

Análisis de factibilidad técnico y financiero para la implementación de dos micro centrales hidroeléctricas en Zamorano

Fredy Emmanuel Sandoval Navarro

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2012

ZAMORANO
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN DE AGRONEGOCIOS

Análisis de factibilidad técnico y financiero para la implementación de dos micro centrales hidroeléctricas en Zamorano

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero en Administración de Agronegocios en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por:

Fredy Emmanuel Sandoval Navarro

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2012

Análisis de factibilidad técnico y financiero para la implementación de dos micro centrales hidroeléctricas en Zamorano

Presentado por:

Fredy Emmanuel Sandoval Navarro

Aprobado:

Ernesto Gallo, M.B.A.
Asesor Principal

Ernesto Gallo, M.B.A.
Director
Departamento de Administración de
Agronegocios

Raúl Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

RESUMEN

Sandoval Navarro, F.S. 2012. Análisis de factibilidad, técnico y financiero para la implementación de dos micro centrales hidroeléctricas en Zamorano. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería en Administración de Agronegocios, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 33 p.

En este estudio se analizó la factibilidad técnica y financiera de la implementación de dos micro centrales hidroeléctricas, estas están ubicadas en propiedades de la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano. La primera central ubicada al final de la tubería de recolección de agua El Benque ($14^{\circ}1'11.93''\text{N}-87^{\circ}2'8.72''\text{W}$) y la segunda central en la tubería de descarga de agua de la quebrada Santa Inés ubicada en los terrenos de Santa Inés ($13^{\circ}59'15.76''\text{N}-86^{\circ}59'17.20''$). Se determinó la capacidad de producción de energía eléctrica de éstas dos micro centrales por medio de la relación entre: cauda, altura, coeficiente de fricción, rendimiento de turbina, rendimiento del generador eléctrico, fuerza de gravedad y rendimiento de distribución de energía con tres escenarios de capacidad de generación de energía eléctrica con alto, medio y bajo caudal. También se determinó la rentabilidad del proyecto por medio de Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR) con dos periodos de trabajo de 12 y 24 horas diarias de operación, estos dos últimos mencionados fueron combinados con los tres niveles de caudal antes mencionados. La micro central El Benque posee una capacidad media de 8.98 Kilovatios hora (Kwh) y Santa Inés con una capacidad media de 21.43 Kwh. El Benque presenta con capacidad de caudal medio VAN de US\$ 75,976 y TIR de 80% en operación de 24 horas y VAN US\$ 25,998 y TIR 36% en operación de 12 horas, Santa Inés presenta con capacidad de caudal medio VAN de US\$ 110,748 y TIR de 89% en operación de 24 horas y VAN 32,373 y TIR 36% en operación de 12 horas.

Palabras clave: Altura, caudal, El Benque, Santa Inés, turbina.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen.....	iii
Contenido	iii
Índice de cuadros, figuras y anexos	iv
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	9
4. CONCLUSIONES	14
5. RECOMENDACIONES.....	15
6. LITERATURA CITADA	16
7. ANEXOS	17

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros Página

1. Resultado de los proyectos de electricidad rural con fuentes Renovables, Ejecutados por EnDev-Hnd (2006-2009).	7
2. Demanda insatisfecha de energía eléctrica de Honduras.	8
3. Proyeccion de demanda 2007-2015.	8
4. Potencia promedio tubería El Benque.	11
5. Potencia promedio tubería Santa Inés.	11
6. Escenarios de generación de energía eléctrica.	12
7. Cuadro comparativo de escenarios.	13

Figuras Página

1. Indica la turbina que debe ser instalada segun caudal , salto neto y la potencia que genera dicha turbina.	5
2. Historia de caudal El Benque (Enero-Septiembre 2012).	9

Anexos Página

1. Resumen plan global de inversión El Benque.	17
2. Costos fijos El Benque	17
3. Ingresos El Benque.	18
4. Flujo de caja con caudal alto, 24 horas.	19
5. Flujo de caja con caudal medio, 24 horas.	20
6. Flujo de caja con caudal bajo, 24 horas.	21
7. Flujo de caja con caudal alto, 12 horas.	22
8. Flujo de caja con caudal medio, 12 horas.	23
9. Flujo de caja con caudal bajo, 12 horas.	24
10. Resumen plan global de inversión Santa Inés.	25
11. Costos fijos Santa Inés.	25
12. Ingresos Santa Inés.	25
13. Flujo de caja con caudal alto, 24 horas.	26
14. Flujo de caja con caudal medio, 24 horas.	27
15. Flujo de caja con caudal bajo, 24 horas.	28

16. Flujo de caja con caudal alto, 12 horas.....	29
17. Flujo de caja con caudal medio, 12 horas.....	30
18. Flujo de caja con caudal bajo, 12 horas.....	31
19. Tubería El Benque.....	32
20. Línea de transmisión El Benque.....	32
21. Tubería Santa Inés.	33
22. Línea de transmisión Santa Inés.....	33

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de generación de energía sostenible y limpia han tomado un gran auge en los últimos años, debido a los daños climáticos causados por las fuentes de energía no sostenibles que el ser humano utiliza actualmente, la generación de energía a partir de combustión de hidrocarburos es una de las responsables del daño que el ser humano está causando al medio ambiente, esto debido a las grandes emisiones de carbono a la atmosfera.

La Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano actualmente posee un lema y una ideología que se basa en la política de “Zamorano verde”, esta consiste en modificar todo tipo de actividades productivas y de procesamiento para volverlas amigables con el ambiente, uno de los temas más importantes relacionados con este programa es la generación de energía renovable, que consiste en generar energía de una manera sostenible con recursos renovables, como claro ejemplo; la energía hidráulica. Actualmente el consumo de energía eléctrica de Zamorano es provisto por la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENNE) a un precio de US\$ 0.17 por kilovatio/hora y el 10% del tiempo Zamorano genera su propia energía con Bunker a un costo de 0.31 US\$ kilovatio/hora. La suma de facturas de estas dos fuentes representa para Zamorano un alto porcentaje de sus egresos.

Este proyecto consiste en la instalación de dos micro centrales hidroeléctricas ubicadas en propiedades de La Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. La primera central ubicada al final de la tubería de recolección de agua El Benque ($14^{\circ}1'11.93''\text{N}$ - $87^{\circ}2'8.72''\text{W}$) y la segunda central en la tubería de descarga de agua de la quebrada Santa Inés ubicada en los terrenos de Santa Inés ($13^{\circ}59'15.76''\text{N}$ - $86^{\circ}59'17.20''$).

El potencial hídrico y la conversión en energía eléctrica de dichas centrales es de 30.41 kilovatios/hora en promedio, por lo que este proyecto es de mucha importancia para reafirmar la convicción “Zamorano Verde” y lograr una disminución considerable de la energía no sostenible que se consume en el campus.

Planteamiento del problema. Actualmente la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano cuenta con recursos renovables con capacidad de generación de energía eléctrica de una manera limpia, que no están siendo aprovechados, estas fuentes de generación de energía se debe analizar técnica y financieramente para determinar su viabilidad y factibilidad. Este estudio busca analizar las opciones de instalar dos turbinas tipo Pelton para generar energía en dos puntos de Zamorano y utilizarla en el campus, causando una disminución de la compra de energía eléctrica.

Antecedentes. Para el análisis y planificación de las micro centrales hidroeléctricas se utilizarán las tuberías ya instaladas, existen dos puntos óptimos para la instalación de micro centrales hidroeléctricas:

- Tubería de conducción El Benque la cual posee un largo de 1,249 metros, una caída de 113 ms y un caudal promedio de 15.45 L/s.
- Tubería de conducción de agua de la quebrada Santa Inés la cual posee un largo de 2,725 metros, una caída de 85 ms y un caudal promedio de 49 L/s.

No se ha realizado ningún tipo de toma de datos técnicos ni estudios para el cálculo de rentabilidad de una micro central hidroeléctrica en estas tuberías.

Limitantes:

- No se cuenta con una base de datos con un historial representativo para estimar el caudal promedio.
- No se posee mapeo exacto de la ubicación de las tuberías.
- No se cuenta con datos de la caída de las tuberías.
- En Zamorano no hay personal capacitado en el tema de energía hidráulica.
- No se cuenta con la asesoría de un experto en aspectos técnicos de turbinas Pelton.

Es necesario realizar el análisis técnico y financiero para determinar si es viable y factible la instalación de las micro centrales hidroeléctricas en dichas tuberías, el estudio financiero será utilizado para la comparación costo-beneficio y así determinar la conveniencia en aspectos económicos del proyecto.

Objetivos: Determinar la factibilidad técnica y financiera de la implementación de las micro centrales hidroeléctricas, usando como supuesto la instalación en las tuberías del Benque y Santa Inés ubicadas en propiedades de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, con el objetivo de ofrecer un instrumento de análisis, planificación y ejecución a los departamentos Administrativos, Planta Física, Decanatura, Junta de Fiduciarios y a cualquier entidad de la institución que juegue un papel importante en la toma de decisiones en proyectos para generación de energía eléctrica sostenible y rentable. En resumen se determinó lo siguiente:

- Factibilidad técnica del proyecto por medio del estudio técnico.
- Rentabilidad por medio de VAN y TIR del proyecto según criterios financieros con ayuda del estudio financiero

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La contaminación ambiental producida por la humanidad ha causado una gran cantidad de daños al medio ambiente en el que vivimos, actualmente se están viviendo las consecuencias del mal manejo de los recursos naturales; la contaminación atmosférica causada por las emisiones de carbono y un sin fin de sustancias tóxicas para el ambiente causan desbalances climáticos, los cuales traen un desequilibrio en todos los ecosistemas del planeta tierra.

Uno de los factores más dañinos para el ambiente es la generación de energía eléctrica a base de recursos naturales no renovables como por ejemplo los hidrocarburos derivados del petróleo. El ser humano se ha dado cuenta del daño que le está causado al medio ambiente y ha venido desarrollando a lo largo de las últimas décadas diferentes métodos para generar energía eléctrica de una manera sostenible, una de estas alternativas es la generación de energía eléctrica a partir de la energía hidráulica la cual tiene un impacto ambiental muy bajo, las instalaciones en las cuales se genera energía eléctrica a partir de energía hidráulica son llamadas Centrales Hidroeléctricas, según Restrepo. (2007).

Se genera electricidad liberando un flujo controlado de agua a alta presión, a través de un conducto forzado desde la presa hasta la sala de máquinas; el agua impulsa las turbinas que mueven los generadores, y producen así una corriente eléctrica. A continuación, esta corriente elevada de baja tensión, pasa por transformadores elevadores de tensión, que la convierten en corriente reducida de alta tensión. La corriente se transporta por cables de alta tensión hasta las subestaciones eléctricas, donde se reduce la tensión, para ser utilizada por los usuarios, según Santos Solares. (2006).

Clasificación de las hidroeléctricas: Las dos características principales de una central hidroeléctrica, desde el punto de vista de su capacidad de generación de electricidad son: la potencia, que es función del desnivel existente, entre el nivel medio del embalse y el nivel medio de aguas abajo de la presa, del caudal máximo turbinable, además de las características de la turbina y el generador; la energía es garantizada, en un lapso de tiempo determinado, generalmente un año, que es función del volumen útil del embalse y de la potencia instalada, según Santos Solares. (2006).

Desde el punto de vista de su concepción arquitectónica, las centrales pueden ser clasificadas en: centrales al aire libre, al pie de la presa, o relativamente alejadas de esta y conectadas por medio de una tubería a presión; centrales en caverna, generalmente

conectadas al embalse por medio de túneles, tuberías a presión, ó por la combinación de ambas, según Santos Solares. (2006).

Clasificación según la forma de ingreso de agua a la turbina: Desde el punto de vista de cómo utilizan el agua para la generación, se pueden clasificar en:

- Centrales a filo de agua; utilizan parte del flujo de un río para generar energía eléctrica, operan en forma continua, porque no tienen capacidad para almacenar agua o no disponen de embalse. Turbinan el agua disponible en el momento, limitadamente a la capacidad instalada, Según Santos Solares. (2006).
- Centrales acopladas a uno o más embalses; que es el tipo más frecuente, son aquellas que se encuentran acopladas a una tubería que proviene de un colector de agua o un embalse, Según Santos Solares. (2006).
- Centrales mareomotrices; utilizan el flujo y reflujo de las mareas, pueden ser ventajosas en zonas costeras, donde la amplitud de la marea es grande y las condiciones morfológicas de la costa, permiten la construcción de una presa que corta la entrada y salida de la marea en una bahía; se genera energía tanto en el momento del llenado, como en el momento del vaciado de la bahía. Según Santos Solares, (2006).
- Centrales mareomotrices sumergidas, utilizan la energía de las corrientes submarinas, Según Santos Solares, (2006).

Clasificación según capacidad de producción de energía eléctrica: Las centrales de generación hidroeléctrica se clasifican según su capacidad de producción de energía en kilovatios de la siguiente manera:

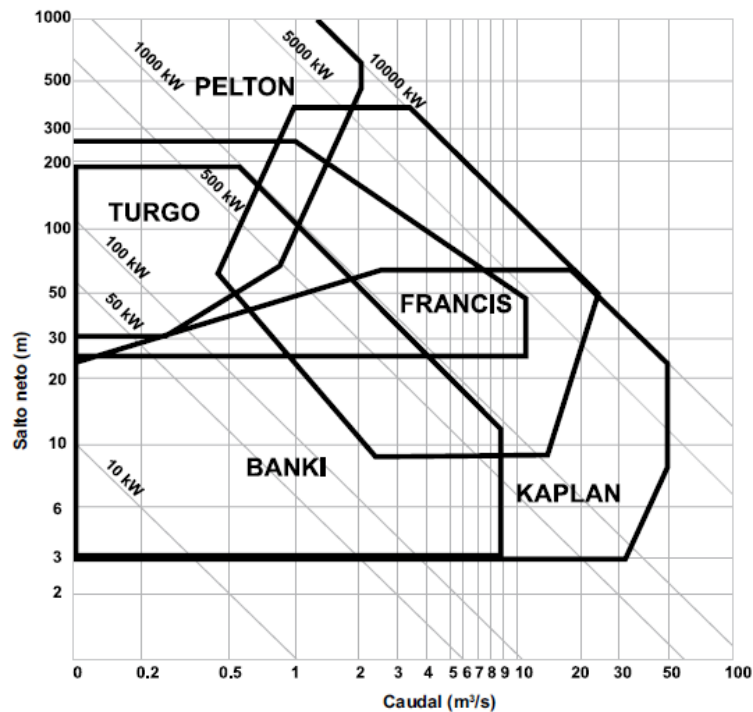
- Nano-Hidro (menor a 1 kilovatios.).
- Micro-Hidro (entre 1 kilovatios y 100 kilovatios).
- Mini-Hidro (entre 100 kilovatios y 1 megavatios).
- Pequeñas Hidro (entre 1 kilovatios y 5 megavatios).

Los sistemas micro hidroeléctricos aprovechan los recursos hídricos, sin deteriorar el medio ambiente. Sus obras civiles son de bajo impacto ambiental, pues en la mayoría de casos no requieren de represas que inundan tierras fértiles, o de reservas naturales. Por el contrario promueven la conservación de las cuencas, ya que crean conciencia en los usuarios, de la importancia del agua y su conservación, debido a la íntima relación que existe entre el caudal de agua y la cantidad de energía generada. La micro hidrogeneración de energía eléctrica hace uso de un recurso natural renovable de una forma sostenible,

facilita la regionalización de la producción, representan una forma de generación distribuida que permite producir la energía cerca del consumidor. Las aplicaciones micro hidráulicas tienen un impacto ambiental muy bajo. Los sistemas de pequeño tamaño ocupan poco espacio y son poco visibles, a menudo están integrados en sistemas hídricos ya existentes y por tanto, tienen un gran valor en términos de sostenibilidad de la generación eléctrica, Según Santos Solares. (2006).

Una instalación viene definida por la altura geométrica del salto y el caudal del agua que se deriva a la sala de maquinas. Para cada caso existe una turbina más adecuada. Así la turbina Pelton es una rueda hidráulica provista de alabes. En casos, sobre los cuales incide a través de inyectores. El movimiento del agua se desarrolla en el plano de la rueda. Es una maquina de construcción sencilla y robusta y de buen rendimiento. Su utilización es adecuada para la instalación de bajo caudal y muy diferentes alturas. Frecuentemente se utiliza en proyectos de mini hidráulica y micro hidráulica. Si el salto es de muy poca altura se emplearan turbinas de bulbo aptas para caudales diversos, pero de no muy buen rendimiento. Las máquinas Francis y Kaplan son de diseño más sofisticado con flujos de agua en planos cruzados. Se adaptan a grandes caudales y son frecuentes en las instalaciones hidráulicas de media y gran potencia, Según Méndez Pérez. (2001).

Figura 1 Indica la turbina que debe ser instalada segun caudal, salto neto y la potencia que genera dicha turbina.



Fuente: Proyectos hidroeléctricos.

El sector de energía eléctrica hondureño. Actualmente se encuentra monopolizado casi en su totalidad por la ENEE que suple el 83% de la demanda eléctrica del país; del 100% de la energía que distribuye la ENEE el 33% es generación pública y el 67% privada, (CEPAL, 2010). A principios del 2010 la energía suministrada por la ENEE dependía en un 70% de las plantas termoeléctricas, las cuales son las principales generadoras de Honduras. Se ha logrado reducir la dependencia de las plantas termoeléctricas en un 8% desde el 2010 debido a las normas del programa de cambio de matriz energética dictado por el Plan de Nación y Visión de País y del Gobierno Nacional.

El Gobierno Nacional hondureño promovió el cambio de la fuente de energía de la ENEE debido a quejas constantes de los consumidores causadas por el reajuste repetitivo de la factura a los consumidores de energía eléctrica, debido a el reajuste de los precios de los hidrocarburos, por lo que se comenzaron a buscar fuentes de energía verde, a menor costo ambiental y económico. Por lo tanto el Gobierno Nacional tomo un plan de acción en el que fomenta y apoya proyectos que permitan la generación de energía orientados a optimizar y ampliar la cobertura eléctrica nacional.

Las proyecciones de la ENEE contemplan para 2016 la reversión de la matriz eléctrica. En esta planificación de cambio de matriz energética se integran los proyectos de los pequeños y medianos proyectos de energía renovable, aprobados por el Congreso Nacional, estos totalizan una generación de 700 MW distribuidos en 49 proyectos a realizarse entre los años 2011-2018, ENEE. (2012).

El 16 de mayo se dio inicio a la construcción del primer complejo hidroeléctrico del país, Patuca III, el que ha mantenido sus trabajos de construcción ininterrumpidamente, estimando que en un plazo de 3 años esta obra esté lista para a generar los primeros 104 de los 524, megavatios, que el complejo en conjunto con Patuca II y Patuca IIA se proyecta lleguen a producir, ENEE. (2012).

A estos proyectos de generación de energía limpia se les suman, las hidroeléctricas Los Llanitos y Jicatuyo, El Aguán, la reparación y repotenciación de la represa General Francisco Morazán “El Cajón”; Proyectos con los que se llegarán a dar respaldo al cambio de matriz eléctrica en el país, ENEE. (2012).

Oferta y demanda de energía eléctrica en Honduras. Presenta un creciendo en compas con el crecimiento de la demanda ya que el gobierno y la ENEE están consientes que día a día la demanda incremente y es obligación del Estado suplirla, por lo que existen proyectos que incentivan al país a producir energía eléctrica, esto causa una oferta incremental constante. El total de electricidad vendida en 2010 fue de 4.176 GW/h (4.376 kW/h por conexión). Esta cantidad es mucho mayor que la de países vecinos como Guatemala (2.337 kWh por conexión), Nicaragua (2.931 kWh por conexión) y El Salvador (3.109 kWh por conexión). Sin embargo, es mucho menor que en países centroamericanos como Costa Rica (7.969 kWh) y Panamá (7.574 kWh), Según BECIE (2012).

Resultado de los proyectos de electricidad rural con fuentes
Renovables, ejecutados por EnDev-Hnd (2006-2009)

Cuadro 1. Resultado de los proyectos de electricidad rural con fuentes renovables,
Ejecutados por EnDev-Hnd (2006-2009).

Micro Hidros	Potencia (Kw/h)	Cantidad	Total (Kw/h)	Beneficiarios
El Recreo	12.5	1	12.5	543
El Salto	7.5	1	7.5	154
La Muralla	7.5	1	7.5	104
El Triunfo	7.5	1	7.5	199
Buena Vista	10	1	10	153
Guardaraya	10	1	10	4,596
San Manuel	7.5	1	7.5	660
Parque Pico Bonito	7.5	4	30	2,016
TOTAL MICRO HIDROS		11	92.5	8,425

Fuente: EnDev-Hnd, 2012.

La oferta de energía producida por las dos micro centrales hidroeléctricas es de 30.41 KW/h. Ésta es una cifra aceptable y que contribuiría tangiblemente a la reducción de factura con respecto a energía eléctrica de Zamorano. Según la ENEE, Honduras consume de 1,200 a 1600 MW de energía eléctrica, de estos el 62% proviene de las generadoras termoeléctricas y el resto de fuentes de energía renovables eólicas y hidráulicas. En los últimos años, la demanda de pico ha crecido más del 7%, alcanzando 1.450 MW en 2011. Se estima que, para el período 2010-2018, la tasa de crecimiento anual esperada de la demanda de energía sea de alrededor del 6%, mientras que la demanda de pico podría aumentar a cerca del 7%. La tasa de crecimiento anual real dependerá de que haya ó no un aumento de tarifas, del éxito de un programa actual para reducir el hurto de electricidad y de que se puedan reducir ó no las pérdidas técnicas de distribución.

Cuadro 2. Demanda insatisfecha de energía eléctrica de Honduras.

	Población	%	Nº de hogares	%	Nº de clientes	%	Tasa de acceso (%)
Urbano	3,350,081	45.50	700,507	49.00	661,582	66.9	94.40
Rural	4,016,940	54.50	729,611	51.00	327,114	33.1	44.80
Total	7,367,021	100	1,430,118	100	988,696	100	69.10

Fuente: Banco Mundial.

Se puede observar la demanda insatisfecha de energía eléctrica en Honduras, sobre todo en el área rural la cual puede ser suplida con micro centrales eléctricas sin causar un gran daño al ambiente.

Cuadro 3 Proyección de demanda 2007-2015.

	Esc.	Crec. Anual %	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Demanda energía en generación (Gwh)	Alto	7.3	6,266	6,741	7,319	7,862	8,423	9,011	9,633	10,287	10,974	11,695
	Base	6.5	6,266	6,731	7,229	7,706	8,200	8,710	9,237	9,785	10,355	10,945
	Bajo	5.6	6,266	6,627	7,060	7,428	7,797	8,170	8,620	9,089	9,631	10,199
Demanda máxima (Mw)	Alto	8.2	1,090	1,192	1,306	1,415	1,530	1,651	1,781	1,920	2,086	2,225
	Base	6.5	1,090	1,184	1,271	1,355	1,442	1,531	1,624	1,720	1,820	1,923
	Bajo	5.2	1,090	1,157	1,227	1,285	1,343	1,401	1,472	1,545	1,631	1,719

Fuente: AHPPER.ORG

En el cuadro 3, se pueden observar los cambios y proyecciones de demanda de energía eléctrica en honduras entre el año 2006 y 2015.

Los precios de la energía eléctrica en el mercado hondureño son muy variables debido a que dependen de los precios de los hidrocarburos. El 62% de la producción de energía nacional es producida a base de éstos. La ENEE compra energía a tres tipos de productores con tres diferentes tarifas según contrato, productores de energía hidroeléctrica con un promedio de 66 US\$ el MW/h, cogeneradores con un promedio de 77 US\$ el MW/h y energía térmica con un promedio de 169.75 US\$ MW/h.

Comercialización. La energía producida por las dos micro centrales hidroeléctricas posee un solo cliente potencial y viable que es Zamorano. Para esto se debe de instalar la red de transporte y distribución de energía eléctrica pertinente desde las micro centrales hidroeléctricas hacia Zamorano, para así aprovechar esta energía para consumo propio de la institución y lograr una reducción de compra de energía a la ENEE.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

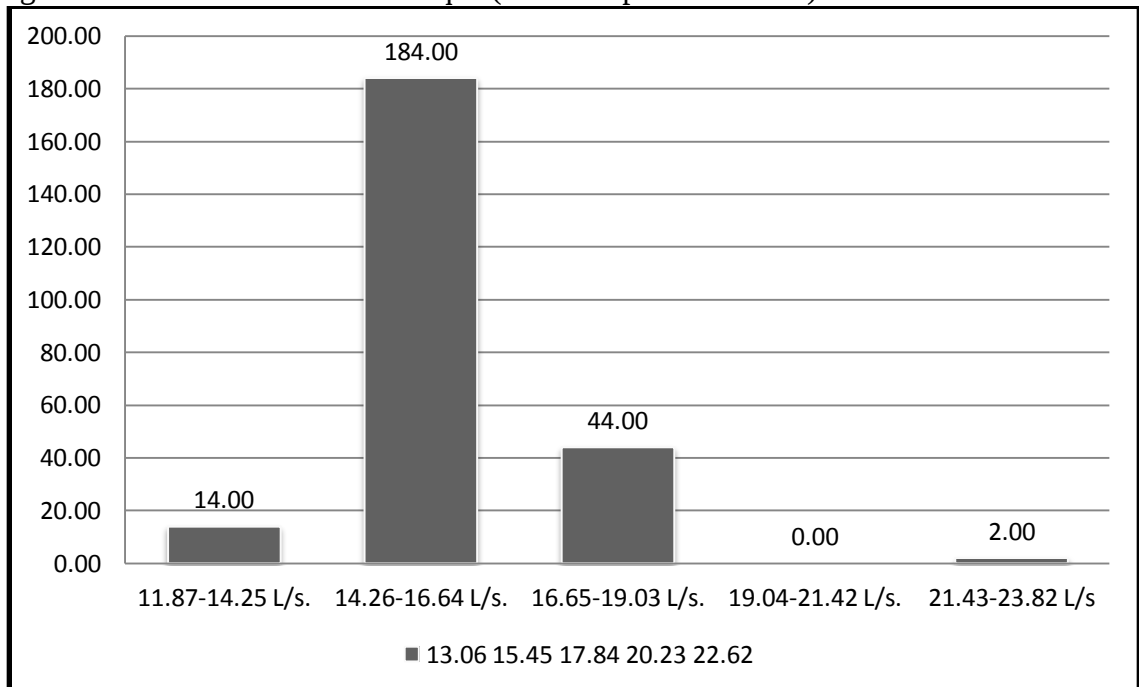
Los principales parámetros tomados en cuenta para la evaluación del sitio con potencial para la instalación y funcionamiento de una Micro Central Hidro eléctrica son: caudal y desnivel, Según Fromm. (2010).

Caudal. Se define como la cantidad de agua en movimiento por la corriente de la quebrada medida en galones por minuto (gal/min), litros por segundo (l/s) o metros cúbicos por segundo (m^3/s).

Caudal tubería El Benque: Para determinar datos confiables de caudal se necesitan datos estadísticos del mismo, en este caso se cuentan únicamente con el historial de ocho meses por lo que para determinar las variaciones del caudal se hizo un estudio estadístico comparando la precipitación con el caudal diario de la tubería El Benque, el cual arrojó datos que demostraron que no hay relación entre variación en precipitación y caudal.

El caudal de la tubería el benque es monitoreado todo el tiempo con un medidor computarizado KROHNE el cual arrojo datos de 15.45 litros por segundo diarios en promedio.

Figura 2 Historia de caudal El Benque (Enero-Septiembre 2012)



Fuente: Datos obtenidos de planta física, Zamorano.

Historia de caudales de 8 meses. El 75% de las mediciones está entre 14.26 y 16.64 Litros por segundo.

El caudal de la tubería Santa Inés fue medido por medio del método de velocidad constante, el cual se basa en el principio de continuidad de un fluido de densidad constante a través de un área de una sección conocida, el cual arrojó datos de 49 litros por segundo. En este caso no se toman en cuenta los datos estadísticos ya que el agua de esta tubería proviene de una quebrada con capacidad mucho mayor a la de los 49 litros por segundo. Vale la pena aclarar que este caudal es durante ocho meses al año ya que los cuatro meses restante únicamente son tomados de esta quebrada 20 litros por segundo.

La altura vertical o salto de agua. Es la diferencia de elevación en metros (m), entre la boca toma de aguas arriba y el rodete de la turbina en la casa de máquinas. Esta diferencia de altitud entre ambos puntos nos determina la carga hidráulica. A mayor altura, mayor potencial de generación hidroeléctrica, Según Fromm. (2012)

La altura vertical de los dos sitios fue medida por medio del método del altímetro, la tubería el benque tiene un diferencial de altura de 113 metros, mientras que el diferencia de Santa Inés es de 85 metros. Vale la pena aclarar que el método del altímetro tiene cierto grado de error ya que trabaja con la presión atmosférica con respecto al nivel del mar, y puede variar en cierto porcentaje según la humedad relativa y la temperatura. La única manera exacta de medir la altura es con un teodolito y equipo de topografía con el cual no se contaba al momento de la toma de datos.

Calculo de Potencia. La potencia electromecánica que se puede obtener de una quebrada se calcula usando la siguiente fórmula:

$$P_t = g \times \eta_t \times \eta_g \times \eta_d \times Q \times H \quad [1]$$

Donde:

P_t = potencia teórica en W.

g = aceleración de la gravedad (9.81 m/s^2).

η_t = rendimiento de la turbina hidráulica (entre 0.75 y 0.90 para turbinas grandes, para pequeños tamaños entre 0.5 y 0.7).

η_g = rendimiento del generador eléctrico (entre 0.92 y 0.97 para generadores de regular tamaño, y para pequeños tamaños un promedio de 0.85).

Q = caudal de agua turbinable en litros por segundo (L/s).

H = desnivel disponible en la presa entre aguas arriba y aguas abajo (metros).

η_d = rendimiento de la distribución de energía (entre 0.80 y 0.85).

Potencia promedio tubería El Benque.

Cuadro 4. Potencia promedio tubería El Benque.

Calculo de potencia								
	Q (L/s)	H (m)	g (m/s ²)	η_t	η_g	η_d	Pt (Wh)	Pt (KWh)
Generación caudal bajo	13.06	113	9.81	0.6	0.9	0.9	7,594	7.59
Generación caudal medio	15.45	113	9.81	0.6	0.9	0.9	8,984	8.98
Generación caudal alto	17.84	113	9.81	0.6	0.9	0.9	10,375	10.37

Potencia promedio tubería Santa Inés.

Cuadro 5. Potencia promedio tubería Santa Inés.

Calculo de Potencia								
	Q (L/s)	H (m)	g (m/s ²)	η_t	η_g	Hd	Pt (Wh)	Pt (KWh)
Generación caudal bajo	45.00	85.00	9.81	0.6	0.9	0.9	19,681	19.68
Generación caudal medio	49.00	85.00	9.81	0.6	0.9	0.9	21,431	21.43
Generación caudal alto	53.00	85.00	9.81	0.6	0.9	0.9	23,180	23.18

Diseño de la turbina. Según las especificaciones de los sitios y los datos tomados de caudal y salto de agua o caída vertical disponible las turbinas idóneas para este caso son las micro turbina Pelton. El diseño designado para este proyecto son dos micro turbinas pelotón con capacidad de 8.98 Kw/h y 21.43 Kw/h ya que estas son las capacidades promedio de generación de los dos afluentes de agua.

El generador eléctrico. Es un dispositivo que convierte la energía mecánica a eléctrica es una parte de vital importancia en una central hidroeléctrica, en estos dos casos se utilizarán generadores estacionarios kolbach de 10 kw para El Benque y de 25 kw para Santa Inés.

Obra civil.

Cámara de carga. Se le llama a la estructura que recibe el agua de diferentes tuberías y la encausa a una sola sirviendo como desarenado y colector de agua. La cámara de carga de la tubería El Benque ya existe y es conocida como colector final, esta cámara de carga

requiere de pequeñas modificaciones para mejorar el desarenador ya existente en ella y la instalación de un codo de PVC en el tubo de salida para evitar turbulencia en la tubería. La cámara de carga de la tubería de Santa Inés no requiere de ninguna modificación ya que cuenta con un desarenador unos metros antes y se encuentra en buen estado.

Tuberías de presión. Son las encargadas de transportar el agua a presión hasta la turbina. La tubería El Benque fue instalada hace 10 años y es de acero estirado, con uniones de junta de espiga y enchufe la cual tiene capacidad de resistir la presión del agua. En el caso de la tubería de Santa Inés es tubería de PVC la cual, de igual manera que la de El Benque resiste altas presiones y es capaz de soportar la instalación de la turbina.

Casa de máquina. Es el cuarto en el cual estará instalada la micro turbina y el generador de energía, estas obras serán en los dos casos de 4x4mts para dar espacio a todos los equipos de generación de energía y la instalación de los paneles de control.

Mantenimiento. El mantenimiento en micro centrales hidroeléctricas es mínimo, básicamente el mantenimiento que se le debe dar es limpieza de turbina por la parte exterior y la cubierta que la contiene. El mantenimiento al generador y al equipo eléctrico debe hacerlo personal especializado. Será necesario hacer un chequeo completo de la instalación cada año y llevar el generador a mantenimiento o cuando haya alguna anomalía.

Red de distribución. La red de distribución es el cableado de alta tensión, transformadores y postes, la red de la micro central Hidroeléctrica El Benque tiene un largo de 1,646 metros mientras que la de Santa Inés tiene un largo de 1,367 metros.

Estudio Financiero. El estudio financiero de éste proyecto fue realizado con tres diferentes escenarios para las dos micro centrales hidroeléctricas simulando tres niveles de producción posibles. El estudio financiero cuenta con instrumentos de medición financiera VAN y TIR a una tasa de descuento de 12%.

Cuadro 6. Escenarios de generación de energía eléctrica.

Niveles de producción.	Horas operatividad.
Caudal alto	24
Caudal medio	24
Caudal bajo	24
Caudal alto	12
Caudal medio	12
Caudal bajo	12

Cuadro 7. Cuadro comparativo de escenarios.

Escenarios	El Benque		Santa Inés.	
	VAN	TIR %	VAN	TIR %
Caudal alto 24 horas	120,119.07	90	162,513.68	98
Caudal medio 24 horas	75,966.52	80	110,747.82	89
Caudal bajo 24 horas	60,501.88	.66	97,951.95	81
Caudal alto 12 horas	62,418.55	0.41	77,741.08	40
Caudal medio 12 horas	25,998.33	36	32,373.15	36
Caudal bajo 12 horas	18,266.01	29	25,975.21	31

4. CONCLUSIONES

- El proyecto es factible debido a que es posible implementar las dos micro centrales hidroeléctricas con las características técnicas que poseen los sitios.
- La factibilidad del proyecto de acuerdo al valor actual neto es positiva y muestra una tasa interna de retorno satisfactoria en los diferentes escenarios.

5. RECOMENDACIONES

- Instalar las dos micro centrales hidroeléctricas para lograr un ahorro en la factura de energía eléctrica.
- Reparar las estructuras que protegen los nacimientos de agua.
- Estudiar circuitos eléctricos posibles para la utilización de energía.

6. LITERATURA CITADA

Restrepo, L.2007. Proyectos Hidroeléctricos (en línea) Consultado 29 de junio de 2012.
Disponible en: <http://www.librosintinta.in/biblioteca/ver-f/www.valenciad.com/Proyectos/hidroelectricidad.pdf.htx>

Santos Solares, J.A. 2006. Estudio para la implementación de una pequeña hidroeléctrica, en un beneficio húmedo de café. Tesis Ing. Ciudad de Guatemala, Guatemala, Universidad de San Carlos. 18 p.

Mendéz Pérez, E. 2001. Energías Renovables, Sustentabilidad y Creación de Empleo. Segunda edición. Madrid, España, Editorial Los libros de Catarata. 67p. Consultado 24 de septiembre de 2012. Disponible en: <http://www.books.google.hn/biblioteca>

Santos Solares, J.A. 2006. Estudio para la implementación de una pequeña hidroeléctrica, en un beneficio húmedo de café. Tesis Ing. Raul Giron. Ciudad de Guatemala, Guatemala, Universidad de San Carlos. 21,22 p.

ENEE, Honduras. 2012, Demanda de energía eléctrica. (en línea). Honduras. Consultado el 23 de septiembre de 2012. Disponible en: <http://enee.hn/index.php/electrificacion-nacional/118-generacion-en>

BCIE, Honduras. 2011, Energia Electrica. (en línea). Honduras. Consultado el 28 de septiembre de 2012. Disponible en <http://www.bcie.org/?cat=1052&title=Rep%FAblica%20de%20Honduras&lang=es>

7. ANEXOS

Análisis financiero El Benque

Anexo 1. Resumen plan global de inversión El Benque.

Resumen plan global de inversiones	
Componente	Total \$
Acceso casa maquinas	200.00
Trabajos preliminares	100.00
Modificación de colector	50.00
Desarenador	250.00
Modificación de tubería a presión	250.00
Casa de máquinas	1,000.00
Turbina	4,000.00
Generador	500.00
Patio de llaves	300.00
Regulador de voltaje	200.00
Línea de transmisión	8,230.00
Instalación	300.00
TOTAL	15,380.00

Anexo 2. Costos fijos El Benque

Costos fijos \$	
Seguridad	0.00
Mantenimiento	500.00
Imprevistos	300.00
Servicio de turbina	350.00
Total	1,150.00

Anexo 3. Ingresos El Benque

Ingresos.					
	Pt (KWh)	Pt (KW/ año)	Precio (KW/h) \$	Ingreso bruto anual 24 horas \$	Ingreso bruto anual 12 h \$
Generación caudal bajo	7.59	66523	0.17	11,308.97	5,654.49
Generación caudal medio	8.98	78702	0.17	13,379.36	6,689.68
Generación caudal alto	10.37	90881	0.17	15,449.75	7,724.87

Anexo 4. Flujo de caja con caudal alto, 24 horas.

Flujo de caja caudal alto 24 horas														
	Año 0	Año 2	Año 3	Año 4	Año 6	Año 8	Año 9	Año 10	Año 12	Año 14	Año 15	Año 16	Año 18	Año 20
Ingresos	-15,380	15,450	15,450	15,450	15,450	15,450	15,450	15,450	15,450	15,450	15,450	15,450	15,450	15,450
Costos variables	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Costos fijos	-	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150
Ebitda	-	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300
Depreciación		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gastos financieros		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Utilidad contable		14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300
ISR 30%		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Utilidad desp. impuestos		14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300
Depreciación		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo de capital		14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300
Capital de trabajo		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cash flow	-15,380	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300	14,300
VAN	120,119													
TIR	90%													

Anexo 5. Flujo de caja con caudal medio, 24 horas.

Flujo de caja caudal medio 24 horas.														
	Año 0	Año 2	Año 3	Año 4	Año 6	Año 8	Año 9	Año 10	Año 12	Año 14	Año 15	Año 16	Año 18	Año 20
Ingresos	-15,380	13,379	13,379	13,379	13,379	13,379	13,379	13,379	13,379	13,379	13,379	13,379	13,379	13,379
Costos variables	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Costos fijos	-	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150
Ebitda	-	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229
Depreciación		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gastos financieros		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Utilidad contable		12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229
ISR 30%		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Utilidad desp. impuestos		12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229
Depreciación		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo de capital		12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229
Capital de trabajo		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cash flow	-15,380	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229	12,229
VAN	75,967													
TIR	80%													

Anexo 6. Flujo de caja con caudal bajo, 24 horas.

[illegible]

Anexo 7. Flujo de caja con caudal alto, 12 horas.

[illegible]

Anexo 8. Flujo de caja con caudal medio, 12 horas.

Flujo de caja caudal medio 12 horas														
	Año 0	Año 2	Año 4	Año 6	Año 8	Año 9	Año 10	Año 12	Año 14	Año 16	Año 18	Año 20	Año 0	Año 20
Ingresos	-15,380	6,690	6,690	6,690	6,690	6,690	6,690	6,690	6,690	6,690	6,690	6,690	6,690	6,690
Cotos variables	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Costos fijos	-	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150
Ebitda	-	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540
Depreciación		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gastos financieros		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Utilidad contable		5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540
ISR 30%		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Utilidad desp. impuesto		5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540
Depreciación		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo de capital		5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540
Capital de trabajo		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cash flow	-15,380	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540	5,540
VAN	25,998													
TIR	36%													

Anexo 9. Flujo de caja con caudal bajo, 12 horas.

[illegible]

Análisis financiero Santa Inés

Anexo 10. Resumen plan global de inversión Santa Inés.

Resumen plan global de inversiones	
Componente	Total \$
Acceso casa Maquinas	100.00
Trabajos Preliminares	200.00
Modificación de Bocatoma	200.00
Desarenador	250.00
Modificación de Tubería a Presión	400.00
Casa de Máquinas	1,500.00
Turbina	8,000.00
Generador	1,000.00
Patio de Llaves	300.00
Regulador de voltaje	400.00
Línea de Transmisión	6,835.00
Instalación	300.00
TOTAL	19,485.00

Anexo 11. Costos fijos Santa Inés.

Costos fijos \$	
Seguridad	2,400.00
Mantenimiento	500.00
Imprevistos	300.00
Servicio de Turbina	350.00
Total	3,550.00

Anexo 12. Ingresos Santa Inés.

Ingresos					
	Pt (KWh)	Pt(Kw año)	Precio (KWh) \$	Ingreso Bruto anual 24 horas \$	Ingreso Bruto anual 12 horas \$
Generación caudal bajo	19.68	113367	0.17	19,272.32	9,636.16
Generación caudal medio	21.43	123444	0.17	20,985.41	10,492.71
Generación caudal alto	23.18	133521	0.17	22,698.51	11,349.25

Anexo 13. Flujo de caja con caudal alto, 24 horas.

[illegible]

Anexo 14. Flujo de caja con caudal medio, 24 horas.

[illegible]

Anexo 15. Flujo de caja con caudal bajo, 24 horas.

[illegible]

Anexo 16. Flujo de caja con caudal alto, 12 horas.

[illegible]

Anexo 17. Flujo de caja con caudal medio, 12 horas.

[illegible]

Anexo 18. Flujo de caja con caudal bajo, 12 horas.

[illegible]

Tubería El Benque 862 m. de largo.



Anexo 19. Tubería El Benque

Fuente: Google Earth, modificado por: Autor.

Línea de Transmisión El Benque 1,646 m. de largo.



Anexo 20. Línea de transmisión El Benque.

Fuente: Google Earth, modificado por: Autor.

Tubería Santa Inés 2,715 m. de largo.



Anexo 21. Tubería Santa Inés.

Fuente: Google Earth, modificado por: Autor.

Línea de Transmisión, Santa Inés 1646 m.



Anexo 22. Línea de transmisión Santa Inés.

Fuente: Google Earth, modificado por: Autor.