



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE LA PREFACTIBILIDAD
DE IMPLEMENTAR UN PROYECTO DE MICRO HIDROGENERACIÓN ELÉCTRICA
EN LA COMUNIDAD LANCETILLO, USPANTÁN, QUICHÉ**

Pedro Xavier Armas Aguilar

Asesorado por el Ph.D. M.Sc. Ing. Iván Azurdia Bravo

Guatemala, noviembre de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE LA PREFACTIBILIDAD
DE IMPLEMENTAR UN PROYECTO DE MICRO HIDROGENERACIÓN ELÉCTRICA
EN LA COMUNIDAD LANCETILLO, USPANTÁN, QUICHÉ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

PEDRO XAVIER ARMAS AGUILAR

ASESORADO POR

EL Ph.D. M.Sc. ING. IVÁN AZURDIA BRAVO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Francisco Gómez Rivera
EXAMINADOR	Ing. Luis Alfredo Asturias Zúñiga
EXAMINADOR	Ing. Javier Mauricio Reyes Paredes
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE LA PREFACTIBILIDAD DE IMPLEMENTAR UN PROYECTO DE MICRO HIDROGENERACIÓN ELÉCTRICA EN LA COMUNIDAD LANCETILLO, USPANTÁN, QUICHÉ

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado, con fecha 18 de julio de 2014.



Pedro Xavier Armas Aguilar



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

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



000639

ADSE-MEAPP-0005-2014

Guatemala, 18 de julio de 2014.

Director:
César Ernesto Urquizú Rodas
Escuela de Ingeniería Industrial
Presente.

Estimado Director:

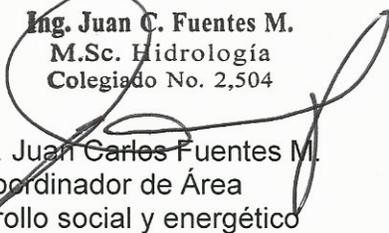
Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación de la estudiante **Pedro Xavier Armas Aguilar** con carné número **1997-12672**, quien opto la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la **Maestría en Energía y Ambiente**.

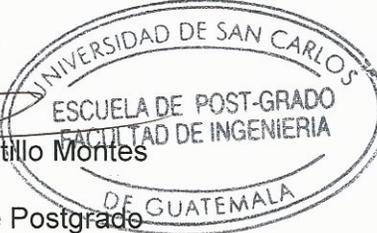
Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

"Id y enseñad a todos"


MSc. Ing. Iván Azurdia Bravo
Asesor (a)
Iván Azurdia Bravo
Ingeniero Civil
Colegiado 2475

Ing. Juan C. Fuentes M.
M.Sc. Hidrología
Colegiado No. 2,504

MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes M.
Coordinador de Área
Desarrollo social y energético


Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado


Cc: archivo
/la



REF.DIR.EMI.228.014

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación en la modalidad Estudios de Postgrado titulado **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE LA PREFACTIBILIDAD DE IMPLEMENTAR UN PROYECTO DE MICRO HIDROGENERACIÓN ELÉCTRICA EN LA COMUNIDAD LANCETILLO, USPANTÁN, QUICHÉ**, presentado por el estudiante universitario **Pedro Xavier Armas Aguilar**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



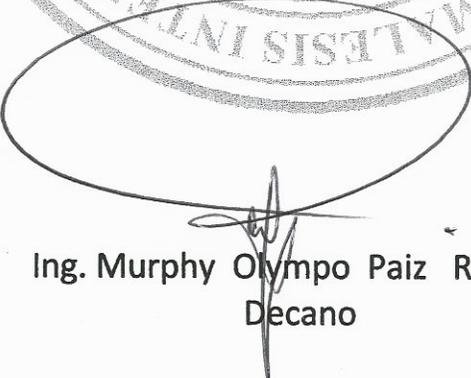
Guatemala, noviembre de 2014.

/mgp



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE LA PREFACTIBILIDAD DE IMPLEMENTAR UN PROYECTO DE MICRO HIDROGENERACIÓN ELÉCTRICA EN LA COMUNIDAD LANCETILLO, USPANTÁN, QUICHÉ**, presentado por el estudiante universitario **Pedro Xavier Armas Aguilar**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 19 de noviembre de 2014

/gdech



DEDICATORIA A:

- Dios** La energía que mueve al Universo. Su infinito amor y generosidad me acompañan en todo momento.
- Mis padres** Por su amor, paciencia y guía en la vida, sus enseñanzas en los valores y su apoyo inconmensurable.
- Mi hermana** Mi primera y gran amiga. Por su confianza, cariño y lealtad, en las buenas y en las malas.
- Toda mi familia** Sus consejos, afecto, presencia y apoyo incondicional manifestados continuamente.
- Mis amigos** Por su invariable espíritu crítico, simpatía y sinceridad, siempre de manera desinteresada.

AGRADECIMIENTOS A:

Los compañeros de la Asociación Semilla de Sol	Que permitieron y aceptaron que se desarrollará esta propuesta dentro del marco de trabajo de su Programa de Energía.
Mi asesor	Ing. Iván Azurdia, por su desprendido apoyo y orientación en la realización de este trabajo.
Mis revisores	Dra. Mayra Castillo e Ing. Giovanni Tavico, por sus sugerencias para la estructuración y satisfactoria conclusión del presente informe.
Mis centros de estudio	Desde el Colegio San José de los Infantes hasta la Universidad de San Carlos de Guatemala y su Facultad de Ingeniería, en especial a las Escuelas de Mecánica y Mecánica Industrial.
Todos mis maestros y catedráticos	Cuya contribución ha sido parte fundamental de mi formación
Y les doy las gracias profundamente	A todos aquellos quienes de alguna u otra forma colaboraron con este trabajo, influyendo de manera positiva para su conclusión.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN	01
2. ANTECEDENTES	07
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	15
5. OBJETIVOS	19
6. ALCANCES.....	21
7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	23
8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO.....	29
9. METODOLOGÍA.....	33
10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	39

11.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	41
12.	RECURSOS NECESARIOS	43
13.	BIBLIOGRAFÍA.....	45

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Secuencia lógica de los estudios de preinversión 13
2. Diagrama árbol de problemas 14

TABLAS

- I. Fases en las que se distribuyen las actividades 35
- II. Presupuesto estimado 44

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
US \$	Dólares de los Estados Unidos de América
MW	Megawatt, megavatio
W	Vatio

GLOSARIO

Caída	Distancia vertical recorrida por el agua dos cotas diferentes.
Caudal	Volumen de agua circulante por unidad de tiempo.
Climatología	Ciencia que estudia las características del clima a largo plazo.
Cuenca	Espacio geográfico cuyos aportes hídricos naturales se alimentan exclusivamente de las precipitaciones y cuyos excedentes de agua o materias sólidas transportadas por el agua forman, en un punto único, una desembocadura. Viene definida, generalmente, por la divisoria topográfica de las aguas (Municio & Matínez, 2004).
Demanda	Cantidad de energía requerida de carácter constante en un determinado período.
Energía cinética	Energía que un cuerpo posee debido a su movimiento.
Energía potencial	Capacidad de un cuerpo de realizar un trabajo en función de su posición.

Escala limnimétrica	Escala graduada para señalar el nivel de la superficie del agua en un cauce, embalse, lago, etc (Municio & Martínez, 2004).
Estadística inferencial	Rama de la estadística que estudia el comportamiento y las propiedades de las muestras y las probabilidades y límites de la generalización de los resultados obtenidos a partir de aquellas poblaciones que representan. Esta generalización de tipo inductivo se basa en la probabilidad (Salvador, 2009).
Factibilidad	Se refiere a la disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo los objetivos o metas señalados. Generalmente la factibilidad se determina sobre un proyecto. (Exception - Alegsa, 2014)
Georeferenciación	Es la técnica de posicionamiento espacial de una entidad en una localización geográfica única y bien definida en un sistema de coordenadas.
Hidrología	Estudio de las aguas superficiales y subterráneas de la tierra y su aparición, circulación y distribución, tanto en el tiempo como en el espacio, así como de sus propiedades biológicas, químicas y físicas, y de sus reacciones con el entorno (Municio & Martínez, 2004).

Potencia	Potencial teórico de la cuenca para producir electricidad.
Potencial	Energía que puede ser generada por una fuente de agua en base a su tamaño y condiciones topográficas.
Prospección	Exploración de posibilidades futuras basadas en indicios presentes.
Sistema aislado	El sistema aislado se utiliza para producir electricidad que se consume en el instante o se almacena en una batería eléctrica para un posterior uso y no tiene conexión a la red.
Tecnología	Interface entre el ser humano y la naturaleza.
Topografía	Conjunto de características que presenta la superficie o el relieve de un terreno.
Variabilidad	Son las diferencias en el comportamiento de todo fenómeno observable que se repite bajo las mismas condiciones.

RESUMEN

La generación de energía eléctrica de manera aislada en Guatemala representa una posibilidad para lograr aumentar la cobertura eléctrica en el territorio nacional. Existen sitios que cuentan con posibilidades de aprovechamiento de recursos hídricos para estos fines, que además, aportarían energía limpia de fuentes renovables e involucrarían una revalorización de la cuenca desde una perspectiva económica y ecológica diferente.

La conveniencia o no de generación eléctrica por medio de la hidráulica debe ser determinada por medio de estudios que recojan y valoren la información de las características y comportamiento de las variables que intervienen en el modelo de generación. Este trabajo es un protocolo de acciones encaminadas a dar continuidad al conjunto de estos estudios, llamados de preinversión, y concretamente se enfoca a la prefactibilidad para un proyecto de hidrogenación eléctrica en Lancetilo, Uspantán, Quiché.

El objetivo central se enfocará en determinar las posibilidades que presenta el sitio para la generación de energía y de qué manera estas posibilidades podrán satisfacer la demanda de electricidad del lugar, por lo que se plantea de manera medular el estudio del potencial que se basa en determinar las características y comportamiento del recurso hídrico y su entorno, y de la demanda que presenta el sitio, que tiene que ver con la demografía, condición socioeconómica y desarrollo del lugar y su proyección de crecimiento.

Tansversalmente, se hace hincapié en la propuesta sobre la importancia del manejo integral de la cuenca, tanto para minimizar los impactos ambientales como para la sostenibilidad del proyecto, ya que de su cuidado depende el aseguramiento del recurso hídrico.

Se espera que del planteamiento acá propuesto, como resultado derivará el estudio de prefactibilidad que contendrá información precisa de las posibilidades del lugar para generación, si existen opciones viables y las presentará para a toma de decisiones y si es pertinente, permitir la continuidad de la fase de pre inversión que serviría para gestionar fondos para la implementación del proyecto.

Finalmente, el estudio vendría a aportar información significativa acerca de este tipo de iniciativas para Guatemala, cuyo campo no está masificado ni ampliamente documentado.

1. INTRODUCCIÓN

Panorama general del problema y su contexto:

Se considera a la energía eléctrica como un medio para alcanzar el desarrollo y no como un fin en sí mismo (FAO, 1996). Ya en 1986, Schurr y Sonenblum, en su trabajo *Electricity Use, Productive Efficiency and Economy Growth*, iban más allá al afirmar que el progreso tecnológico depende de la calidad de la energía. Lo anterior hace pensar en que es difícil alcanzar el desarrollo (entendido como una evolución progresiva de una economía hacia mejores niveles de vida, según el DRAE) en las sociedades del siglo XXI sin contar con energía eléctrica, lo cual la convierte a esta en un servicio estratégico de primera necesidad.

En Guatemala, el servicio de energía eléctrica no ha llegado aún a cubrir el total del territorio. El Ministerio de Energía y Minas da cuenta que, al 26 de marzo de 2014, el índice de cobertura eléctrica alcanza el 89,58 % (MEM, 2014).

En el caso particular de Quiché son más de 30 mil viviendas (MEM, 2014) las que por diferentes razones, tanto del tipo político (desatención por parte del estado) como técnicas (dificultad en cubrir las largas distancias existentes entre las redes eléctricas de transmisión y los poblados, topografía montañosa predominante al paso de la red de distribución nacional de energía eléctrica) son ajenas a los beneficios de la electrificación (CNEE, 2012).

Lancetillo es una de estas comunidades ubicada entre Uspantán y Chicamán, padece las consecuencias de la carencia de energía eléctrica y las dificultades para acceder al servicio previamente descritas. A eso se le añade que al ser un sitio donde se estima que el consumo potencial de electricidad no se prevé alto (Semilla de Sol, 2013), provoque que no sea valorado por parte de la comercializadora de energía como un cliente potencial de interés para ser electrificado prontamente porque no le representará mayores beneficios comparativamente con el costo de extender la red ya que es extremadamente caro (URL, 2008), por lo que su caso es el de un sitio aislado sin electrificación.

La generación de energía eléctrica en sitios aislados debe cumplir la función de satisfacer la propia demanda presente y futura (autoproducción de energía), por lo que la misma debe ser estudiada, los recursos existentes evaluados y con base en ello proponer alternativas que deberán valorarse de manera técnica a fin de escoger la más adecuada. Este conjunto de acciones forma parte de la preinversión que respaldará la posible inversión posterior (SEGEPLAN, 2002).

Cómo se resolverá el problema y la importancia de resolverlo

Lancetillo cuenta con la ventaja de poseer un recurso hídrico importante a considerar para la generación de su propia energía eléctrica, de una fuente renovable y cuyo aprovechamiento, como el de las pequeñas centrales, se prevé de bajo impacto ecológico (Koberle, 2012). Sin embargo, el panorama particular de un proyecto para este sitio específico no se conoce aún con mayor detalle, por lo que se pretende que el trabajo que acá se propone forme parte de los estudios de preinversión que permitan determinar la conveniencia o no de un proyecto hidroeléctrico.

Para determinar si el aprovechamiento es posible y pertinente, dadas las condiciones particulares del caso, son necesarios los estudios técnicos correspondientes, que se enfocarán en evaluar las características del recurso y sus condiciones, las formas posibles de aprovechamiento para generar energía y la demanda a satisfacer.

Esto se logrará desplegando actividades de campo para recolectar información, como la prospección del sitio para observar condiciones generales, medición de caudales instantáneos como procedimiento para cuantificar el recurso, determinación de caídas disponibles aprovechables mediante procedimientos topográficos de primera línea, evaluación de los aspectos socioeconómicos de los pobladores con el objeto de proyectar la demanda futura, verificación de las condiciones que ofrece la cuenca en función del aseguramiento del recurso, etcétera.

También se contempla la revisión bibliográfica y de información técnica disponible específica del sitio, como similitud hidrológica, para conocer los patrones posibles del comportamiento del río; y climatológica, que servirá para complementar los detalles sobre los caudales disponibles a lo largo del tiempo.

Finalmente, toda esta información servirá para determinar las posibilidades de la ingeniería del proyecto y las tecnologías apropiadas que se puedan implementar para modelar la oferta en cuanto a potencia se refiere. Se considerarán los posibles emplazamientos de las obras civiles de toma, conducción, casa de máquinas y desfogue, con sus valoraciones correspondientes; estimación de la demanda actual y futura durante el tiempo de vida del proyecto; elementos de generación eléctrica y su distribución hasta los domicilios; y las consideraciones de eficiencia energética y ambientales respectivas.

Resultados esperados e impacto de los mismos

Se cuenta únicamente con el documento de perfil inicial de proyecto, elaborado en el marco del Programa para la Reducción de la Pobreza en Centro América (Prepca), por lo que con esta propuesta se espera darle continuidad al ciclo de proyecto con el estudio de prefactibilidad que debe permitir finalmente conocer el menor número de opciones posibles que ofrezcan las condiciones más viables, en caso se determine que existen, para desarrollar el proyecto y que posteriormente deberán ser analizadas con mayor detalle en el estudio de factibilidad (Ossenbach Sauter, Guillén Grillo, & Coto Chinchilla, 2010).

Este estudio de prefactibilidad, por lo tanto, es indispensable si se piensa continuar la fase de preinversión y toma de decisiones que permita la elaboración del posterior estudio de factibilidad y diseño final (SEGEPLAN, 2002) el cuál es un insumo vital en la búsqueda de financiamiento para la ejecución del proyecto en sí, por lo que se espera que este protocolo de acciones se encamine a solventar la ausencia de esta fase de estudios en aras de que el proyecto sea una realidad.

Contenido de los capítulos del informe

El trabajo estará dividido en, en ocho capítulos que formarán tres grandes secciones. La primera sección contendrá la teoría relacionada al tema, que corresponde al capítulo 1, marco teórico. En él se presentarán las bases y fundamentos sobre los que girará el proyecto, iniciando con las definiciones conceptuales de recursos no renovables y recursos renovables, de pequeños aprovechamientos hidroenergéticos, y de las áreas a las que directamente se ceñirá el estudio como son la técnica (consideraciones sobre la hidrología

básica, climatología, topografía, componentes de la tecnología), aspectos ambientales y aspectos de tipo socioeconómico para la determinación de la demanda de energía. También se hará una mención de los aspectos generales de los elementos del desarrollo de proyectos que acá se tomarán en cuenta y sobre el contexto del tema de la energía en Guatemala con énfasis en las pequeñas centrales hidroeléctricas.

La segunda sección corresponde propiamente al estudio que se propone realizar y la componen los capítulos del 2 al 6. En el capítulo 2: estudio técnico, se hará la caracterización del sitio e incluirá los estudios básicos de cartografía, topografía, geología y situación hidrológica, con la profundidad específica a su necesidad, según sea detectada en la prospección y tomando en cuenta la información del perfil.

Esta segunda sección también incluye el estudio de las condiciones que determinarán la demanda esperada que será un parámetro sobre el cual deberá diseñarse la PCH y que será condicionada por la situación socioeconómica de los usuarios y su tasa de crecimiento poblacional. Esto corresponde al capítulo 3, y el capítulo 4 constará del aspecto administrativo del proyecto y del marco legal bajo el que se regirá el funcionamiento del proyecto en específico.

La cuestión ambiental, es decir, los instrumentos de evaluación ambiental adecuados a la magnitud del proyecto serán abordados en el capítulo 5 y los aspectos financieros, económicos y sociales, que comprenden los asuntos presupuestarios necesarios para la inversión del proyecto y el impacto económico del mismo corresponden al capítulo 6.

Finalmente en el capítulo 7 se hará la presentación de resultados, los cuales se comentarán en el capítulo 8: discusión de resultados.

2. ANTECEDENTES

Tomando en cuenta que la comunidad es atravesada por el río Cuatro Chorros es posible estudiar la posibilidad técnica y económica para el aprovechamiento del recurso hídrico en la generación de energía para satisfacer las necesidades de la comunidad de Lancetillo. Sobre este caso en particular existe un perfil de proyecto y se propone continuar con los estudios de preinversión en la fase que corresponde a la prefactibilidad.

Se pueden nombrar ya algunos casos en los que la problemática de la falta de acceso a la energía eléctrica en comunidades de sitios aislados pero con un recurso hídrico cercano ha sido solucionada de manera satisfactoria. A nivel nacional, en el departamento de Quiché, pero en el municipio de San Gaspar Chajul, existe desde 2007 una pequeña central que en un inicio otorgaba energía a la comunidad de Chel y a dos comunidades más a sus alrededores (Cruz Herrera, sin fecha). La ingeniera Ana Carolina Palma estudió la factibilidad para este proyecto (Palma Cajas, 2005) y el documento sirvió para respaldar la inversión hecha posteriormente, gestionada y ejecutada por la Fundación Solar.

El éxito del proyecto de Chel ha sido tal que a partir de 2010 amplió su cobertura a siete comunidades circundantes, que tampoco gozaban del servicio de energía eléctrica, con fondos del extinto Programa Nacional de Desarrollo Rural. Finalmente, la Asociación Hidroeléctrica Chelense, entidad formada para administrar el proyecto, da cuenta de que pretenden construir un segundo proyecto para aumentar la generación y buscarán financiamiento con el estudio de prefactibilidad que tendrían listo en septiembre de este año (Santos, 2014).

Este antecedente deja entrever el encadenamiento de situaciones favorables que se pueden presentar y permite observar lo veloz que pueden ocurrir los cambios ya que, por ejemplo en el caso Chel, se piensa en una segunda fase cuando no han transcurrido ni diez años desde los estudios de preinversión del proyecto que actualmente funciona.

En el municipio de Santa María Nebaj, del mismo departamento se inició la construcción en 2009 de una microcentral de 90 kW para abastecer a tres diferentes comunidades (Ortiz, 2010). El proyecto logró interesar al Instituto Nacional de Electrificación que en este 2014 se hizo cargo de la construcción de la red eléctrica que ya está finalizada y funcionando. Los fondos para este proyecto en su componente de generación eléctrica fueron obtenidos gracias al apoyo del Instituto Humanista de Cooperación para el Desarrollo (HIVOS), a través de un contrato relacionado con desplazamiento de emisiones de carbono (Hernández Jiménez, 2013).

Este caso revela que es posible tener en cuenta otras visiones respecto a la parte ambiental, aprovechando el valor agregado que en otros contextos le puedan dar y no tomándola como algo marginal sino como un producto concreto que puede servir para financiar una parte del proyecto.

En Alta Verapaz en 2011 se construyeron simultáneamente tres pequeñas centrales en los sitios de Jolomjix, Seasir y Las Conchas, financiadas por JICA. Los estudios comenzaron en 2002 con un pequeño perfil y posteriormente se elaboró el estudio de prefactibilidad que “incluye aspectos hídricos, topográficos, socio económicos, ambientales y geológicos, además de un estudio de mercado” (Pérez Sián, Morales, & Enríquez Salazar, 2012). En este caso es posible verificar a grandes rasgos los aspectos relevantes a considerar para un estudio de esta naturaleza.

Otro caso lo constituye un proyecto en la misma Zona Reina de la que forma parte Lancetillo, donde en una comunidad llamada Unión 31 de Mayo, fue inaugurada en 2013 una pequeña central hidroeléctrica comunitaria. En este caso será interesante recabar toda la información disponible, ya que se encuentra en un área relativamente cercana a Lancetillo y con características similares respecto de los medios físicos, bióticos y socioeconómicos. Este caso es una referencia importante, sobre todo por el aspecto socioeconómico pensando en la modelación del comportamiento de la demanda.

A nivel centroamericano se pueden citar, por ejemplo, los casos en Nicaragua. Según El Nuevo Diario “entre las centrales que más se destacan están Salto Mollejones, en El Rama (Caribe Sur), cuya capacidad es de 0,71 megavatios, seguida por La Pita Central, en El Cuá-Bocay (Jinotega), que junto a Bilampí-Musún en río Blanco (Matagalpa), generan 0,20 megavatios cada una” (Diario, 2013) . Allí se han invertido US\$15 millones en los últimos 10 años. Este antecedente hace notar que es difícil que con ausencia de estudios técnicos fiables se pueda lograr alcanzar un nivel de inversión significativa como la que se menciona. Esto da una visión de la importancia de la preinversión.

A nivel latinoamericano, Colombia y Perú han implementado proyectos de esta naturaleza y en Cajamarca se encuentra una escuela de especialización (Acciones Prácticas – ITDG) sobre el tema de generación hidráulica a pequeña escala. La información que se pueda verificar en cuanto a estas experiencias son importantes porque se dan en países que han desarrollado este tipo de proyectos mucho tiempo antes de lo que se viene haciendo en Guatemala, si se toma en cuenta que el caso de Chel, previamente mencionado, se registra como la primera situación de su tipo en el país.

Como se puede concluir, si existe el recurso y se busca el financiamiento por medio de los estudios de preinversión, es posible en algunos casos específicos darle solución a estas situaciones de falta de acceso a este servicio tan importante.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los estudios de preinversión son una herramienta que permiten obtener los elementos de juicio necesarios para la toma de decisiones relacionadas con los proyectos. La generación de información y el grado de desarrollo va ligado a la etapa de los estudios en que un proyecto se encuentra (SEGEPLAN, 2002).

La implementación de una pequeña central hidroeléctrica para autoconsumo, sería el medio que se ha propuesto para solucionar el problema del tipo social de la falta de acceso a la energía eléctrica de los pobladores del lugar. Sin embargo, la muy baja probabilidad de una interconexión en un futuro inmediato encarna en sí misma un problema técnico de ingeniería que interesa al especialista en energía y ambiente, y es la ausencia de estudios de preinversión para el desarrollo del proyecto, donde exista información certera de la demanda y el potencial que esta fuente renovable puede proveer, además, que consigne información importante sobre el estado de conservación de dicha fuente y sobre su manejo, que posibilite la sostenibilidad futura de la iniciativa. En el caso de Lancetillo la continuidad del proceso de tratamiento y generación de información para la toma de decisiones indica que el paso a dar es el estudio de prefactibilidad (se cuenta únicamente con el perfil de proyecto).

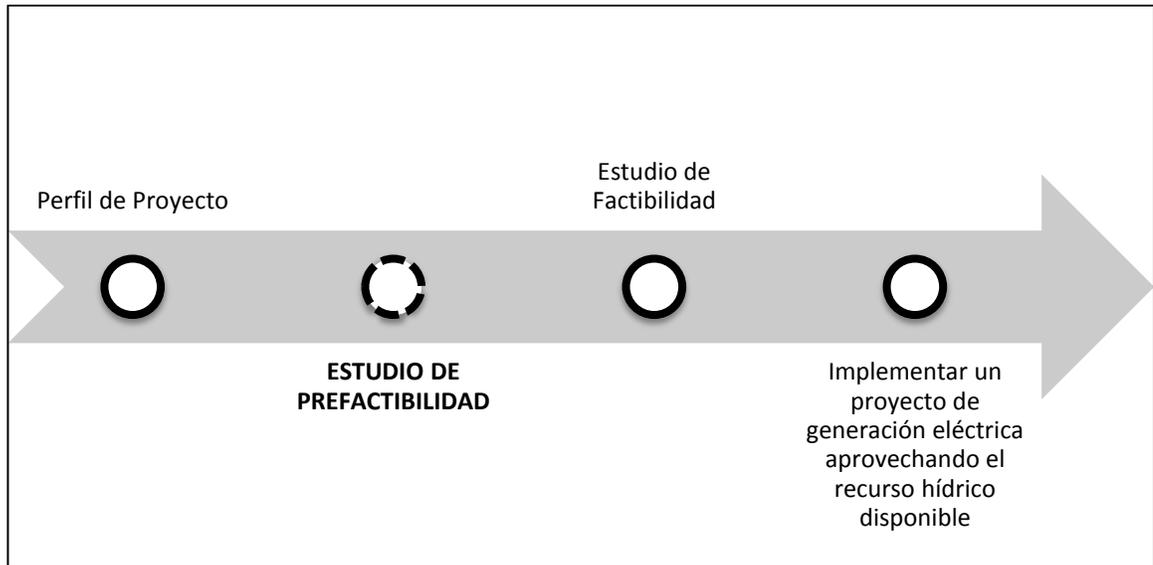
Para lograr definir de manera concreta el problema se analizó el entorno siguiendo la técnica del árbol de problemas, como herramienta metodológica en donde se listaron, organizaron y articularon las causas y los efectos respectivamente ordenados en una secuencia lógica y representada su interrelación de manera gráfica. Con resultado multicausal, las razones más cercanas y relevantes se manifiestan en la poca posibilidad de solucionar esta

problemática por cuenta propia, la falta de políticas públicas institucionales para atender estas demandas, la poca inversión en el medio nacional para proveer de energía a estos sitios aislados, los altos costos de extender la red de distribución a lugares muy alejados y de topografía difícil y sobre todo, que no representan (como usuarios potenciales de energía eléctrica) un mercado atractivo. Y por supuesto que estos problemas se derivan de otras causas previamente identificadas y también consideradas.

Las consecuencias de la carencia de energía eléctrica también son múltiples, derivan en otras causas y luego la mayoría converge hacia un efecto común y relevante: el que liga esta ausencia del servicio a un retraso socioeconómico y productivo de quienes padecen estas circunstancias.

Bajo este proceso se evidenció el problema social anteriormente mencionado para el que surge la propuesta de solución: implementar una pequeña central hidroeléctrica que satisfaga las necesidades y de acá procede que, para que un proyecto de este tipo se lleve a cabo son necesarias las condiciones apropiadas que técnicamente se verifican en la fase de preinversión, por lo que en lo particular, el problema de energía y ambiente a resolver es la ausencia de un estudio de prefactibilidad para una pequeña central hidroeléctrica en Lancetillo, que posibilite verificar las opciones para aprovechar las potencialidades del recurso hídrico en relación con la demanda y su sostenibilidad en el tiempo de vida del proyecto. La pregunta central que deriva de este problema es: ¿Existen opciones para un aprovechamiento técnico del recurso hídrico con el que cuenta Lancetillo para la generación de energía eléctrica que satisfaga las necesidades de demandas actuales y proyectadas durante el ciclo de proyecto de manera sostenible?

Figura 1. **Secuencia lógica de los estudios de preinversión**

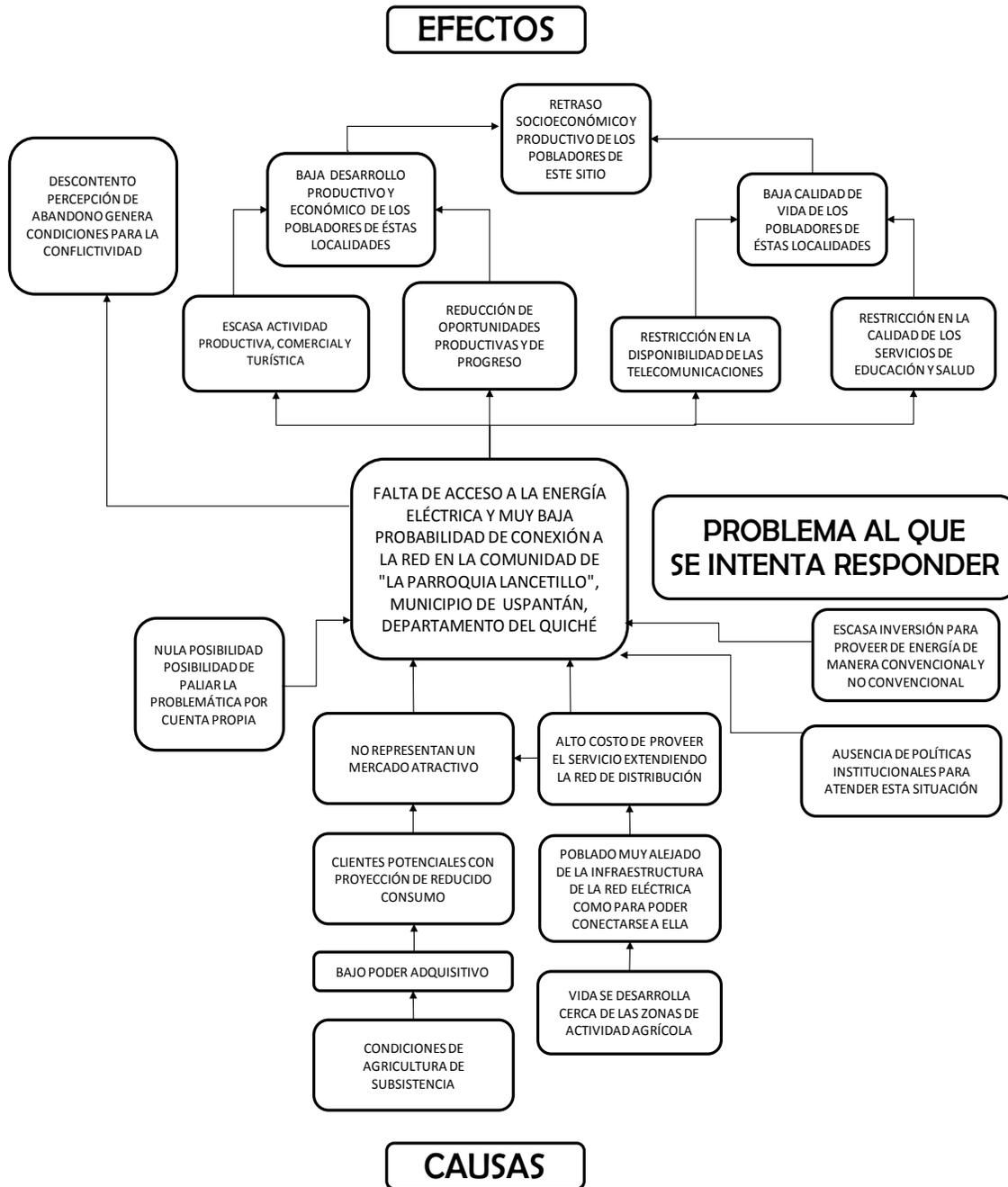


Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Word 2010.

Las preguntas auxiliares en que se apoya esta pregunta central y que ayudarán a dar respuesta a esta son:

- ¿Cuál es el comportamiento hídrico y las características de la cuenca del recurso hídrico disponible?
- ¿Cuál es la potencia hidráulica disponible en base al régimen de caudales y a la caída aprovechable?
- ¿Cuál es la demanda de energía eléctrica actual de la población de Lancetillo y su proyección de crecimiento, suponiendo una duración de veinte años de ciclo de proyecto?
- ¿Qué tecnologías son las apropiadas para este proyecto de hidrogenación eléctrica a pequeña escala y cuáles deben ser sus emplazamientos?

Figura 2. Diagrama árbol de problemas



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel 2010.

4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El país concentra el desarrollo de todo el sistema eléctrico en el centro y las áreas de producción agrícola intensiva (costa sur), siendo la zona norte la menos desarrollada y por ende con los menores índices de electrificación (INDE, 2010). Los impactos de la ausencia de energía eléctrica en estos centros poblados se traducen en reducción de oportunidades productivas y de progreso que sumado a la escasa actividad comercial y turística por ser un lugar sin mayores comodidades provocan un bajo desarrollo económico y productivo de sus habitantes. Además, hay restricciones en cuanto a la calidad de los servicios de educación y salud, que junto a lo limitado en cuanto a disponibilidad de las telecomunicaciones provocan que la calidad de vida se vea disminuida. Todo lo anterior conlleva a un retraso socioeconómico (PNUMA, 2011).

La Zona Reina forma parte de las áreas sin electrificación de la República de Guatemala. Ubicada en el nororiente del departamento del Quiché es una de las 553 zonas rurales aisladas de este departamento (URL, 2008). Por su orografía accidentada, la zona representa mucha dificultad para la cobertura eléctrica. Adicionalmente, existe una demanda energética instalada que presenta condiciones características de pobreza (PNUD, 2012) que no hacen atractivo sortear estos accidentes geográficos por parte de una comercializadora de energía para extender la red de cobertura eléctrica.

En algunos sitios aislados que cuentan con recurso hídrico se ha logrado subsanar la ausencia de provisión de energía eléctrica, aprovechando este para generar electricidad y consumirla como un sistema aislado. Para saber si el

recurso es útil para este propósito este debe ser estudiado, se deben observar las condiciones propias del lugar y la demanda debe ser caracterizada para determinar qué opciones responden a las necesidades específicas del sitio (ITDG-Perú, 1995).

La comunidad de Lancetillo es una comunidad no electrificada pero presenta la particularidad de que un río, el Cuatro Chorros, atraviesa la misma y con algunos afluentes. Si se quiere utilizar este río para generar hidráulicamente, es preciso saber el comportamiento de su caudal durante el año para conocer su potencial y las posibilidades de aprovechamiento, la demanda latente actual de electricidad y el modelado futuro de la misma más las tecnologías que se adecúen a las condiciones para proponer alternativas para una micro central hidráulica adecuada.

Existe ya un perfil de proyecto para una pequeña central hidroeléctrica (PCH) comunitaria en donde se han identificado características interesantes del sitio. Las evaluaciones técnicas de la siguiente etapa de estudio corresponden a la prefactibilidad, donde las alternativas encontradas se evalúan tanto desde un punto de vista técnico como económico y con un enfoque en la reducción de los impactos ambientales. Luego del estudio de prefactibilidad se puede continuar con el de factibilidad (Baca Urbina, 2006).

Otro punto importante que justifica un proyecto hidroeléctrico de pequeñas dimensiones es el ecológico. La necesidad de mantener un caudal propicia el cuidado y mantenimiento de la parte alta de la cuenca ya que la cobertura boscosa favorece la infiltración, lo que permite la recarga de la cuenca y evita la erosión del suelo y la sedimentación (Villegas, 2004). Además, se debe considerar el CO₂ evitado si esta demanda se cubriera con generadores que

quemar combustible fósil. En la matriz energética de Guatemala está fuertemente arraigado el uso de combustibles fósiles (MEM-CNEE, 2009).

Para la Escuela de Estudios de Posgrados y su Maestría de Energía y Ambiente una línea de investigación importante es la de Gestión Seguimiento y Evaluación de Proyectos Energéticos, ya que dentro de ella se atiende la preparación y formulación de los mismos. Un estudio de prefactibilidad forma parte de la preparación de un proyecto, es un eslabón en la cadena de formulación y en este caso se atiende el tema de la energía renovable en circunstancias particulares: el aprovechamiento hidráulico para generación de electricidad como un sistema aislado para autoconsumo de energía de manera sostenible, donde intervenga la conservación y manejo de cuenca como aseguramiento de la recarga hídrica para el mantenimiento de los niveles de caudal para el buen funcionamiento del proyecto. El conocimiento del comportamiento de las variables permite combinarlas para modelar diferentes escenarios que posibiliten escoger un diseño adecuado a las circunstancias particulares del sitio, de ahí la importancia de los estudios.

5. OBJETIVOS

General

Determinar las posibilidades de aprovechamiento del recurso hídrico para la generación de electricidad que satisfaga las necesidades energéticas de Lancetillo.

Específicos

1. Describir el comportamiento hídrico y las características de la cuenca del sistema hídrico de Lancetillo.
2. Calcular la potencia hidráulica disponible con base en el régimen de caudales y a la caída aprovechable.
3. Determinar de la demanda de energía eléctrica de Lancetillo y su proyección de crecimiento para un ciclo de proyecto de 20 años de duración.
4. Identificar el tipo de tecnología apropiada para generación y señalar los posibles emplazamientos de las obras de la microcentral.

6. ALCANCES

El carácter de la investigación que se plantea es del tipo descriptivo ya que la elección, el detalle, medición y monitoreo de las variables a considerar dentro de las actividades del estudio se hará con el fin de revelar las características y el comportamiento de las mismas y cuya combinación dará respuesta a los objetivos específicos propuestos.

Sobre la respuesta al problema, la preinversión tendrá una satisfacción parcial, ya que luego de concluir esta etapa y si en ella se verifican opciones viables, aún faltaría continuar con la etapa del estudio de factibilidad para completar esta fase para pasar luego a la fase de implementación, luego que se han situado fondos para inversión gestionados con los estudios.

Los registros y el conocimiento que se genere será importante dentro de los casos de sistemas aislados para Guatemala, ya que las experiencias en el país con este tipo de proyectos son limitadas, sobre todo por la dificultad de acceder a fondos para realizar preinversión y por lo tanto la documentación relacionada con el tema, con un enfoque local y de una forma sistematizada no es abundante. En cuanto a beneficiarios directos se cuentan los pobladores de Lancetillo, ya que con este estudio dan un paso adelante hacia la electrificación de su comunidad.

7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

Una de las formas en que se manifiesta la energía es por medio de la electricidad. La energía eléctrica resulta de la diferencia de potencial entre dos puntos y es capaz de realizar un trabajo (Salamanca, 2006-2013). Esta forma de energía está íntimamente relacionada con el bienestar social de la población y juega un papel determinante en el desarrollo de las sociedades modernas (Morante Trigoso, 2002)

Un aprovechamiento hidráulico es una forma de transformar energía. La energía potencial de una masa de agua se transforma en energía cinética, al acelerarse al cambiar de posición respecto de una altura inicial a una más baja respecto de la primera. Esta energía cinética es la que se desea aprovechar al transformarla en energía mecánica: este es el concepto de la generación hidráulica, un sistema de conversión de energía donde es necesario un caudal de agua y una diferencia de altura para producir potencia útil. Esta potencia útil, que es la potencia hidráulica, es la que se transforma a potencia mecánica, entregada a un eje por medio de una turbina, y transformada luego esa potencia en electricidad (ESHA, 2006).

La energía liberada por un cuerpo que cae es su peso multiplicado por la distancia vertical recorrida (Resnick, Halladay, & Krane, 1993). En este caso el cuerpo es el agua y la fuerza que ejerce es el producto de su masa (m) y la aceleración de la gravedad (g). La distancia vertical es la altura o salto (h_{disp}):

$$\text{Energía liberada} = m * g * h_{\text{disp}} \text{ (Joules)}$$

La masa de agua es igual a su densidad (ρ) multiplicada por su volumen (V), de modo que:

Potencia disponible (P_{disp}) = $\rho * Q * g * h_{\text{disp}}$ (Joules/segundo o Watt)
(ITDG-Perú, 1995)

Sin embargo, no toda la energía disponible es transformada en potencia útil. Como en todo sistema en el que hay transformación de formas de energía existen pérdidas inherentes al mismo. La selección de los materiales que permiten mejorar la eficiencia del sistema también elevan los costos.

El arte para utilizar un caudal de agua de un río para fines de generación, según la literatura consultada [manuales, como los de Practical Action (Dávila, Vilar, Villanueva, & Quiroz, 2010); el de ITDG (ITDG-Perú, 1995); el de la Agencia Europea de Pequeñas Hidroeléctricas (ESHA, 2006) o las obras Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, (Ortiz & Machado, 2001), entre otros] se describirá en los siguientes párrafos:

El aprovechamiento hidráulico consiste captar el volumen de agua a utilizar derivándola del río hacia una estructura llamada toma, para conducirlo luego por gravedad desde una cota superior a una inferior por medio de canales o tuberías de una manera suave para tratar de evitar arrastre de sedimentos.

Es necesario eliminar del agua las partículas de sedimento que aún podría llevar arrastradas, por lo que posteriormente el agua pasa a un desarenador. El desarenador, que no es más que una estructura donde el flujo de agua se expande en relación a la sección que viene ocupando durante la conducción para disminuir su velocidad, está diseñado en base al tamaño de las partículas

que arrastra la corriente de agua para que estas sean separadas por decantación, acumuladas y eliminadas.

Cuando es seguro que el flujo de agua no llevará partículas que dañen la instalación ni el equipo, o sea, el agua ya desarenada, esta es conducida a una cámara de carga de donde pasará a una tubería llamada “de presión”, donde circula a sección llena. Las condiciones de pendiente cambian para acelerarla y se eleva la velocidad del flujo. El agua a mayor velocidad se acelera aún más reduciendo la sección a la entrada de la turbina, en el final de la tubería.

La turbina es un elemento mecánico que gira sobre un eje como consecuencia de la acción del chorro de agua sobre sus aspas. Algunas reciben el chorro impulsor de manera axial y otras de manera tangencial y en su selección hace necesario conocimientos en el campo de la mecánica de fluidos y de hidráulica.

Es posible aprovechar la energía mecánica del eje de la turbina y transformarla en energía eléctrica incorporando un generador eléctrico por medio de una transmisión mecánica. La conversión de energía mecánica a eléctrica también produce pérdidas. De hecho las pérdidas energéticas se encuentran en todo el trayecto, desde la conducción del agua hasta la acometida eléctrica y las opciones que se propongan deben contemplar esto al momento de dimensionar el sistema (Ramírez Gutiérrez, 2012).

Ahora bien, para un sistema de generación que se pueda aprovechar con fines prácticos es necesario conocer cuál es el potencial que puede aportar una corriente de agua, considerar la eficiencia en cuanto a la forma del aprovechamiento y contrastarlo contra la necesidad de potencia (o demanda)

para determinar si el sistema es efectivo (Dávila, Vilar, Villanueva, & Quiroz, 2010).

Para estimar el potencial hidroenergético del sitio en estudio es necesario conocer la variabilidad del recurso a lo largo del tiempo: el período de tiempo de interés es un año hidrológico, que permite observar los cambios del comportamiento del caudal entre la época seca y la época de lluvias. También acá se hace preciso saber la salud de la cuenca ya que de esto depende la recarga hídrica (GWP, 2011). Además, el diseño debe incluir un caudal ecológico con el cual se pretende proteger, mediante la mantención de un cierto volumen de agua dentro del cauce, los valores ecológicos de los ríos (Villanueva Ure, 2011). El hecho que se pretenda estudiar la posibilidad de una central a filo de agua determina que no se contempla embalsar el agua, lo que reduce el impacto negativo al recurso hídrico y a la cuenca, comparado con una central grande (DENA, 2013) además de reducir los costos en obra civil.

En el caso de la demanda, se proyectan los usos potenciales, tanto los actuales como a lo largo del tiempo para conocer el crecimiento de la demanda de la energía de quienes serán los consumidores (Dávila, Vilar, Villanueva, & Quiroz, 2010), en base a un estudio socioeconómico, que sirve también para conocer la capacidad de pago de las personas. Esta parte es muy importante, porque también ayudará a la sostenibilidad del proyecto, ya que la central necesitará de mantenimiento y deberá de capitalizar sus operaciones de alguna forma.

La combinación de los estudios de demanda y crecimiento poblacional, topografía, conocimiento del caudal y su comportamiento durante por lo menos un año permiten exploraciones de diseño que se evalúan de acuerdo a criterios que deben de irse definiendo conforme se vayan conociendo las

particularidades del sitio. Estas condiciones van ligadas a dificultad técnica, riesgo, y por supuesto, el factor económico y financiero.

El fin de la prefactibilidad es precisamente estudiar y evaluar las opciones que puedan considerarse posibles para la solución del problema que justifiquen un análisis más detallado.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO

Se plantea desglosado de la siguiente forma y de acuerdo al Normativo de Tesis y Trabajos de la Escuela de Estudios de Postgrado:

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

CONTENIDO

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Recursos energéticos no renovables

1.2. Recursos energéticos renovables

1.3. Tecnologías de energía renovable

1.3.1. Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PHC)

1.3.1.1. Aspectos técnicos

1.3.1.1.1. Estudios básicos en PCH

1.3.1.1.2. Aspectos ambientales

- 1.3.1.1.3. Aspectos socioeconómicos en función de la demanda
 - 1.4. Componentes de un proyecto: aspectos generales
 - 1.5. Guatemala y su legislación en el tema eléctrico
 - 1.6. Situación de la oferta y la demanda de la energía eléctrica en el país
 - 1.7. Pequeñas centrales hidroeléctricas en Guatemala: revisión de los casos
- 2. ESTUDIO TÉCNICO
 - 2.1. Localización
 - 2.1.1. Nivel general
 - 2.1.2. Nivel específico
 - 2.1.3. Vías de acceso
 - 2.2. Caracterización del sitio
 - 2.3. Estudios básicos
 - 2.3.1. Cartografía
 - 2.3.2. Topografía
 - 2.3.3. Geología
 - 2.3.4. Análisis hidrológico
 - 2.4. Obras físicas
 - 2.5. Capacidad instalada
 - 2.6. Funcionamiento y generación
 - 2.7. Consideraciones en cuanto al suministro
- 3. ANÁLISIS DE LA DEMANDA
 - 3.1. Población y vivienda del área de influencia directa de la PCH
 - 3.2. Estimación de la curva de demanda diaria

- 3.3. Proyección de demanda futura
- 3.4. Aplicación comercial de la PCH

- 4. ESTUDIO ADMINISTRATIVO
 - 4.1. Estructura administrativa
 - 4.2. Marco legal para el funcionamiento de la PCH
 - 4.3. Implicaciones legales

- 5. INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN AMBIENTAL (DEPENDEN DE LA MAGNITUD DEL PROYECTO)

- 6. ASPECTOS FINANCIEROS, ECONÓMICOS Y SOCIALES¹
 - 6.1. Costos y gastos
 - 6.2. Recursos financieros necesarios para la inversión
 - 6.3. Proyección de ingresos
 - 6.4. Impactos económicos

- 7. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

- 8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

ANEXOS

¹ La naturaleza de este tipo de proyectos requieren la valoración de los impactos en las personas físicas y jurídicas (Castro Gutiérrez, 1991)

9. METODOLOGÍA

Se plantea para la realización del estudio la obtención de información *in situ*, (visitas de campo), datos estadísticos hidrológicos, climatológicos y de crecimiento poblacional disponibles asociados al sitio y al tema de estudio. También revisión bibliográfica que respalde la metodología. El estudio es de tipo no experimental, las variables incluyen las cuantitativas: el caudal del río y alturas aprovechables y el número de potenciales usuarios, crecimiento poblacional junto con el ingreso monetario son las principales a cuantificar; y las variables cualitativas, como el tipo de suelo presente y la vegetación predominante.

Para conocer el comportamiento hídrico y las características de la cuenca del recurso hídrico, objetivo 1, es necesario saber:

- El régimen de caudales que se presentan durante el año hidrológico
- Las características físicas del agua del río
- Las características químicas del río
- El tipo de vegetación de la cuenca
- Pendientes que se presentan
- Tamaño de la cuenca
- Tipo de suelo presente en la cuenca y el uso de este

Para el objetivo 2, cálculo de la potencia hidráulica disponible en base al régimen de caudales y la caída aprovechable:

- La potencia disponible de energía durante las diferentes estaciones del año.
- Diferencia de cotas, longitud y pendiente de la caída

En cuanto a la determinación de la demanda, que es el objetivo 3:

- Modelar un consumidor promedio en base a registros de otras experiencias en el tema.
- Número de viviendas que se pretenden electrificar
- El comportamiento del crecimiento demográfico esperado en un plazo de 20 años.

Respecto al objetivo 4, identificar el tipo de tecnología a apropiada para generación y señalar los posibles emplazamientos de las obras de la microcentral se necesita buscar respuesta a lo siguiente:

- ¿Por qué preferir una central a filo de agua que una con embalse?
- ¿Cuál es el caudal de diseño en base a lo potencialmente aprovechable y la demanda esperada?
- ¿Se deben construir canales o llevar conducir el agua en tubería?
- ¿Qué fuerza debe soportar la tubería de presión?
- ¿Cuáles son las opciones de trazo para conducir el agua?
- ¿Por las condiciones de pendientes, caída y caudal, qué tipo de turbina es la adecuada?
- ¿Qué equipo es el indicado para la casa de máquinas?
- ¿Los equipos de la casa de máquinas se encuentran a resguardo de las posibles inundaciones?
- ¿Qué dificultades técnicas presentan las opciones de trazos propuestos?

La forma de abordaje del trabajo se ha dividido en fases, las cuales se muestran en el cuadro de la página siguiente.

Tabla I. **Fases en las que se distribuyen las actividades**

Fase 1
Recopilación bibliográfica de la información que incluiría el marco teórico
Revisión del perfil de proyecto
Fase 2
Visita de campo 1 (las actividades corresponden al Objetivo 1)
Prospección del sitio
Georreferenciación
Aforo instantáneo
Toma de muestra de agua para análisis fisicoquímico
Fase 3
Trabajo de gabinete orientado a los detalles de caracterización de la cuenca (Obj. 1)
Preparación de instrumentos del Estudio Socioeconómico (Obj. 3)
Estimación del comportamiento anual del caudal por hidrología superficial y homologación de cuencas para determinar la potencia hidráulica disponible (Obj.2)
Fase 4
Contratación y desarrollo de topografía básica en puntos seleccionados (Obj. 2)
Visita de campo para organizar estudio socioeconómico y levantar la información correspondiente (Obj. 3)
Fase 5 (todas las actividades de esta corresponden al Obj. 3)
Vaciado de información obtenida en campo para el estudio socioeconómico
Manejo de datos y estimación de posible patrón de consumo de energía eléctrica en base a ingresos y capacidad de pago
Determinación de la demanda y proyección a 20 años en base a crecimiento poblacional, según INE.

Continuación de la tabla I.

Fase 6
Trabajo de gabinete basado en toda la información obtenida y generada en las anteriores fases y modelar posibilidades de generación (Obj. 4)
Fase 7
Organización de toda la información generada de las anteriores fases y estructurarla de acuerdo al índice propuesto. En base a la dimensión estimada del proyecto y sus características propias
<ol style="list-style-type: none">1) Se propondrá una estructura administrativa para su funcionamiento,2) Se determinarán los instrumentos de evaluación ambiental correspondientes3) Se estimará la inversión aproximada y se evaluará financiera y económicamente

Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Word 2010.

Dentro de las actividades a desarrollar se pueden mencionar algunas, como la obtención de datos cartográficos y de ubicación, que serán estudiados mediante la obtención de mapas del Instituto Geográfico Nacional. También serán recabados datos con equipo de sistema de posicionamiento global. Estos datos servirán también para la verificación de los posibles emplazamientos de obras por las curvas de nivel de los mapas, contrastado con la toma de datos del altímetro.

La obtención de datos de caudal para el sitio será obtenida mediante mediciones en el río y para el monitoreo será necesario la instalación de una escala limnimétrica para verificar niveles. Además, el conocimiento de las condiciones hidrológicas podrá ser obtenido por medio de los datos existentes en el Insivumeh y por similitud hidrológica comparándolo con otras cuencas que pudieran presentar las mismas características.

La proyección de la demanda se deberá calcular en base a los datos proporcionados por los habitantes del lugar. Esta va ligada a la condición socioeconómica. Una revisión del comportamiento de la demanda, en sitios donde ya se han instalado estas tecnologías es una opción para poder tener una proyección de la forma como crece en el tiempo, ya que seguramente deberán ser tomadas en cuenta variables como poblacionales, tanto por la tasa de natalidad como por las personas que, el crecimiento económico ligado a la dinámica que se produce al contar con energía eléctrica y otras.

El cálculo de los costos será luego de plantear las posibles soluciones, definido en base a comparaciones de este con otros casos, en caso estos datos fueran accesibles y cálculos de precios disponibles en el mercado sobre las estimaciones de materiales, equipos, traslados al lugar, cuantificación de mano de obra (calificada y no calificada).

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Se utilizarán métodos estadísticos del tipo descriptivo para el manejo de la información de campo, tanto que permitan conocer las características del comportamiento hidrológico como el de crecimiento poblacional, para resumir los datos de campo que sean recabados en el estudio.

Además, la estadística de tipo inferencial permitirá deducir comportamientos extremos que se pueden presentar en el tema de hidrología y la probabilidad de estos para la toma de decisiones respecto a situaciones de diseño. También, esta técnica será útil para extrapolar el comportamiento de una cuenca de similares condiciones. Asimismo, apoyado en la estadística descriptiva que se haga de del tema poblacional, importante para el cálculo de la demanda base, la estadística de tipo inferencial se usará para proyectar ese crecimiento poblacional, y deducir así la demanda futura.

11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDADES	MES												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Fase 1													
Recopilación bibliográfica de la información que incluirá el Marco Teórico													
Revisión del Perfil de Proyecto													
Fase 2													
Visita de Campo (las actividades corresponden al Objetivo 1)													
Prospección del Sitio													
Georreferenciación													
Aforo instantáneo													
Toma de muestra de agua para análisis fisicoquímico													
Fase 3													
Trabajo de gabinete orientado a los detalles de caracterización de la cuenca (Obj. 1)													
Preparación de instrumentos del Estudio Socioeconómico (Obj. 3)													
Estimación del comportamiento anual del caudal por hidrología superficial y homologación de cuencas para determinar la potencia hidráulica disponible (Obj. 2)													
Fase 4													
Contratación y desarrollo de topografía básica en puntos seleccionados (Obj. 2)													
Visita de campo para organizar estudio socioeconómico y levantar la información correspondiente (Obj. 3)													
Fase 5 (todas las actividades de esta corresponden al Obj. 3)													
Vaciado de información obtenida en campo para el estudio socioeconómico													
Manejo de datos y estimación de posible patrón de consumo de energía eléctrica en base a ingresos y capacidad de pago													
Determinación de la demanda y proyección a 20 años en base a crecimiento poblacional, según INE.													
Fase 6													
Trabajo de gabinete basado en toda la información obtenida y generada en las anteriores fases y modelar posibilidades de generación (Obj. 4)													
Fase 7													
Organización de toda la información generada de las 6 anteriores fases y estructurarla de acuerdo al índice propuesto.													
En base a la dimensión estimada del proyecto y sus características propias													
1) se propondrá una estructura administrativa para su funcionamiento,													
2) se determinarán los instrumentos de evaluación ambiental correspondientes													
y 3) se estimará la inversión aproximada y se evaluará financiera y económicamente													

12. RECURSOS NECESARIOS

- Bibliografía relativa a los temas tratados.
- Para las visitas de campo es preciso contar con vehículo con tracción en las cuatro ruedas debido al difícil acceso.
- Equipos específicos como un sistema de posicionamiento global (GPS), medidor de caudal, cinta métrica, escalas y reglas limnimétricas, niveles y cuerdas.
- Bases de datos de estaciones hidrológicas y climatológicas cercanas.
- Equipo de cómputo.
- Software específico: de diseño, del GPS, de información geográfica y/o mapeo.
- Papelería y útiles.
- Presupuesto: se dispondrá de un fondo aún no determinado pero limitado proporcionado por Hivos de Holanda para la realización del estudio, además de contar con equipo propio. El fondo cubrirá los gastos de viaje, compra de equipos específicos y papelería.

El presupuesto estimado se muestra en la tabla II en la página siguiente:

Tabla II. Presupuesto estimado

Costos de elaboración del Estudio de Prefactibilidad para una PCH en Lancetillo Uspantán, El Quiché.			
TASA DE CAMBIO (QGT/USD) ⁽¹⁾	7.75287		(1) Tipo de cambio de referencia Banco de Guatemala 08/07/2014
Lancetillo, Uspantán, El Quiché			
VISITAS DE CAMPO			
	Transporte ida	1	
	Visita Lugar	1.5	
	Transporte regreso	1	
	Días	3.5	
	Visitas programadas	4	
Servicios Profesionales	Costo por día en USD	Subtotal en USD	
Ingeniero # 1	50	175	
Asistente # 1	25	87.5	
Hospedaje		Subtotal en USD	
# de Personas	2		
# noches	1		
Costo por noche QGT (2):	150		(2) Estimado por tarifa de INGUAT \$40
Subtotal Hospedaje:	300	39	\$70
Vehículo (Pickup)		Subtotal en USD	
# días	2		
Costo por día en USD (3)	65	130	(3) Tarifas alquiler vehículo pick up \$65 sedan \$65 \$32
Diesel		Subtotal en USD	
Costo en QGT	400	52	
Alimentos		Subtotal en USD	
# de personas:	2		
# de comidas:	6		
Costo por comida en QGT:	50		
Total de comidas en QGT:	600	78	
Alquiler equipo (GPS, cámara):		Subtotal en USD	
# de días:	2		
Costo por día en QGT:	200		
Total en equipo:	400	52	Total Visitas \$2,454.00
TRABAJO EN OFICINA			
	Días de Servicios Prof.	40	
	Días análisis y cálculo	30	
	Días reporte	10	
	Secretarial y contable	10	
Servicios Profesionales	Costo por día en USD	Subtotal en USD	
Ingeniero # 1	50	2000	
Secretarial y contable	50	500	
Papelería y Gastos de oficina	30	30	\$ 2,530.00
*OTROS			
Análisis Físico Químico de calidad de agua		Subtotal en US \$	
Costo GTQ (4)	880	114	(4) Centro de Investigaciones de Ingeniería
Aforo puntual			
Costo GTQ (5)	4000	516	
Topografía			
Costo GTQ (5)	10000	1290	(5) Consulta con profesionales del medio
Total (Análisis de agua + 1 Aforo + Topografía)		1920	
Costo Total Visitas + Trabajo en Oficina + *Otros en USD:		\$ 9,358.00	
Costo total aproximado del Estudio en GTQ		78,000	

Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel 2010.

13. BIBLIOGRAFÍA

1. Baca Urbina, G. (2006). *Evaluación de Proyectos, 5a. Ed.* México D. F.: Mc. Wraw Hill / Interamericana Editores S. A. de C. V.
2. Castro Gutiérrez, O. (1991). *Evaluación Financiera, Económica y Social.* San José, Costa Rica: BCIE.
3. CNEE, C. N. (2012). *Atlas del Sistema Nacional Interconectado de la República de Guatemala 2012.* Ciudad de Guatemala, Guatemala.
4. Cruz Herrera, E. (sin fecha). *Micro Central Hidroeléctrica Chelense.*
5. Dávila, C., Vilar, D., Villanueva, G., & Quiroz, L. (2010). *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas.* Lima: Soluciones Prácticas.
6. Dena, A. A. (2013). *Renewable Made In Germany.* Recuperado el 06 de 01 de 2014, de <http://www.renewables-made-in-germany.com/es/renewables-made-in-germany-pagina-de-inicio/energia-hidroelectrica.html>
7. Diario, E. N. (19 de 04 de 2013). *Apuesta por la hidroelectricidad.* Recuperado el 06 de 01 de 2014, de <http://www.elnuevodiario.com.ni/economia/283561>

8. Economía - Prensa Libre. (19 de Agosto de 2013). Millones aún no tienen energía. *Prensa Libre*.
9. ESHA, E. S. (2006). *Guía para el desarrollo de una pequeña central hidroeléctrica*. Comunidad Económica Europea.
10. FAO. (1996). *Reunión regional sobre generación de electricidad a partir de biomasa*. Santiago: FAO. Recuperado el 24 de Abril de 2014, de <http://www.fao.org/docrep/t2363s/t2363s0a.htm>
11. Fundación Wikimedia, Inc. (01 de Septiembre de 2013). *Wikipedia, la Enciclopedia Libre*. Obtenido de Historia de la Electricidad: http://es.wikipedia.org/wiki/Historia_de_la_electricidad
12. GWP, G. W. (2011). *Situación de los Recursos Hídricos en Centro América: Hacia una Región Integrada*. Tegucigalpa.
13. Hernández Jiménez, M. (2013). *Aplicación de responsabilidad social corporativa (RSC) en sistemas de energía rural en zonas aisladas - Guatemala*. Ciudad de Guatemala: OLADE.
14. INDE. (2010). PER III.
15. ITDG-Perú, I. T. (1995). *Manual de Mini y Micro Centrales Hidráulicas: una guía para el desarrollo de proyectos*.

16. Koberle, A. (2012). *Energizar a Guatemala: propuesta de un plan de electricidad sostenible*. Berkeley, California: International Rivers.
17. MEM. (2014). *Ministerio de Energía y Minas, República de Guatemala*. Recuperado el 30 de MARzo de 2014, de Ministerio de Energía y Minas, República de Guatemala.: <http://www.mem.gob.gt/2014/03/26/cobertura-electrica-nacional-alcanza-el-89-58/>
18. MEM-CNEE. (2009). *Plan de Expansión Indicativo del Sistema de Generación 2008-2022*. Ciudad de Guatemala: Serviprensa.
19. Morante Trigoso, F. (2002). Energía Eléctrica y Desarrollo: Algunos Aspectos del Entorno Ideológico y Sociopolítico de la Electrificación. (Parte I). *Revista Electrónica de la Red Mundial de Científicos Peruanos*.
20. Ortiz, A. (30 de abril de 2010). *Directorio Electrónico de Guatemala*. Obtenido de deGuate.com:
<http://www.deguate.com.gt/artman/publish/noticias-guatemala/microcentrales-hidroelectricas-comunitarias-una-apuesta-de-autogestion-sostenible.shtml#.Uijnm9Iz2So>
21. Palacios Tejada, M. O. (2009). *Estudio de Prefactibilidad para la Construcción y Operación de la Pequeña Central Hidroeléctrica Río La Virgen en el Municipio De Masagua, Escuintla, Guatemala, 2007*. Guatemala: Escuela de estudios de postgrado, Facultad de Ciencias Económicas.

22. Palma Cajas, A. C. (2005). *Estudio de Factibilidad del Proyecto de Microhidroeléctrica para la Comunidad de Chel, San Gaspar Chajul, El Quiché*. Ciudad de Guatemala: USAC.
23. Pérez Sián, M., Morales, E., & Enríquez Salazar, A. (2012). *Energía renovable en comunidades campesinas de los municipios de Chaal, Panzós, Cahabón, Cubulco, Tacaná, San Marcos, San Pedro, Chajul y Nentón*. Ciudad de Guatemala: DIGI, USAC.
24. PNUD. (2012). Informe Nacional de Desarrollo Humano. Guatemala.
25. PNUMA, P. d. (2011). *Hacia Una Economía Verde*. St-Martin-Bellevue, Francia.
26. Ramírez Gutiérrez, C. A. (2012). Revisión del estado del arte en manuales de diseño de pequeñas centrales. Pereira, Colombia.
27. Resnick, Halladay, & Krane. (1993). *Física Vol. I*. México: CECSA.
28. Salamanca, U. d. (2006-2013). *Diccionario de Ingeniería Eléctrica*.
Obtenido de
<http://electricidad.usal.es/Principal/Circuitos/Diccionario/Diccionario.php?b=energ%C3%ADa+el%C3%A9ctrica>
29. Santos, J. E. (30 de Marzo de 2014). Chel por su segunda planta hídrica. *el Periódico*.

30. SEGEPLAN, S. G. (1 de Mayo de 2002). SNIP: Manual de Formulación y Evaluación de Proyectos. Ciudad de Guatemala, Guatemala, Guatemala.
31. Semilla de Sol. (2013). *Perfil de Proyecto, La Parroquia Lancetillo*. Ciudad de Guatemala.
32. URL, J. G. (Diciembre de 2008). Caracterización de la Demanda en Zonas Rurales Aisladas.
33. Villanueva Ure, J. R. (2011). Análisis y Propuesta de una Metodología para la Determinación del Caudal Ecológico en Centrales Hidroeléctricas del Perú, Aplicación a un Caso Típico. Lima, Perú.
34. Villegas, J. C. (2004). Análisis del conocimiento en la relación agua-suelo- vegetación para el Departamento de Antioquía. *Revista EIA*, 73-79.

