



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela Estudios de Postgrado
Maestría Energía y Ambiente

**GENERACIÓN ELÉCTRICA CON RECURSOS HIDRÁULICOS
EN SISTEMAS AISLADOS, EN EL ÁREA RURAL**

Ing. René Alejandro Morales Choc
Asesorado por Msc. Hugo Rodas Marotta

Guatemala, octubre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GENERACIÓN ELÉCTRICA CON RECURSOS HIDRÁULICOS
EN SISTEMAS AISLADOS, EN EL ÁREA RURAL
TRABAJO DE GRADUACIÓN**

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. RENÉ ALEJANDRO MORALES CHOC
ASESORADO POR EL MSc. HUGO RODAS MAROTTA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
MAESTRO EN ENERGÍA Y AMBIENTE

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



HONORABLE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Cristian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucia Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Veliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magali Herrera López

JURADO EVALUADOR QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE DEFENSA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR	Ing. Edgar Leonel Ortiz Castillo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magali Herrera López



FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC
ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2015-043

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del Trabajo de Graduación titulado **"GENERACIÓN ELÉCTRICA CON RECURSOS HIDRÁULICOS EN SISTEMAS AISLADOS, EN EL ÁREA RURAL"** presentado por el Ingeniero Civil **René Alejandro Morales Choc** correspondiente al programa de Maestría en Energía y Ambiente; apruebo y autorizo el mismo.

"Id y Enseñad a Todos"

MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Director
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, Octubre de 2015.

Cc: archivo
/la



FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC
ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

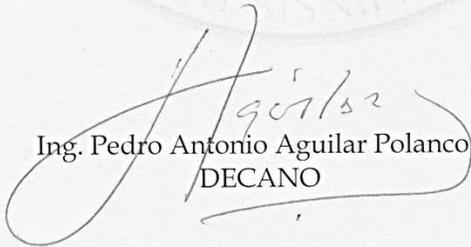
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226

Ref. APT-2015-043

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Energía y Ambiente titulado: **"GENERACIÓN ELÉCTRICA CON RECURSOS HIDRÁULICOS EN SISTEMAS AISLADOS, EN EL ÁREA RURAL"**, presentado por el Ingeniero Civil **René Alejandro Morales Choc**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
DECANO

Guatemala, Octubre de 2015.

Cc: archivo
/la



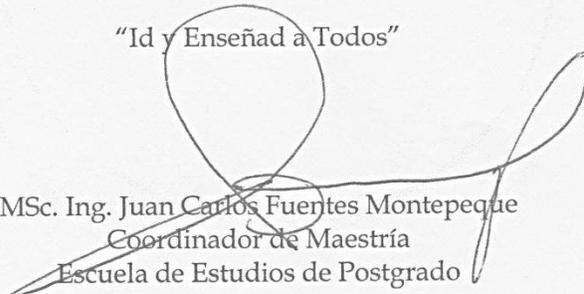
FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC
ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2015-043

Como Coordinador de la Maestría en Energía y Ambiente y revisor del Trabajo de Tesis titulado **"GENERACIÓN ELÉCTRICA CON RECURSOS HIDRÁULICOS EN SISTEMAS AISLADOS, EN EL ÁREA RURAL"**, presentado por el Ingeniero Civil **René Alejandro Morales Choc**, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"



MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, Octubre de 2015.

Cc: archivo
/la

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por guiar mis pensamientos y darme sabiduría.
Mis padres	María del Carmen y Alejandro Morales q.e.p.d quienes me han guiado con sabiduría y amor.
Mi esposa	Ruth de Morales, por su apoyo incondicional y que con su amor y sacrificio ha hecho posible mi superación personal, profesional y espiritual.
Mis hijas	Heydi Alejandra, Kimberly María y Elke Jakelinne, quienes son fuente de mi inspiración para seguir adelante y el tesoro más hermoso que Dios me ha dado en la vida.
Mi hermana	Ana Dilia, por su constante apoyo.
Mi sobrino	Sergio Alejandro, gracias por su cariño y amistad.
A mis compañeros	Por su amistad.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por su visión hacia las ciencias y el desarrollo.
Escuela de Estudios de Postgrado	Por su constante ayuda y asesoría.
Al Instituto Nacional de Electrificación –INDE-	Por la experiencia proporcionada en el área energética.
A Instituciones del sector eléctrico	Por proporcionar información técnica del tema energético.
Asesor	Ing. Hugo Rodas Marotta, por su tiempo y dedicación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XV
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXXI
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO	XXXIII
INTRODUCCIÓN.....	XLIII
1. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	1
1.1. A qué se le denomina Franja Transversal del Norte.....	1
1.2. Historia de la generación eléctrica en Guatemala	2
1.3. Demanda de servicios energéticos en el área rural.....	3
1.4. Teorías, modelos y métodos relacionados en el desarrollo de la investigación	5
1.4.1. Teoría general de la energía.....	5
1.4.2. Teoría de los gases invernadero	5
1.4.3. Modelo de cuenca	5
1.4.4. Modelo de demanda	6
1.4.5. Modelo de evaluación para la potencia instalada	6
1.4.6. Método de distribución log Pearson III.....	7
1.4.7. Modelos para medición de caudales.....	7
1.4.7.1. Método área velocidad	8
1.4.7.2. Método dilución de trazadores.....	9
1.4.7.3. Método estructuras hidráulicas	9

	1.4.7.4.	Método área pendiente	9
	1.4.8.	Procedimiento con molinete	9
	1.4.9.	Procedimiento químico	10
1.5.		Conceptos generales de tipos de generación eléctrica	11
	1.5.1.	Energía Hidráulica	11
	1.5.2.	Energía eólica	12
	1.5.3.	Energía solar fotovoltaica	13
1.6.		Importancia de la energía renovable	13
	1.6.1.	Importancia de la energía Hidráulica	14
	1.6.2.	Usos de la energía Hidráulica	14
	1.6.3.	Disponibilidad de otros recursos renovables	15
2.		PRESENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN RECOLECTADA	17
	2.1.	Densidad y concentración poblacional de la FTN	17
	2.2.	Principales indicadores socio económicos de la FTN	18
	2.3.	Análisis de la matriz energética.....	19
3.		PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	21
	3.1.	Recurso Hidráulico de la región	21
	3.2.	Cuencas Hidrográficas	21
	3.3.	Mapas hidrológicos	23
	3.4.	Sequias	24
	3.5.	Precipitaciones pluviales	26
	3.6.	Potencial hidráulico de la región	28
	3.7.	Resultados del análisis de información hidrológica por departamento	29
	3.7.1.	Departamento de Huhuetenango	29
	3.7.2.	Departamento de Quiché	30
	3.7.3.	Departamento de Alta verapaz.....	30

3.7.4.	Departamento de Izabal	31
3.7.5.	Caudales promedio por departamento	32
3.8.	Características topográficas de la región.....	33
3.9.	La conformación de elementos de la muestra del sistema aislado	34
3.10.	Potencia hidráulica (MW).....	36
3.11.	Cálculos.....	38
3.12.	Resultados obtenidos	41
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	45
	CONCLUSIONES	47
	RECOMENDACIONES.....	49
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
	ANEXOS.....	55

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Previsión para la generación en el año 2020	16
2. Mapa de densidad y concentración poblacional	17
3. Transformación de la matriz energética (2012-2026)	20
4. Mapa de amenazas por sequías republica de Guatemala	25
5. Caudales en Huhuetenango	29
6. Caudales en Quiché	30
7. Caudales en Alta Verapaz.....	31
8. Caudales en Izabal	31
9. Caudales promedios por departamento	32
10. Muestra de elementos del sistema aislado propuesto	36
11. Muestra de los resultados obtenidos para el sistema aislado propuesto para el año 2020.	42

TABLAS

1. Estudios previos de proyectos de electrificación en sitios aislados	4
2. Métodos de medición de caudales	7
3. Estimación de población en la región de la FTN.	18
4. Vertientes que influyen en la FTN	22
5. Cuencas hidrográficas que influyen en la FTN.....	23
6. Resumen hidrológico de cuencas y caudales.	27
7. Elementos de la muestra del sistema aislado	35
8. Resumen del cálculo del potencial hidráulico	40

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperio
CO	Monóxido de carbono
CO₂	Dióxido de carbono
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica
FTN	Franja Transversal del Norte
GEI	Gases de Efecto Invernadero
H₂O	Óxido de Hidrógeno
INDE	Instituto Nacional de Electrificación
INSIVUNEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
KWh	Kilovatio hora
Km²	Kilómetro cuadrado
M³/s	metro cúbico por segundo
MW	Megavatio
MEM	Ministerio de Energía y Minas
N/m³	Newton/metro cúbico
PER	Programa de Electrificación Rural
P	Potencia
%	Porcentaje
SO₂	Dióxido de azufre
SNI	Sistema Nacional Interconectado
W	Watt
ZRA	Zonas Rurales Aisladas

GLOSARIO

Amperio	Unidad que mide la intensidad eléctrica su símbolo es: A
Alta tensión	Por encima de 34,500 voltios (arriba de la media tensión)
Baja tensión	Por debajo de 1.000 V.
Central hidroeléctrica	Conjunto de instalaciones necesarias para transformar la energía potencial de un curso de agua en Energía Eléctrica.
Combustibles fósiles	Los combustibles fósiles son un ejemplo de los recursos almacenados bajo tierra hace millones de años. Cuando se queman estos, se producen entre otras cosas dióxido de carbono. Durante el proceso de incineración de los combustibles fósiles, se liberan sustancias tales como azufre y metales pesados, aumentando la polución.
Corriente eléctrica	Es el flujo de electricidad que pasa por un material conductor. Su intensidad se mide en amperios (A).

Distribución eléctrica	Proceso que consiste en suministrar electricidad; suele definir la porción de las líneas de media tensión de una empresa de servicios eléctricos situada entre el poste y el transformador de energía de la empresa y un punto de conexión/medidor del cliente.
Demanda	Hace referencia a la cantidad de energía que se necesita en un momento determinado y se mide en Megavatios (MW).
Efecto invernadero	Término usado para describir el efecto de calentamiento que resulta cuando la radiación de onda larga (longitud) queda atrapada por los gases de invernadero de origen natural y humano.
Electricidad	Se compone de la raíz Electra, prefijo derivado del griego electrón que significa ámbar y entra en la composición de numerosas palabras para indicar la presencia de electricidad o de propiedades eléctricas. Se puede decir además, que la electricidad es la acción que producen los electrones al trasladarse de un punto a otro por falta o exceso de los mismos.
Energía	Capacidad de los cuerpos para efectuar un trabajo Tiene la posibilidad de ser transformada fácilmente en cualquier otra forma de energía con un rendimiento satisfactorio, además su transporte es económico. Sus unidades son: Kilovatio hora = Kwh.

Energía eólica	Energía disponible debido al movimiento del viento, a través del paisaje; se origina en el calentamiento de la atmósfera, la tierra y los océanos por medio de la energía solar.
Energía solar	Energía electromagnética transmitida por el sol (radiación solar). La cantidad que llega a la Tierra es igual a un mil millonésimo de la energía solar total generada, o el equivalente de unos 420 billones de kilowatts-hora.
Energía renovable	Energía derivada de recursos que pueden regenerarse o que, para todo fin práctico, no se pueden agotar. Entre los tipos de recursos de energía renovable se incluye el movimiento del agua (energía hidráulica, de las mareas y de olas del mar), los gradientes térmicos del océano, la biomasa, la energía geotérmica, la energía solar y la eólica.
Gigavatio hora	GWh = Gigavatio hora, corresponde a un millón de Kwh.
Julio	Cantidad de calor que corresponde a la energía disipada por segundo.
Kilo	Prefijo que al ser colocado antes del nombre de una unidad lo multiplica por mil. Abrevia k.

Kilovatio	Unidad de potencia eléctrica, equivalente a mil vatios. Su símbolo es: kW.
Matriz energética	Es distribución donde se analiza la procedencia, la importancia y el uso de las diferentes fuentes energéticas de un país o región.
Media tensión	Por encima de 1,000 V hasta 34.5 Kv.
Medio ambiente	Conjunto, en un momento dado, de agentes físicos, químicos, biológicos y de factores sociales susceptibles de tener un efecto directo e indirecto, mediato o aplazado sobre los seres vivos y las actividades humanas.
Mega	Prefijo derivado del griego <i>mega</i> , que significa grande, simbolizado por la letra M; que antepuesto a una unidad, la multiplica por un millón. Se abrevia: M.
Megavatio	Unidad de potencia que vale un millón de vatios, su símbolo es MW.
Potencia eléctrica	Es la fuerza o el conjunto de fuerzas capaces de producir un trabajo u otros efectos. Su unidad de medida es el vatio (W).

Recursos renovables	“son aquellos cuya existencia no se agota por la utilización de los mismos, ya que no modifica su estado”, (España, 2008) como por ejemplo se puede mencionar la energía solar, energía eólica, hidráulica, geotérmica, entre otras.
Sistema aislado	Sistema que se encuentra a distancia lejana del sistema interconectado de generación eléctrica.
Vatio	Unidad de potencia eléctrica, equivalente a un julio o de 1,000 Ergios, su símbolo es W.
Voltio	Se define como la diferencia de potencial a lo largo de un conductor cuando una corriente de un amperio utiliza un vatio de potencia.

RESUMEN

El consumo de energía es uno de los grandes medidores del progreso y bienestar de una sociedad, un modelo económico como el actual, cuyo funcionamiento depende de un continuo crecimiento, exige también una demanda igualmente creciente de la misma.

Por otra parte, el empleo de las fuentes de energía actuales como el petróleo, gas natural o carbón acarrea consigo problemas ambientales o el aumento de los gases de efecto invernadero, por lo que se propone en el presente estudio de Investigación, la utilización de una fuente de energía renovable limpia como lo es el recurso Hidráulico.

La importancia del tema generación eléctrica con recursos renovables para sistemas aislados que tiene como fin proponer la generación de energía eléctrica con recursos hidráulicos, en la región de la Franja Transversal del Norte (FTN) donde se encuentran las poblaciones más aisladas del país y que cuentan con índices de pobreza extrema que no han tenido acceso a este importante recurso, lo cual ha detenido su desarrollo; por lo tanto, no han podido elevar su nivel de vida, para obtener mejoras en la salud, educación y obtención de posibles fuentes de trabajo.

A continuación se presenta la metodología que se desarrolló:

Fase 1. Se delimitó la región de estudio a la Franja Transversal del Norte donde se encuentran las poblaciones más aisladas que actualmente no cuentan con servicio de energía eléctrica y que no pueden electrificarse en forma

convencional. Es decir, que están excluidos del Sistema Nacional de Interconectado.

Esta se desarrolló de acuerdo a la bibliografía propuesta y estudios realizados anteriormente (estudios sobre electrificación rural y poblacional), localización geográfica y mapas de localización poblacional, entre otros.

Fase 2. Es esta fase se determinó el Recurso Hidráulico de la región, esto consistió en determinar si la región delimitada (Franja Transversal del Norte) cuenta con recurso natural hídrico para implementar el sistema de generación de energía eléctrica propuesto. Para lo cual se realizó un análisis de las cuencas hidrográficas de la región, así como estudio de mapas hidrológicos para ubicar el recurso Hídrico próximo en la región seleccionada con anterioridad, así como sus características topográficas de ubicación.

Fase 3. En esta fase se determinó el potencial hidráulico en la región, para lo cual se realizó un análisis técnico para determinar o identificar los caudales medios que en la fase cuatro serán necesarios para obtener la cantidad de potencia hidráulica, la cual deberá estar entre el rango de generación de la potencia eléctrica propuesta.

Fase 4. En esta fase se determinó la potencia hidráulica (MW) de la Región, esta fase consistió en la cantidad de potencia que se obtendría en la misma, con la cual sería factible satisfacer la demanda de potencia eléctrica para 1, 203,172 habitantes que en el año 2020 no tendrán acceso al sistema nacional interconectado. Y/o la determinación de un porcentaje de generación de potencia eléctrica para satisfacer parte de esa demanda creciente, se realizó de acuerdo al cálculo final de potencia que indique la factibilidad de

instalar una pequeña central hidroeléctrica con la modalidad de sistema aislado como se ha propuesto en el presente proyecto de Investigación.

Para la determinación de la potencia aprovechable, se realizó estudios y análisis de planos topográficos para determinar la caída neta y los demás elementos que conformarán este tipo de proyectos (toma, tubería o canal de conducción, cámara de carga, tubería de presión y casa de máquinas etc.), al final se determinó la potencia total o parcial (para la muestra del proyecto tipo).

De las conclusiones de la investigación se puede mencionar:

- Se concluye que sí es posible satisfacer la demanda proyectada para el año 2020 con la modalidad de un sistema hídrico de generación aislado, que podría satisfacer la demanda proyectada para ese año, el cual sería del orden de los 43.7 MW y que en términos de habitantes sería de 1, 203,173 y/o 218,759 hogares de un consumo promedio de 200 Watts/hogar. Sin embargo, al establecer el sistema general de acuerdo al potencial existente de la región, se concluye la implementación de un sistema aislado en cada uno de los veintiún (21) municipios que conforman toda la región (FTN), los cuales deberán generar una potencia hidráulica de 2.1 MW, con ello se obtendría una potencia total en la región de 44.1 WM que puede satisfacer dicha demanda.
- De acuerdo al estudio y análisis de las fuentes de información propuesta en la investigación en el aspecto del recurso hídrico (Cuencas Hidrográficas y mapas hidrológicos) de la región delimitada propuesta para la investigación, se puede concluir que al haber establecido el potencial hídrico este puede generar suficiente potencia eléctrica para satisfacer la demanda proyectada al año 2020.

- Se concluye que de los resultados de la investigación se ha determinado una potencia eléctrica en la región de alrededor de los 44.1 MW, la cual puede satisfacer la demanda esperada proyectada para ese año en un cien por ciento (100 %).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Antecedentes

En esta parte de la investigación es importante indicar que las diferentes referencias que se proporcionaron para el desarrollo del tema, representa un aporte significativo y vital, ya que en cada sección o tema que se abordó como por ejemplo: conceptos generales, datos técnicos, cuadros estadísticos, gráficos y diagramas, entre otros, fueron de suma importancia para el logro de los objetivos propuestos. La formulación de estas referencias bibliográficas se realizó de acuerdo a las normas APA, quinta edición. Al final del tema se hacen los comentarios del aporte de las referencias al estudio de investigación.

Según datos aportados por el documento (Electricidad Ined Aneño Ency, 2011, pág. 1) “La historia de la generación de Energía Eléctrica en Guatemala inicia en 1884 al instalarse la primera hidroeléctrica en la finca El Zapote, al norte de la capital.”

A lo largo de los años se ha señalado que Guatemala es un país con un gran potencial de desarrollo hidráulico. Lo anterior fue confirmado por estudios efectuados por la Unidad del Plan Maestro y Estudios Derivados del Instituto Nacional de Electrificación (INDE), los cuales fueron iniciados en el año de 1976.

Estos estudios fueron formulados con recurso hidráulico de los cuales se obtuvo una cantidad significativa de potencia hidráulica para la generación de energía eléctrica, estos estudios fueron agrupados de acuerdo a las tres

vertientes del país: “Océano pacifico, del Atlántico y la vertiente del Golfo de México” (Electrificación, 1995).

De acuerdo a (Electrificación, 1995, pág. 3) “estas centrales hidroeléctricas explotarían un potencial de 6,000 MW con una generación aproximada de 35,000 GWh/año.

La potencia instalada sería del orden de los 4,000 MW que con una eficiencia promedio de 68.1 % se generaría alrededor de 13,581 GWh/año”.

“El consumo de energía eléctrica proveniente de las plantas hidráulicas es actualmente del 36.7 % y las proyecciones para el año 2012 fueron de 47.5 % y para el año 2022 serán del 58.0 % es conveniente indicar que el aprovechamiento al presente es del 5 %”. (MEM, 2011, págs. 23,24)

Cada año crece la tendencia hacia la búsqueda de alternativas de generación de energía que provenga de fuentes renovables que al mismo tiempo sean amigables con el planeta. Esta búsqueda por la eficiencia energética incluye a proyectos hidráulicos, uso de energía solar, energía eólica entre otras.

Como indica el documento (MEM, 2011) que lo anterior “conlleva a un cambio en la matriz energética modificando la composición actual del parque generador de Guatemala, con una visión de mediano y largo plazo que permita que hacia el año 2022, se pueda contar con un 58.0 % de la generación eléctrica con recurso Hidráulico”.

En Guatemala, el aporte de la generación aislada mediante energías alternas renovables, no ha sido significativo, ya que existe mucho desconocimiento y vaguedad con respecto al tema, además de falta de conciencia y de respeto al medio ambiente por medio de los entes encargados

de la producción de electricidad a macro escala; sin embargo, con el incremento de los precios y daños causados por combustibles fósiles derivados del petróleo, y el aumento desproporcionado de la demanda eléctrica nacional, hará que la generación aislada con recurso hidráulico sea considerada importante para contribuir en satisfacer esa demanda.

Guatemala cuenta con un potencial hidráulico de 6,000 MW y geotérmico de 1,000 MW, de los que hasta ahora se aprovechan únicamente el 15 % y 5 %, respectivamente.

En el presente año 2015, el Ministerio de Energía y Minas –MEM- está investigando formalmente los recursos eólicos, que por las características geográficas del país no son fáciles de predecir.

En el documento (Electrificación, INDE, 2014) se indica que a pesar de la disponibilidad de recursos renovables la realidad es que en la última década la dependencia de Guatemala de la importación de combustibles fósiles ha aumentado. Para cambiar el rumbo, el MEM ha elaborado una propuesta de ley de incentivos para energías renovables.

Es importante indicar que varios proyectos de sistemas aislados de generación eléctrica han corrido a cargo de entidades gubernamentales, así como ONGs que trabajan mayoritariamente con fondos de la cooperación internacional. Ello debido a que la dispersión de las poblaciones en el área rural del país hace que la gestión comercial, la de operación y mantenimiento de los sistemas de distribución de energía eléctrica resulte difícil, y por lo tanto poco atractivo para las empresas privadas de distribución de energía eléctrica.

Estudios energéticos previos en la república de Guatemala

A la fecha se han implementado, en esta región una serie de proyectos pequeños de generación aislada, la gran mayoría con sistemas fotovoltaicos, los cuales no han tenido mayor incidencia en la demanda de energía eléctrica, por otro lado se encuentran otros sistemas de generación aislada como es la generación de energía eólica, la cual no se ha podido implementar por falta del gradiente eólico que no se encuentra en esta región, por lo que la propuesta más viables es la utilización del recurso renovable como el agua como materia prima y que se encuentran en la mayoría de estas regiones del país, para lo cual se podría obtener energía limpia.

El trabajo que se ha realizado hasta hoy en el ámbito del desarrollo rural a través de las energías renovables y generación aislada, consiste básicamente en proyectos de iluminación solar residencial, estufas mejoradas y pequeños proyectos hidroeléctricos de menos de 1 MW de potencia estos principalmente en fincas privadas.

Los avances de la electrificación Rural (conexiones al SNI) en Guatemala, están generados por la sumatoria en la ejecución de diferentes programas y proyectos que han sido desarrollados por las instituciones encargadas del sector energético y en especial del subsector eléctrico, el mayor impacto se ha alcanzado a través del plan de electrificación rural del Instituto Nacional de Electrificación (INDE), el cual es gestionado a través del fideicomiso de administración para obras rurales de occidente y oriente”.

De acuerdo a lo indicado en el informe (Velásquez, 2009, pág. 1) “Guatemala presenta una de las experiencias más exitosas en electrificación rural por extensión de redes (conectadas al Sistema Nacional Interconectado),

elevando la cobertura de electrificación rural del 67 al 85 % en menos de diez años”.

Actualmente existen varios actores involucrados en la propuesta de proyectos que buscan suplir la demanda de energía eléctrica de la región, a través de recursos naturales renovables, dentro de los que se pueden mencionar Fundación Solar y JICA (Agencia de Cooperación Internacional del Japón). La integración de los proyectos que proviene desde diferentes sectores e instituciones dentro de la región, toman como referencia los que están actualmente en ejecución o planificación los cuales deben considerarse como un aporte importante a nivel regional.

La utilización de otras energías renovables debería de diversificarse y no depender únicamente de la generación a través de Hidroeléctricas, ya que esto podría hacer más vulnerable el abastecimiento de electricidad haciéndolo dependiente por ejemplo de variaciones climáticas.

Definición del problema

De acuerdo de la información del MEM en el año 2012, varias regiones del país especialmente las ubicadas en la franja transversal del norte y Peten, se encuentran en situación de subdesarrollo y pobreza por varios factores, entre ellos la falta de energía eléctrica; actualmente la mayoría de pobladores de estas regiones utiliza ocote, candelas y gas para iluminar las viviendas. La implementación de este tipo de proyectos propuestos de generación aislada tiene como objetivo contar en estas regiones con proyectos para usos productivos de energía, visualizándola no como un fin si no como un medio para alcanzar el desarrollo y la mejora de calidad de vida de sus habitantes, el financiamiento a través del Plan de Electrificación Rural –PER-, de pequeñas centrales hidroeléctricas en zonas rurales aisladas, que pueden ser gestionadas

por comunidades y/o municipalidades podría ser una solución para facilitar la generación aislada.

Como datos importantes se puede indicar que de acuerdo a (INE, 2013) en el año 2012 el número de habitantes en la franja transversal del norte era de 1,684,109 habitantes, según el subsector eléctrico el 54.59 % no contaban con energía eléctrica lo que indicaría que 919,355 habitantes sin este servicio y lo cual representaba 167,155 hogares (5.5 miembros/hogar). El número de Zonas Rurales a nivel Nacional era de 3,422. Y en lo que respecta a la región de la franja transversal del norte se localizaban alrededor de 1,855 (54.21 %).

Para el año 2020 que es el estimado para el presente estudio de investigación según (Segeplan, 2011) la proyección de la población en la región de la zona transversal del norte sería del orden de los 2,204,016 de lo cual 1,203,172 habitantes no contarán con energía eléctrica esto equivaldría a 218,775 hogares, con un promedio de consumo de 200 watts por hogar.

El 54.21 % de comunidades en zonas rurales aisladas se concentra en la Franja Transversal del Norte (Huehuetenango, Quiché, Alta Verapaz e Izabal). Los departamentos de Alta Verapaz y Petén son los que presentan los porcentajes más bajos de electrificación rural a nivel nacional en el 44.6 % y 71.9 % en esos departamentos con índices de pobreza del orden del 54,8 % en Alta Verapaz y el 59.3 % en Petén, respectivamente.

El departamento de Alta Verapaz presenta el mayor número de comunidades en zonas rurales aisladas, seguido por el departamento de Quiché. Un dato importante es que el departamento de Alta Verapaz, tiene un índice de electrificación de tan solo el 44.6 % (el menor de todos los departamentos del país), es donde se ubica la mayor hidroeléctrica (Chixoy), la

cual produce aproximadamente una tercera parte de la de energía eléctrica consumida en Guatemala.

Es importante indicar que existe la Ley de Incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable, contenida en el Decreto No 52-2003, con el objetivo de promover proyectos de energía renovable para el desarrollo de nuestro país en aspecto energético.

Justificación de la investigación

De acuerdo al campo de investigación de la Maestría de Energía y Ambiente (MEA) está el promover las fuentes renovables de energía para obtener energía limpia y tener capacidad de formular proyectos energéticos de alta eficiencia con el fin de satisfacer la demanda de energía en las regiones de nuestro país.

El objetivo del presente proyecto de Investigación fue plantear la generación eléctrica con recursos renovables especialmente con proyectos hidráulicos para sistemas aislados en el área rural.

Ello debido a que a través del tiempo la población rural aislada no han tenido la oportunidad de contar con el recurso tan importante como es la energía eléctrica, debido a la falta de cobertura del Sistema Nacional Interconectado (SNI), esto ha frenado su desarrollo y el no utilizar el potencial hidráulico que poseen.

Por otro lado, es importante mencionar la preocupación a nivel mundial por el impacto negativo al medio ambiente, especialmente aquellos fenómenos que tienen incidencia en, el efecto invernadero y el cambio climático, por la vulnerabilidad que presentan algunos países especialmente aquellos países en vías de desarrollo. Por lo que algunos países consientes de la situación se inclinan cada vez más hacia la opción a medidas que protejan el planeta.

(Países que firmaron el tratado de Kioto). Por otro lado, se realizan acuerdos y tratados a nivel internacional que incluyen como objetivo prioritario de un desarrollo sostenible que no comprometa los recursos naturales.

Las energías renovables han dejado de ser tecnologías caras y minoritarias para ser plenamente competitivas y eficaces para cubrir las necesidades de la demanda.

Dentro de estas energías renovables se encuentra la energía hidráulica, como principal aliado para la generación de una energía limpia, así como también otras alternativas similares como los recursos eólicos, solares, geotérmicos y biomásicos entre otros.

Estas fuentes renovables además de contrarrestar los efectos negativos al medio ambiente que producen los combustibles fósiles, genera el beneficio de estimular el empleo el desarrollo tecnológico y el crecimiento económico.

Existe preocupación cada vez mayor a nivel mundial, por el deterioro del medio ambiente, especialmente por la emisión de gases de efecto invernadero que ha generado el llamado cambio climático y ha hecho surgir generando una elevación de temperatura en algunas regiones del planeta tierra.

La energía eléctrica es uno de los factores fundamentales de los problemas sociales y económicos en cualquier país en vías de desarrollo y también debe ser parte esencial de su solución. Al carecer de acceso a servicios energéticos eficientes, confiables y no contaminantes, las poblaciones aisladas en la Franja Transversal del Norte se ven privados de las oportunidades básicas de desarrollo económico. El sistema nacional de generación (convencional) operacionalmente ha sido muy centralizado y su expansión no ha llegado a estas regiones donde los costos y la dispersión de las poblaciones dificultan conectarse al mismo ya que en esas aéreas rurales generalmente no tienen los

recursos necesarios para financiar las líneas y redes de distribución que les proporcionarían la energía eléctrica.

Un factor a considerar es el que este tipo de energía renovable pueden proporcionar suficiente energía eléctrica de una forma sostenible, confiable y limpia, y posibilita la cobertura a la mayoría de las poblaciones aisladas ubicadas en la FTN.

Adicionalmente a lo anterior, está el promover las fuentes renovables de energía para obtener energía limpia y tener capacidad de formular proyectos energéticos de alta eficiencia, con el fin de satisfacer la demanda en aquellas poblaciones aisladas en la región que no cuenta con este servicio tan esencial.

Los resultados de la creación de este tipo de proyectos al corto o mediano plazo, se obtendrá: mejoras en la salud de la población, elevación del nivel de vida así como nuevas fuentes de trabajo, entre otros beneficios, adicionalmente se obtendría que la matriz energética cuente en su estructura con mayor porcentaje de recursos hidráulicos, especialmente la incorporación de este tipo de proyectos, y por otro lado, contribuir a la mitigación de los efectos contaminantes al medio ambiente, otra de las ventajas de este tipo de proyectos es el tiempo de ejecución comparado con los beneficios de pertenecer, en el largo plazo, al Sistema Nacional Interconectado -SNI-.

Alcances y límites

El estudio de la investigación se desarrolló en forma documental, y el tipo de la misma es descriptiva con la cual se buscó especificar las características de la región bajo estudio como lo es la Franja Transversal del Norte donde se ubican la mayoría de poblaciones que aún no cuentan con energía eléctrica; también se seleccionó una serie de datos importantes como es la existencia del potencial hidráulico en esta zona, para lo cual se recolectó información

que se ha obtenido con anterioridad; otro aspecto fue el análisis de toda la información técnica recabada, la determinación del porcentaje de generación eléctrica que se pueda obtener de la aplicación de sistema aislado como el propuesto en regiones rurales aisladas con una potencia hidráulica significativa.

Los alcances del estudio de investigación generación eléctrica en sistemas aislados en el área rural con recursos hidráulicos es alcanzar resultados de generación de potencia hidráulica (MW) que se podría obtener para cubrir en su totalidad la demanda en esas regiones aisladas, las cuales no han tenido la oportunidad de energizarse desde el sistema nacional interconectado de nuestro país.

Es necesario hacer notar que los estudios descriptivos miden de manera independiente los conceptos o variables con los que tienen que ver. Aunque también se pueden integrar las mediciones de cada una de las mismas y su objetivo no es indicar cómo se relacionan las variables medidas.

Otro alcance que está relacionado con el anterior, es la disponibilidad de llegar a determinar el porcentaje de potencia hidráulica generada que pueda cubrir a esa demanda, y pueda beneficiar a la mayor parte de los 1, 203,172 habitantes que encontraran fuera del sistema en el año 2020.

Dentro del estudio de investigación se encuentran otros alcances que no son cuantificables, pero que son importantes y que sí se podrían visualizar en el mediano plazo, por ejemplo, el desarrollo sustentable en estas comunidades, también es el evitar el deterioro ambiental en estas regiones con la utilización del recurso renovable como es el agua.

Limitaciones de la investigación

Una de las limitaciones que se ha encontrado al revisar las citas bibliográficas de informes, artículos, guías e índices de las instituciones encargadas del sub sector eléctrico no se encuentran actualizadas, información técnica clave para un estudio de investigación de este tipo que se pretende desarrollar.

Otra limitación importante que se presentó fue viajar hacia algunas poblaciones de la región (FTN) para una visita técnica, ya que como es de conocimiento público que existen problemas de resistencia en la actualidad en la mayoría de estas regiones, debido a que están en contra de este tipo de proyectos.

Formulación de preguntas orientadas

El objetivo principal de la presente investigación fue determinar si se cuenta con los recursos Hidráulicos necesarios en la región de la Franja Transversal del Norte, los cuales puedan desarrollar sistemas aislados para cubrir una demanda de energía eléctrica constante al año 2020. Para lo cual se planteó las siguientes preguntas: ¿Existe solución para satisfacer la demanda de energía eléctrica para el año dos mil veinte (2020), en la región de la Franja Transversal del Norte donde se ubican las poblaciones más aisladas del país?, ¿Se podrá determinar un potencial de recurso natural renovable hidráulico para encontrar una solución para la falta de energía eléctrica en esa región (FTN)?, ¿Se podrá satisfacer esa demanda en su totalidad o parcialmente?

OBJETIVOS

General

Determinar si es posible satisfacer la demanda de potencia eléctrica para el año 2020, en la región de la Franja Transversal del Norte (FTN), a través de sistemas aislados de generación, utilizando recursos hidráulicos.

Específicos

1. Establecer el potencial hidráulico en la región de la Franja Transversal del Norte (FTN) donde se encuentran la mayoría de comunidades que no cuentan con energía eléctrica.
2. Determinar totalidad y/o el porcentaje de potencia hidráulica, con el tipo de generación propuesto con sistemas aislados, pueda satisfacer la demanda en esta región en el año 2020.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

Metodología

Se ha llevado a formular la siguiente investigación con el objetivo general de aportar parte a una solución de un problema a nivel nacional, cuyo beneficio va encaminado a satisfacer una demanda de un servicio esencial y necesario para el desarrollo socioeconómico de una parte de la población rural aislada con altos índices de pobreza, de lo cual se considera de alta prioridad para el país, para lo cual se propone la utilización del Recurso Renovable Hidráulico (el cual no genera contaminación ambiental específicamente gases de efecto invernadero) en la Franja Transversal del Norte (FTN), región donde se ubican la mayoría de estas poblaciones aisladas del país (1855 poblaciones) que aún no están conectas al Sistema Nacional Interconectado (SNI). Se estima que para el año 2020 la demanda de potencia eléctrica estará en el orden de los 43.7 MW.

Diseño de la Investigación

La investigación se realizó forma documental. Y el tipo de la misma es de carácter descriptiva con el desarrollo desde una perspectiva teórica del tema propuesto, es decir, la descripción del estado actual de la generación en Guatemala, realizando un estudio de la composición de la matriz energética y su tendencia al mediano y largo plazo, así como descripción de las poblaciones aisladas (municipios) dentro de la región de estudio que se consideran de importancia para el proyecto de investigación.

Además, se realizó una descripción detallada de las cuencas hidrográficas, para determinar los recursos hidráulicos disponibles en la región de la Zona Transversal de Norte.

Fases de la investigación

Fase 1. Determinación y delimitación de la región a Investigar.

Se definió y se delimitó la región aislada en el área rural que actualmente no cuentan con servicio de energía eléctrica y que no pueden electrificarse en forma convencional. Es decir que están excluidos del Sistema Nacional de Interconectado.

Se realizó de acuerdo a la bibliografía propuesta y estudios previos (estudios sobre electrificación rural y poblacional), la localización geográfica y mapas de ubicación poblacional, entre otros.

Fase 2. Determinación del recurso hídrico de la región.

Se determinó si la región cuenta con recurso hidráulico para implementar sistemas aislados de generación de energía eléctrica.

Se realizó un análisis de las cuencas hidrográficas de la región, así como estudio y análisis mapas hidrológicos para ubicar el recurso Hídrico en la región seleccionada, así como sus características topográficas generales de ubicación.

Fase 3. Determinación del Potencial Hidráulico de la región (FTN).

Se determinó en la región bajo estudio la disponibilidad de aprovechamiento hidrológico. Se realizó un análisis técnico para determinar los caudales medios que en la fase cuatro fue importante para determinar la cantidad de potencia

eléctrica a nivel general de la región y así definir cuántos proyectos se pueden desarrollar dentro del rango de potencia propuesto.

Fase 4. Determinación de potencia hidráulica (MW) de la región.

Se determinó la cantidad de potencia que se obtendría en la región, y si es factible satisfacer la demanda de energía eléctrica de 1, 203,172 habitantes que en el año 2020 no tendrán acceso al sistema nacional interconectado. Y/o la determinación de un porcentaje de generación de energía eléctrica para satisfacer parte de esa demanda creciente.

Se realizó de acuerdo al cálculo final de potencia para obtener la factibilidad de instalar una pequeña central hidroeléctrica que pueda generar una potencia hidráulica con la modalidad de sistema aislado como se ha propuesto en la presente Investigación.

Para la determinación de la potencia aprovechable se realizaron estudios y análisis de planos topográficos, para determinar la caída neta y las demás elementos que conforman este tipo de proyectos (toma, tubería o canal de conducción, desarenador cámara de carga, etc.) adicionando los caudales medios para que al final se pudiera determinar la potencia hidráulica total o parcial del proyecto de generación aislado.

El diseño documental

Consistió en un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores, en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas. Como toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos, por ejemplo índices socioeconómicos, pobreza así como funcionamiento, limitaciones del sistema

nacional interconectado de energía eléctrica así como el potencial existente de recursos renovables sin explotar, entre otros.

La presente investigación determinará si la propuesta de generación eléctrica pueda cubrir la demanda actual y/o que porcentaje que pueda satisfacer la misma.

El alcance del estudio de investigaciones será la determinación de la cantidad de generación eléctrica que se pueda obtener con recursos hidráulicos, y la posibilidad de establecer un sistema de generación para las regiones aisladas en esta región que no han tenido acceso al sistema nacional interconectado.

El diseño documental de la investigación permitirá identificar y cuantificar las causas y efecto de las variables dependientes e independientes que sean determinadas para el presente estudio de investigación generación eléctrica con recursos hidráulicos para sistemas aislados.

Plan de análisis de datos

La consulta bibliografía para el proyecto de investigación ha sido selectiva siendo las proporcionadas por fuentes primarias (directas) datos de primera mano, libros, informes técnicos, artículos científicos, sitios Web, fuentes secundarias y fuentes terciarias.

Fases del plan de análisis de datos

Previo a indicar las fases del plan de análisis de datos es importante indicar que inicialmente se definió y delimito la región para la investigación, la cual se

consideró la Franja Transversal del Norte (FTN), debido a que es donde se localizan la mayor cantidad poblaciones más aisladas del área rural, y que actualmente no cuentan con servicio de energía eléctrica y que no pueden electrificarse en forma convencional ya que las poblaciones son muy dispersas y presentan índices de pobreza extrema en muchos de los casos.

El plan de análisis de datos se resumió en las siguientes fases.

Fase 1. Análisis de la bibliografía propuesta para esta fase de la investigación, con el objetivo de establecer las generalidades de la región de la FTN, como por ejemplo: datos socioeconómicos y poblacionales, entre otros.

Fase 2. Análisis y recopilación de información de estudios realizados anteriormente, estudios sobre electrificación rural convencional y sistemas aislados con otros tipos de energía renovable que se han implementado en la región, así como información geográfica, geológica y topográfica de la misma, la fuentes de información fueron mapas geográficos detallados a escala 1:50:000, así como mapas topográficos para obtener conocimiento de la topografía y relieve de la región delimitada de la investigación.

Fase 3. Se analizó y recopiló información técnica para determinar la cantidad de cuencas hidrográficas que influyen dentro de FTN, es decir en el aporte hidráulico, esto para llegar a determinar el potencial hidráulico en toda la región, esta información técnica se obtuvo a través de los datos de las cuencas hidrográficas como precipitación y caudales.

Fase 4. En esta fase los datos obtenidos se utilizaron para generar los cuadro resúmenes de caudales medios para determinar el potencial hidráulico de la región por municipio, para determinar la potencia hidráulica necesaria para el

sistema aislado propuesto; también la información cuantitativa se utilizó para generar gráficos estadísticos como curvas e histogramas esto para obtener los caudales en los 21 municipios que conforman la FTN. Y así como porcentajes de caudal en cada uno de ellos.

El diseño de la Investigación es la estrategia general que se adoptó para responder al problema planteado, en atención al diseño, la investigación será en forma documental. Y el tipo de la misma será descriptiva.

A continuación se presenta un resumen los elementos que sustentaron el marco metodológico del trabajo de investigación.

- Tipo de la investigación: documental, descriptivo y explicativo análisis y deducción de la información generada por otros investigadores sobre el tema en fuentes documentales, impresas y electrónicas.
- Población y muestra: habitantes de la región de la zona transversal del norte que al año 2020 no contaran con energía eléctrica.
- Técnica de procesamiento de datos: clasificación, registro y tabulación.
- Técnicas de análisis de datos: técnicas lógicas y técnicas estadísticas, las primeras incluyen: deducción, análisis y síntesis, la segunda: descriptivas e inferenciales.

Tratamiento estadístico y matemático

La estadística descriptiva se utilizó en el recuento de poblaciones (municipios) dentro de la región de la FTN que no cuentan con energía eléctrica, con el fin de ordenar y clasificar los datos obtenidos, tanto de su disponibilidad de recurso hídrico como accidentes topográficos y geológicos de

estudios realizados con anterioridad, para lo cual se construyeron tablas que generaron gráficos que permitieron simplificar la información y además tener una visualización clara de la distribución de las características de la región, tanto en el aspecto económico social como el aspecto técnico.

La estadística inferencial se utilizó para realizar descripciones, comparaciones y generalizaciones de la información obtenida de la fuente bibliográfica y su proyección tomando como base los resultados obtenidos de la estadística descriptiva especialmente en el cálculo de la demanda de energía eléctrica, para 1, 203,172 habitantes que estarán fuera del Sistema Nacional Interconectado en el año 2020.

Aplicación de la estadística descriptiva a la investigación

- Recursos hidráulicos disponibles: Media, histogramas y diagramas de sectores.
- Precipitaciones Pluviales: Datos estadísticos de investigaciones sobre el tema, en la FTN.
- Sequias: Datos estadísticos de investigaciones sobre el tema, en la FTN

Aplicación de la estadística inferencial a la investigación

- Esta se utilizará para realizar descripciones de los distintos escenarios: regiones aisladas.
- Un apoyo a los resultados obtenidos de la estadística descriptiva: de medidas a utilizadas.

El tratamiento matemático es de mucha importancia y esencial, ya que se realizaron cálculos importantes al final del estudio, por ejemplo: para llegar a determinar la cantidad de potencia de acuerdo a la cantidad del recurso hídrico

en la región (cuencas hidrográficas) lo cual determinó que se logra cubrir la demanda de potencia eléctrica en su totalidad.

Se realizó aplicación de un tratamiento matemático en la determinación o cálculo de los caudales medios de acuerdo a la información técnica que obtuvo de la bibliografía propuesta, para desarrollar esta parte del trabajo de Investigación.

Operacionalización del evento

Dentro de la operacionalización del evento se pueden mencionar los aspectos siguientes, y que son relevantes dentro de la Investigación, haciendo énfasis que las variables tanto cuantitativas como las independientes del proyecto de investigación.

Variables Cuantitativas Dependientes: Recursos hídricos.

Variables Independientes: Precipitaciones y sequías.

La variable cuantitativa, recursos hídricos es relevante en el estudio de investigación, ya que es el elemento o materia prima que genera este tipo proyecto que propone generación de energía eléctrica limpia, barata y de fácil operación con un equipo de generación micro, en la Región de la FTN.

Durante el estudio se cuantificó la disponibilidad de este recurso hídrico en la región (FTN), analizando la aportación de cada una de las cuencas hidrográficas para determinar un caudal promedio que fue el que determinó la capacidad de potencia de acuerdo a la propuesta del proyecto de investigación.

En cuanto a las variables cuantitativas independientes precipitaciones pluviales y sequias, variables de mucha importancia para estructurar el sistema aislado de generación propuesto analizar, ya que de su comportamiento dependerá el éxito del mismo, de acuerdo al análisis de éstas, especialmente de las precipitaciones y sequias en la región, se determinan cambios inesperados de las mismas, teniendo certeza, en que el recurso hidráulico requerido sea el adecuado para la operación del generador propuesto.

También en esta fase se consideraron los siguientes indicadores: densidad de población y riesgos de sequía y porcentaje de precipitación normal.

Técnicas de recolección de los datos

Se presentan las técnicas que se utilizaron para la recolección de datos necesarios, para el desarrollo del estudio de investigación.

- Instrumentos de recolección de datos: medios bibliográficos, medios electrónicos, fichas y video conferencias.
- Técnicas de procesamiento de datos: clasificación, registro, tabulación y codificación.
- Técnicas de análisis de datos: técnicas lógicas y técnicas estadísticas.

INTRODUCCIÓN

Guatemala es un país en vías de desarrollo donde una gran cantidad de recursos naturales no han sido explotados, entre los cuales se pueden mencionar recurso de energía solar, energía geotérmica y especialmente el recurso hidráulico el cual según información de las instituciones del subsector eléctrico nacional, el potencial es de 6,000 MW y que en la actualidad solamente se ha utilizado el 17% (854 MW) siendo este un recurso natural que genera energía limpia y lo más importante que es amigable con el medio ambiente, y que no se le ha dado la cobertura necesaria para que pueda satisfacer una demanda constante a nivel nacional de aproximadamente del orden de los 600 MW y tiene un déficit del 5% anual (80 MW). Dentro de este contexto se encuentra la demanda de potencia eléctrica de las Zonas Rurales Aisladas que se encuentran fuera del Sistema Nacional Interconectado (SNI).

El sistema de generación y transmisión de energía eléctrica se ha expandido hacia regiones con mayores índices de aumento poblacional, de regiones industriales y agrícolas del país, por otro lado el MEM ha implantado un programa de electrificación rural que ha sido bastante significativo para satisfacer la demanda de energía eléctrica en el área rural a través de conexiones a las líneas y redes eléctricas del SNI en forma convencional. Sin embargo existen comunidades rurales que se encuentran aisladas en varias regiones de nuestro país y la mayoría de estas se encuentran ubicadas en la Franja Transversal del Norte (FTN), y presentan altos índices de pobreza y pobreza extrema y que están muy alejadas de las líneas del SNI y aunado a estos factores sus poblaciones son muy dispersas (viviendas) esto ha llevado a llamarles “Zona Rurales Aisladas”, o zonas dispersas con este escenario es

importante encontrar alternativas de solución para poder satisfacer esa demanda, ya que a medida que aumenta la población esta se incrementa.

El MEM tratando de encontrar soluciones viables para satisfacer esta demanda ha implementado una serie de proyectos fotovoltaicos de pequeña escala lo cual no ha sido muy significativo de acuerdo a la demanda.

De acuerdo a (Segeplan, 2011) “la población proyectada para el año 2020 de la región de la Franja Transversal Norte será de 2, 204,016 habitantes de los cuales el 54.59 % no tendrá acceso a este servicio que en términos de poblacionales representará un total de 1, 203,172 habitantes (218,759 familias), para lo cual es necesaria una potencia hidráulica de 43.75 MW, para cubrir dicha demanda.

A continuación se presenta una descripción de los capítulos que conforman la investigación en forma general:

Capítulo 1. Marco teórico: Es esta etapa del estudio donde se reunió toda la información documental, para poder confeccionar el diseño metodológico de la investigación, es donde se estableció la información relevante para la misma, como se recopiló, de qué manera se analizó y en cuanto tiempo se llevó a cabo todas las actividades.

Para el desarrollo de este marco teórico se planteó las siguientes actividades a desarrollar: a) Antecedentes b) Justificación de la investigación c) Demanda de servicios energéticos en el área rural del país d) Teorías, modelos y métodos relacionados en el desarrollo de la investigación e) Conceptos generales de tipos de generación eléctrica, e) Importancia de la energía renovable entre otras.

Capítulo 2. Metodología: en este capítulo se planteó la metodología general para poder cumplir con los objetivos propuestos en el estudio de la investigación para ello se desarrollaron las siguientes actividades: a) El diseño de la investigación b) el diseño documental, c) Un plan de análisis de datos d) Técnicas de recolección de datos e) Técnica de análisis de datos f) Tratamiento estadístico y matemático.

Capítulo 3. Dentro de las actividades programadas para este capítulo se hizo énfasis en las siguientes: a) Densidad y concentración poblacional en la región de la franja transversal del norte (FTN) b) Estimación de población en la (FTN) actual y proyectada al año 2,020 c) Un análisis de la matriz energética en un periodo del año 2,012 al año 2,026.

Capítulo 4. Este capítulo es esencial ya que en se desarrolló las siguientes actividades: a) El análisis de las cuencas hidrográficas que se encuentran ubicadas dentro de la región de la franja transversal del norte b) Análisis de mapas hidrológicos de la región c) Determinación del recurso hídrico en la región bajo estudio (FTN) e) Determinación de un resumen hidrológico de la región y f) Análisis y determinación de caudales.

Capítulo 5. En este capítulo se realizó un análisis de los cuatro departamentos y los 21 municipios que los conforman la Franja Transversal del Norte en el aspecto hidrológico que aportan las distintas cuencas hidrográficas que puedan ser explotadas en función de sus caudales, esto para poder obtener una potencia hidráulica por cada sistema aislado propuesto, dentro de las actividades programadas se pueden mencionar las siguientes a) resultados del análisis de información hidrológica por departamentos y municipios b) Estudio y análisis de las características topográficas de la región c) Determinación de la conformación de elementos de la muestra del sistema

aislado propuesto d) Determinación de la potencia eléctrica (MW), e) resultado del cálculo de la potencia.

1. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

1.1. A qué se le denomina Franja Transversal del Norte

En el Decreto 60-70, aprobado por el Congreso Nacional se declara de interés nacional, el establecimiento de zonas de desarrollo agrario en el área comprendida, dentro de los municipios: Santa Ana Huista, San Antonio Huista, Nenton, Jacaltenango, San Mateo Ixtatan y Santa Cruz Burillas en Huehuetenango, Chajul y San Miguel Uspantan en el Quiche, Cobán, Chisec, San Pedro Carcha, Lanquin, Senahu, Cahabón y Chahal, en alta Verapaz y la totalidad del departamento de Izabal.

De esta región se determinó todos los accidentes geográficos especialmente en las cuencas hidrográficas de las cuales se obtendrá el potencial hidráulico, que será el elemento básico para el tipo de generación de energía eléctrica que se está proponiendo en la investigación.

La importancia del tema generación eléctrica con recursos renovables para sistemas aislados tiene como fin proponer en esta región específica, generación de proyectos con recursos hidráulicos en áreas aisladas que no han tenido acceso a la energía eléctrica, la cual ha detenido su desarrollo, por lo tanto no ha podido elevar su nivel de vida, pero con la cual podría obtener mejoras en la salud, educación y la obtención de posibles fuentes de trabajo, entre otras.

De acuerdo al análisis y resumen de la literatura se puede mencionar proyectos y/o experiencias relacionadas del tema; a la fecha se han implementado en la Franja Transversal del Norte una serie de proyectos

pequeños como sistemas aislados, la mayoría con sistemas fotovoltaicos, los cuales no han tenido mayor incidencia en la demanda de energía eléctrica, por otro lado se encuentran otros sistemas de generación aislada como es la generación de energía eólica la cual no se ha podido implementar por falta del gradiente eólico que no se encuentra en estas regiones, por lo que la propuesta más viables es la utilización del recurso renovable agua como materia prima y que es un recurso que se encuentran en esta región, para lo cual se podría obtener energía limpia. El trabajo que se ha realizado hasta hoy en el ámbito del desarrollo rural a través de las energías renovables y generación aislada, consiste básicamente en proyectos de iluminación solar residencial, estufas mejoradas y pequeños proyectos hidroeléctricos.

1.2. Historia de la generación eléctrica en Guatemala

De acuerdo a (Sistemas de Energia Electrica, 2004) en el año “1927 se construye la hidroeléctrica Santa María, con el fin de cubrir la demanda de energía eléctrica en los departamentos de Quetzaltenango, Totonicapán, Sololá y Suchitepéquez. En 1940, se crea el Departamento de Electrificación Nacional, dependencia del Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas y dicha planta se convierte en la Hidroeléctrica del Estado”.

A partir del año de 1976 el Instituto Nacional de Electrificación –INDE- a través de la Gerencia de Planificación elaboro un catálogo de estudios de pequeñas y Grandes centrales hidroeléctricas diseñados con recursos naturales renovables de diferente capacidad de generación, agrupadas en las tres vertientes del país: la vertiente del océano pacifico, vertiente del Atlántico y la vertiente del Golfo de México. De lo cual se construyeron algunos proyectos hidroeléctricos.

En1982 inició operaciones la hidroeléctrica Aguacapa (90 MW) y en 1983 la hidroeléctrica Chixoy, la más grande del país que genera 230 MW.

Al presente año el INDE opera 8 centrales hidroeléctricas a nivel nacional. La demanda actual que cubre el sistema Nacional Interconectado (SNI) gira alrededor de los 1,600 MW

1.3. Demanda de servicios energéticos en el área rural

La población no atendida con servicio eléctrico se concentra en el área rural, la cual se caracteriza por su difícil acceso, alta dispersión de viviendas, pobreza y pobreza extrema. Debido a sus características topográficas y dispersión de los centros de consumo hacen de estas zonas aisladas poco atractivas económicamente para su electrificación en forma convencional, es decir conectadas al sistema Nacional del país. De acuerdo a estas circunstancias se propone un sistema de generación de energía eléctrica por medio de pequeñas centrales hidroeléctricas con distribución a través de micro redes autónomas internas para los centros de consumo (viviendas).

Información obtenida del informe Fina (Fundacion Solar, 2008, pág. 14) indica que se ha identificado la mayoría de Zonas Rurales Aisladas -ZRA- de Guatemala, las cuales ascienden a 3,422 centros poblados a nivel nacional y 1,855 poblados se encuentran dentro de la región de la franja transversal del norte.

En la tabla I que se presenta seguidamente, se puede apreciar un listado de proyectos realizados instituciones internacionales y que proporcionan datos importantes como a qué número de comunidades fueron beneficiadas, así como la cantidad de habitantes que fueron atendidos.

Tabla I. **Estudios previos en proyectos de electrificación en sitios aislados**

Programa/Ejecutor	No.	No.	No.
	Proyectos	Comunidades	Servicios
Proyectos de iluminación domiciliar con paneles fotovoltaicos DGE/MEM	10	83	3,575
Plan Internacional/Fundación Solar	1	23	500
Proyecto de Microempresas de Energía Renovable PNUD/GEF-Fundación solar (Micro centrales Hidroeléctricas, energía solar fotovoltaica y eólica para usos domiciliarios. Refrigeración de vacunas, refrigeración de alimentos telesecundarias).	12	24	1,268
Iluminación solar fotovoltaica domiciliar en Cahabon, Alta Verapaz, proyecto post Mitch USAID/CARE- FUNDACION SOLAR	1	19	800
Proyecto usos productivos de la Energía Renovable PNU/DGEF -FUNDACION SOLAR en proceso de ejecución.	NE	NE	NE
Energía para comunidades septentrionales JICA/MEM.	3	23	869
PRORURAL/HIVOS-FUNDACION SOLAR RIJATZUL QJ (Semilla de sol) Ampliación Chel y MCH Batzchocolá	2	13	1,500
NRECA, FIDEICOMISO Y VARIOS PROGRAMAS (USAID, JICA, AEA)	1	NE	500
EUROSOLAR (Conectividad, Usos educativos y de salud)	1	117	117
Energía sin fronteras viene desarrollando el programa Alta Verapaz, la contraparte es la Asociación Familia Marianista Guatemalteca, FMG. Este proyecto consiste en la electrificación de edificios e instalaciones de las comunidades indígenas allí ubicadas.	2	23	23

Fuente: Aplicación de responsabilidad social corporativa (RSC) en sistemas de energía rural en zonas aisladas de Guatemala, pág. 14.

1.4. Teorías, modelos y métodos relacionados en el desarrollo de la investigación

1.4.1. Teoría general de la energía

Como un concepto básico en la definición de la teoría general de la energía (Núñez, 2013) indica: que la Ley de conservación de la energía, dice “que no se crea, ni se destruye, sino que se transforma una en otra, lo que obedece a la primera ley de la termodinámica “(p.12). La cual se obtiene de la capacidad de realizar un trabajo de lo cual se concluye que el trabajo en sí es energía.

1.4.2. Teoría de los gases invernaderos

De acuerdo a (Gases Efecto Invernadero, 2002) estos “Gases permiten que la luz del Sol, irradiada en el espectro visible ingrese a la atmósfera sin ningún impedimento al llegar a la superficie terrestre, un porcentaje de esta radiación es reflejada como radiación infrarroja (calor), los gases tienden a absorber esta a medida de que es reflejada de regreso a la atmósfera, atrapando al calor en la misma.

Los principales gases que producen el efecto invernadero son: el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido de nitrógeno (N₂O), los perfluorocarbonos (PFC's) y los clorofluorocarbonos (CFC).

1.4.3. Modelo de cuenca

Gran variedad de modelos computacionales de cuencas fueron desarrollados en las últimas tres décadas. Algunos de estos modelos son

considerados representativos en la práctica del modelado en varios países, de los cuales se pueden mencionar:

De acuerdo a eias.atalca, (2008) existen dos “métodos El HEC-1 y el TR-20 se utilizan en la generación de hidrogramas de crecidas, análisis y diseño de esquemas de control de flujo y para diseño hidrológico, predicción de volumen de escurrimiento a largo plazo, y predicción de flujo en tiempo real.” (p.10)

1.4.4. Modelo de demanda

De acuerdo a Maimbil, (2012), “generalmente el objetivo los modelos a observar el comportamiento de la demanda sólo busca comprender el comportamiento de la oferta. Sin embargo, existe una estrecha relación entre la oferta y la demanda, ya que entre ambas definen el nivel de saturación y eficiencia de la matriz energética. Se han identificado aquellas variables principales que permiten representar el principal comportamiento de la demanda: La época del año y el incremento poblacional”. (p.7)

1.4.5. Modelo de evaluación para la potencia Instalada

En general, los módulos de evaluación para este tipo de potencia permiten determinar el nivel que requiere la matriz energética. Para ello primero se deben definir los parámetros siguientes: vida útil, límite de potencia instalada y costo/MWatt.

Para la determinación de la potencia Instalada que se requiere determinar:
a) en función de la demanda no satisfecha por generación propia y b) en función a las centrales de generación que cumplan con su ciclo de vida.

1.4.6. Método de distribución log pearson III

Como indica el documento Enríquez, (2008) “La distribución Pearson III, describe la probabilidad de ocurrencia de un acontecimiento dado en un proceso. Cuando la población de acontecimientos es muy positivamente sesgada, los datos por lo general son transformados a logaritmo.

Este método de distribución también es aplicado para describir la distribución de descargas anuales máximas” y en varios países es utilizado para calcular repeticiones de inundación

1.4.7. Métodos para medición de caudales

Los métodos se clasifican en dos grandes categorías: Métodos directos y métodos indirectos. En estas categorías los más utilizados son los siguientes:

Tabla II. Métodos de medición de caudales

Métodos directos	Métodos indirectos
Área velocidad	Estructuras hidráulicas
Dilución de trazadores <ul style="list-style-type: none">• Químicos• Fluorescentes• Materiales radiactivos	Área pendiente.

Fuente: elaboración propia, con información de Hidrología- Caudales, capítulo 7, página 3.

Los tipos de aforos para la medición de caudales se dividen en dos categorías: Métodos directos y métodos indirectos. En estas categorías los más utilizados son los siguientes:

- **Aforos directos:** Son aquellos que con algún aparato o procedimiento se mide directamente el caudal. Por ejemplo:
 - Estimaciones aproximadas con flotadores
 - Molinete
 - Aforos químicos

- **Aforos Indirectos o continuos:** Medición del nivel del agua en el cauce y a partir de este se estima el caudal. Por ejemplo:
 - Escalas Limnométricas
 - Limnigráfos
 - Aforadores de vertederos (weirs).

“Con pocas excepciones las medidas de caudal continuas en el tiempo son más caras, ya que relaciona el caudal del flujo con el nivel del agua, con la cual se puede medir más fácilmente el caudal, y las que se pueden relacionar con las llamadas curvas de calibración”. (Hidrología - Caudales, 2011)

1.4.7.1. Método área velocidad

De acuerdo a (Hidrología - Caudales, 2011) “Este método consiste en medir en un área transversal de la corriente, previamente determinada, las velocidades de flujo con las cuales se puede obtener el caudal”. (p.3)

1.4.7.2. Método dilución de trazadores

Este método se utiliza en aquellas corrientes que presentan dificultades para la aplicación del método área velocidad o medidas con estructuras hidráulicas, como en corrientes muy anchas y ríos caudalosos, existen dos maneras de implementar a) Inyectar rápidamente un volumen de trazador o b) inyectar a caudal constante.

1.4.7.3. Método estructuras hidráulicas

Este método deriva del principio de funcionamiento de todas las estructuras hidráulicas es establecer una sección de control, donde a partir de la profundidad se pueda estimar el caudal.

1.4.7.4. Método área pendiente

A veces se presentan crecientes en sitios donde no existe ningún tipo de instrumentación y cuya estimación se requiere para el diseño de estructuras hidráulicas, tales como puentes o canales. Las crecientes dejan huellas que permiten hacer una estimación aproximada del caudal.

1.4.8. Procedimiento con molinete

Los molinetes son aparatos constituidos de paletas o conchas móviles, las cuales, impulsadas por el líquido, dan un número de revoluciones proporcional a la velocidad de la corriente de un río. De acuerdo a Hidraulica II, (2006) existen dos tipos de molinetes, el de cazoletas y el de hélice, los cuales pueden ser montados sobre una varilla para el aforo de corrientes superficiales o suspendidos desde un cable durante el aforo de ríos de acuerdo a Gutierrez, (2005), pág. 1).”

El aforador tiene un aditamento que golpea sobre un tambor aun número dado de revoluciones, y el sonido se transmite al observador a través del tubo que sostiene el medidor” en general uno de los métodos más empleados para determinar el caudal encauces naturales especialmente en ríos de caudal medio.

El método consiste en determinar un área transversal de la corriente de un río, previamente se determinan la velocidad de flujo la cual servirá para obtener el caudal.

El método consiste en determinar un área transversal de la corriente del río, previamente se determinan, las velocidades de flujo la cual servirá para obtener el caudal, el lugar elegido para realizar el aforo debe cumplir con lo siguiente:

- La sección transversal debe estar bien definida
- Lugar accesible (sin obstáculos)
- Sin accidentes topográficos (área recta)
- El sitio debe estar libre de efectos de controles aguas abajo, afecten valores a obtener en la curva de calibración. (Hidraulica II, 2006).

1.4.9. Procedimiento químico

De acuerdo a Gutierrez, (2005), consiste “en hallar el caudal introduciendo en proporción conocida una sustancia química en el agua de la corriente y determinando la cantidad de dicha sustancia que contiene está en una sección situada suficientemente lejos aguas abajo para asegurar su mezcla perfecta con el agua” (pág. 3). La sustancia empleada comúnmente para la aplicación de este método es una sustancia líquida con colorante, este método se emplea cuando hay dificultades en las aplicaciones de los otros métodos en ríos muy caudalosos.

1.5. Conceptos generales de tipos de generación eléctrica

1.5.1. Energía hidráulica

Es la energía generada por la fuerza del movimiento del agua, que una máquina primaria la transforma inicialmente en energía mecánica; luego una máquina secundaria la transforma en energía eléctrica, también se la conoce como hidroenergía.

También es una forma de energía renovable, es decir, no se agota. Casi toda la hidroenergía aprovechada se la transforman en energía eléctrica, para ello se hace uso de las denominadas centrales hidroeléctricas.

Una pequeña central hidroeléctrica es una instalación conformada por una serie de elementos Hidráulicos y estructurales que tiene como fin generar energía eléctrica para satisfacer una demanda de este servicio básico, para obtener un desarrollo tanto económico como social.

Dentro de su conformación se puede mencionar los siguientes: una toma de donde se obtendrá el recurso hidráulico como fuente de generación, un canal o tubería de conducción hacia una cámara de carga de donde saldrá la sección de tubería de presión para llegar a la casa de máquinas, donde se ubican el equipo generador (Turbina y Generador Eléctrico) de donde se generará la energía eléctrica para trasladarla a una subestación de transformación de voltaje, la cual conducirá a una red de distribución la cual llevara a los centros de consumo (viviendas).

La potencia: Las variables que determinaran la potencia hidráulica de una central hidroeléctrica será en función de a) Peso específico del agua b) Caudal c) Caída neta (carga sobre la turbina), y d) Eficiencia de la turbina.

A continuación se presenta la ecuación para el cálculo y las distintas variables:

$$P = \delta \times Q \times \Delta h \times \eta$$

Donde:

δ = Peso específico del Agua ($9.81 \times 10^3 \text{ N/m}^3$)

Q = Caudal ($\text{m}^3/\text{Seg.}$)

Δh = Carga sobre la turbina (m)

η = Eficiencia de la turbina (0.70-0.80)

La energía: Esta debe estar garantizada en un lapso determinado, generalmente un año, que está en función del volumen útil del embalse, y de la potencia instalada.

1.5.2. Energía eólica

De acuerdo a Ecured, (2010) la “energía eólica es la que se obtiene del viento, es decir, de la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire o de las vibraciones que el viento produce, la energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire que se desplazan de áreas de alta presión atmosférica hacia áreas adyacentes de baja presión, con velocidades proporcionales al gradiente de presión” (p.1) En la actualidad se usan aerogeneradores para generar electricidad, especialmente en áreas expuestas a vientos frecuentes, como zonas costeras, alturas montañosas. Este tipo de energía, al igual que la solar o la hidroeléctrica, están fuertemente condicionadas por las condiciones climatológicas del lugar.

1.5.3. Energía solar fotovoltaica

Es la energía que se obtiene de la radiación solar (rayos solares) través de paneles fotovoltaicos. Según Inventos, (2009) “estos paneles, fotovoltaicos están conformados por dispositivos semiconductores tipo diodo que, al recibir radiación solar, se excitan y provocan saltos electrónicos, generando una pequeña diferencia de potencial en sus extremo”. (p.15)

El acoplamiento en serie de varios de estos fotodiodos permite la obtención de voltajes muy significativos. A mayor escala, la corriente eléctrica continúa que proporcionan los paneles fotovoltaicos se puede transformar en corriente alterna e inyectar a una red eléctrica de distribución.

1.6. Importancia de la energía renovable

Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, unas por la inmensa cantidad de energía que contienen, y otras porque son capaces de regenerarse por medios naturales.

Las fuentes renovables de energía se dividen en dos categorías las no contaminantes y las contaminantes, las diferentes fuentes de energía tanto renovables como las no renovables; las primeras son fuentes de energía inagotable y que dentro de sus característica energéticas no generan daños al medio ambiente; en contraposición se encuentran las fuentes de energías no renovables que provocan daños al medio ambiente debido que provienen de combustibles fósiles de lo cual generan gases que forman el efecto invernadero especialmente con la generación de gas metano y dióxido de carbono.

Las energías renovables son opciones importantes porque son ilimitadas, otro gran beneficio del uso de energía renovable es que muchas de ellas no contaminan nuestro aire y el agua de la forma en la que lo hacen la quema de combustibles fósiles.

1.6.1. Importancia de la energía hidráulica

La energía hidráulica tenido una gran importancia en el abastecimiento energético mundial. Es importante indicar que aunque el flujo de agua en los ríos es inagotable, los lugares en donde se pueden construir centrales hidroeléctricas en razonables condiciones económicas son limitados.

La energía hidráulica es importante porque tiene la cualidad de ser renovable, no agota la fuente primaria al explotarla y no produce contaminantes como por ejemplo las pequeñas centrales hidroeléctricas.

En la actualidad son varios países que consumen en un gran porcentaje esta energía que obtiene de las centrales hidroeléctricas y de manera indirecta esta fomenta la mano de obra local y economía laboral durante construcción y mantenimiento. También esta reduce las emisiones de los gases de efecto invernadero.

En el futuro las energías renovables remplazarían a las convencionales porque estas además de dañar el medio ambiente se agotan.

1.6.2. Usos de la energía hidráulica

Los usos de la energía hidráulica es muy importante para la vida en una comunidad en las siguientes actividades: el riego, la navegación, el uso industrial, obviamente el uso de la energía eléctrica, y la recreación.

Esta energía hidráulica es de mucha utilidad para satisfacer demandas de servicio de energía eléctrica en poblaciones aisladas que no tienen la posibilidad de conectarse algún sistema interconectado de generación en forma convencional debido a su aislamiento y dispersión de los centros de consumo (viviendas), por lo que es necesario implementar una alternativa de generación de energía y la opción viable es la implementación de un sistema aislado fotovoltaico o un sistemas aislados que pueda aportar generación eléctrica de bajo costo con la utilización del recurso hidráulico. La Energía Hidráulica también es aprovechada en obras hidráulicas como canales de conducción, embalses y desarenadores entre otros.

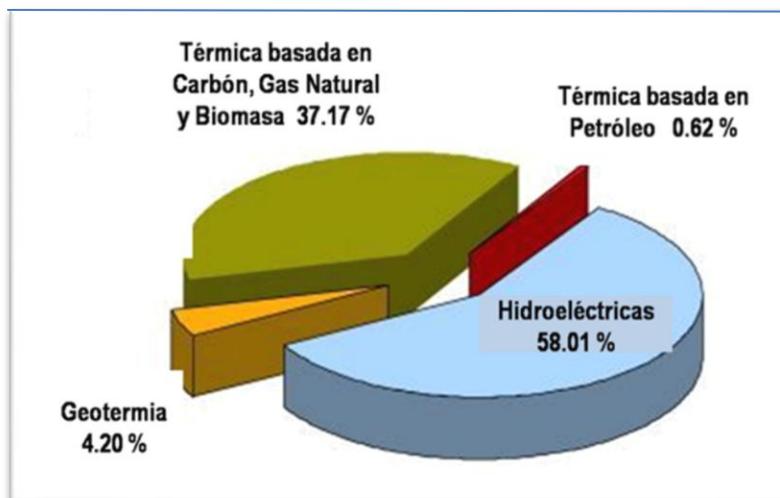
1.6.3. Disponibilidad de otros recursos renovables

Guatemala, cuenta con amplios recursos energéticos renovables. Según Fundación solar, Guatemala cuenta con un potencial hidroeléctrico de 6,000 MW y geotérmico de 1,000 MW, de los que hasta ahora se aprovechan únicamente el 15% y 7 % respectivamente. Actualmente, el Ministerio de Energía y Minas –MEM-, está investigando los recursos eólicos que por las características geográficas del país no son fáciles de predecir. No obstante, está comprobado que existen sitios aptos para la construcción de granjas eólicas grandes.

A pesar de la disponibilidad de recursos renovables la realidad es que en la última década la dependencia de Guatemala de la importación de combustibles fósiles ha aumentado. Para cambiar el rumbo, el Ministerio de Energía y Minas MEM ha elaborado una propuesta de Ley de incentivos para energías renovables.

La siguiente figura 1, representa la previsión para la generación eléctrica para el año 2020 donde se puede apreciar los distintos porcentajes de generación de acuerdo a los recursos energéticos aprovechables en nuestro país, especialmente el recurso hidráulico para la formulación de proyectos hidroeléctricos que representa el mayor porcentaje (58.01 %) para ese año.

Figura 1. **Previsión para la generación en el año 2020**



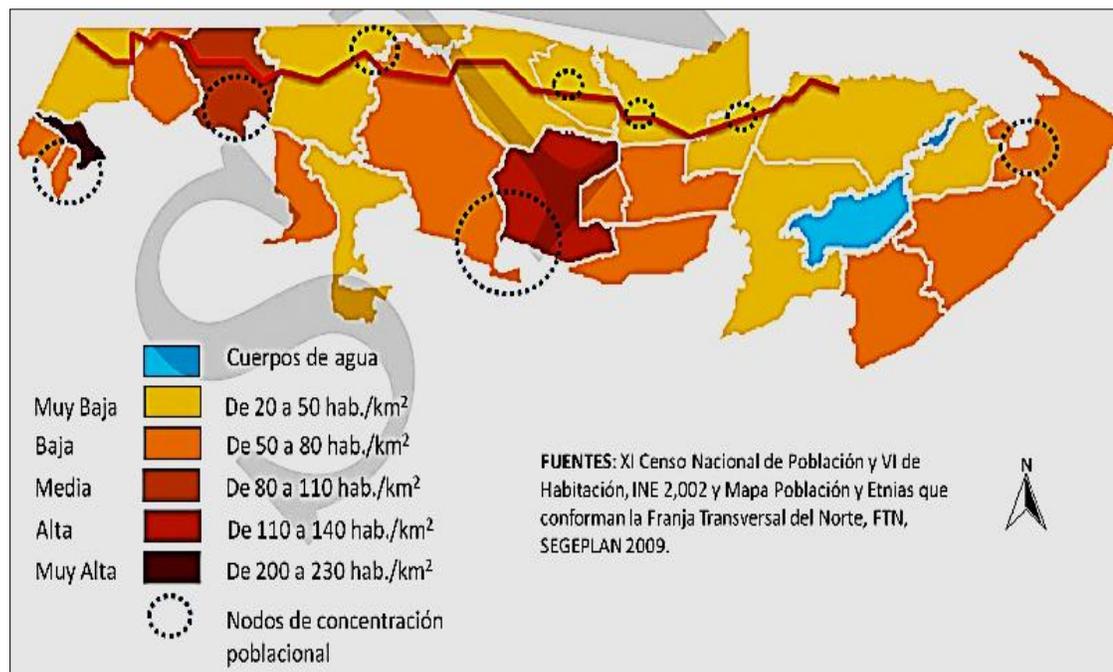
Fuente: Administrador del Mercado Mayorista –AMM- (2012)

2. PRESENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN RECOLECTADA

2.1. Densidad y concentración poblacional de la FTN

Por ser la FTN una región eminentemente rural (77 % de la población) y dedicada en sus mayoría a actividades agrícolas de subsistencia, es importante tomar en cuenta el potencial para la agricultura que ofrece la región. Si bien desde el punto de vista, de suelos, la región no es idónea para la agricultura, estudios recientes demuestran que las propuestas agroecológicas en esta zona generan oportunidad de desarrollo para la producción agrícola de mediana escala de manera sustentable.

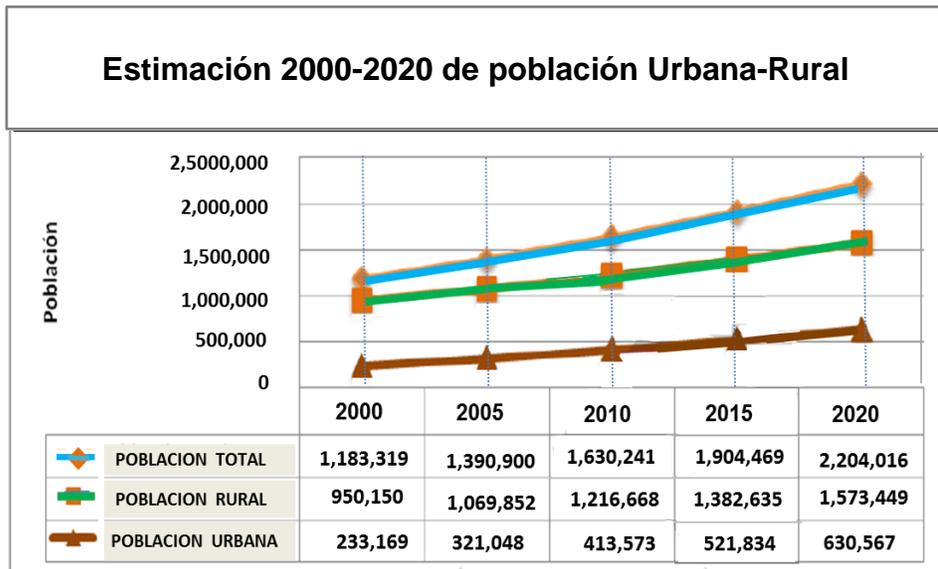
Figura 2. Mapa de densidad y concentración poblacional



Fuente: Diagnóstico de la Franja Transversal del Norte -SEGEPLAN (2011), página 19.

En la Región de la Franja transversal del norte la densidad poblacional promedio es de 54 habitantes por km², muy por debajo de la densidad nacional de 103 habitantes por km² si bien este dato de densidad es muy bajo, en la región resaltan algunas concentraciones de población, entre ellas Cobán-San Pedro Carcha, la cabecera municipal de Ixcan, Barillas y puerto Barrios (zona portuaria), algunas cabeceras municipales están creciendo como Fray Bartolomé de las Casas y Raxruhá.

Tabla III. Estimación de población en la región de FTN



Fuente: Diagnóstico de la Franja Transversal del Norte – SEGEPLAN, (2011) página 18.

2.2. Principales Indicadores socio económicos de la FTN

- Más del 80 % de los municipios de la FTN está, en pobreza y pobreza extrema.
- Existe una densidad poblacional media baja de 54 Hab/km²
- Más del 75 % de la población que habita en la FTN es indígena.

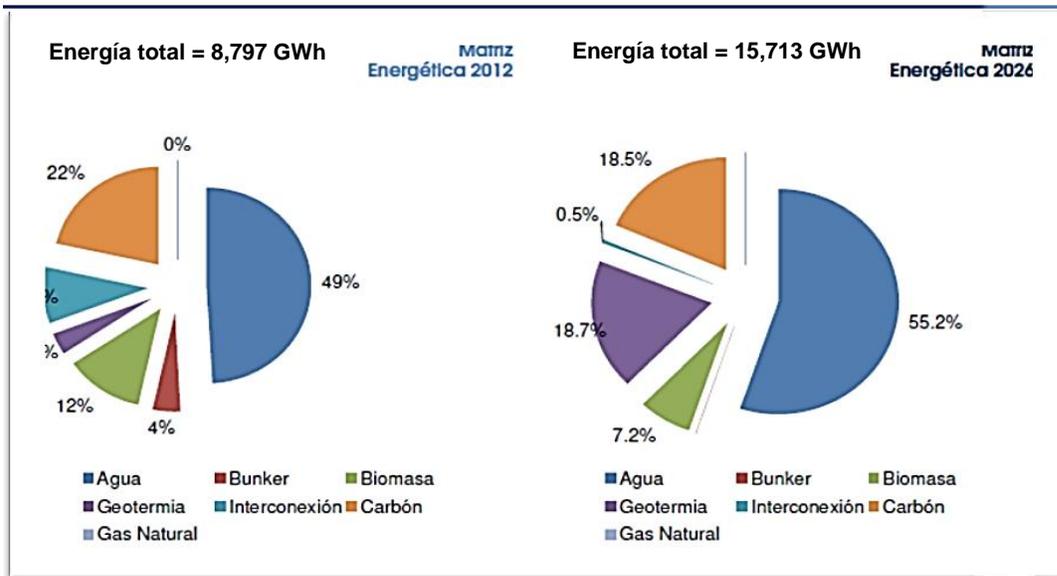
- El 77 % de la población es rural.
- El 95 % del territorio de la FTN tienen poca cobertura de servicios con índices de marginalidad municipal muy altos.
- 17 municipios (de 21) de la FTN tienen una alta vulnerabilidad nutricional
- Hay una cobertura de salud insuficiente.

2.3. Análisis de la matriz energética

Se define la matriz energética como la distribución donde se analiza la procedencia, la importancia y el uso de las diferentes fuentes energéticas de un país.

Al realizar un análisis de la figura 3 de la situación de la matriz del año 2012 a la proyectada al año 2026, se puede visualizar un cambio muy importante en la estructura de la misma por ejemplo, se puede observar que la implementación de energías renovables aumentará en 20.9 % para llegar a tener un 74.20 % en su composición total; otro aspecto importante, la utilización del Bunker (un derivado del petróleo) prácticamente desaparecerá de la matriz, por otro lado el carbón se reducirá en un 3.5 %. Las principales ventajas de estos cambios en la matriz energética de nuestro país es que se está obteniendo menor dependencia de los derivados del petróleo, también se está reduciendo con la implementación de fuentes de energía renovable como es el agua y la geotermia los efectos contaminantes al medio ambiente especialmente los gases de efecto invernadero. Otro beneficio importante que obtendría sería en los costos de consumo de energía eléctrica.

Figura 3. Transformación de la matriz energética (2012-2026)



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica –CNEE-

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Recurso hidráulico de la región

La importancia en el presente capítulo es determinar si la región bajo estudio (FTN) cuenta con recurso hidráulico suficiente para implementar sistemas de generación de eléctrica con la modalidad propuesta, para lo cual se realizaron las siguientes actividades:

- Se realizó análisis de las cuencas hidrográficas de la región con el objetivo de determinar el porcentaje de área que cubren dentro del área geográfica general de la Franja Transversal del Norte (FTN).
- De la misma manera se realizó para estudio y análisis de los mapas hidrológicos (Atlas Hidrológico) para ubicar el recurso Hidráulico con que cuenta la región de la Franja Transversal del Norte específicamente en las cuencas hidrográficas que se encuentran dentro del área de la misma, así como también definiendo sus características topográficas generales.

3.2. Cuencas hidrográficas

La república de Guatemala hidrológicamente se dividen en tres (3) grandes vertientes, los ríos localizados en una misma vertiente son similares, pero cada vertiente tiene condiciones propias que afectan las característica de los ríos que forman parte de ella. Estas tres vertientes son:

- Vertiente del Pacífico
- Vertiente del Atlántico
- Golfo de México

En el desarrollo de la investigación se analizó las vertientes del Atlántico, así como la vertiente del golfo de México, debido a que estas son las que influyen hidrológicamente en la región propuesta para el estudio como lo es la Franja Transversal del Norte. A continuación se presenta la Tabla IV, donde se puede apreciar las distintas cuencas que conforman dichas variantes. Es importante indicar que en la conformación de las cuencas se encuentran los ríos principales así como todos los aspectos secundarios hidrológicos como por ejemplo, quebradas, riachuelos y recursos hídricos subterráneos, entre otros.

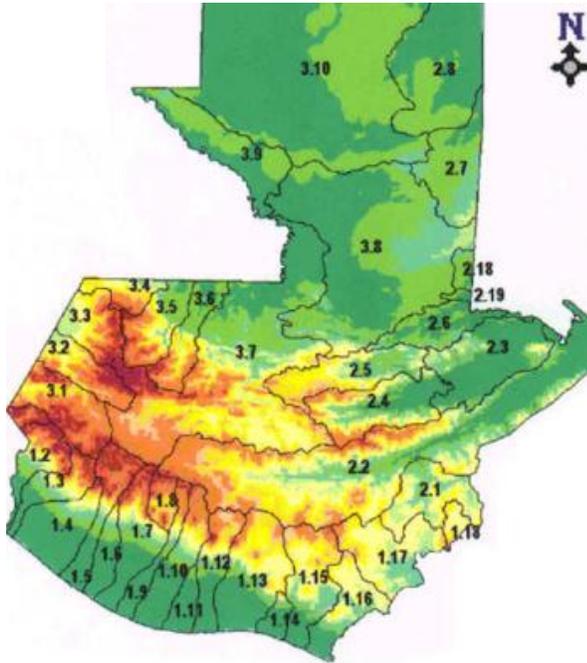
Tabla IV. **Vertientes que influyen en la FTN**

ATLANTICO	GOLFO DE MEXICO
Grande de Zacapa	Cuilco
Motagua	Selegua
Lago de Izabal-Rio Dulce	Nenton
Polo chic	Pojom
Cahabon	Ixcán
Sarstun	Xacibal
Mopan	Chixoy
Hondo	La Pasión
Moho	Usumacinta
Temash	San Pedro

Fuente: elaboración propia, información Atlas Hidrográfico de INSIVUMEH

En la tabla siguiente, se puede apreciar cómo se encuentran localizadas las cuencas hidrográficas en todo el territorio nacional, y en el cuadro adjunto se presenta cada cuenca localizada dentro del área de los cuatro departamentos que forman la parte de la región de la franja transversal del norte, la cual representa el área delimitada que se determinó para la investigación.

Tabla V. Cuencas hidrográficas que influyen en la FTN



Departamento	Cuenca	Ref.
	Río Selegua	3.2
	Río Nenton	3.3
Huehuetenango	Río Pojom	3.4
	Río Ixcán	3.5
	Río Xacibal	3.6
	Río Chixoy	2.7
Quiché	Río Ixcán	3.5
	Río Xacibal	3.6
	Río Polochic	2.4
	Río Cahabón	2.5
Alta Verapaz	Río Chixoy	2.7
	Río la Pasión	3.8
	Río Sarstún	2.6
	Río Moho	2.18
	Lago Izabal-Río Dulce	2.3
	Río Cahabón	2.5
Izabal	Río Motagua	2.2
	Río Polochic	2.4
	Río Sarstún	2.6

Fuente: elaboración propia, con información del INSIVUMEH

3.3. Mapas hidrológicos

Para este análisis, se empleó como Referencia Bibliográfica el Atlas Hidrológico del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. Para lo cual se analizó la siguiente información:

- Mapa base de cuencas y ríos
- Caudal específico medio anual

Curvas de duración de caudales
Disponibilidad recurso hídrico superficial.

En esta etapa del estudio la información hidrológica que se ha obteniendo ha generado la tabla (Tabla VI) donde se ha podido resumir los datos a nivel de municipio, la aportación del recurso hídrico de las cuencas hidrográficas que influyen hidrológicamente en cada uno de ellos, de donde se obtuvieron los caudales medios que aporta cada una de las cuencas en cada municipio de los cuatro departamentos, estos resultados fueron importantes para determinar la variable hídrica y también para determinar la potencial hidráulico, en capítulo siguiente se mostrará la importancia de estos resultados para conformar el diseño de la muestra del sistema aislado típico de la propuesta de la investigación.

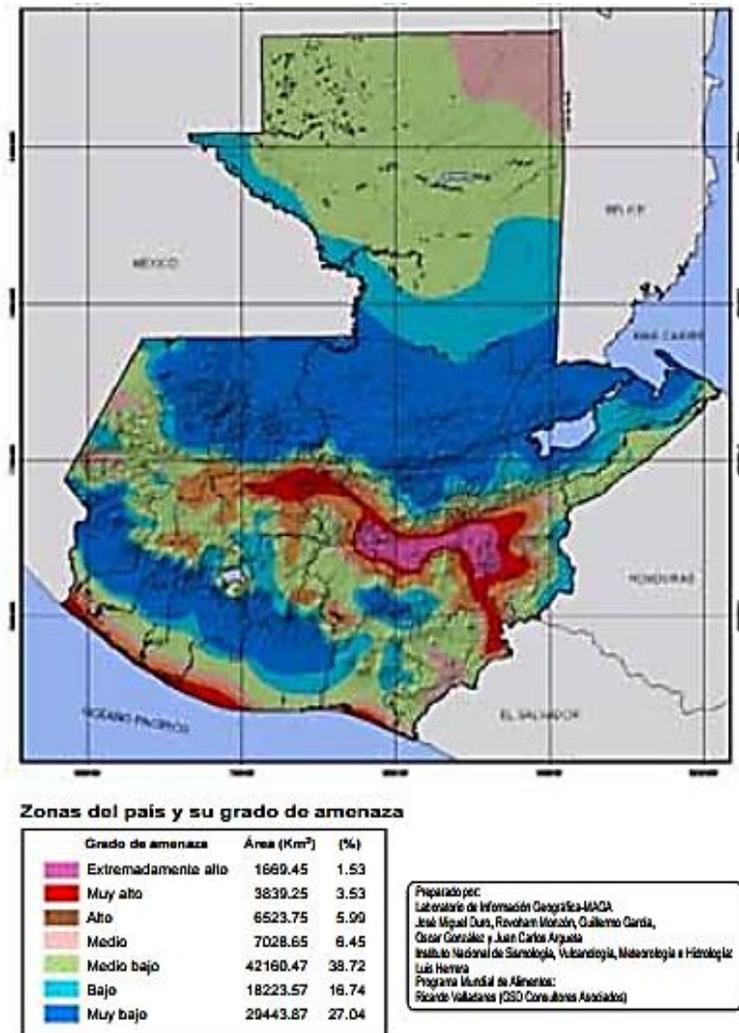
Es importante en esta parte de la investigación mencionar los aspectos relevantes de las variables independientes que se formularon en el capítulo anterior, como las sequías y las precipitaciones pluviales en el área de la Franja Transversal de Norte.

3.4. Sequias

El país posee aproximadamente un 5 % equivalente a 5,500 km² de su territorio, en las categorías de “Muy Alta y Extremadamente Alta” amenaza por sequía tal y como se ve en la Figura siguiente a que muestra este fenómeno. Según el MAGA y otros (2002: pág. 2-4), este mapa se conformó tomando como punto de partida los datos de estaciones meteorológicas con registros desde 1961 hasta 1997, de tal forma que está mostrando una característica estructural del clima del país indicando la diferente aridez de algunas regiones y su calificación. (Perfil ambiental de Guatemala, 2005)

Las áreas con mayor grado de amenaza que indica el mapa se encuentran en los valles orientales y de la región central, desde Jutiapa, Jalapa, Chiquimula, Zacapa, El Progreso y Baja Verapaz hasta llegar Quiché. Como se puede apreciar el grado de amenaza de sequías en la región de ZTN es muy baja.

Figura 4. **Mapa de amenazas por sequías República de Guatemala**



Fuente: Laboratorio de información geográfica -MAGA- (2002)

3.5. Precipitaciones pluviales

Las montañas del norte del país son generadas por la Sierra Madre, que constituye un nudo montañoso en la región fronteriza con México, de la cual se derivan dos ramales montañosos uno Norte y uno Sur. El ramal del norte genera los Cuchumatanes al oeste del río Chixoy y las montañas de la Verapaz-Chamá al oriente del mismo; los departamentos de Huehuetenango, Quiché y Alta Verapaz están sobre esta cadena montañoso. Las altitudes máximas de los Cuchumatanes y de las montañas de la Alta Verapaz-Chamá son 3,800 y 3048 msnm respectivamente y llueve de mayo a octubre con precipitaciones pluviales que oscilan entre 500 y 6,000 mm de promedio anual del lado de los Cuchumatanes. Del lado de Chamá, la precipitación promedio anual oscila entre 2,000 y 4,000 mm, de las montañas de la Sierra Madre y la zona de la Franja Transversal del Norte que es la región de penetración de los vientos alisios cargados de humedad que provienen del atlántico y chocan con las altas cumbres de los Cuchumatanes, provocando lluvias abundantes. Como se sabe la sequía está estrechamente ligada a la precipitación pluvial de una región, al observar el mapa de referencia anterior una de las características relevantes de las zonas extremadamente altas y muy altas de amenazas, es el estrecho rango anual de precipitaciones que reciben, ya que oscilan entre los 470 a los 600 mm/año en el primer caso y de 600 a 800 mm/año en el segundo caso. (Perfil ambiental de Guatemala, 2005)

Tabla VI. Resumen hidrológico cuencas y caudales

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	Ha	CUENCA	Q.= m3/seg	Q promedio por Municipio
HUEHUETENANGO	Jacaltenango	425	Rio selegua	44.90	49.12
		19,940	Rio Nenton	53.34	
	Santa Ana Huista	8,504	Rio Selegua	44.90	49.12
		3,181	Rio Nenton	53.34	
	Nenton	51,324	Rio Nenton	53.34	60.51
		20,964	Rio Pajom	67.67	
	Sn. Mateo Ixtatan	10,657	Rio Nenton	53.34	97.00
		38,268	Rio Pojom	67.67	
		640	Rio Ixcan	170.03	
	Barillas	22,067	Rio Pojom	67.67	111.00
		70,041	Rio Ixcan	170.03	
			238	Rio Xaclbal	95.26
QUICHE	Playa Grande Ixcan	90,236	Rio Chixoy/negro	459.89	241.73
		16,695	Rio Ixcan	170.03	
		51,713	Rio Xaclbal	95.26	
	Uspantan	86,907	Rio Chixoy/negro	459.89	459.89
	Chajul	22,262	Rio Xaclbal	95.26	277.58
		38,584	Rio Chixoy/negro	459.89	
ALTA VERAPAZ	Coban	135	Rio Polochc	105.78	250.71
		20,397	Rio Cahabon	130.71	
		188,162	rio chixoy/negro	459.89	
		12,374	Rio la Pasion	306.44	
	Sn. Pedro Carcha	294	Rio Polochic	105.78	299.00
		30,794	Rio chixoy/negro	459.89	
		59,097	Rio cahabon	130.71	
		39,161	Rio la Pasion	306.44	
	Senahu	37,201	Rio Polochic	105.78	118.25
		32,747	Rio Cahabon	130.71	
	Lanquin	20,654	Rio Cahabon	130.71	179.16
		278	Rio Sarstun	100.33	
		1,927	Rio la Pasion	306.44	
	Cahabon	51,421	Rio Cahabon	130.71	179.16
		14,491	Rio Sarstun	100.33	
		8,793	Rio la Pasion	306.44	
		51,317	Rio Chixoy/negro	459.89	
	Chisec	116,364	Rio la Pasion	306.44	383.17
	Raxruha				
Chahal	7,007	Rio Cahabon	130.71	115.52	
	41,072	Rio Sarstun	100.33		
Fray Barolome	26,266	Rio Sarstun	100.33	136.17	
	1,679	Rio Moho	1.74		
	97,144	Rio la Pasion	306.44		
IZABAL	Puerto Barrios	104	Rio Dulce	104.01	155.77
		119,538	Rio Motagua	207.54	
	Morales	10,463	Rio Dulce	104.01	155.77
		124,235	Rio Motagua	207.54	
	Los Amates	19,490	Rio Dulce	104.01	155.77
		83,965	Rio Motagua	207.54	
	El Estor	98,910	Rio Dulce	104.01	129.67
		8,592	Rio Cahabon	130.71	
		530	Rio Motagua	207.54	
		44,674	Rio Polochic	105.78	
		5,079	Rio Sarstun	100.33	
	Livinston	136,602	Rio Dulce	104.01	137.29
96,562		Rio Sarstun	100.33		
3,292		Rio Motagua	207.54		

Fuente: elaboración propia, con información de INSIVUMEH y SEGEPLAN.

3.6. Potencial hidráulico de la región

Determinar en la región bajo estudio la disponibilidad de aprovechamiento para lo cual se realizó lo siguiente:

- Se realizó el estudio y análisis hidrológico donde se determinó los caudales medios que conforman las cuencas que influyen hidrológicamente en la región, esto para definir el caudal de diseño promedio sacando una media estadística de los mismos, esta información técnica se obtuvo de mapas Hidrológicos referenciados de la región.
- Se procedió a determinar un caudal promedio de la cantidad de potencial hidráulico, que aunado a la obtención del comportamiento topográfico promedio se pueda realizar una muestra de una pequeña central hidroeléctrica tipo que pueda ser funcional bajo estas condiciones técnicas y que pueda generar una potencia hidráulica significativa que pueda aplicar en el rango propuesto en el estudio de investigación.
- De acuerdo la muestra (ver figura 13) del proyecto del sistema aislado propuesto para el año 2,020, donde se definió un caudal promedio en la región de FTN de $3.7 \text{ m}^3 / \text{seg}$. Una caída neta de 77 metros y una eficiencia de la turbina Francis del 70 % de evidencia con lo cual se pudo determinar la potencia hidráulica de cada sistema aislado, aplicando la siguiente ecuación de potencia:

$$P = \delta \times Q \times \Delta h \times \eta$$

Donde:

γ = Peso específico del Agua ($9.81 \cdot 10^3 \text{ N/m}^3$)

Q = Caudal (m^3/seg)

Δh = Carga sobre la turbina (m)

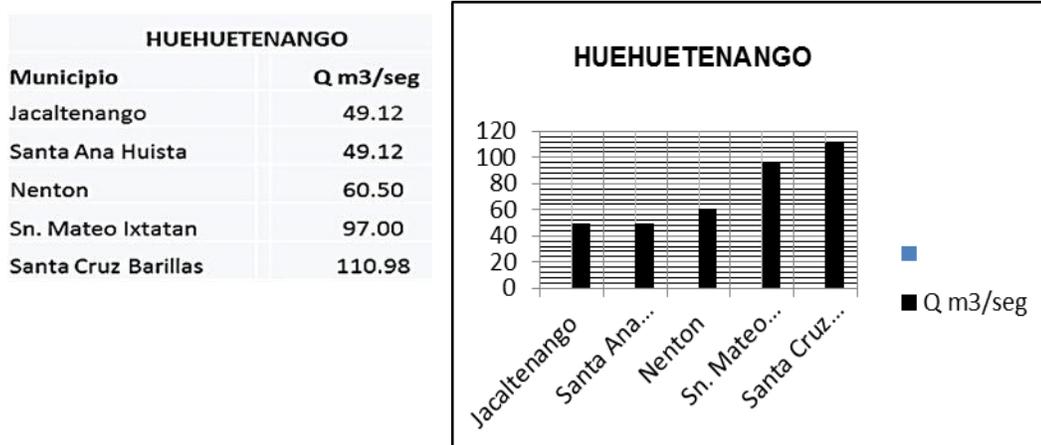
η = Eficiencia de la turbina Francis (0.70-0.80).

3.7. Resultados del análisis de Información hidrológica por departamento

3.7.1. Departamento de Huehuetenango

Este departamento cuenta con cinco (5) municipios dentro de la región bajo estudio (FTN), como se puede apreciar el municipio de Barillas es el presenta el mayor caudal de $170 \text{ m}^3/\text{seg}$ del río Ixcán y Santa Ana Huista como Jacaltenango representan los caudales menores (ambos con $49.12 \text{ m}^3/\text{seg}$) del río selegua.

Figura 5. Caudales en Huehuetenango

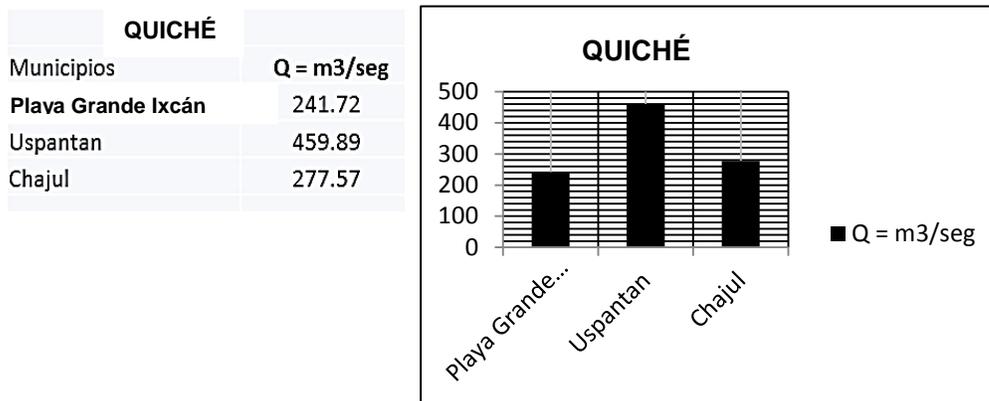


Fuente: elaboración propia, con información INSIVUMEH.

3.7.2. Departamento de Quiché

Este departamento cuenta con tres (3) municipios dentro de la región bajo estudio (FTN), como se puede apreciar el municipio de Uspantan es el presenta el mayor caudal de 459 m³/s del río Negro o Chixoy y Playa Grande Ixcán representa los caudales menores (95. 26 m³/seg) del río Xacibal.

Figura 6. Caudales en Quiché

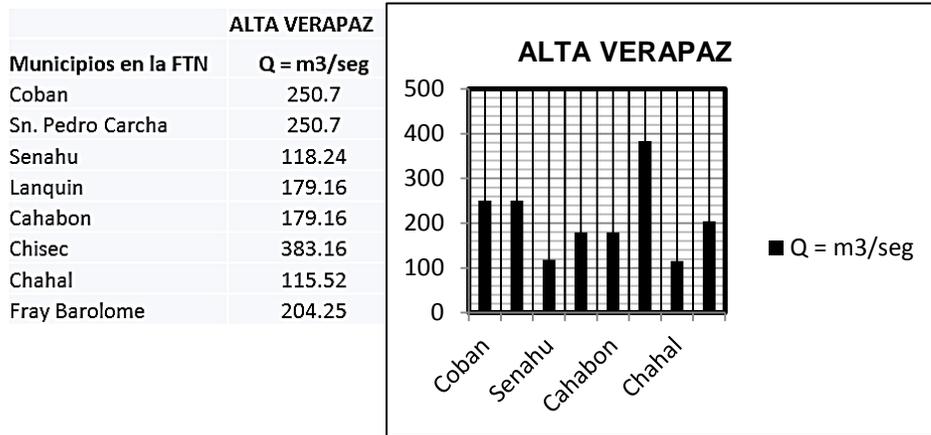


Fuente: elaboración propia, con información INSIVUMEH.

3.7.3. Departamento de Alta Verapaz

Este departamento cuenta con ocho (4) municipios es el que más presenta dentro de la región bajo estudio (FTN), como se puede apreciar el municipio de Chisec es el presenta el mayor caudal de 459.89 m³/seg del río Negro o Chixoy y Fray Bartolomé es el representa los caudales menores de 1.74 m³/seg del río Moho.

Figura 7. Caudales Alta Verapaz

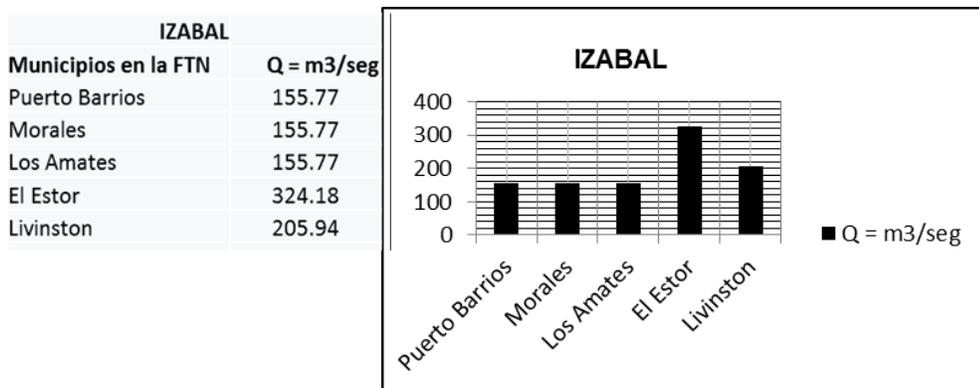


Fuente: elaboración propia, con información INSIVUMEH.

3.7.4. Departamento de Izabal

Este departamento cuenta con cinco (5) municipios dentro de la región bajo estudio (FTN), como se puede apreciar el municipio de El Estor es el presenta el mayor caudal de 207.54 m³/seg y el municipio de los Amates, Morales y puerto Barrios representa los caudales menores de 104 m³/seg respectivamente.

Figura 8. Caudales en Izabal

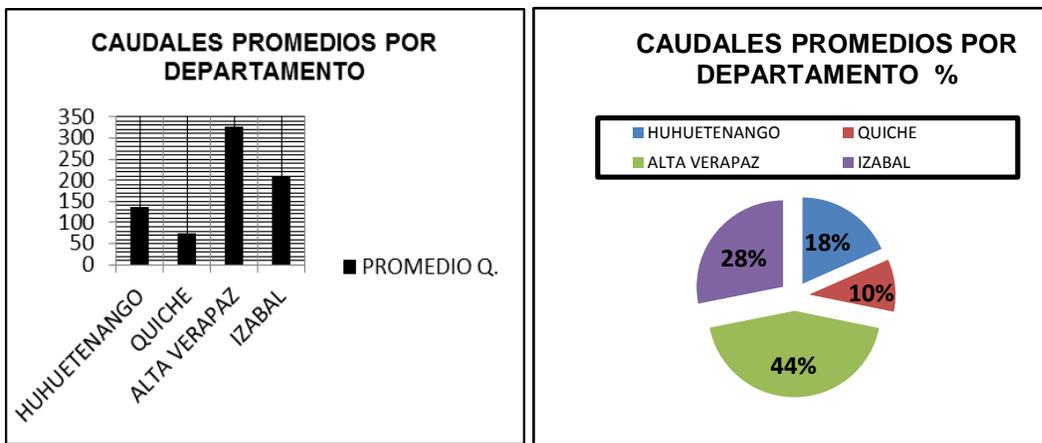


Fuente: elaboración propia, con información INSIVUMEH.

3.7.5. Caudales promedios por departamento

Se presenta como un resumen de los valores de caudales de cada uno de los municipios de los cuatro departamentos que están dentro de la región de estudio un gráfico general a nivel de los cuatro departamentos para determinar un caudal promedio.

Figura 9. Caudales promedio por departamento



Fuente: elaboración propia, con información INSIVUMEH.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede concluir que el Departamento de Alta Verapaz es el que posee el mayor potencial Hidráulico (caudales) dentro de la región de la Franja Transversal del Norte (FTN). Y el departamento del Quiché es el que posee menor potencial en comparación de los departamentos de Huehuetenango e Izabal.

Se analizó y se determinó el potencial en cada municipio y departamento de acuerdo a las cuencas que aportan este recurso natural a la región de la Franja Transversal del Norte.

A la aplicación de la estadística descriptiva en esta parte del estudio de investigación, será que de los valores obtenidos del análisis anterior generó

una serie de gráficos, para mejorar la interpretación de los resultados. En el siguiente capítulo (4) se pueden apreciar un histograma y un gráfico circular de sectores de cada uno de los departamentos que se encuentran dentro de las áreas región de la Franja Transversal del Norte (FTN).

3.8. Características topográficas de la región

De acuerdo a (Hidrología, 2013) en la Vertiente del Atlántico, la longitud de los ríos es prolongada, las pendientes son más suaves y su desarrollo es menos brusco, ya que en la parte montañosa los ríos hacen su recorrido en grandes barrancos o cañones. Las crecidas son de mayor duración y los tiempos de propagación son también mayores. Los caudales son más constantes durante todo el año. Parte del área dentro de esta vertiente tiene muy baja pluviosidad, 500 mm/anuales, mientras que en la zona de Puerto Barrios y Morales, la pluviosidad alcanza hasta 3500 mm/anuales.

Esto de alguna manera garantiza caudales en la extensa área de esta vertiente y que forma parte del área de la región de la franja transversal del norte.

La vertiente del Mar Caribe ocupa aproximadamente 35 % por ciento del país. Por las condiciones para la navegación, esta vertiente contiene los principales ríos navegables, como el Sarstún, el Polochic y el del Lago de Izabal, el río Dulce.

También los ríos de la Vertiente del Atlántico, poseen grandes longitudes, encontrándose los ríos más caudalosos del país como el Usumacinta, Chixoy y La Pasión. Las crecidas son de larga duración, los cauces son relativamente estables. Las pendientes son relativamente suaves, en comparación a las otras vertientes y la precipitación media es de 2,500 mm/año.

3.9. La conformación de elementos de la muestra del sistema aislado

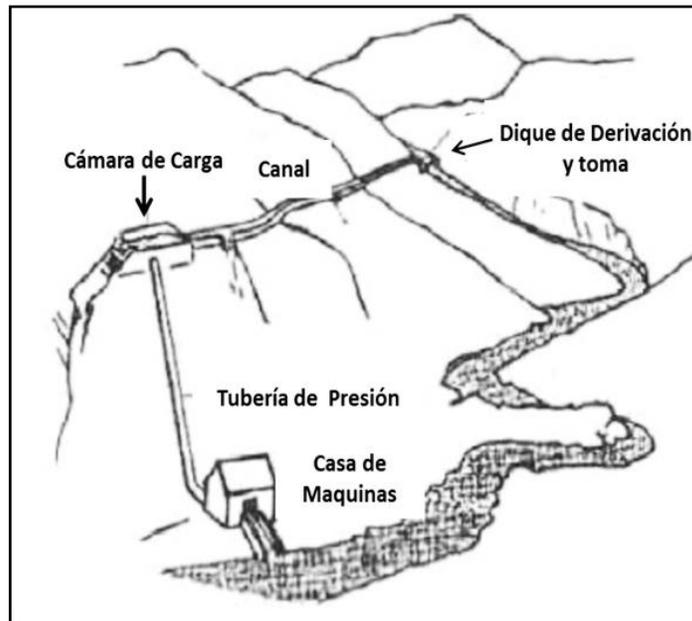
Los elementos que conformarán el sistema de generación hidráulica que consistirá básicamente en lo especificado de la siguiente Tabla, que representa la estructura del sistema aislado propuesto (pequeña central hidroeléctrica).

Tabla VII. **Elementos de la muestra del sistema aislado**

No.	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
1	Toma	Las tomas de agua son construcciones adecuadas que permiten recoger el agua de una fuente para llevarlo hasta la cámara de carga.
2	Canal de conducción	Estructura hidráulica para conducir un caudal de agua hacia la cámara de carga de un sistema hidroeléctrico
3	Cámara de carga	Depósito que alimenta con agua a la tubería de presión, evita el ingreso de materiales extraños que puedan perturbar el funcionamiento de la turbina.
4	Tubería de presión	Es el conducto que se encuentra después de la cámara de carga por medio del cual el agua llega a las turbinas, generalmente esta tubería se encuentra ubicada en caídas considerables de altura para aumentar la presión del agua.
5	Casa de máquinas	Es uno de los elementos principales que conforman una central hidroeléctrica donde se ubican las turbinas, equipo de generación, destinados a producir electricidad, tomando en cuenta los parámetros de calidad y seguridad
7	Equipo generador (generador eléctrico y turbina)	El generador es el elemento que recibe la energía de rotación o mecánica de la turbina y la transforma en energía eléctrica. Las turbinas hidráulicas tienen como misión transformar la energía potencial y cinética del agua en energía mecánica de rotación
8	Subestación de transformación	Una subestación en general es un espacio físico destinado para la instalación y operación de transformadores y elementos eléctricos de protección.
9	Red de distribución	Redes de transportación de energía eléctrica a los centros de consumo (viviendas)

Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Muestra de elementos del sistema aislado propuesto**



Fuente: <http://www.construmatica.com/construpedia/>.

3.10. Potencia hidráulica (MW)

Esta parte es donde se determinó la cantidad de potencia real (MW) que se obtendrá en la región, también se considera la factibilidad de satisfacer la actual demanda de energía eléctrica en la región (de la Franja Transversal del Norte), Y/o la determinación de un porcentaje de generación de energía eléctrica para satisfacer parte de esa demanda creciente del 2 % anual.

Para lo cual se realizaron las siguientes actividades:

- Teniendo definida la muestra de la pequeña central hidroeléctrica tipo en el aspecto hídrico y teniendo el comportamiento topográfico de la región se podrá determinar una caída neta y los elementos que conforman un proyecto como un sistema aislado a nivel rural.

- Después de haber obtenido información técnica hidrológica y topográfica de cada departamento y municipio se puede calcular la potencia hidráulica aprovechable que pueda cubrir esa demanda actual y la proyectada al año 2020.
- Posteriormente, se formulará el proyecto muestra determinando cada uno de sus elementos (tubería o canal de conducción, cámara de carga, toma y casa de máquinas etc.) del cálculo de los caudales medios se puede determinar qué tipo de equipo de generación (generador y turbina) sería el más adecuado para su operación.
- Después de haber obtenido los valores de caudal promedio y estimar una altura promedio, de acuerdo a la topografía de la región (caída neta) para el prototipo de sistema aislado propuesto (muestra) se obtiene la potencia hidráulica de cada uno de los municipios que presentan caudales significativos para poder determinarla de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$P = \delta \times Q \times \Delta h \times \eta$$

Donde:

δ = Peso específico del agua ($9.81 \times 10^3 \text{ N/m}^3$)

Q = Caudal (m^3/seg)

Δh = Carga sobre la turbina (m)

η = Eficiencia de la turbina (0.70-0.80).

Ejemplo:

Datos

$$\gamma = 9.81 \cdot 10^3 \text{ N/m}$$

$$\Delta h = 77 \text{ m}$$

$$Q = 3.7 \text{ m}^3/\text{seg}$$

η = Eficiencia de la turbina Francis (75 %) (Se utilizó este tipo de turbina ya que por su diseño es la más adecuada para saltos medios de agua y caudales medios).

La potencia hidráulica $P = 9.81 \cdot 10^3 \cdot 3.7 \cdot 77 \cdot 0.75 = 2,096,152$ watts.

$$P = 2.1 \text{ MW}$$

Esta sería la potencia obtenida para cada una de las que multiplicada por cada uno de los municipios que conforman la región de la FTN se obtendrá la potencia hidráulica generada bajo estas condiciones.

21 municipios X 2.1 MW = 44.10 MW Potencia que se obtendrá de la propuesta al año 2,020.

3.11. Cálculos

A continuación se presentan cálculos efectuados en la presente investigación.

Datos determinados previamente:

- Proyección para el año 2,020 en la FTN será de 2,204,016 habitantes. (Ver Tabla III).
- Porcentaje que no contarán con energía eléctrica en la región 54.59 %.

- Grupo familiar por centro de consumo. miembros/hogar 5.5
- Consumo promedio /hogar, 200 watts.

- Determinación del número de habitantes que no tendrán servicio de energía eléctrica en la región de la FTN

2, 204,016 hab. X 54.59 % = 1, 203,172 hab.

- Determinación del número de hogares que no tendrán servicio de energía eléctrica para el año 2,020 en la región de la FTN.

1, 203,172 hab./5.5 Hab.hogar = 218,760 hogares.

- Determinación de la potencia que demandara la región de la FTN para el año 2,020.

200 watts/consumo por hogar X 218,760 hogares = 43.7 MW

En la tabla siguiente (VIII) se pueden observar todos los elementos de la ecuación de la potencia los cuales generaron los resultados de la potencia hidráulica de cada uno de los proyectos aislados propuestos, los cuales generarán una potencia hidráulica total de la región de alrededor de los 44.1 MW, la cual podrá satisfacer la demanda de energía eléctrica en el año 2020.

Tabla VIII. Resumen del cálculo del potencial hidráulico

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	CUENCA	Q _c = m ³ /seg	β	B	ΔH	Ω	P	P	P
			A		Q			Watt		
HUEHUETENANGO	Jacaltenango	Río selegua	44.90	9810.00	3.70	77.00	0.75	2096151.75	2096.15	2.1
		Río Nenton	53.34							
	Santa Ana Hulsta	Río Selegua	44.90							
		Río Nenton	53.34	9810.00	3.70	77.00	0.75	2096151.75	2096.15	2.1
	Nenton	Río Nenton	53.34							
		Río Pajom	67.67	9810.00	3.70	77.00	0.75	2096151.75	2096.15	2.1
	Sn. Mateo Ixtatan	Río Nenton	53.34							
		Río Pojom	67.67							
		Río Ixcán	170.03	9810.00	3.70	77.00	0.75	2096151.75	2096.15	2.1
	Barillas	Río Pojom	67.67							
		Río Ixcán	170.03							
		Río Xacibal	95.26	9810.00	3.70	77.00	0.75	2096151.75	2096.15	2.1
QUICHE		Río Chixoy/negro	459.89							
	Playa Grande Ixcán	Río Ixcán	170.03							
		Río Xacibal	95.26	9810.00	3.70	77.00	0.75	2096151.75	2096.15	2.1
	Uspantán	Río Chixoy/negro	459.89	9810.00	3.70	77.00	0.75	2096151.75	2096.15	2.1
	Chajul	Río Xacibal	95.26							
		Río Chixoy/negro	459.89	9810.00	3.70	77.00	0.75	2096151.75	2096.15	2.1
ALTA VERAPAZ		Río Polochic	105.78							
		Río Cahabón	130.71							
	Cobán	rio chixoy/negro	459.89							
		Río la Pasión	306.44	9810.00	3.70	77.00	0.75	2096151.75	2096.15	2.1
	Sn. Pedro Carcha	Río Chixoy/negro	459.89							
		Río Cahabón	130.71							
		Río la Pasión	306.44	9810.00	3.70	77.00	0.75	2096151.75	2096.15	2.1
	Senahu	Río Polochic	105.78							
		Río Cahabón	130.71	9810.00	3.70	77.00	0.75	2096151.75	2096.15	2.1
	Lanquín	Río Cahabón	130.71							
		Río Sarstún	100.33							
		Río la Pasión	306.44	9810.00	3.70	77.00	0.75	2096151.75	2096.15	2.1
	Cahabón	Río Cahabón	130.71							
		Río Sarstún	100.33							
		Río la Pasión	306.44	9810.00	3.70	77.00	0.75	2096151.75	2096.15	2.1
	Chisec	Río Chixoy/negro	459.89							
		Río la Pasión	306.44	9810.00	3.70	77.00	0.75	2096151.75	2096.15	2.1
	Raxruhá									
	Chahal	Río Cahabón	130.71							
		Río Sarstún	100.33	9810.00	3.70	77.00	0.75	2096151.75	2096.15	2.1
	Fray Barolome	Río Sarstún	100.33							
		Río Moho	1.74							
		Río la Pasión	306.44	9810.00	3.70	77.00	0.75	2096151.75	2096.15	2.1
	IZABAL	Puerto Barrios	Río Dulce	104.01						
Río Motagua			207.54	9810.00	3.70	77.00	0.75	2096151.75	2096.15	2.1
Morales		Río Dulce	104.01							
		Río Motagua	207.54	9810.00	3.70	77.00	0.75	2096151.75	2096.15	2.1
Los Amates		Río Dulce	104.01							
		Río Motagua	207.54	9810.00	3.70	77.00	0.75	2096151.75	2096.15	2.1
El Estor		Río Dulce	104.01							
		Río Cahabón	130.71							
		Río Motagua	207.54							
		Río Polochic	105.78							
		Río Sarstún	100.33	9810.00	3.70	77.00	0.75	2096151.75	2096.15	2.1
Llvinston		Río Dulce	104.01							
	Río Sarstún	100.33								
	Río Motagua	207.54	9810.00	3.70	77.00	0.75	2096151.75	2096.15	2.1	
								44019186.75	44019.19	44.1

Fuente: elaboración propia, con información de cuenca hidrográficas -INSIVUMEH-.

3.12. Resultados obtenidos

Antes del desarrollo de este capítulo es importante resumir como se obtuvieron los caudales medios, en el capítulo dos (2) referente a la recolección de la información, se indicó que la Franja Transversal de Norte está compuesta por cuatro (4) departamentos, siendo estos: Huehuetenango con cinco (5) municipios, Quiché con tres (3), Alta Verapaz con ocho (8) y Izabal con (5) los cuales están conformados geográficamente de un total de veintiún (21) municipios, estos datos iniciales se cortearon en el documento de cuencas hidrográficas de Guatemala elaborado por las instituciones: INSIVUMEH MARM, INE y MAGA que incluye todos los mapas hidrológicos de las tres vertientes del Pacífico, del Atlántico y Golfo de México. De lo cual se pudo determinar las cuencas hidrográficas que influyen en la región delimitada del estudio de investigación como lo es la Franja Transversal del Norte y así como su ubicación en cada uno de los municipios de los cuatro departamentos indicados.

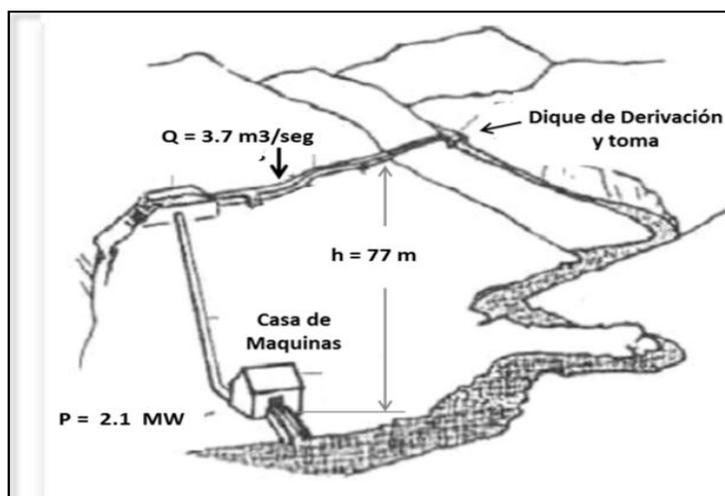
En la mayoría de estos municipios aparecen bajo la influencia hidrológica de más de dos cuencas, para lo cual realizó un promedio de los caudales que presentan cada una de ellas para poder determinar un caudal promedio esto para llegar a realizar el cálculo de la potencia hidráulica, de toda la información se determinó un rango entre un mínimo de caudal promedio de $49.12 \text{ m}^3/\text{s}$ y un máximo de caudal promedio de $383 \text{ m}^3/\text{seg}$.

Como se puede apreciar en la figura 11, que se refiere a la muestra de la estructura del sistema convencional de una pequeña central hidroeléctrica con sus elementos básicos estructurales así como el equipo de generación necesario para obtener la potencia hidráulica óptima de 2.1 WM por generador para satisfacer la demanda que se tendrá al año 2020 en FTN.

Como se puede apreciar en la Tabla VI, resumen hidrológico, se ha obtenido el caudal promedio por municipio, el cual adicionado a la caída neta (presión sobre la turbina) obtenida de las características topográficas de la región y el 75 % de eficiencia de la turbina Francis, se obtuvo la potencia hidráulica de la muestra del proyecto aislado propuesto, siendo esta de 2,096,152 Watts equivalentes a 2.1 MW, por cada uno de los sistemas aislados que se implementarían en los veintiún (21) municipios, lo que equivaldría a 44.1 MW que se obtendría para toda la región de la FTN.

De acuerdo a Segeplan, (2011) “la proyección poblacional para el año 2020 en la Franja Transversal del norte tendrá 2, 204,016 habitantes” (p.18) esto equivaldría a 1, 203,172 habitantes (218,759 hogares) sin servicio energía eléctrica y si cada hogar consume los 200 watts, la demanda de potencia sería de aproximadamente de 43, 751,721 Watts (43.7 MW). A continuación se muestra la figura 13 donde se puede observar los resultados del sistema aislado propuesto.

Figura 11. **Muestra de los resultados obtenidos para el sistema aislado propuesto para el año 2020**



Fuente: <http://www.construmatica.com/construpedia/>.

Se puede mencionar como un resultado significativo de este estudio de investigación es la importancia que tendrá a nivel regional la implementación de este tipo de proyectos, debido a que estos no generarán efectos negativos para el medio ambiente, debido a la utilización de un recurso renovable como es el agua, ya que con ello se estaría evitando de alguna manera el deterioro del medio ambiente.

Después de haber determinado que si se puede atender la demanda de energía eléctrica en esta región (FTN), en el aspecto socioeconómico las poblaciones que obtendrían este servicio en el mediano plazo se reflejaría un desarrollo, lo cual darían muchos beneficios tanto en la salud, la educación y posibles fuentes de empleo, con lo cual evitaría la migración a otros centros urbanos.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Después de los resultados obtenidos específicamente en la determinación de la potencia eléctrica con una generación limpia obtenida a través del recurso hidráulico (un recurso renovable); esta llegaría a reflejarse en un porcentaje significativo en la estructura de la matriz energética de país, indicando una menor dependencia de los recursos no renovables (generación a través de combustibles fósiles). Por otro lado, también sería importante para nuestro país, ya que su implementación se estaría protegiendo el medio ambiente, ya que con ello no se estaría generando gases de efectos invernadero u otro tipo de contaminación ambiental.

En el análisis que se realizó en el capítulo anterior de la matriz energética, de la proyección de los años 2012 al 2026, presentada por el Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), indica que en año 2012 la generación con recurso hídrico fue de 49 % y presenta una proyección para el año 2026 donde se pretende llegar a un 55 % de generación, utilizando este tipo de recurso. Otro aspecto importante de esta proyección es también la utilización de otro recurso renovable como es la geotermia que aumentará de 4 % a un 18.7 %, para el año 2026.

Al ingresar esta generación producida con recursos naturales, la matriz energética irá saneando su estructura energética, ya que estará desechando la generación contaminante proveniente de los combustibles fósiles como el carbón y el búnker.

Al haberse determinado por el estudio de investigación que se puede cubrir la demanda de energía eléctrica en la región de la FTN al año 2020, se puede indicar adicionalmente esto generaría que, en el aspecto social, se obtendría un desarrollo sustentable en el mediano plazo elevando su nivel y calidad de vida obteniendo mejoras especialmente en la salud y la educación. Con la propuesta de utilizar un recurso renovable, el agua, se obtendrá un medio ambiente sin efectos nocivos como la generación de gases efecto invernadero y cambio climático. En el aspecto económico la obtención de fuentes de trabajo en nuevos tipos de comercios, talleres y al almacenamiento refrigerante de carnes y legumbres.

Con la implantación de estos pequeños proyectos hidroeléctricos se podrían obtener resultados tangibles en un plazo perentorio por ejemplo: en la salud: los centros de salud podrán mantener medicamentos y vacunas en las temperaturas adecuadas y realizar pequeñas operaciones quirúrgicas. En la educación: se tendrá horarios nocturnos en escuelas, también se pueden realizar eventos culturales. En lo laboral, se generarán fuentes de trabajo en la implementación de talleres diversos y pequeños comercios; en el campo agrícola, por ejemplo mejoras en los sistemas de riego así como el bombeo en pozos para extracción de agua para las comunidades que no cuentan con este servicio tan esencial.

CONCLUSIONES

1. Que la modalidad propuesta en la investigación, como un sistema de generación aislado con recurso hidráulico en la región delimitada de la Franja Transversal del Norte, se determinó que con una potencia de generación hidráulica de 2.1 MW por cada sistema aislado propuesto en cada uno de los veintiún (21) municipios, se obtuvo una potencia hidráulica de 44.1 MW que podría satisfacer la demanda al año 2020 que sería del orden de los 43.7 MW. Esa demanda a satisfacer en términos de habitantes equivaldría a 1, 203,173.
2. De los resultados de la investigación se ha determinado un potencial hidráulico en la región de la Franja Transversal del Norte de alrededor de 44.1 MW, la cual puede satisfacer la demanda en un 100 %, que sería del orden de los 43.7 MW.
3. Se ha concluido anteriormente que la demanda al año 2020, se podrá satisfacer en su totalidad, pero es importante indicar que en términos de centros de consumo (viviendas) contarán con energía eléctrica una cantidad aproximada de 278,750 con un promedio de 5.5 habitantes/vivienda con un consumo promedio de 200 watt.

4. En lo referente al cálculo del potencial hidráulico se pueden apreciar en la tabla VIII donde se indican todas las variables que conforman la ecuación de la potencia, se obtuvieron los resultados por cada sistema aislado propuesto en cada uno de los municipios que conforman los cuatro departamentos de conforman la Franja Transversal del Norte, así como también, el potencial hidráulico total a nivel de la región necesaria para cubrir la demanda de energía eléctrica para el año 2020, para lo cual ha dado un resultado de 44.1 MW. De los resultados de esta tabla se han obtenido varias de las conclusiones finales de la presente investigación.

RECOMENDACIONES

1. Realizar más estudios a partir de la presente investigación sobre el tema, con el fin de poder implementarlas en la problemática energética en estas regiones rurales aisladas de nuestro país, especialmente en la Franja Transversal del Norte (FTN), para encontrar soluciones viables a mediano plazo.
2. Para la inversión y gestión de estos sistemas aislados, se recomienda sean por parte de cooperativas de electricidad y/o empresas municipales en los municipios donde se establecería dichos sistemas (21) con una potencia de 1.2 MW por sistema.
3. Que el Programa de Electrificación Rural (PER) que ha reportado en los últimos años índices significativos de electrificación de la forma convencional (conexión a redes de distribución y transmisión del Sistema Nacional de Interconectado) pueda dar cobertura a estas regiones aisladas rurales con la modalidad de sistemas aislados con recurso hidráulico como se ha propuesto en la presente investigación.
4. Que el Plan de Electrificación Rural (PER) y las municipalidades de la región, puedan solicitar financiamiento a instituciones internacionales como Agencia Internacional de Desarrollo (AID) e Instituciones Europeas que ayudan a proyectos de desarrollo para realizar dichos proyectos.

5. Realizar proyecto de investigación a partir de la presente referente a las pérdidas que se generan en las líneas de conducción de agua del tipo de proyecto aislado propuesto especialmente en la diferencia de nivel de determina la carga sobre la turbina, y en las líneas de las redes de distribución interna a los centros de consumo.
6. Formular un proyecto de generación de energía eléctrica con la modalidad de sistema aislado en la región de la Franja Transversal del Norte como un proyecto híbrido (solar-hidráulico), para comparar resultados con el presente proyecto de investigación.
7. En caso que la altura neta necesaria para obtener la potencia hidráulica de 2.1 MW. sea menor a la esperada (77m) en alguno de los veintiún proyectos recomendados, es importante establecer la utilización de una turbina con características similares a la turbina tipo Francis, turbina propuesta en este estudio de investigación, esta tendrá que ser la recomendada por diseño para caídas significativamente menores a la propuesta.
8. Un estudio del entorno social para la aceptación de las hidroeléctricas en cada lugar donde se implementarán, ya que como es de conocimiento público existen problemas de resistencia y conflictividad, en la actualidad en la mayoría de estas regiones a este tipo de proyectos, es conveniente, previo a la implementación de los proyectos propuestos socializar con las poblaciones, para evitar oposición y/o resistencia a los mismos, ya que existen a nivel rural muchos mitos negativos sobre el tema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arriaza, H. (2005). Diagnóstico del Sector Energético en el área Rural de Guatemala.
http://www.infoiarna.org.gt/index.php/component/docman/doc_download/481-diagnostico-del-sector-energetico-en-el-area-rural-de-guatemala 117 p
2. Comisión Nacional de Energía Eléctrica -CNEE-. (2008) Plan de expansión del sistema de transporte y generación de energía eléctrica en Guatemala 2008-2022. Documento No. 1 y 2, pp. 12-56. Disponible en <http://www.cnee.gob.gt>.
3. Ecured. (2010). Recuperado el 14 de octubre de 2014, de [# Antecedente](http://www.ecured.cu/index.php/Generación_de_Energía_Eléctrica)
4. Eias. Utalca. (2008). Recuperado el 17 de octubre de 2014, de http://eias.utralca.cl/isi/publicaciones/unam/pronostico_del_escurreamiento.pdf Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. *Normas de seguridad estructural de edificios y obras de infraestructura para la República de Guatemala*. Guatemala: AGIES, 2010. 75 p.

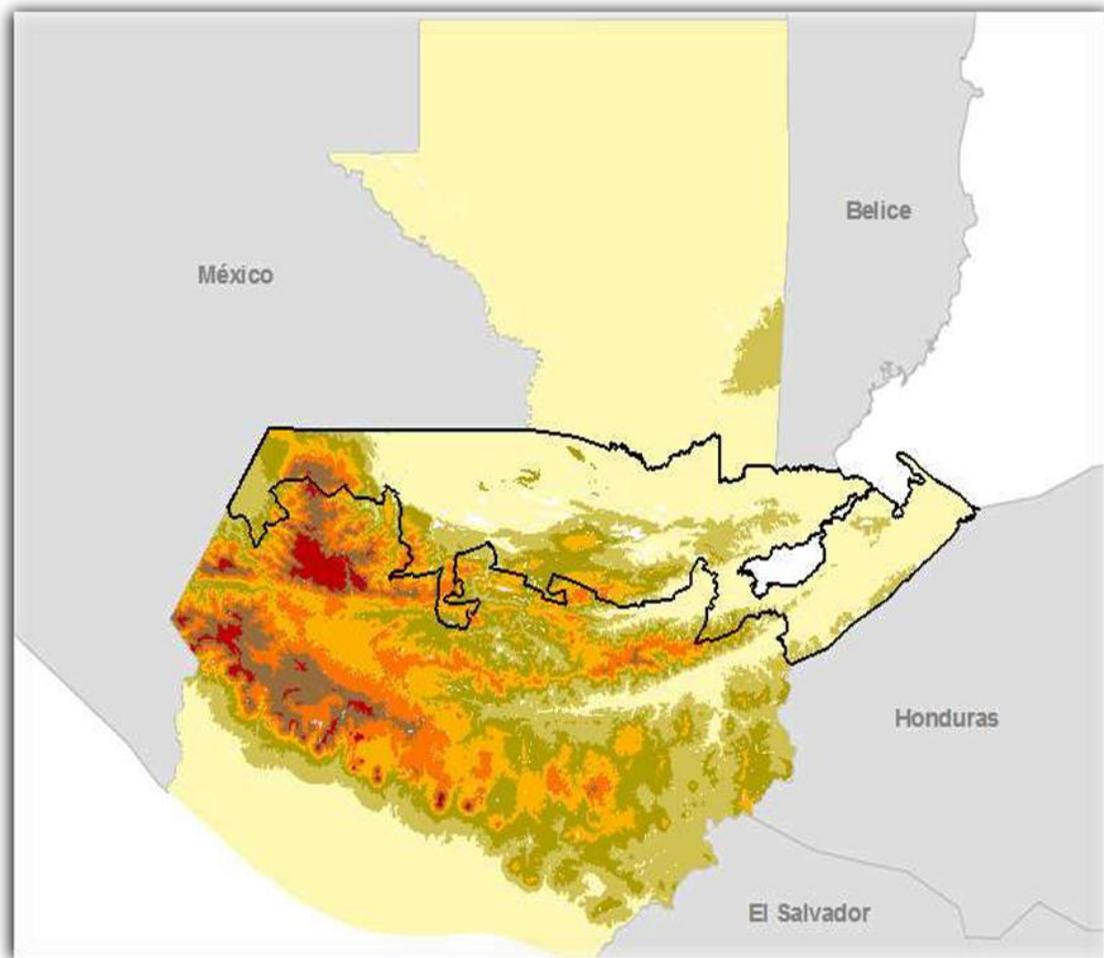
5. Electrificación, I. N. (1995). Datos Básicos de las Medianas y Grandes Centrales Hidroeléctricas. Guatemala. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1994. 155 p.
6. Electricidad Ined Aneño Ency. (18 de febrero de 2011). <http://encv5toelectricidad2011ined.blogspot.com/2011/02/historia-de-las-hidroelectricas-en.html>
7. Enríquez, R. (2008). Calculo de caudales. http://www.academia.edu/3626298/Metodo_gumbel_calculo_de_caudales_PDF
8. España, H. (2008). Generación Distribuida por medio de energías alternas renovables y su influencia en la evolución del sistema Eléctrico. Guatemala.
9. Fundación Solar. (2008). Caracterización de la demanda de energía en zonas rurales aisladas de Guatemala. Guatemala.
10. Gases Efecto Invernadero. (2002). Gases Infecto Invernadero: <http://www.mitosyfraudes.org/Calen6/GHG-Idso.htm>
11. Gil, J. (2010). Caracterización de la Demanda Energética en Zonas Rurales Aisladas de Guatemala. Revista Electrónica No.14, 1 a10.
12. Hidráulica II. (2006). Recuperado el 14 de octubre de 2014, de Hidráulica II <https://es.scribd.com/doc/137528824/111470357-Hidraulica-II>

13. Hidrología - Caudales. (2011). Recuperado el 12 de Agosto de 2015, de [http://www.ingenieroambiental.com/4018/hidrologia%20%20caudales\(2\)\(2\).pdf](http://www.ingenieroambiental.com/4018/hidrologia%20%20caudales(2)(2).pdf)
14. Hidrología. (2013). Recuperado el 11 de Septiembre de 2014, de Hidrología <http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia.html>
15. INSIVUMENH, 2013. Hidrología Guatemala. Disponible en: [en línea] <http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia.html> [consulta: 11/092014]
16. Instituto Nacional de Estadística –INE- (2006). Proyecciones de Población y Lugares Poblados con base al XI Censo de Población y VI de Habitación 2002, período 2000 – 2020. XI Censo Nacional de Población y VI de Habitación. INE, Dirección de Censos y Encuestas. sde. 10 p.
17. Inventos. (2009). Recuperado el 15 de octubre de 2014, de <http://inventas.blogspot.com/>
18. Luna, N. (2013). Aplicación de Responsabilidad Social Corporativa (RSC) en Sistemas de Energía rural en Zonas Aisladas OLADE. <http://www.olade.org/sites/default/files/CIDA/Informe%20consolidado%20RSC%20Guatemala.pdf> 84 p.
19. Maimbil, E. (2012). Modelos de Generación eléctrica. Recuperado el 8 de noviembre de 2014, de <http://www.dinamica-de-sistemas.com/revista/0613k-dinamica-de-sistemas.pdf>

20. MEM. (2011). Guia del Subsector Eléctrico Energía Renovable. Guatemala.
21. Minas, M. d. (2013). Política Energética 2013 -2027. Recuperado el 4 de agosto de 2015, de Política Energética 2013 -2027: https://www.google.com.gt/?gws_rd=cr,ssl&ei=_DTBVfj0D8GoNv-wnfgB#q=politica+energetica+2013-2027
22. Perfil Ambiental de Guatemala. (2005). Recuperado el 2015 de Agosto de 112, de http://biblio3.url.edu.gt/IARNA/serie_amb/3.PDF
23. Ponce, M. (1989). Apuntes de Hidrología. Recuperado el 9 de noviembre de 2014, de http://ing.unne.edu.ar/pub/Modelos%20hidrologicos_Tema9.pdf
24. Segeplan. (2011). Plan de Desarrollo integral de la FTN. Guatemala
25. SEGEPLAN. (2012). Política Energética. Recuperado el 11 de Agosto de 2015, de Política Energética: http://www.segeplan.gob.gt/downloads/clearinghouse/politicas_publicas/Energ%C3%ADa%20y%20Minas/PE2013-2027.pdf
26. Sistemas de Energía Eléctrica. (2004). Recuperado el 24 de Septiembre de 2014, de Sistemas de Energía Eléctrica: http://www.deguate.com/artman/publish/ecofin_articulos/Sistema-de-energia-electrica-en-Guatemala.shtml
27. Velásquez, S. (2009). Modelo de la Electrificación en zonas asiladas de la República de Guatemala.

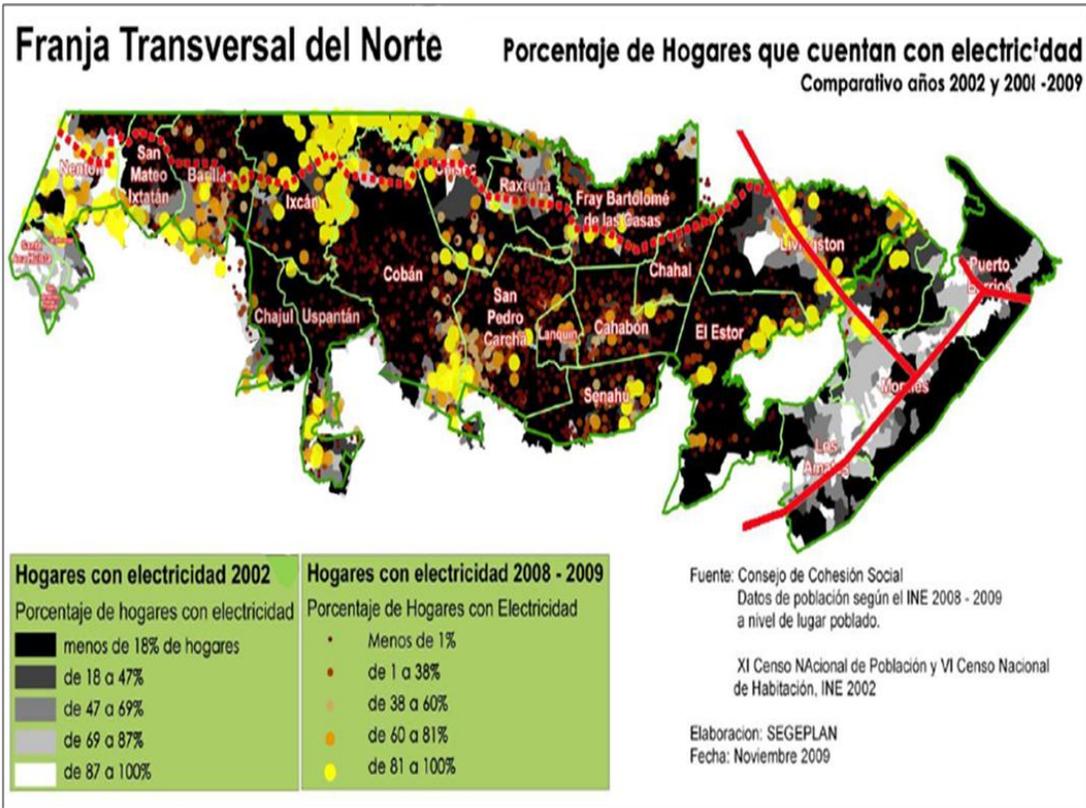
ANEXOS

Anexo A **Mapa de ubicación de la Franja Transversal del Norte (FTN)**



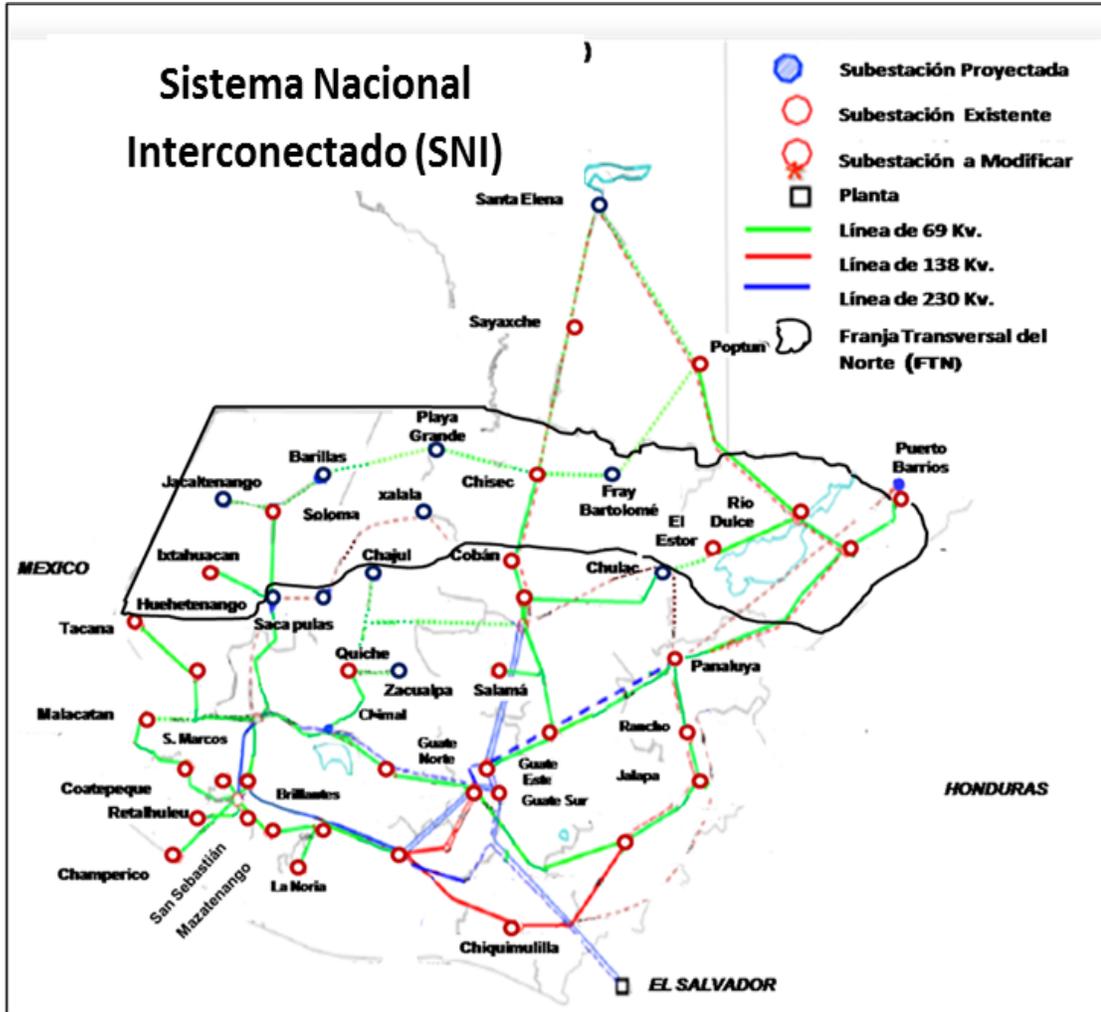
Fuente: Diagnóstico de la Franja Transversal del Norte – SEGEPLAN (2011) página 11.

Porcentaje de hogares que cuentan con electricidad en la Franja Transversal del Norte (FTN)



Fuente: Diagnóstico de la Franja Transversal del Norte – SEGEPLAN (2011) página 39.

Anexo C Sistema Nacional Interconectado (SNI)



MUNICIPIOS QUE FORMAN PARTE DE LA REGION FTN	Alta Verapaz
Huehuetenango	Cobán
Jacaltenango	S. Pedro Carcha
Santa Ana Huista	Senahù
San Antonio Huista	Lanquin
Nenton	Cahabon
San Miguel Ixtaguacan	Chisec
Barillas	Raxruhà
Izabal	Quiche
Puerto Barrios	Bartolomé
Morales	Grande Ixcán
Los Amates	Uspantán
El Estor	Chajul
Livingston	

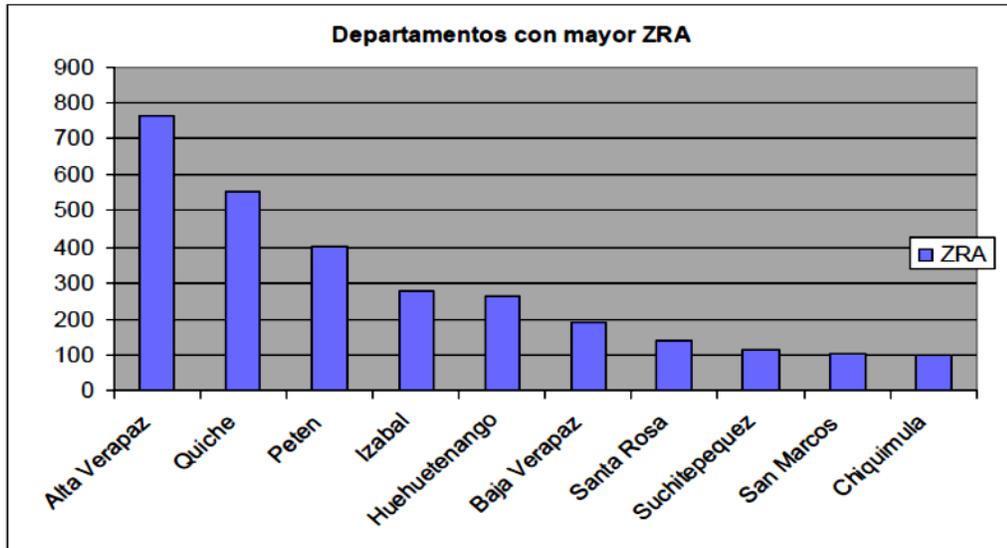
Fuente: Caracterización de la demanda en las zonas rurales aisladas (2008) página 3.

Anexo D **Zonas rurales aisladas por departamento**
índices de pobreza

Departamento	ZRA	Índice de Pobreza
Alta Verapaz	763	54.8
Quiché	553	81.1
Peten	402	59.3
Izabal	277	52.1
Huehuetenango	262	77.8
Baja Verapaz	193	71.6
Santa Rosa	140	62.1
Suchitepéquez	113	53.9
San Marcos	105	86.7
Chiquimula	100	49.3
Zacapa	84	43.8
Escuintla	81	35.2
Quetzaltenango	66	60.7
Jalapa	65	72.6
Chimaltenango	55	57.9
El Progreso	54	54.8
Jutiapa	36	63.9
Retalhuleu	35	57.6
Totonicapán	22	85.6
Sololá	16	76.4
TOTAL	3,422	

Fuente: Caracterización de la demanda en las zonas rurales aisladas (2008) página 12.

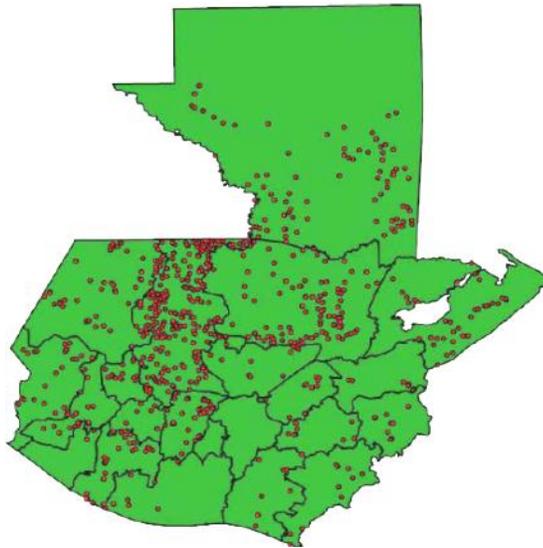
Anexo E Departamentos con mayor Zonas Rurales Aisladas



Fuente: Caracterización de la Demanda en las Zonas Rurales Aisladas (2008)

página 13.

Anexo F Ubicación de la mayoría de Zonas Rurales Aisladas



Fuente: Caracterización de la demanda en las zonas rurales aisladas (2008)

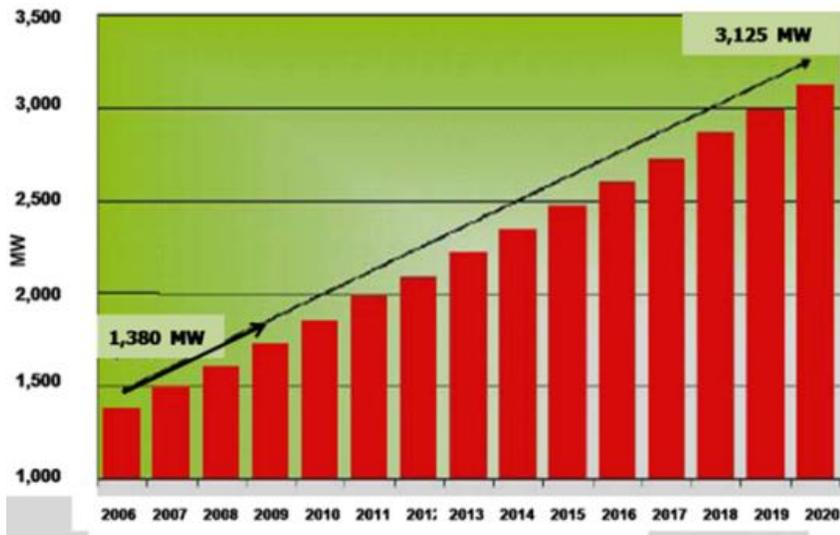
página 14.

Anexo G **Potencia de generación eléctrica con Fuentes renovables v no renovables**

RECURSO	ESTIMADO	APROVECHAMIENTO
Petróleo	Reserva de 195,146,605 barriles	Producción de 10,500 barriles/día
Gas natural	No contabilizado	Sin aprovechar
Potencial Hidroeléctrico	6,000 MW	Aprovechado un 15%
Potencial geotérmico	1,000 MW	Aprovechado un 5%
Potencial eólico	280 MW	Sin aprovechar
Potencial solar	5.3 KWh/m2/día	Utilizado en sistemas aislados
Potencial biomásico	No contabilizado	306.5 MW aprovechados

Fuente: Dirección general de hidrocarburos –Ministerio de Energía y Minas-.

Anexo H **Incremento de la demanda de potencia en Guatemala hasta el año 2020**



Fuente: <http://www.inde.org.gt>

