para las comunidades a través del proyecto son: capacitación y organización, crecimiento económico, descentralización en el manejo de los recursos naturales, incremento en la equidad, aprovechamiento y valoración del recurso hídrico. Actualmente por concepto de fuentes de energía tradicionales, candelas, gas, ocote y baterías, las familias gastan en promedio entre Q 10.00 y Q 30.00 por mes.

3. El arroyo Xesayí tiene potencial de generación eléctrica a través de una micro central hidroeléctrica, que con un caudal de diseño de 360 litros/segundo y una caída aprovechable de 81 metros, obtiene una potencia de diseño de 165 kW, para un sistema aislado con red local. El factor de planta es 9%, el cual es muy bajo y es una característica típica de una demanda residencial. La MCH Chel es técnicamente viable desde la perspectiva de impacto ambiental. Su costo de inversión inicial es de Q 4,601,000.

4. El proyecto de MCH Chel será administrado por una asociación civil local, la Asociación Hidroeléctrica Chelense (AHC) cuyo fin es el desarrollo de sus comunidades. La AHC no está facultada para cobrar una tarifa por el servicio de energía eléctrica, sino una cuota que le permita cubrir sus costos de operación y mantenimiento. Su estructura orgánica está compuesta por: Asamblea General, Junta Directiva, Órgano de Fiscalización y Vigilancia, y Unidades Técnicas Ejecutoras, una de las cuales se encargará de la empresa de energía eléctrica.

5. El costo de la inversión inicial asciende a Q 4,601,000, esto representa un costo de Q 24,000/kW instalado; este costo será subsidiado a través de fondos de agencias gubernamentales, instituciones de la cooperación internacional y aporte comunitario. Su costo por usuario conectado es de Q 9,093 esto se compara al costo por usuario conectado a través del Fideicomiso de Administración INDE con una inversión de Q 9,550 por usuario conectado. En contraposición al alto costo de inversión inicial está el bajo costo de operación y mantenimiento con Q 0.11/kWh. Se estimaron para el primer año de operación egresos de Q 157,000, e ingresos de Q 158,000, lo que refleja un FNE positivo a lo largo de su vida útil.

6. El proyecto de MCH Chel no es rentable; sin embargo, al subsidiar su inversión inicial, si es capaz de cubrir sus costos de operación y mantenimiento, siendo el flujo acumulado de efectivo para el año veinte de Q 1,222,000 sin considerar tasa de rendimiento o depreciación. En el caso de que la inversión inicial sea una donación, se obtiene con una tasa de 7.68%, un VPN de Q 718,000; y en el caso de que la inversión inicial se considere reembolsable el VPN es (-) Q 3,883,000. Al no ser rentable el proyecto el cálculo de la TIR no es posible y no tiene sentido. Por otro lado en el análisis de sensibilidad al suponer que el factor de planta aumenta de 9% a 30%, resultó que el proyecto sería capaz de cubrir el 30% de su inversión inicial (Q 1,380,300) a través de un préstamo blando con tasa de 8.5% y plazo de 20 años, obteniéndose con una tasa de 7.68% un VPN de Q 449,882. Por otro lado, desde el punto de vista de la viabilidad socioeconómica se ha detectado el riesgo de que los usuarios de Chel, Las Flores y Xesayí no paguen los Q 30.00 por mes y no se cubran los costos de operación y mantenimiento.

RECOMENDACIONES

1. Desarrollar un programa de electrificación de la región ixil a través del aprovechamiento del potencial hidroeléctrico a filo de agua detectado, para facilitar el desarrollo de sus comunidades, que se encuentran en estado de pobreza y aislamiento.
2. Tomar acciones para incentivar los usos productivos de la energía en las comunidades de Chel, Las Flores y Xesayí, principalmente para los molinos de nixtamal, las herramientas de carpintería, y el procesamiento de café, con el fin de mejorar la economía en las comunidades, y por otro lado, generar más ingresos para la empresa eléctrica.
3. Buscar disminuir los elevados costos de inversión inicial utilizando métodos más sencillos de construcción. Asegurarse de que los fabricantes del equipo electromecánico brinden los manuales de operación y mantenimiento y que éstos estén en español.
4. Brindar la capacitación y asesoría necesaria a la AHC en los temas administrativo contable y técnico, antes, durante y después de la ejecución del proyecto, para que realicen un adecuado manejo de la empresa eléctrica, operación y mantenimiento de la planta. Brindar asesoría y capacitación a los usuarios del servicio eléctrico en el uso eficiente de la energía, cuidando de involucrar a las mujeres pues son las principales usuarias de la misma.

5. Realizar una reunión en Asamblea General con los y las miembros de la AHC para consultar sobre la capacidad y voluntad de pagar la cuota de operación y mantenimiento de Q 30.00 por mes por usuario necesaria para el adecuado funcionamiento de la empresa.

6. Que se investiguen y se analicen modelos innovadores de financiamiento para proyectos hidroeléctricos en micro y pequeña escala (100 a 1000 kW) que no son rentables, pero sí son capaces de autofinanciarse parcialmente y de esta forma realizar más proyectos con los mismos recursos.

REFERENCIAS

1.
DGE/MEM. **Plan indicativo del subsector eléctrico 2001**. s.d.e. Guatemala, 2001. p.41
2.
Marco Antonio Dávila. **Mercado de Energía Rural**. DGE/MEM. Guatemala, 2002. p.2.
3.
Carolina Palma, Robert Foster, *Guatemalan Photovoltaic Projects for Rural Uses*, Conferencias Solares ISES, Adelaide Australia, 2001. p. 2.
4.
Alfonzo E. Lozano. **Estudio de Pre-Inversión de Micro Hidroeléctricas para la Región Ixil del Quiché**. Guatemala: Fundación Solar, GEF/PNUD, 2001. p 15.
5.
Ibid., p.1.
6.
Ibid., p. 2.
7.
Vivian Dinora Yax Tay. **Estudio del consumo de energía eléctrica de usuarios residenciales rurales servidos por EEGSA**. Tesis Ing. Eléc. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1991. p.10.
8.
Lozano, op. cit. p. 7.
9.
ITDG - Perú. **Manual de Mini y Micro Centrales Hidráulicas**. (1ª Edición; Perú: *Intermediate Technology Development Group*, ITDG-Perú. 1996) p.14

10.

BUN-CA. **Manual de hidráulica a pequeña escala.** (Colección manuales sobre energía renovable; San José de Costa Rica: Biomass Users Network (BUN-CA), 2002) p. 15.

11.

Loc. Cit.

12.

DGE/MEM, op. cit. p. 19

BIBLIOGRAFÍA

1. Baca Urbina, Gabriel. **Evaluación de proyectos**. 4ª ed. México: Editorial McGRAW-HILL, 2001. 383 pp.
2. BUN-CA. **Manual de hidráulica a pequeña escala**. (Colección Manuales sobre energía renovable) Costa Rica: Biomass Users Network, BUNCA. 2002. 42 pp.
3. Código de Trabajo (Decreto 14-41). Guatemala, Centro América. 184 pp.
4. Duque Franco, José Luis. Estudio de factibilidad del proyecto de electrificación de la región oriental en el Municipio de Huité, Zacapa. Tesis Ing. Industrial. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2001. 79 pp.
5. Enriquez Paredes, José Domingo. Evaluación mercadológica y económica del potencial hidroeléctrico del río Lanquín, Finca Guajbal, Lanquín, Alta Verapaz. Tesis Ing. Industrial. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1997. 83 pp.
6. Fundación Solar / PNUD-GEF. **Censo socioeconómico de las comunidades de Chel, Jala Las Flores y Xezayí, departamento de Quiché**. Guatemala, 2001. 12 pp.
7. Fundación Solar / PNUD-GEF, Blanco Verdugo Ingeniería. **Estudio de evaluación de impacto ambiental del proyecto Microcentral Hidroeléctrica, aldea Chel, Municipio de San Gaspar Chajul, departamento de Quiché**. Guatemala: Fundación Solar, GEF / PNUD, Blanco Verdugo Ingeniería, 2001. 57 pp.

8. ILPES. **Guía para la presentación de proyectos**. 22 ed. México: Siglo XXI editores, s.a. de c.v., 1995. 230 pp.
9. ITDG-Perú. **Manual de mini y microcentrales hidráulicas**. Perú: Intermediate Technology Development Group, ITDG. 1996. 274 pp.
10. Lozano, Alfonso E. **Estudio de pre-inversión de micro hidroeléctricas para la Región Ixil del Quiché**. Guatemala: Fundación Solar, FMMA-PNUD, 2001. 17 pp.
11. Lozano, Alfonso E. **Memoria de cálculo y diseño, Micro Hidroeléctrica Xesaí, aldea El Chel, San Gaspar Chajul, Quiché**. Guatemala: Constructora DCA, Fundación Solar / GEF / PNUD, 2001. 45 pp.
12. Mena Galindo, Eduardo Enrique. Estudio de factibilidad de la hidroeléctrica de “Matanzas” en el desarrollo de la zona norte del país. Tesis. Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1968. 57 pp.
13. Morataya Corado, Mynor Leonel. Controles financieros para el manejo de la empresa eléctrica en la aldea Chel, Chajul, El Quiché. Tesis Lic. en Administración de Empresas. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Económicas, 2002. 66 pp.
14. Torselli, Carmen. **Reglamento Interno de la Asociación Hidroeléctrica Chelense**. Guatemala: Fundación Solar, PNUD-GEF, 2002. 30 pp.
15. Samuels, Sydney Alexander. **Preparación y evaluación de proyectos de infraestructura**. Guatemala: Libro de texto del curso de Preparación y Evaluación de Proyectos I de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 1999. 74 pp.

APÉNDICES

Figura 4. Estimación energía y potencia residencial

Tipo de vivienda	440	Viviendas	Potencia máxima	kW-h / mes	kW-h / año
A	80%	352	55	7,392	88,704
B	13%	57	16	1,707	20,489
C	7%	31	13	1,173	14,082
Total	100%	440	83	10,273	123,275

A	Aparato	Penetración	Potencia (W)	Potencia promedio por vivienda	Tiempo (h/d)	Energía (kW-h/mes)
	Lámpara 1	100%	75	75	6	13.5
	Lámpara 2	100%	75	75	3	6.75
	Radio/grab	50%	10	5	5	0.75
				155		21

B	Aparato	Penetración	Potencia (W)	Potencia promedio por vivienda	Tiempo (h/d)	Energía (kW-h/mes)
	Lámpara 1	100%	75	75	6	13.5
	Lámpara 2	100%	75	75	3	6.75
	Lámpara 3	100%	75	75	3	6.75
	Radio/grab	90%	10	9	5	1.35
	Plancha	5%	1000	50	1	1.5
	Refrigeradora	0%	300	0	4	0
	Televisión	0%	80	0	6.5	0
				284		29.85

C	Aparato	Penetración	Potencia (W)	Potencia promedio por vivienda	Tiempo (h/d)	Energía (kW-h/mes)
	Lámpara 1	100%	75	75	6	13.5
	Lámpara 2	100%	75	75	3	6.75
	Lámpara 3	100%	75	75	3	6.75
	Lámpara 4	100%	75	75	3	6.75
	Radio/grab	90%	10	9	5	1.35
	Plancha	10%	1000	100	1	3
	Refrigeradora	0%	300	0	4	0
	Televisión	0%	80	0	6.5	0
				409		38.1

Consumo de energía de usuario promedio (kW-h/mes)

23

Figura 5. Estimación energía y potencia, usos productivos

Recuento de personas con oficios y comerciantes en Chel, Las Flores y Xesayi						
	Oficio/ actividad	Frecuencia				
	Carnicero	2				
	Carpintero	4				
	Sastre	2				
	Comerciante	2				
	Molino	2				
	Beneficio de Café	1				
	Total	13				
Tipo de usuario	Aparatos	Cantidad	Potencia (W)	Potencia (kW) total	Horas/día	Energía kWh/mes sin multiplicar por cantidad
Illegocio						
	Refrigeradora	4	300	1.20	4	36.00
	Licuadora	0	400	0.00	2	24.00
	Molino de nixtamal	2	3,729	7.46	3	335.57
Carpintería	Torno/cepillo	4	5,593	22.37	1	167.78
Herrería	Soldadora	0	4,000	0.00	1	120.00
Sastrería/costura	Máquina de coser	2	200	0.40	1	6.00
Total		12		31.43		689.35
Proceso del café						
	Pulpero	1	2,610	2.61	3.5	1,407
	Desmolidora	1	11,409	11.41	1.75	3,075
	Secadora	2	14,914	29.83	0	0
	Accesorios/beneficio	1	4,210	4.21	2.32	1,504
Total				18		5,986
Potencia horas pico kW		9.06				

Nota: La potencia pico se calculó incluyendo: 2 molinos, 4 refrigeradoras, 2 máquinas de coser las máquinas del beneficio de café no se consideraron debido a que no se trabaja en horas pico.

Figura 6. Estimación costo de personal y gastos administrativos

1. COSTO DE PERSONAL

Puesto de trabajo	Del año 1 al 10		Del año 11 al 20	
	Salario devengado mensual	Bonificación incentivo dcto 37-2001	Salario devengado mensual	Bonificación incentivo dcto 37-2001
Administrador/contador	1,600	250	1,600	250
Auxiliar de contabilidad	0	0	1,200	250
Electricista 1	1,200	250	1,200	250
Electricista 2	1,200	250	1,200	250
Auxiliar Técnico	700	250	700	250
Sub-totales personal	4,700	1,000	5,900	1,250

Descripción	Del año 1 al 10		Del año 11 al 20	
	Q/año	\$/año	Q/año	\$/año
Total de salarios devengados	56,400	7,050	70,800	8,850
Total prestaciones laborales (31%)	17,305	2,163	21,723	2,715
Total bonificación incentivo (Dcto 37-2001)	12,000	1,500	15,000	1,875
Total cuota patronal IGSS (10.66%)	6,012	752	7,547	943
Total cuota patronal INTECAP (1%)	564	71	708	89
Costo total personal	92,281	11,535	115,778	14,472

2. GASTOS ADMINISTRATIVOS

Descripción	Q/mes	Q/año	\$/año	Proporción (%)
Suministros de oficina	200	2,400	300	10%
Impresión de documentos	500	6,000	750	24%
Energía eléctrica	50	600	75	2%
Envíos y comunicaciones	200	2,400	300	10%
Útiles y enseres de limpieza	50	600	75	2%
Gastos de viaje	400	4,800	600	20%
Dieta personal JD	200	2,400	300	10%
Consultorías y asesorías	400	4,800	600	20%
Gastos generales	50	600	75	2%
Costo total gastos administrativos	2,050	24,600	3,075	100%

Figura 7. Cálculo fondo de amortización

Costo de repuestos	Costo (US\$)	Costo (Q)
Costo rotor	28,410	227,280
Costo generador	6,710	53,680
Total	35,120	280,960

Tasa de Cambio US\$1.00 =

Q8

Año	Tasa de inflación en Guatemala
1994	11.59%
1995	8.61%
1996	10.85%
1997	7.13%
1998	7.48%
1999	4.92%
2000	5.08%
2001	8.91%
2002	6.33%
2003	5.85%

Cálculo de la cuota anual nivelada

Datos

Promedio inflación últimos (1994-2003)	Vida útil (años)	Fondo amortización valor presente (Q)	Factor parcial cuota nivelada	Cuota nivelada (Q)	Cuota nivelada (\$)
7.68%	20	280,960	0.227878	27,928	3,491

Tabla de amortización

Años	Cuota anual (Q)	Inflación 7.68%	Amortización (Q)	Saldo (Q)
0				280,960
1	27,928	21,564	6,364	274,596
2	27,928	21,075	6,853	267,743
3	27,928	20,549	7,379	260,365
4	27,928	19,983	7,945	252,420
5	27,928	19,373	8,555	243,865
6	27,928	18,717	9,211	234,654
7	27,928	18,010	9,918	224,736
8	27,928	17,248	10,679	214,057
9	27,928	16,429	11,499	202,558
10	27,928	15,546	12,382	190,176
11	27,928	14,596	13,332	176,845
12	27,928	13,573	14,355	162,490
13	27,928	12,471	15,457	147,033
14	27,928	11,285	16,643	130,390
15	27,928	10,007	17,920	112,469
16	27,928	8,632	19,296	93,174
17	27,928	7,151	20,777	72,397
18	27,928	5,556	22,371	50,025
19	27,928	3,839	24,088	25,937
20	27,928	1,991	25,937	0
Totales	558,556	277,596	280,960	

Figura 8. Estimación ingresos

Datos

Costo de O&M	Costo financiero	Potencia instalada	Horas por año
157,000	0	165	8640

CTA (Q)	157,000
CUE (Q/kWh)	1.27
Pago usuario promedio (Q)	29.73

CTA = Costo Total Anual
CUE= Costo Unitario de la Energía

Establecimiento sistema de pago

Se pagará una cuota fija mensual de Q30, que incluye 30 kWh

Datos

Cuota servicio /usuario/ mes (Q) C.F.	Energía incluida C.F. (kWh/mes)	Cuota variable C.V. (Q/kWh)	Cuota usuario por conexión (Q)	Tasa conexiones anuales
30	30	0.5	100	4.60%

Energía promedio - usuario / mes

23

CÁLCULO INGRESOS

Años	Usuarios residenciales	Conexiones nuevas por año	Ingresos por conexiones nuevas (Q)	Ingresos/ venta energía C.F. (Q)	Ingresos energía extra (Q)	Total ingresos energía residencial (Q)	Total ingresos (Q)
1	440	0	0	158,400	0	158,400	158,000
2	460	20	2,000	165,600	0	165,600	168,000
3	481	21	2,100	173,160	0	173,160	175,000
4	503	22	2,200	181,080	0	181,080	183,000
5	526	23	2,300	189,360	0	189,360	192,000
6	550	24	2,400	198,000	0	198,000	200,000
7	575	25	2,500	207,000	0	207,000	210,000
8	601	26	2,600	216,360	0	216,360	219,000
9	629	28	2,800	226,440	0	226,440	229,000
10	658	29	2,900	236,880	0	236,880	240,000
11	688	30	3,000	247,680	0	247,680	251,000
12	720	32	3,200	259,200	0	259,200	262,000
13	753	33	3,300	271,080	0	271,080	274,000
14	788	35	3,500	283,680	0	283,680	287,000
15	824	36	3,600	296,640	0	296,640	300,000
16	862	38	3,800	310,320	0	310,320	314,000
17	902	40	4,000	324,720	0	324,720	329,000
18	943	41	4,100	339,480	0	339,480	344,000
19	986	43	4,300	354,960	0	354,960	359,000
20	1031	45	4,500	371,160	0	371,160	376,000

Figura 10. Gráfico de ingresos y egresos

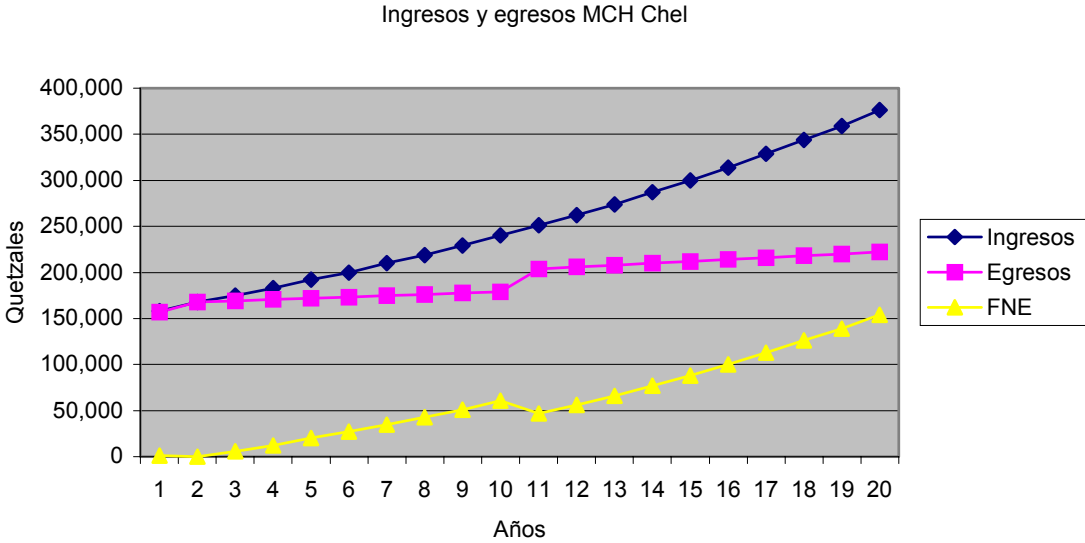


Figura 11. Estimación ingresos AS

Según estudio de mercado (establecimiento del precio)

CTA = Costo total anual
CUE= Costo unitario de la energía

	Costo de O&M	Costo financiero	Potencia instalada	Horas/año
	303,000	145,858	165	8640
CTA (Q)	448,858			
CUE (Q/kWh)	1.05			
Pago usuario	24.51			

Modelo: Se paga una cuota fija mensual de Q30, que incluye 30 kWh, es decir Q.1.00/kWh

Datos

Cuota servicio /usuario/ mes (Q) C.F.	Energía incluida C.F. (kWh/mes)	Cuota variable C.V. (Q/kWh)	Cuota usuario por conexión (Q)	Tasa conexiones anuales	Demanda total de energía	Porcentaje energía residencial	Porcentaje energía UPE
30	30	0.5	100	4.60%	427,680	0.2882716	0.7117284

Energía promedio - usuario / mes	23.35
Factor de planta	30%

TABLA CÁLCULO INGRESOS

Años	Usuarios residenciales	Conexiones nuevas por año	Energía anual residencial	Energía anual UPE	Ingresos por conexiones nuevas (Q)	Ingresos/ venta energía C.F. (Q)	Ingresos energía extra (Q)	Total ingresos energía residencial (Q)	Ingresos UPE (Q)	Total ingresos (Q)
1	440	0	123,288	304,392	0	158,400	0	158,400	152,196	311,000
2	460	20	128,892	304,392	2,000	165,600	0	165,600	152,196	320,000
3	481	21	134,776	304,392	2,100	173,160	0	173,160	152,196	327,000
4	503	22	140,941	304,392	2,200	181,080	0	181,080	152,196	335,000
5	526	23	147,385	304,392	2,300	189,360	0	189,360	152,196	344,000
6	550	24	154,110	304,392	2,400	198,000	0	198,000	152,196	353,000
7	575	25	161,115	304,392	2,500	207,000	0	207,000	152,196	362,000
8	601	26	168,400	304,392	2,600	216,360	0	216,360	152,196	371,000
9	629	28	176,246	304,392	2,800	226,440	0	226,440	152,196	381,000
10	658	29	184,372	304,392	2,900	236,880	0	236,880	152,196	392,000
11	688	30	192,778	304,392	3,000	247,680	0	247,680	152,196	403,000
12	720	32	201,744	304,392	3,200	259,200	0	259,200	152,196	415,000
13	753	33	210,991	304,392	3,300	271,080	0	271,080	152,196	427,000
14	788	35	220,798	304,392	3,500	283,680	0	283,680	152,196	439,000
15	824	36	230,885	304,392	3,600	296,640	0	296,640	152,196	452,000
16	862	38	241,532	304,392	3,800	310,320	0	310,320	152,196	466,000
17	902	40	252,740	304,392	4,000	324,720	0	324,720	152,196	481,000
18	943	41	264,229	304,392	4,100	339,480	0	339,480	152,196	496,000
19	986	43	276,277	304,392	4,300	354,960	0	354,960	152,196	511,000
20	1,031	45	288,886	304,392	4,500	371,160	0	371,160	152,196	528,000

Figura 12. Cálculo cuota préstamo AS

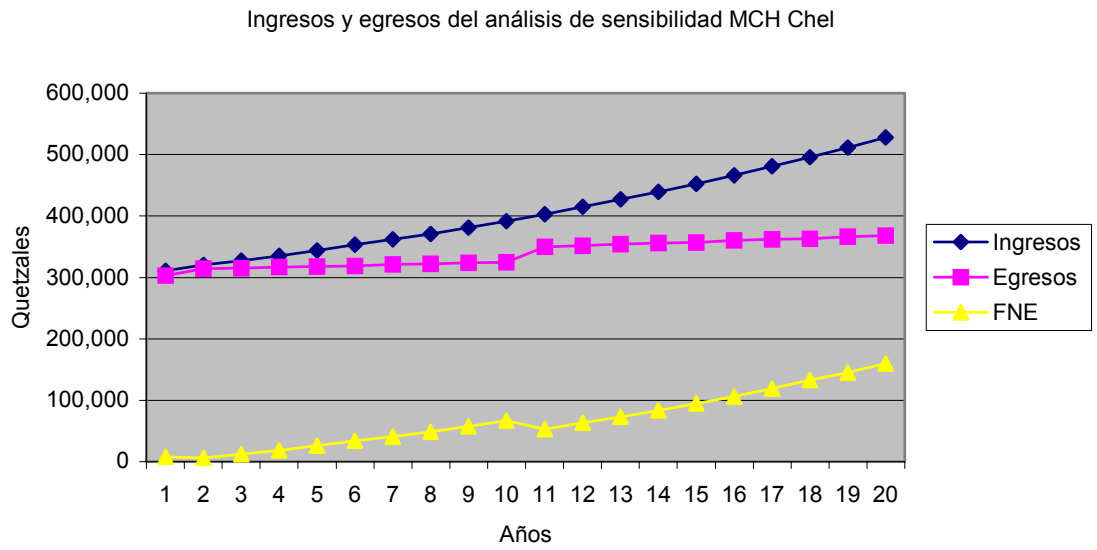
Inversión total (Q)	4,601,000
Porcentaje préstamo	30%
Monto préstamo (Q)	1,380,300
Donación (Q)	3,220,700
Tasa del préstamo	8.50%
n (años)	20
Factor parcial cuota nivelada	0.195616388
Cuota nivelada (Q)	145,858

Años	Cuota anual (Q)	Intereses (Q)	Amortización (Q)	Saldo (Q)
0				1,380,300
1	145,858	117,326	28,532	1,351,768
2	145,858	114,900	30,957	1,320,810
3	145,858	112,269	33,589	1,287,222
4	145,858	109,414	36,444	1,250,778
5	145,858	106,316	39,542	1,211,236
6	145,858	102,955	42,903	1,168,334
7	145,858	99,308	46,549	1,121,785
8	145,858	95,352	50,506	1,071,279
9	145,858	91,059	54,799	1,016,480
10	145,858	86,401	59,457	957,023
11	145,858	81,347	64,511	892,512
12	145,858	75,864	69,994	822,518
13	145,858	69,914	75,944	746,574
14	145,858	63,459	82,399	664,176
15	145,858	56,455	89,403	574,773
16	145,858	48,856	97,002	477,771
17	145,858	40,611	105,247	372,524
18	145,858	31,665	114,193	258,331
19	145,858	21,958	123,900	134,431
20	145,858	11,427	134,431	0
Totales	2,917,153	1,536,853	1,380,300	

Figura 13. Flujo neto de efectivo AS

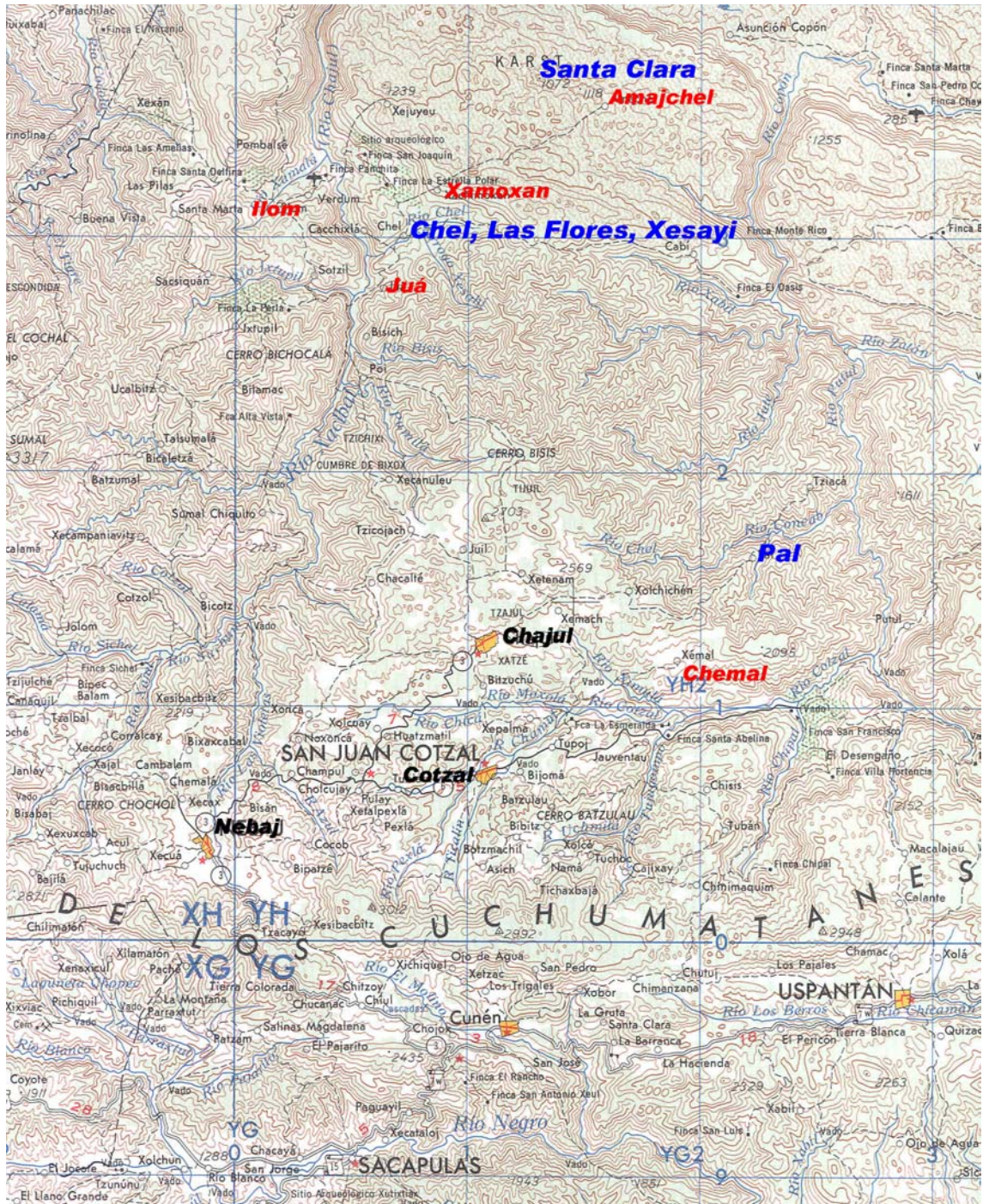
Años	Inversión inicial	INGRESOS						EGRESOS						FNE	
		Ingresos energía residencial (G)	Ingresos conexiones nuevas (G)	Ingresos UPE (G)	Total ingresos (G)	Cuota préstamo	Costo personal (G)	Costo Admón. (G)	Costo mantenimiento red dist. (G)	Amortización equipo electrónico-mecánico (G)	Acetites y lubricantes (G)	Costo conexiones nuevas (G)	Total egresos (G)	FNE (G)	Flujo acumulado (G)
0	0												0	0	
1		158,400	0	152,196	311,000	145,858	92,281	24,800	12,330	27,928	200	303,000	8,000	8,000	
2		165,600	2,000	152,196	320,000	145,858	92,281	25,347	12,330	27,928	200	314,000	6,000	14,000	
3		173,160	2,100	152,196	327,000	145,858	92,281	26,116	12,330	27,928	200	315,000	12,000	26,000	
4		181,080	2,200	152,196	335,000	145,858	92,281	26,909	12,330	27,928	200	317,000	18,000	44,000	
5		189,360	2,300	152,196	344,000	145,858	92,281	27,726	12,330	27,928	200	318,000	26,000	70,000	
6		198,000	2,400	152,196	353,000	145,858	92,281	28,568	12,330	27,928	200	319,000	34,000	104,000	
7		207,000	2,500	152,196	362,000	145,858	92,281	29,435	12,330	27,928	200	320,000	41,000	145,000	
8		216,360	2,600	152,196	371,000	145,858	92,281	30,329	12,330	27,928	200	322,000	49,000	194,000	
9		226,440	2,800	152,196	381,000	145,858	92,281	31,250	12,330	27,928	200	324,000	57,000	251,000	
10		236,880	2,900	152,196	392,000	145,858	92,281	32,199	12,330	27,928	200	325,000	67,000	318,000	
11		247,680	3,000	152,196	403,000	145,858	115,778	33,176	12,330	27,928	200	350,000	83,000	371,000	
12		259,200	3,200	152,196	415,000	145,858	115,778	34,183	12,330	27,928	200	352,000	93,000	434,000	
13		271,080	3,300	152,196	427,000	145,858	115,778	35,221	12,330	27,928	200	354,000	103,000	507,000	
14		283,680	3,500	152,196	439,000	145,858	115,778	36,290	12,330	27,928	200	356,000	113,000	590,000	
15		296,940	3,600	152,196	452,000	145,858	115,778	37,392	12,330	27,928	200	357,000	123,000	685,000	
16		310,320	3,800	152,196	466,000	145,858	115,778	38,527	12,330	27,928	200	360,000	133,000	791,000	
17		324,720	4,000	152,196	481,000	145,858	115,778	39,697	12,330	27,928	200	362,000	143,000	910,000	
18		339,480	4,100	152,196	496,000	145,858	115,778	40,902	12,330	27,928	200	363,000	153,000	1,043,000	
19		354,960	4,300	152,196	511,000	145,858	115,778	42,144	12,330	27,928	200	366,000	163,000	1,186,000	
20		371,160	4,500	152,196	528,000	145,858	115,778	43,424	12,330	27,928	200	368,000	173,000	1,348,000	
VPN	499,882														
VPN2	-2,720,818														

Figura 14. Gráfico de ingresos y egresos AS



ANEXOS

Figura 15 Mapa ubicación proyecto MCH Chel



Fuente: Mapa proporcionado por Fundación Solar.

Tabla XVII. Características hidrológicas y energéticas para once sitios en la región ixil

No	Proyecto	Comunidad	Municipio	Área km ²	Caudal m ³ /s (a)	Caudal m ³ /s (b)	Dif. Nivel Aprov. m	Capacidad propuesta kW
1	Chel I	Chel	Chajul	25.387	1.539	1.931	280	1750
2	Chajul	Pal	Chajul	14.462	0.877	1.100	240	500
3	Ixtupil II	Zotzil, La Perla	Chajul	37.552	2.277	2.856	80	510
4	Ixtupil I	Sacsiban	Nebaj	12.370	0.750	0.941	60	300
5	Cotzal I	San Felipe	Cotzal	64.845	3.932	4.932	200	865
6	Tzinalá	Sta. Abelina	Cotzal	41.561	2.520	3.161	100	300
7	Ximulá I	Chichel	Cotzal	14.261	0.865	1.085	260	660
8	Ximulá II	Sta. Abelina	Cotzal	28.554	1.731	2.172	160	430
9	Tzicuay	Bichemal	Cotzal	1.003	0.061	0.076	160	250
10	Chipal	Las Hortensias	Cotzal	29.241	1.773	2.224	100	360
11	Cotzal II	Xetupul	Cotzal	330.090	20.014	25.106	60	1220

(a y b) Parámetro de caudal específico de la cuenca: 0.061 mm/km² y 0.076 mm/km² respectivamente.

Fuente: Alfonso E. Lozano. **Estudio de pre-inversión de micro hidroeléctricas para la región ixil del Quiché.** Anexo 5.

Figura 16. Matriz de Leopold para la MCH Chel

MATRIZ (Leopold)

Proyecto: Microcentral Hidroeléctrica, Aldea Chel, Chajul, Quiché
Fecha: 20/06/01

CLASIFICACION DE IMPACTOS POR SU NATURALEZA	FACTORES Y COMPONENTES										PUNTO							
	BIOTICOS			CARACTERÍSTICAS FISICO-QUÍMICAS				SOCIO ECONÓMICOS			CULTURAL Y ESTÉTICO		TOTAL ORDEN A B A I B A I B					
	Flora y Fauna	Suelo	Substrato	Atmósfera	Agua	Atmósfera	Substrato	Relaciones y Vibraciones	Área	Economía	Servicios	Vivienda		Salud	Educación	Transporte	Patrimonio Cultural	Parques
1) Grupos: Bioticos (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z)																		
2) Modos: Directo (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z)																		
3) Magnitud: Bioticos (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z)																		
4) Tiempo: Temporal (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z)																		
5) Distribución: Local (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z)																		
6) Probabilidad de Ocurrencia: Bioticos (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z)																		
7) Magnitud: Operación (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z)																		
8) Probabilidad de Ocurrencia: Operación (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z)																		
9) Magnitud: Mantenimiento (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z)																		
10) Probabilidad de Ocurrencia: Mantenimiento (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z)																		
11) Magnitud: Producción (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z)																		
12) Probabilidad de Ocurrencia: Producción (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z)																		
13) Magnitud: Limpieza (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z)																		
14) Probabilidad de Ocurrencia: Limpieza (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z)																		
15) Magnitud: Abandono (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z)																		
16) Probabilidad de Ocurrencia: Abandono (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z)																		
17) Magnitud: Cambio (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z)																		
18) Probabilidad de Ocurrencia: Cambio (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z)																		
Puntaje Total	AIB	1.00	0.07	3.15	2.15	2.05	1.50	4.00	1.50	0.15	2.15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Orden	AIB	5th	5th	1st	2nd	3rd	4th	1st	4th	6th	1st	3rd	2nd	3rd	3rd	3rd	3rd	3rd

Rev 01: Mayo 2005
Rev 02: Mayo 2005
Rev 03: Febrero 2001

Fuente: Fundación Solar / PNUD-GEF, Blanco Verdugo Ingeniería. Estudio de evaluación de impacto ambiental del proyecto Microcentral Hidroeléctrica, aldea Chel, Municipio San Gaspar Chajul, departamento de Quiché. Anexo.

