



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

**REUBICACIÓN, AGUAS ABAJO, DE UNA HIDROELÉCTRICA, EN
EL INGENIO SAN DIEGO**

Federico Alberto Motta Quevedo

Asesorado por el Ing. Carlos Ramón López de León

Guatemala, octubre de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**REUBICACIÓN, AGUAS ABAJO, DE UNA HIDROELÉCTRICA, EN
EL INGENIO SAN DIEGO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

FEDERICO ALBERTO MOTTA QUEVEDO
ASESORADO POR EL ING. CARLOS RAMÓN LÓPEZ DE LEÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de Lòpez
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivònne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Edwin Danilo González Trejo
EXAMINADOR	Inga. Lenny Virginia Gaitan Rivera
EXAMINADOR	Ing. Pedro Enrique Kubes Zacek
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivònne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

REUBICACIÓN, AGUAS ABAJO, DE UNA HIDROELÉCTRICA, EN EL INGENIO SAN DIEGO

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, el 11 de agosto de 2004.



Federico Alberto Motta Quevedo

Guatemala, 29 de marzo de 2,006

Ingeniero
José Francisco Gómez
Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero:

Cumpliendo con lo resuelto por la Dirección se procedió a la asesoría y revisión del trabajo de graduación titulado "Reubicación aguas debajo de una Hidroeléctrica en el Ingenio San Diego, desarrollado por el bachiller Federico Alberto Motta Quevedo, previo a optar el título de Ingeniero Mecánico Industrial.

El trabajo presentado por el Bachiller Motta Quevedo ha sido desarrollado cumpliendo con los requisitos reglamentarios, consultado bibliografía y realizando los procedimientos adecuados, además de seguir las recomendaciones de la asesoría.

Por todo lo anterior, tanto el autor como el asesor, somos responsables del contenido y conclusiones del presente trabajo de graduación y en consecuencia, por medio de la presente me permito aprobarlo para los efectos de graduación del autor.

Sin otro particular

Ing. Carlos Ramón López De León
~~INGENIERO MECÁNICO~~
Colegiado Número: 4,629

ING. CARLOS RAMON LOPEZ DE LEON
INGENIERO MECANICO
COLEGIADO No. 4,629



Guatemala 7 de Noviembre de 2007

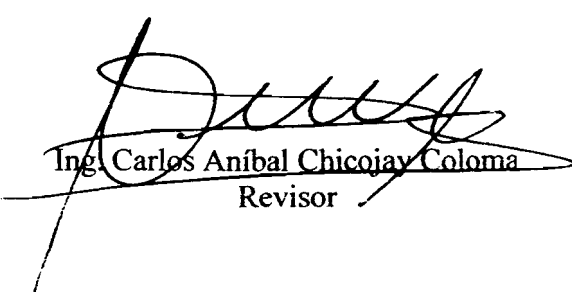
Ing. José Francisco Gómez Rivera
Director de Escuela
Ingeniería Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Presente.

Ing. Gómez:

Por este medio informo a usted que he concluido con la revisión del proyecto de graduación, REUBICACION, AGUAS ABAJO DE UNA HIDROELÉCTRICA EN EL INGENIO SAN DIEGO, presentado por la estudiante Federico Alberto Motta Quevedo.

El desarrollo de dicho trabajo de graduación aplica de una manera adecuada los conceptos y cálculos de ingeniería para la aplicación requerida, por lo que recomiendo seguir con el proceso para la autorización del mismo.

De usted, atentamente,


Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
Revisor



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 titulado **REUBICACIÓN, AGUAS ABAJO, DE UNA HIDROELÉCTRICA, EN EL INGENIO SAN DIEGO**, presentado por el estudiante universitario **Federico Alberto Motta Quevedo**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. José Francisco Gómez Rivera
DIRECTOR
Escuela Mecánica Industrial



Guatemala, septiembre de 2008.

/mgp

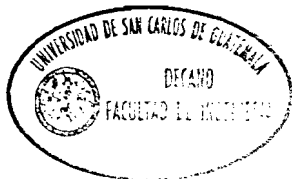


El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **REUBICACIÓN, AGUAS ABAJO, DE UNA HIDROELÉCTRICA EN EL INGENIO SAN DIEGO**, presentado por el estudiante universitario **Federico Alberto Motta Quevedo**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympc Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, octubre de 2008.



/gdech

AGRADECIMIENTOS A:

DIOS

Por haberme permitido culminar la carrera y el presente trabajo, dándome el entendimiento necesario.

MIS PADRES

Mario Alberto Motta Contreras y Julia Hortensia Quevedo de Motta, por todo el apoyo brindado durante el transcurso de mi carrera y de mi vida.

MI ESPOSA

Lisely Yanira Melgoza Serrano de Motta, por su ayuda en la terminación de este trabajo.

HERMANOS Y DEMAS FAMILIA

A quienes agradezco su apoyo.

ING. CARLOS LÓPEZ

Por su valiosa colaboración en la revisión de este trabajo de graduación.

INGENIO SAN DIEGO

Por permitirme llevar a cabo el trabajo en sus instalaciones y brindarme, sin restricción alguna, toda la información necesaria.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	IX
OBJETIVOS	XI
INTRODUCCIÓN	XIII
1. MARCO TEÓRICO	
1.1 Diferentes tipos de generación de energía eléctrica	1
1.2 Tipos de generación de energía eléctrica utilizada en Guatemala	3
1.3 Funcionamiento básico de una hidroeléctrica	4
1.3.1 Generación de energía por medio de una hidroeléctrica	4
1.3.2 Formas de aprovechamiento del caudal	6
1.3.3 Equipos auxiliares utilizados en una hidroeléctrica	8
2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA HIDROELÉCTRICA	
2.1 Localización actual de la hidroeléctrica	11
2.2 Equipo utilizado	11
2.3 Producción actual de energía	12
2.4 Costos de producción	13
2.5 Precio de la energía eléctrica	14
2.5.1 Precio de venta	14
2.5.2 Precio de compra	14
2.6 Cantidad de energía consumida en el Ingenio	14

3. SITUACIÓN PROPUESTA	
3.1 Nueva ubicación de la hidroeléctrica	15
3.1.1 Nuevo diferencial de altura obtenido	15
3.1.2 Necesidad de equipo nuevo	15
3.2 Energía a producir	16
3.2.1 Cantidad total de energía producida	16
3.3 Costo de traslado de la hidroeléctrica	17
3.3.1 Costo de cimentación	17
3.3.2 Costo de traslado de equipo	18
3.3.3 Costo de tubería utilizada	18
3.3.4 Costo de equipo y maquinaria nueva	19
3.4 Evaluación económica	19
3.4.1 Valor presente neto	20
3.4.2 Tasa interna de retorno	20
3.4.3 Tiempo de pago	20
4. IMPLEMENTACIÓN	
4.1 Material y equipo para obra civil	21
4.2 Maquinaria pesada para el traslado	21
4.3 Extensión de las líneas de transmisión	22
4.4 Planificación del proyecto	23
4.4.1 Diagrama de Gantt	23
4.5 Lista de chequeo pre-arranque	24
5. MEJORA CONTINUA	
5.1 Índices de evaluación	27
5.1.1 Curvas de eficiencia de la turbina	27
5.1.2 Rendimiento del caudal	28
5.2 Reportes de seguimiento	28

5.2.1 Producción de energía	28
5.2.2 Mantenimiento preventivo	29
5.3 Reuniones de información y actualizaciones	35
CONCLUSIONES	37
RECOMENDACIONES	39
BIBLIOGRAFÍA	41
ANEXOS	43
APÉNDICES	47

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

- | | | |
|----|---|----|
| 1. | Curva de eficiencia para turbina tipo Francis | 27 |
| 2. | Diagrama de producción diaria de energía | 29 |

GLOSARIO

Alabe	Cada una de las partes curvas con que se compone una rueda hidráulica.
Alternador	Generador de electricidad que transforma la energía mecánica de rotación, en energía eléctrica de corriente alterna.
Contingencia	Posibilidad que una cosa suceda o no suceda. Riesgo. Parte proporcional con que uno contribuye, en unión de otros, para conseguir un fin.
Disociación	Acción de separar los componentes de una sustancia. Separar una cosa de otra a la que estaba unida.
Energía Mecánica	Capacidad de un sistema para realizar un trabajo, con las propiedades de la conservación y la irreversibilidad.
Energía Potencial	La que posee un cuerpo cuando se halla en un campo de fuerzas.
Fisión	División del núcleo de un átomo pesado al ser bombardeado con neutrones, provocando la liberación de grandes cantidades de energía.

Fusión	Proceso de combinación de dos núcleos ligeros para formar uno más pesado, con gran desprendimiento de energía.
Infraestructura	Conjunto de servicios básicos para el funcionamiento de una economía.
Intersticio	Espacio pequeño que media entre dos cuerpos o entre dos partes de un mismo cuerpo.
Rebosamiento	Derrame de un líquido por encima de los bordes de un recipiente en el que no cabe.
Sincrono	Motor eléctrico en el cual la velocidad del eje de rotación iguala a la velocidad de rotación del campo magnético.
Termoeléctrica	Planta en la que tiene lugar la transformación de energía térmica en eléctrica, principalmente con la quema de un hidrocarburo.
Vano de Línea	Constituye el conjunto de cables y correspondientes soportes aisladores que se instalan desde un poste hacia el siguiente, no importado el número de cables.

RESUMEN

El Ingenio San Diego posee una pequeña hidroeléctrica para satisfacer sus necesidades de energía eléctrica, principalmente en la época de reparación y mantenimiento del Ingenio, puesto que no operan sus calderas que consumen bagazo de caña. Actualmente, la demanda de energía para dicha época se ha incrementado considerablemente, por lo que el Ingenio debe comprar energía a la Empresa Eléctrica.

Como una alternativa para evitar este costo adicional, se planteo una evaluación del conjunto hidroeléctrico con las condiciones actuales de operación y la variación que habría al reubicar los equipos hacia un punto aguas abajo, con un diferencial de altura de 15.5m más. Con este movimiento se aprovecha la energía potencial por el salto de agua, obteniendo un incremento de 38% de producción de energía, elevándose de 272 a 375Kwh.

El beneficio económico del proyecto proviene de dos diferentes rubros, ya que se tiene un ahorro al prescindir de la compra de energía eléctrica externa, ya que, según los cálculos, el Ingenio y la finca consumen un total de 300 Kwh. El otro beneficio se obtiene por la venta del excedente de energía producida (75 Kwh) al Sistema Eléctrico Nacional. Teniendo un estimado de tres años para la recuperación de la inversión realizada para el traslado.

Para la implementación del proyecto se elaboró un cronograma para la planeación de las diferentes actividades que deben realizarse para el traslado, así como también, la creación de una lista de chequeo pre-arranque, que garantice, tanto la ejecución de la obra como el correcto funcionamiento de los equipos.

Para garantizar la operación del proyecto a largo plazo, se enunciaron algunas actividades de operación y control que pueden contribuir con la mejora del proceso. Se elaboró un programa básico de mantenimiento preventivo, en forma separada, para los equipos eléctricos y mecánicos. También se propone la creación de una reunión mensual de Información y Actualizaciones, tanto para los operadores como para el personal encargado del mantenimiento de los equipos.

OBJETIVOS

GENERAL

Determinar los costos y beneficios consecuentes de la reubicación, aguas abajo, de una Central Hidroeléctrica en el Ingenio San Diego.

ESPECÍFICOS

- 1) Identificar las distintas formas de generación de energía eléctrica que se utilizan en nuestro medio.
- 2) Describir el funcionamiento básico de una central Hidroeléctrica, sus componentes y los equipos auxiliares que interviene en el sistema.
- 3) Realizar un estudio de las condiciones actuales de funcionamiento de la Hidroeléctrica del Ingenio San Diego.
- 4) Calcular la capacidad de producción de energía de la Hidroeléctrica, bajo las nuevas condiciones de funcionamiento en la nueva ubicación.
- 5) Evaluar la necesidad de adquirir equipo de mayor capacidad, para trabajar bajo las nuevas condiciones de operación.
- 6) Determinar los costos que conlleva el traslado de la Hidroeléctrica y sus equipos auxiliares hacia la nueva ubicación.
- 7) Establecer los beneficios económicos obtenidos con la reubicación de la Hidroeléctrica.

INTRODUCCIÓN

La demanda de energía eléctrica crece a grandes pasos en todos los países del mundo, la industrialización de las ciudades obliga a tener año con año una mayor demanda de la misma. En nuestro país, la producción de energía eléctrica se lleva a cabo principalmente por medio de plantas termoeléctricas, las cuales utilizan la quema de derivados de petróleo para su funcionamiento, que debido a la tendencia a la alza de los precios internacionales del mismo, hace que cada vez resulte más oneroso este tipo de producción de energía eléctrica y por consiguiente, aumente su precio de venta.

Por esta razón, las empresas buscan nuevas formas de producción de electricidad, que le generen menos costos de operación y mantenimiento, pero que logre satisfacer sus demandas crecientes de electricidad. Las Hidroeléctricas constituyen una alternativa buena y confiable para dichos propósitos, aunque se debe tomar en cuenta los factores de operación que logren que ésta funcione adecuadamente.

El Ingenio San Diego cuenta con una hidroeléctrica que le provee de energía eléctrica durante el período de reparación, aproximadamente seis meses. Debido a las ampliaciones de sus instalaciones y realización de trabajos de mantenimiento, su demanda de energía ha superado la capacidad de la hidroeléctrica, por lo que se hace necesario comprarle el faltante a la empresa eléctrica.

Con base a lo anterior, el Ingenio ha decidido reubicar la hidroeléctrica a un nuevo punto, aguas abajo, para aumentar su capacidad de operación, logrando cubrir su demanda de energía y poder vender el excedente a la empresa eléctrica si lo hubiera.

El estudio busca principalmente que la empresa cuente con la mayor cantidad de información sobre los factores que influyen directamente en la reubicación de dicha hidroeléctrica, tanto técnicos como económicos.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Diferentes tipos de generación de energía eléctrica.

Existen varias formas de producir energía eléctrica, esto a partir de la transformación de las diferentes fuentes o recursos naturales que se encuentran en nuestro entorno. Entre la clasificación comúnmente aceptada se puede mencionar:

Hidroeléctricas: una central hidroeléctrica es una instalación donde se consigue transformar la energía potencial que tiene el agua en el curso de un río, en energía eléctrica. La transformación no es directa, sino que aquella se convierte primero en energía mecánica en el eje de una turbina hidráulica, la cual acciona un generador que la transforma en energía eléctrica. Puede aprovecharse la conversión de la energía potencial en cinética, cuando hay un salto de agua desde un embalse o bien sea desde la energía cinética de la corriente de río.

Termoeléctricas: cuando se libera energía calorífica, ya sea al quemar directamente en una cámara de combustión o una caldera cualquier tipo de combustible, sea este un hidrocarburo (derivados de petróleo), gas natural, carbón o cualquier otro combustible sólido tal como madera o bagazo de caña. La energía mecánica necesaria para el accionamiento del generador eléctrico se obtiene en forma directa en el motor de combustión interna e indirecta en las calderas, en la cuales primero se genera vapor de agua, para el funcionamiento de una turbina de vapor.

Centrales Nucleares: se puede producir electricidad también por medio de la disociación del átomo. Las reacciones de fisión o fusión de átomos de uranio liberan grandes cantidades de energía calorífica, la cual es utilizada para generar vapor de agua para el accionamiento de las turbinas de vapor acopladas a generadores eléctricos.

Geotérmicas: la energía geotérmica proviene del centro de la tierra y se libera como energía calórica. El calor liberado con este tipo de energía derrite rocas y además calienta los mantos de aguas subterráneas, provocando vapor de agua, a una presión tal, que al hacerlo pasar por un generador es capaz de producir energía eléctrica. Este tipo de energía subterránea es un recurso ilimitado (renovable); pero poco rentable porque se encuentra a demasiada profundidad.

Centrales Solares: es la radiación energética que procede del Sol, consecuencia de las reacciones de fusión nuclear que en él se producen. Esta radiación puede aprovecharse, mediante distintos dispositivos tecnológicos, como fuente de energía. Para generar electricidad puede utilizarse la radiación del sol de dos formas: en el sistema termal, la energía solar se usa para convertir agua en vapor en dispositivos especiales. Con el vapor se genera electricidad en turbinas clásicas.

La otra forma es utilizar la luz del Sol por medio de módulos fotovoltaicos. Uno de los problemas de la energía producida por el Sol es que solo puede obtenerse en el día, siendo difícil o demasiado costoso su almacenamiento.

Centrales Eólicas: en las centrales eólicas existen varias hélices que se mueven gracias al viento. El movimiento genera energía cinética, la cual se transforma en energía eléctrica por medio de un generador eléctrico.

Para aprovechar esta energía, la principal dificultad surge de la imposibilidad de obtener un suministro constante y de las variaciones en la velocidad y dirección del viento.

1.2 Tipos de generación de energía eléctrica utilizada en Guatemala.

En Guatemala, las plantas generadoras que aportan electricidad al sistema eléctrico nacional son de tres tipos:

Termoeléctricas: es el tipo de generación que más se utiliza, ya que existen 23 plantas de generación en toda Guatemala con una capacidad real de 1160 MW, lo cual constituye el 66% del total de potencia efectiva entregada al Sistema Eléctrico Nacional. La mayoría de estas plantas trabajan con motores de combustión interna o turbinas de gas o vapor, el resto es generado por los Ingenios Azucareros, por medio del sistema de cogeneración. Cabe mencionar que de éstos casi todos solo generan en época de zafra.

Hidroeléctricas: existen 16 centrales a nivel nacional, pero la capacidad de generación es menor que las termoeléctricas, la potencia efectiva entregada al Sistema Eléctrico Nacional es de 569 MW, correspondiente al 32.5% del total.

Geotérmicas, existen 2 plantas en toda Guatemala con una capacidad de generación de 26.5 MW, representando solo el 1.5% del Sistema Eléctrico Nacional.

El Sistema Eléctrico Nacional recibe una potencia efectiva de 1754.7 MW, disminuyendo en el período de no zafra debido a que la mayoría de los Ingenios no generan, y cuando en los embalses de las hidroeléctricas tiende a bajar el nivel de agua, limitando su capacidad de producción o el cierre temporal.

Las plantas generadoras que actualmente operan en el país y sus respectivas capacidades se ilustran en el anexo 1.

1.3 Funcionamiento básico de una Hidroeléctrica.

1.3.1 Generación de energía por medio de una Hidroeléctrica.

Una central hidroeléctrica es el conjunto de instalaciones y otras infraestructuras construidas con el objetivo de transformar la energía potencial de un curso de agua en energía eléctrica útil, cuyo destino puede ser el autoconsumo en el lugar de producción, o bien, su venta a la red eléctrica comercial con el fin de obtener una ganancia económica.

La energía que desarrolla el agua en el momento del salto entre su nivel superior (canal a cielo abierto superior) e inferior (canal a cielo abierto inferior), la aprovechan las turbinas hidráulicas, activadas por la masa de agua que pasa en su interior, y que transforman la energía potencial del agua en energía mecánica.

La potencia mecánica de la turbina normalmente se utiliza para producir energía eléctrica, conectando el eje de la turbina con un generador de electricidad (alternador), que transforma la energía mecánica en energía eléctrica. En una central hidroeléctrica el agua se canaliza a la cámara de carga colocada en el nivel superior y desde este punto, a través de tubería el agua se conduce a la turbina que se encuentra más abajo.

La energía del agua, pasando a través de la turbina, determina la rotación del rotor de la turbina misma. El eje del rotor está conectado directamente a un alternador que es quien produce la energía eléctrica.

La potencia eléctrica que se puede obtener de una central hidroeléctrica depende principalmente de la cantidad de agua canalizada hacia la turbina (caudal), del salto de agua (diferencia de alturas), y además del rendimiento del generador eléctrico. El agua que sale de la turbina es devuelta a su curso original a un nivel más bajo respecto al que fue recogida.

Una Central Hidroeléctrica tiene los siguientes componentes:

Bocatoma: es una estructura que permite captar el agua de la fuente hídrica y derivarla hacia el canal de acceso. Debe disponer de componentes que permitan el ingreso del agua sin presencia de elementos extraños, y debe permitir regular el caudal de ingreso.

Canal de acceso: conduce el agua desde la Bocatoma hasta la Cámara de Carga. Sus parámetros de diseño son: caudal, sección, pendiente, material, y su longitud desde la bocatoma hasta la cámara de carga.

Cámara de carga: depósito que alimenta con agua a la Tubería de Presión, evita el ingreso de materiales extraños que puedan perturbar el funcionamiento de la turbina. Se equipa con: compuertas de derivación y limpia, rejillas, rebalse y canal lateral para conectar al Canal de Demasías.

Canal de demasías: permite conducir el excedente de agua que rebosa de la cámara de carga.

Tubería de presión: es la que conduce el agua desde la cámara de carga hasta la turbina, entregándola a la presión generada por el desnivel de la caída. Si la tubería es de acero, va instalada sobre apoyos. Si es de PVC, ésta necesariamente debe ir enterrada.

Casa de máquinas: es el lugar donde se encuentra instalado el grupo hidroeléctrico, conformado por Turbina Hidráulica, Generador Eléctrico, Tablero de Control, Regulador Automático.

Tablero de control: este cumple con la función de regular la operación de los equipos a fin de controlar las variables de la energía de salida: el voltaje, frecuencia y amperaje.

Canal de descarga: es el encargado de conducir el agua, después de entregar su energía a la turbina, de retorno hacia el río, o bien a otro sistema de tuberías para utilizarla en el riego de las plantaciones.

Subestación elevadora – Línea de transmisión – Subestación de bajada: el alternador acoplado al eje de la turbina genera una corriente alterna de alta intensidad y baja tensión, esta corriente posteriormente pasa a un transformador que la convierte en alta tensión y baja corriente, apta para su transporte a grandes distancias con un mínimo de pérdidas.

Luego, en los centros de consumo, un nuevo transformador la convierte en una corriente de baja tensión para su aplicación directa a los receptores domésticos e industriales.

1.3.2 Formas de aprovechamiento del caudal.

El caudal de agua es un factor que incide directamente en la potencia eléctrica que puede obtenerse en una central hidroeléctrica, razón por la cual es importante lograr su máximo aprovechamiento. El mayor beneficio del caudal se obtiene al lograr que éste sea lo más constante posible.

Centrales de agua fluyente, una central de pasada o agua fluyente es aquella en donde no existe una acumulación de agua "corriente arriba" de las turbinas. En una central de este tipo las turbinas deben aceptar el caudal disponible del río "como viene", con sus variaciones de estación en estación, o si ello es imposible el agua sobrante se pierde por rebosamiento.

En ocasiones un embalse relativamente pequeño bastará para impedir la pérdida por rebosamiento y obtener un caudal mas uniforme. El agua o se utiliza en las turbinas o se derrama por el aliviadero de la central. Son las más frecuentes y entre ellas se encuentran las centrales de mayor potencia. La central se instala en el curso mismo del río o en un canal desviado, después de interceptar el mismo con un dique de contención.

Centrales con embalse, en este tipo de proyecto se embalsa un volumen considerable de líquido "aguas arriba" de las turbinas mediante la construcción de una o más presas que forman lagos artificiales. El embalse permite graduar la cantidad de agua (caudal) que pasa por las turbinas. Del volumen embalsado depende la cantidad que puede hacerse pasar por las turbinas.

Con embalse de reserva puede producirse energía eléctrica durante todo el año aunque el río se seque por completo durante algunos meses, algo que sería imposible en un proyecto de agua fluyente.

Las centrales con almacenamiento de reserva exigen por lo general una inversión de capital mayor que las de agua fluyente, pero en la mayoría de los casos permiten usar toda la energía posible y producir kilovatios-hora más baratos.

La potencia de una central de agua fluyente siempre es menor que en una central de embalse, esto debido a la capacidad de una central con embalse de lograr un caudal casi constante.

1.3.3 Equipos auxiliares utilizados en una Hidroeléctrica.

El equipo básico con el que se puede lograr la transformación de la energía hidráulica en eléctrica es; Toma de Agua, Tubería de Presión, Turbina Hidráulica, Regulador Automático (gobernador) y Generador Eléctrico (alternador).

Los equipos auxiliares en una hidroeléctrica son los encargados de aportar el control y seguridad del sistema, entre ellos se pueden mencionar;

Tablero de Control, desde donde se puede visualizar las diferentes mediciones de las variables de control para los diferentes procesos de la producción de energía eléctrica tales como voltaje, amperaje y frecuencia que entrega el generador, así como también la velocidad (rpm) y caudal de la turbina.

Bombas de agua, se utilizan principalmente para lograr el enfriamiento de los generadores eléctricos, haciendo recircular el agua que sale de la turbina hacia el o los generadores y de vuelta al canal de descarga.

Bombas de Lubricación, encargadas de hacer recircular un agente lubricante para disminuir la fricción y el calentamiento de las partes móviles de la turbina, el gobernador y el generador (en sus ejes).

Grúa Puente, instalada en la parte superior de la casa de máquinas, se utiliza para el desmontaje de los equipos, ya sea para su mantenimiento o reparación.

Extintores, equipo de seguridad básico con que se debe contar como contingencia en caso de algún siniestro. Debe ser seleccionado el tipo adecuado para esta clase de instalaciones.

Banco de Baterías, para la autoalimentación eléctrica en caso de que las unidades estén fuera de servicio y vayan a entrar en operación.

Válvulas de Mariposa y Esféricas, las válvulas de mariposa, también son llamadas de paso, se instalan al principio de la tubería forzada y sirven de control cuando se necesita cortar el paso del agua por cualquier fallo o fuga en la tubería de presión. Las válvulas esféricas se colocan al final de la tubería forzada, solo un poco antes de las turbinas, están diseñadas para soportar mayores presiones y su objetivo es regular el caudal de agua que ingresa a la turbina o detenerlo en caso de algún problema con el equipo.

Taller mecánico y Eléctrico, se debe contar con la herramienta necesaria para llevar a cabo en forma satisfactoria un trabajo de mantenimiento o reparación.

Cabe mencionar que el uso de estos equipos auxiliares depende mucho del tamaño de la hidroeléctrica, ya que en una minicentral hidroeléctrica puede no ser necesaria la grúa puente u otro equipo auxiliar. Así también puede haber centrales hidroeléctricas que necesiten equipos auxiliares diseñados específicamente para sus condiciones de operación.

2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA HIDROELÉCTRICA

2.1 Localización actual de la Hidroeléctrica.

La hidroeléctrica del Ingenio San Diego se encuentra ubicada a 300 mt al sureste de la planta industrial del ingenio azucarero dentro de la finca San Diego, la cual dista 7.8 km del centro de la ciudad de Escuintla sobre la carretera que de ésta ciudad conduce a Antigua Guatemala. Ver plano de localización (anexo 2).

2.2 Equipo utilizado.

El equipo utilizado en la hidroeléctrica actualmente es el siguiente:

Canal de acceso, el agua que se utiliza en el sistema se conduce por medio de un canal hecho de hormigón, que tiene las siguientes dimensiones: 1.2m de ancho, 2.5m de alto y 175m de largo. El agua proviene de un nacimiento de agua que se encuentra dentro de la finca Monte María, constituyéndose así en una central de agua fluyente lo que proporciona un caudal bastante uniforme.

Embalse, se posee un estanque de 295m³ para el almacenamiento de agua. Este embalse cumple con dos funciones principales, la primera es lograr que el caudal entregado a la tubería de presión sea lo más constante posible. La segunda es actuar como filtro, ya que cuenta con una serie de rejillas para retener toda partícula extraña que pueda dañar las turbinas.

Tubería de presión, a partir del tanque de embalse parten 2 tuberías de presión que bajan hacia el cuarto de máquinas, esto debido a que se emplean 2 turbinas hidráulicas para la producción de energía eléctrica.

Turbinas Hidráulicas, son dos turbinas del tipo Francis, una de 150Hp marca Westinghouse, de 900rpm y la otra marca Voith, de 340Hp y 900rpm. Cada turbina tiene un gobernador que regula el flujo de agua que ingresa a la misma con el objeto de variar su velocidad en función de la carga requerida por el sistema.

Generadores, son dos generadores sincronicos, uno de 125KWh y el otro de 250KWh, los dos se encuentran acoplados a los ejes de su respectiva turbina por medio de un sistema de poleas y fajas. Ambos generadores trabajan a una tensión de 480 voltios.

Transformador, Es el encargado de elevar la tensión obtenida por los generadores de 480 a 2400 voltios para su transmisión en líneas de alta tensión desde el cuarto de máquinas hasta la subestación localizada a 300 metros dentro de las instalaciones del ingenio.

La subestación cuenta con varios transformadores que reducen la tensión a 480 y 240 voltios trifásico para uso en el área industrial del ingenio y 120 voltios monofásicos para uso domiciliario en el resto de la finca.

2.3 Producción actual de energía.

Los dos generadores trabajan en forma sincronizada aportando en conjunto una potencia efectiva de 272 KWh en el horario comprendido de 07:00 a 22:00 horas, periodo en el cual existe una mayor demanda tanto dentro del ingenio como en la finca. Y 200 KWh de 22:00 a 07:00 horas.

La hidroeléctrica opera solamente durante la época de no zafra (época de mantenimiento y reparación) del ingenio, esto para evitar la compra de energía.

Durante la época de zafra la energía generada a partir de la combustión de bagazo de caña es suficiente para cubrir la demanda energética tanto del ingenio como de la finca. Es durante éste período que se aprovecha para darle mantenimiento y hacer reparaciones a todo el sistema eléctrico y mecánico de la hidroeléctrica.

2.4 Costos de producción.

Los costos de operación de una Hidroeléctrica son significativamente menores que una Termoeléctrica o una Geotérmica, debido a que los elementos que la componen son bastante simples y por consiguiente lo es su operación y mantenimiento. Los costos de producción actuales de la hidroeléctrica son los siguientes:

- 02 operadores, en dos turnos de 12 horas cada uno, devengando la cantidad de Q 50.00/día, más 4 horas extraordinarias diarias, para un total de Q 5,250.00 al mes.
- 05 galones/mes de lubricante Turbo 68, por fugas del sistema, a 41.25 Q/galón, para un total de Q 206.25 al mes.
- También se gasta un promedio de Q 2,800 al mes en otros consumibles, tales como: estopa, la cual se cambia constantemente para minimizar las fugas de agua en las turbinas, y artículos de limpieza general como escobas, desengrasante, wippe, trapos, etc.

El total de costos por mes de operación asciende a Q 8,256.25.

2.5 Precio de la energía eléctrica.

2.5.1 Precio de venta

El precio actual de venta de la energía eléctrica que el ingenio entrega al Sistema Eléctrico Nacional es de US \$0.05KWh, y esto se logra sólo durante el período de zafra; pues en la época de reparación la hidroeléctrica no es capaz de producir un excedente para comercializarlo.

Para los generadores privados, la venta de energía se maneja por medio del Administrador del Mercado Mayorista (AMM), los precios los colocan las empresas en base al precio internacional del petróleo; debido a que la mayoría de generadoras son termoeléctricas, las cuales utilizan derivados del petróleo para su operación. El precio promedio actual es de US \$ 60.00MWh.

La AMM se encarga de coordinar las transacciones entre los participantes del mercado mayorista de electricidad de Guatemala (generadores, comercializadores, grandes usuarios, distribuidores y transportistas).

2.5.2 Precio de compra

El ingenio compra energía a la Empresa Eléctrica al precio de US\$ 0.25KWh.

2.6 Cantidad de energía consumida en el ingenio.

El ingenio tiene una demanda o carga fija de 200KWh, por el uso de la maquinaria y equipo empleado en las reparaciones y mantenimientos de la planta.

3. SITUACIÓN PROPUESTA

Se propone la reubicación de la hidroeléctrica, aguas abajo, con el objetivo de incrementar la cantidad de energía producida, ya que actualmente el salto de agua que se tiene es el factor limitante, pues los equipos utilizados tienen una potencia nominal mayor al rango en que actualmente se opera.

3.1 Nueva ubicación de la Hidroeléctrica

Para la reubicación de la hidroeléctrica se propone un punto que reúne las condiciones adecuadas para el montaje de las instalaciones, se encuentra ubicado a 375 metros al sur del embalse de agua, dentro del perímetro de la finca San Diego (apéndice 1).

3.1.1 Nuevo diferencial de altura obtenido

El diferencial de altura obtenido con la reubicación de la hidroeléctrica es: $\Delta h = 42.5$ metros, lo cual proviene de la diferencia de altura entre el inicio de la tubería hasta el eje de la turbina en la nueva ubicación, más la altura del agua en el embalse.

Para determinar las alturas y su diferencial se toma como referencia el correspondiente mapa de Curvas de Nivel (apéndice 2).

3.1.2 Necesidad de equipo nuevo

Con los datos de diferencial de altura aplicados en la fórmula de potencia para turbinas:

$$P = \rho * g * Q * h * \eta$$

Donde:

P = Potencia (Kw)

$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

g = gravedad 9.81 m/s^2

η = eficiencia promedio de la turbina y generador = 85.5 %

Q = Caudal $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$

h = Diferencial de altura = 42.5 m

Sustituyendo obtenemos: P = 428 Kw

La potencia nominal de las turbinas actuales combinadas es de 375 Kw y la nueva potencia calculada en base al diferencial de altura es de 428 Kw, por lo que no se considera necesario la adquisición de una nueva turbina para cubrir los 53 Kw extras.

3.2 Energía a producir

3.2.1 Cantidad total de energía producida

La cantidad total de energía producida esta determinada por la capacidad de los generadores, ya que el diferencial de altura obtenido es suficiente para exceder las especificaciones máximas del conjunto generador. Por esta razón, la cantidad máxima a producir es de 375 KWh.

De los 375 KWh que se generarán con la reubicación se puede destinar 300 KWh. para uso del ingenio y la finca, y los 75 KWh excedentes comercializarlos por medio de la AMM. Adicionalmente al interconectarse con el Sistema Eléctrico Nacional se logra estabilidad para el arranque de motores grandes, lo que actualmente no puede hacerse.

3.3 Costo de traslado de la Hidroeléctrica.

El costo para el proyecto del traslado de la hidroeléctrica esta dividido en cuatro partes, siendo estas: costos de edificación, costo de la tubería, costo de traslado del equipo y costo de la ampliación de la red eléctrica. El costo total asciende a 530,128.20 Quetzales.

Para minimizar los costos de la reubicación se aprovecharán algunos recursos existentes en la actual casa de máquinas y que aún están en buen estado, tales como: la lámina del techo, puerta, ventanas, el portón e instalaciones eléctricas (lámparas, tomacorrientes, interruptores, etc.)

3.3.1 Costo de cimentación

Los costos de cimentación están integrados por la construcción de la nueva casa de máquinas y cimientos de las bases para los equipos.

Cantidad	Materiales para casa de máquinas	Precio unitario	Total
1500	Blocks de 20 x 40 x 15 cm.	Q 2.30	Q 3,450.00
30	Quintales de hierro de 1/2"	Q 238.00	Q 7,140.00
2	Quintales de hierro de 1/4"	Q 214.25	Q 428.50
1	Quintal de alambre de amarre	Q 298.00	Q 298.00
60	Sacos de cemento	Q 42.00	Q 2,520.00
20	Metros cubicos de arena	Q 70.00	Q 1,400.00
10	Metros cubicos de piedrin de 3/4"	Q 130.00	Q 1,300.00
20	Costaneras de 2" x 4"	Q 99.70	Q 1,994.00
150	Tornillos buscarosca de 1/8" x 2"	Q 0.40	Q 60.00
5	Libras de clavo de 4"	Q 4.00	Q 20.00
30	Tablas de madera 10' x 1' x 1" (alquiladas)	Q 7.00	Q 210.00

continúa

30	Parales de madera 10' x 3' x 4' (alquiladas)	Q 6.00	Q 180.00
40	mano de obra por metro lineal de cimentación	Q 40.00	Q 1,600.00
220	mano de obra por metro cuadrado de construcción	Q 30.00	Q 6,600.00
120	mano de obra por metro lineal de fundición	Q 20.00	Q 2,400.00
91	mano de obra por metro cuadrado de piso	Q 25.00	Q 2,275.00
440	mano de obra por metro cuadrado de repello	Q 20.00	Q 8,800.00
91	mano de obra por metro cuadrado de entechado	Q 30.00	Q 2,730.00
		Total	Q 43,405.50

3.3.2 Costo de traslado de equipo

Comprende las actividades de desmontaje de los equipos y la lamina del techo, traslado hacia la nueva ubicación y el montaje de los equipos.

Cantidad	Traslado de equipo	Precio Unitario	Total
10	Galones de combustible (diesel)	Q 21.00	Q 210.00
1	Operador de grúa (dos días)	Q 90.00	Q 180.00
1	Piloto de plataforma (dos días)	Q 90.00	Q 180.00
1	Electro Mecanico (dos días)	Q 90.00	Q 180.00
3	Ayudantes (dos días)	Q 135.00	Q 270.00
		Total	Q 1,020.00

3.3.3 Costo de tubería utilizada

Para la tubería se utilizará lámina de ¼", rolada, soldada y pintada de los dos lados, en tramos de 6 metros, los cuales se unirán por medio de bridas fabricadas a partir de lámina de ½". También se incluye la elaboración de 50 bases de concreto de 1 x 0.3 metros, para soportes de la tubería.

Cantidad	Materiales para tubería	Precio Unitario	Total
80	Láminas de hierro de 6' x 20' x 1/4"	Q 4,300.00	Q 344,000.00
10	Láminas de hierro de 4' x 8' x 1/2"	Q 2,937.00	Q 29,370.00
600	Tornillos de 3/4 acerado, completos	Q 4.90	Q 2,940.00
1500	Libras de electrodo 70/18 de 1/8	Q 8.25	Q 12,375.00
90	Galones de pintura anticorrosiva	Q 90.00	Q 8,100.00
40	Galones de solvente	Q 45.00	Q 1,800.00
24	Brochas de 4"	Q 14.00	Q 336.00
25	Disco para pulir de 7"	Q 15.00	Q 375.00
10	Disco para cortar de 7"	Q 10.00	Q 100.00
1	Mano de obra Rolado de Lámina	Q 14,040.00	Q 14,040.00
1	Mano de obra Soldadura de Lámina	Q 30,520.00	Q 30,520.00
1	Mano de obra Pintura de Tubería	Q 16,275.00	Q 16,275.00
50	Mano de obra por fundición de soporte de tubería	Q 40.00	Q 2,000.00
1	Gastos herramienta y equipos varios	Q 5,000.00	Q 5,000.00
		Total	Q 467,231.00

3.3.4 Costo de equipo y maquinaria nueva

Con base al análisis realizado en el apartado 3.1.2, no es necesaria la adquisición de equipo y maquinaria nueva, ya que la existente cubre casi en su totalidad la potencia máxima que puede producirse con el nuevo diferencial de altura, ya que la diferencia no es tan significativa como para la obtención de equipo nuevo.

3.4 Evaluación económica

Para tomar una decisión sobre el proyecto de traslado de la hidroeléctrica es necesario hacer un análisis con los índices financieros comunes (apéndice 3). El proyecto tendrá como costos solo el traslado de la hidroeléctrica, ya que no se incurre en costos adicionales de operación y mantenimiento en la nueva ubicación.

Se generan los mismos costos al producir 272 KW que produciendo 375 KW. Los ingresos serán generados por la venta de los 75 KWh adicionales.

Para el primer año, la hidroeléctrica solo operará durante 6 meses, por el tiempo requerido para la ejecución del traslado. Los siguientes 9 años operara durante 10 meses al año, utilizando los dos restantes para un mantenimiento mayor de los equipos e instalaciones.

3.4.1 Valor presente neto

El VPN calculado para el proyecto es de = Q 594,576.28

Para obtener el valor presente neto, se utilizan las siguientes variables:

Tasa de Interés del Ingenio para proyectos de inversión = 15 %

Tiempo de vida del proyecto = 10 años

Flujos netos de efectivo = ingresos – egresos anuales

3.4.2 Tasa interna de retorno

La tasa interna de retorno (TIR) es = 59.10%, la cual está por encima del 15% de interés que el Ingenio requiere de sus proyectos de inversión. La TIR se calcula con base a los flujos netos de efectivo del proyecto.

3.4.3 Tiempo de pago

Es el tiempo estimado, que tardará el proyecto en reintegrar al Ingenio el capital invertido en su ejecución. El tiempo de pago del proyecto es de dos años once meses, equivalente a tres años, es el tiempo que tarda en pasar de negativo a positivo el valor de los flujos descontados acumulados de capital.

4. IMPLEMENTACIÓN

4.1 Material y equipo para obra civil

Para llevar a cabo el traslado de la hidroeléctrica es necesario la construcción de una nueva casa de máquinas, la cual se hará de paredes de block y concreto, techo de lámina y costanera de metal, piso y bases para los equipos de concreto. La casa de máquinas contará con un portón para el ingreso del equipo; una puerta de acceso y tres ventanas para proveerla de ventilación e iluminación.

Cabe mencionar que la obra no es de grandes magnitudes, por lo tanto, solo se utilizará equipo de albañilería común, como pala, cuchara, plancha, niveles, colador, martillo, corta alambre, alicate, etc.

4.2 Maquinaria pesada para el traslado.

Para el traslado del equipo se empleará un camión de plataforma, el cual conducirá desde la antigua casa de máquinas hasta su nueva ubicación las turbinas, generadores y transformador. Para el movimiento de los equipos hacia la plataforma y su colocación en la nueva ubicación, se empleará una grúa hidráulica de al menos 15 toneladas.

Tanto la grúa como el camión serán proporcionados por el ingenio durante el tiempo necesario para la ejecución de dichas maniobras. Además del piloto de cada unidad, el Ingenio también proveerá tres ayudantes para el mismo propósito.

4.3 Extensión de las líneas de transmisión.

Con el traslado de la hidroeléctrica se hace necesaria la extensión de las líneas de transmisión, para lo que se requiere de la colocación de cinco nuevos postes de concreto con sus respectivos cruceros y sus sistemas de anclaje, ya que serán los encargados de conducir los cables para las tres líneas de transmisión y un cuarto cable para el neutral.

Para la extensión de las líneas de transmisión se debe contratar una empresa que se encargue de la colocación de los postes, el montaje del cableado y sus respectivos empalmes con las líneas actuales.

Los costos del material y mano de obra para la ejecución son los siguientes:

Cantidad	Materiales para ampliación eléctrica	Precio Unitario	Total
840	Metros de cable 1/0 ACSR	Q 4.35	Q 3,654.00
5	Postes de concreto de 40' cada uno	Q 1,428.00	Q 7,140.00
5	Espigas 5/8 soporte recto para crucero de madera	Q 19.70	Q 98.50
5	Cruceros de madera de 96"	Q 81.35	Q 406.75
15	Aisladores tipo pin	Q 19.35	Q 290.25
5	Varillas para ancla de 2 ojos	Q 50.25	Q 251.25
5	Discos de expansión para ancla	Q 61.40	Q 307.00
5	Remates preformados de 5/16"	Q 8.95	Q 44.75
5	Ganchos para tirante	Q 17.50	Q 87.50
5	Prensas triple	Q 17.75	Q 88.75
5	Conectores de compresión No. 2	Q 2.35	Q 11.75
75	Metros de cable para tirante 5/16"	Q 3.20	Q 240.00
5	Brace galvanizado de 28"	Q 15.40	Q 77.00
5	Tornillos de carruaje de 3/8 x 5"	Q 3.05	Q 15.25
5	Tornillos de máquina de 5/8 x 12"	Q 6.35	Q 31.75
5	Tornillos de máquina de 5/8 x 14"	Q 5.90	Q 29.50
3	Tornillos de rosca corrida de 5/8 x 18"	Q 13.05	Q 39.15
3	Argollas sin rosca de 5/8	Q 9.95	Q 29.85
3	Aisladores azuza No. 2 para remate	Q 63.45	Q 190.35

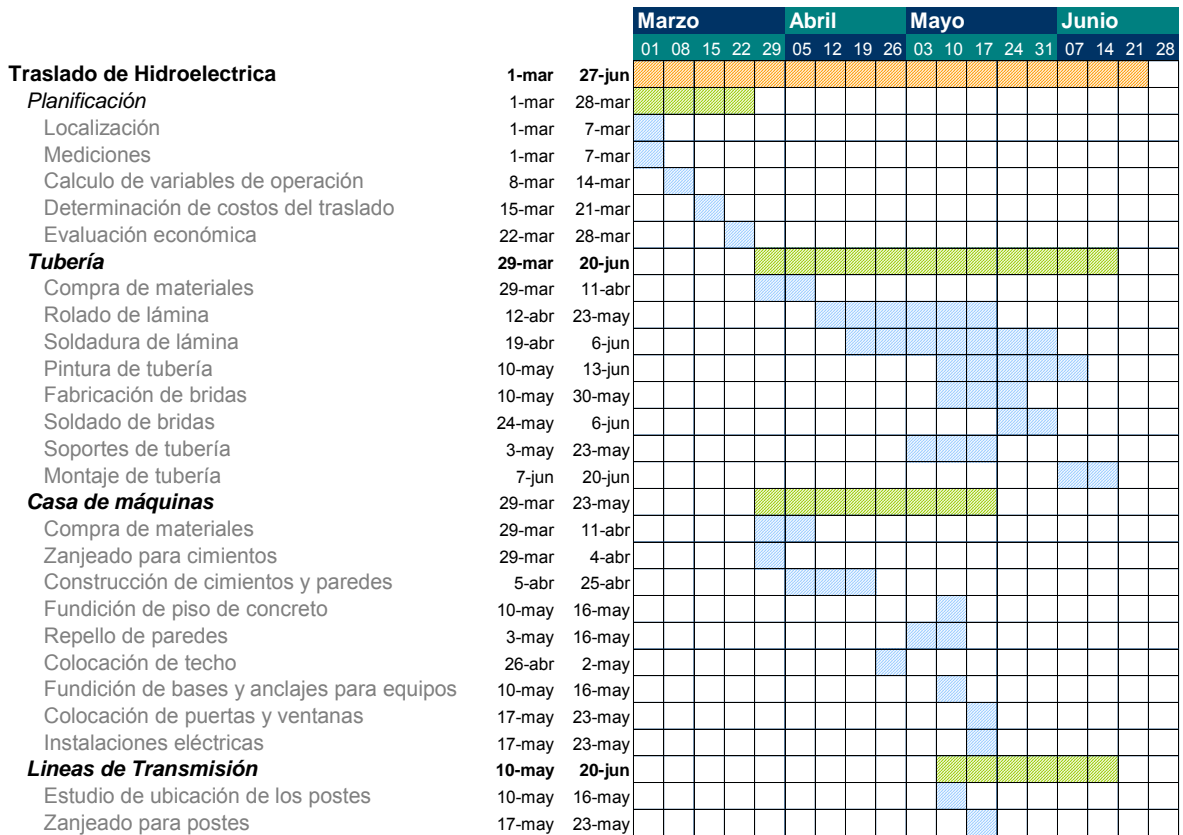
continúa

3	Ganchos de pasador para disco de remate	Q 11.85	Q 35.55
3	Grapas de aluminio para remate de 6 1/0	Q 37.60	Q 112.80
5	Mano de obra por instalación de 5 vanos de línea	Q 1,058.00	Q 5,290.00
Total ampliación eléctrica			Q 18,471.70

4.4 Planificación del proyecto

Abarca el tiempo utilizado desde el estudio económico del proyecto hasta la puesta en marcha del mismo, todo indicado gráficamente en un diagrama de Gantt.

4.4.1 Diagrama de Gantt



			Marzo			Abril				Mayo				Junio					
			01	08	15	22	29	05	12	19	26	03	10	17	24	31	07	14	21
Colocación de postes	24-may	30-may																	
Fundición de base para los postes	24-may	30-may																	
Colocación de anclajes y cable tensor	31-may	6-jun																	
Instalación de cruceros de madera	31-may	6-jun																	
Montaje de cables para transmisión	7-jun	13-jun																	
Remate de líneas	14-jun	20-jun																	
Traslado de Equipo	7-jun	13-jun																	
Desmontaje de equipo	7-jun	13-jun																	
Traslado de equipo	7-jun	13-jun																	
Montaje e instalación de equipo	7-jun	13-jun																	
Acople de tubería	14-jun	20-jun																	
Pruebas de arranque	21-jun	27-jun																	
Pruebas de potencia, transmisión y control	21-jun	27-jun																	

4.5 Lista de chequeo pre-arranque

Comprende todas las actividades que deben realizarse antes y durante el arranque de la hidroeléctrica, con el objetivo de asegurar el correcto funcionamiento de los equipos.

Actividades a realizar antes del arranque de la Hidroeléctrica	Conforme	No Conforme
Verificación del nivel de agua en el canal de acceso		
Revisar que la rejilla del embalse este libre de objetos extraños		
Revisar la tubería de presión en busca de fugas		
Accionar el sistema de agua de enfriamiento de las turbinas		
Verificar que no haya fugas de agua en el sistema de enfriamiento		
Accionar el sistema de lubricación de los cojinetes de las turbinas		
Verificar que no haya fugas de aceite en el sistema de lubricación		
Accionar el sistema hidráulico del regulador de la turbina (gobernador)		
Verificar que no haya fugas de aceite hidráulico en el gobernador		
Verificar la apertura de las válvulas de paso de agua de la tubería de presión hacia las turbinas.		
Verificar que no haya fugas de agua en las turbinas		
Girar los alabes de las turbinas a la posición de arranque		
Verificar que el gobernador regule la velocidad de la turbina		

continúa

Conectar la corriente de excitación de los generadores		
Conectar el sincronoscopio		
Verificar con el sincronoscopio que la frecuencia, voltaje y ángulo de la energía generada sean las requeridas para conectarse a la red		
Cerrar el interruptor principal para dejar la hidroeléctrica en línea con la subestación del ingenio		
Confirmar con la AMM autorización para conectarse al sistema eléctrico nacional		
Verificar el correcto funcionamiento del contador principal y el de respaldo		

5. MEJORA CONTINUA

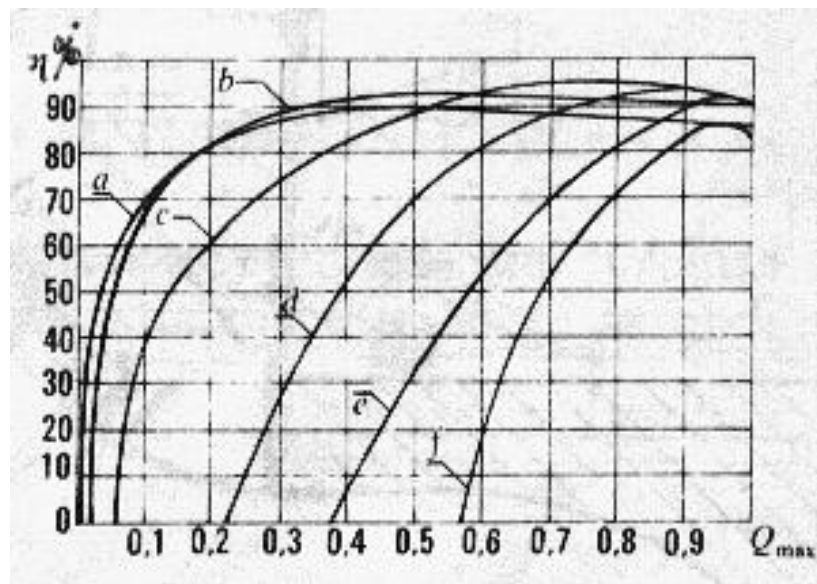
5.1 Índices de evaluación

5.1.1 Curvas de eficiencia de la Turbina

Esta viene dada por la relación entre la cantidad de agua que se consume en una turbina y la eficiencia de producción de energía que se logra en la misma. Esta información la entrega el fabricante con la compra del equipo (turbina y generador).

Generalmente en las turbinas hidráulicas su mayor eficiencia se obtiene con el 90% del caudal máximo que admite la turbina. El fabricante calcula los rendimientos máximos de la turbina por medio de simuladores digitales.

Figura 1. Curva de eficiencia para turbina tipo Francis



5.1.2 Rendimiento del caudal

Para establecer el rendimiento del caudal, se debe comparar la cantidad de energía que teóricamente se debe producir con un caudal predeterminado, contra lo que realmente se produce en la práctica. La variación entre las dos cantidades nos indica que tan eficiente o deficiente esta siendo el sistema.

Una cantidad muy baja de energía producida con respecto a la teórica nos indica un mal funcionamiento del sistema, que puede deberse a sedimentación e incrustación de la tubería o bien fallas en la turbina tales como alabes en mal estado o alabes quebrados, lo cual no permitirá el adecuado aprovechamiento del caudal.

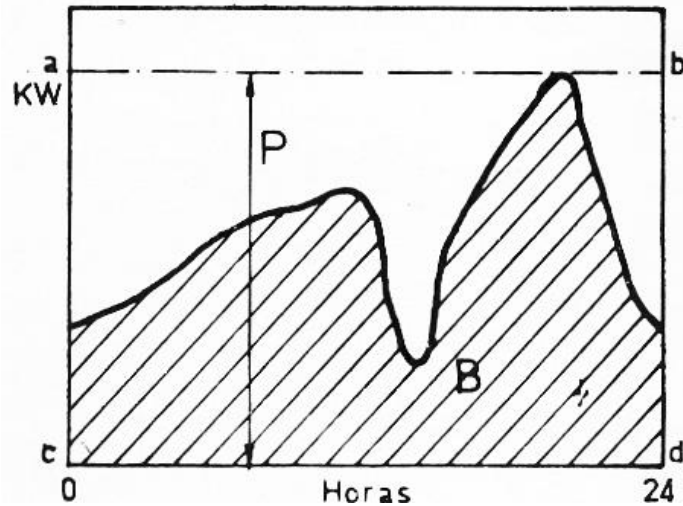
5.2 Reportes de seguimiento

Son los reportes que se pueden implementar conteniendo la información del comportamiento de los equipos a través del tiempo. Esta información histórica puede servir como base para la toma de decisiones futuras.

5.2.1 Producción de energía

La AMM entrega a cada productor de energía un programa de carga diaria, la cual detalla la potencia que debe generarse en cada periodo de tiempo. Esta es la razón principal por la cual debe llevarse el control de la potencia generada durante el día y la energía total acumulada. El reporte de producción diaria puede llevarse por medio de graficas, para la fácil comprensión del comportamiento de operación de la hidroeléctrica.

Figura 2. Ejemplo diagrama de producción diaria de energía



Al final del período de 24 horas, se debe anotar la lectura del contador principal y a ésta se le resta la lectura del contador correspondiente del día anterior, para obtener la cantidad de energía total generada durante el día.

Adicionalmente, se pueden llevar registros de información de los factores que puedan influir en la generación de la energía. Se puede graficar una curva del nivel de agua del embalse durante un día para observar su comportamiento con los diferentes niveles de producción de energía en el mismo período.

Es importante llevar un record histórico de los consumibles utilizados durante el día, tales como: aceite para el sistema de lubricación, aceite hidráulico para el gobernador, estopa para los sellos de las turbinas, etc., ya que un marcado incremento en su consumo puede indicar una posible falla en cualquiera de los sistemas.

5.2.2 Mantenimiento Preventivo

Es necesario implementar un registro del mantenimiento o reparaciones realizadas a los equipos, así como contar con un programa de mantenimiento preventivo a fin de evitar en lo posible tener que llegar a un mantenimiento correctivo, el cual requerirá de un mayor tiempo de ejecución así como el incremento de los costos de operación.

El mantenimiento se debe dividir en dos partes: una mecánica y otra eléctrica, procurando que las personas encargadas de realizarlo posean amplios conocimientos específicos en cada área.

Un programa de mantenimiento preventivo para los equipos puede ser el siguiente:

Parte mecánica.

Rutina diaria:

- Búsqueda de fugas de agua en la turbina
- Revisión de fugas de aceite en el sistema de lubricación e hidráulico
- Toma de temperatura de las chumaceras de las turbinas y los generadores
- Limpieza de los equipos
- Limpieza de las rejillas del embalse

Rutina semanal:

- Revisión y limpieza de los filtros de aceite del sistema de lubricación e hidráulico (cambiar si es necesario)

- Revisión de las fajas de transmisión de potencia, de las turbinas a los generadores
- Revisión del funcionamiento de las compuertas del embalse y válvulas en la tubería

Rutina anual:

- Revisión del desgaste en el impulsor y los alabes de las turbinas por medio de su comparación con plantillas (ver anexo 5)
- Búsqueda de fisuras o poros en el impulsor por medio de ensayos no destructivos (aplicación de líquidos penetrantes)
- Revisión y limpieza de los cojinetes y chumaceras de las turbinas y los generadores (cambiar si es necesario)
- Desmontaje, revisión y limpieza del sistema de enfriamiento
- Desmontaje, revisión y limpieza del sistema de lubricación y sistema hidráulico
- Cambio de las fajas de transmisión de potencia

Parte eléctrica.

Rutina diaria:

- Limpieza del tablero de control
- Limpieza de los motores eléctricos de las bombas de agua y de lubricación
- Verificación del funcionamiento del tablero de control
- Revisión de los contadores Principal y de respaldo
- Verificación de las especificaciones de la energía producida

Rutina semanal:

- Limpieza de los contactores y guarda motores

- Revisión del desgaste de los carbones o escobillas de los generadores
- Revisión del funcionamiento del sistema de control del gobernador

Rutina anual:

- Desmontaje y limpieza general del panel de control con limpia contactos
- Desarme, revisión y limpieza de los generadores
- Cambio de carbones o escobillas
- Revisión y limpieza del transformador
- Revisión del nivel de aceite dieléctrico en el transformador
- Prueba del índice de polarización de los generadores (mide el nivel de suciedad y humedad de un generador de corriente).
- Revisión y limpieza de las líneas de transmisión
- Poda de las ramas de los árboles que estén cercanas a las líneas de transmisión

Mantenimiento anual de la turbina tipo Francis:

Este tipo de turbinas es el que está más sujeto a los efectos perjudiciales que produce la arena. Las revisiones periódicas necesarias dependen de la altura del salto y de las cualidades del agua.

Para las turbinas que trabajan con un salto mayor de 20 mts, deberá practicarse una revisión anual. La primera revisión después de la puesta en servicio permitirá fijar los intervalos de tiempo en los que habrá de efectuar las sucesivas revisiones.

La revisión se extenderá a los siguientes puntos:

- Estado del intersticio de la circunferencia de la rueda, es decir, importancia del juego existente entre el rodete y el distribuidor.
- Estado de los laberintos circulares, de los alabes móviles, del codo de aspiración y de la envolvente de la turbina a la salida de los canales de la rueda.
- Estado de los anillos de protección del distribuidor y de la superficie de los alabes distribuidores.

Para devolver al intersticio erosionado por el agua su medida primitiva, se podrá recargar la rueda por soldadura, torneándola de nuevo hasta obtener su diámetro primitivo o también dotarlos de anillos de protección cambiables para reemplazarlos con objeto de que el nuevo intersticio alcance su valor primitivo. Las erosiones se reparan por medio de la soldadura y del pulido consiguiente.

Cuando el juego de los ejes de los alabes distribuidores, en su soporte, exceda de 0,5mm habrá que igualar los referidos ejes sustituyendo los casquillos de modo que el juego quede disminuido. El juego normal de los laberintos circulares varía entre 0,5 y 1 mm, pero conviene que sea el menor posible para elevar el rendimiento de la turbina y para que disminuya su desgaste.

Si los anillos de blindaje del distribuidor se corroen, habrá que igualarlos al torno y suprimir el juego resultante por medio de cuña de chapa de grosor conveniente; para esto, como se comprende, es necesario que dichos anillos tengan todavía el espesor suficiente, porque en caso contrario deberán sustituirse.

La zona sujeta a fácil corrosión se encuentra al borde de salida del rodete, y al comienzo del tubo de aspiración.

En las turbinas modernas se disponen en este lugar anillos intercambiables de material muy resistente. Cuando no existan estos anillos serán necesarios colocarlos posteriormente o bien se protegerán las partes atacadas con un revestimiento de chapa de acero inoxidable. Los casquillos de las bielas de regulación deberán sustituirse cuando presenten un juego mayor a 0,5 mm.

Las pérdidas de agua a lo largo de los ejes de los alabes pueden suprimirse cambiando los manguitos de cuero de los mismos. La elevación de la velocidad de una turbina Francis cuyo distribuidor se halle completamente cerrado, es una excelente indicación del estado del mismo y pone también de manifiesto el momento en que debe efectuarse la revisión del mecanismo de regulación y del interior de la turbina.

Los choques que se observen en el tubo de aspiración al poner en marcha la turbina, pueden suprimirse introduciendo aire en el mismo. Si se trata de un codo de aspiración, la introducción del aire se efectuará, lo más cerca posible de la rueda motriz y en el radio de curvatura interior; pero si el tubo de aspiración fuera recto se introducirá el aire inmediatamente a la salida de la rueda motriz. Para este objeto las construcciones modernas prevén un espacio anular especial.

Cuando las turbinas Francis trabajan con saltos elevados, pueden vibrar anormalmente en ciertas condiciones de carga que se remedian en las formas siguientes:

- Comprobar si la rueda está bien centrada en el distribuidor, y en caso necesario se taladrarán agujeros que permitan comprobar la medida del intersticio sobre dos diámetros perpendiculares.
- Comprobar el acoplamiento del generador.

- Comprobar la eficacia del dispositivo de entrada de aire en el tubo de aspiración.
- Verificar el juego del soporte, el cual deberá reducirse a 1/1000 de su diámetro, comprobando también si los cojinetes descansan sin juego alguno en el cuerpo del soporte.
- Comprobación de la dilatación longitudinal del eje (debida al recalentamiento de los soportes y desplazamiento eventual de la rueda motriz), elevando o bajando ligeramente el soporte exterior del alternador (esto sólo cuando el grupo no tenga más de dos soportes).
- Verificar la abertura dada por dos paletas directrices consecutivas, cambiando sus palancas de regulación y las bielas que las accionan. Esta medida puede obtener éxito, tanto si se trata de turbina de eje horizontal como de eje vertical.

Cuando se presentan irregularidades en la marcha de una turbina, antes de llevar a cabo las comprobaciones precedentes, deberá procederse a inspeccionar cuidadosamente su interior a fin de determinar si dichas irregularidades se deben a cuerpos extraños que se encuentran en la espiral, en el distribuidor o en el rodete y que impiden el paso regular del agua, siendo ésta la causa de la anomalía en la marcha.

5.3 Reuniones de Información y Actualizaciones

Como parte de la mejora continua se debe programar una reunión mensual con los operadores y los encargados del mantenimiento, para evaluar toda la información generada durante el mes, tanto de producción como de mantenimiento de los equipos y en base a éstas proponer posibles soluciones y las mejoras que apliquen.

Además, se deben aprovechar dichas reuniones para capacitación del personal en diferentes áreas de interés para la empresa, tales como: operación de los equipos, buenas prácticas de manufactura, seguridad e higiene industrial, protección al medio ambiente, normas ISO, etc.

CONCLUSIONES

1. Se identificaron tres diferentes formas de producción de energía eléctrica en el mercado guatemalteco: generación por medio de plantas Termoeléctricas, Hidroeléctricas y Geotérmicas.
2. La hidroeléctrica actualmente genera 272 kWh, mediante dos turbinas hidráulicas tipo Francis acopladas a dos generadores sincrónicos, las cuales son impulsadas por medio de un caudal de 1.2 m^3 de agua con un diferencial de altura de 27 metros.
3. Con la reubicación de la hidroeléctrica se incrementará la producción de energía en un 38%, esto se obtiene variando únicamente el diferencial de altura, al pasar de 27 a 42.5 metros.
4. Con el nuevo diferencial de altura, teóricamente se puede producir 425 kWh, y el conjunto turbinas y generadores tiene una capacidad nominal para producir 375 kWh, por lo que no se justifica una inversión para adquirir equipo nuevo y cubrir la diferencia de 50 kWh.
5. El costo total del traslado es de Q 530,128.20, conformado por cuatro rubros: costos de edificación Q 43,405.50, costo del traslado del equipo Q 1,020.00, costo de la tubería Q 467,231.00 y costo de la ampliación de las líneas de transmisión Q 18,471.70.

6. El beneficio económico es de US\$ 4.5/MWh y se obtiene de la venta del excedente de energía producida (75 Kwh) al Sistema Eléctrico Nacional, con lo cual se recuperará la inversión inicial en tres años.

RECOMENDACIONES

1. Mantener en operación la hidroeléctrica durante un período de diez meses al año, destinando los dos meses restantes para el mantenimiento de los equipos.
2. Vender el excedente de energía producida al Sistema Eléctrico Nacional, por medio del Administrador del Mercado Mayorista (AMM).
3. Elaborar reportes diarios de producción y mantenimiento de los equipos para tener control del funcionamiento de la hidroeléctrica.
4. Capacitar al personal de operación y mantenimiento para la correcta realización de las rutinas de inspección, diarias, semanales y anuales.
5. Mantener un *stock* de repuestos críticos en bodega, tanto los mecánicos como eléctricos.
6. Mantener comunicación con los fabricantes de los equipos, con el objetivo de estar siempre actualizado en nuevas formas o métodos de operación y mantenimiento de los mismos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Fox, Robert W. **Introducción a la mecánica de fluidos**. Segunda edición en español, México. 1995.
2. King, Horace & Wisler, Chester & Woodburn, James. **Hidráulica**. México. 1991.
3. Zubicaray, Manuel V. y Palacios, Pedro A. **Energía Hidroeléctrica; Turbinas y Plantas Generadoras**. México. 1,977.
4. Ortiz Flores, Ramiro. **Pequeñas Centrales Hidroeléctricas Colombia**, 2,001.
5. Streeter, Victor L. & Wylie, E. Benjamín. **Mecánica de los Fluidos**. Octava edición. México. Editorial McGraw Hill, 1988. pp. 595
6. www.monografias.com. Marzo 2,006

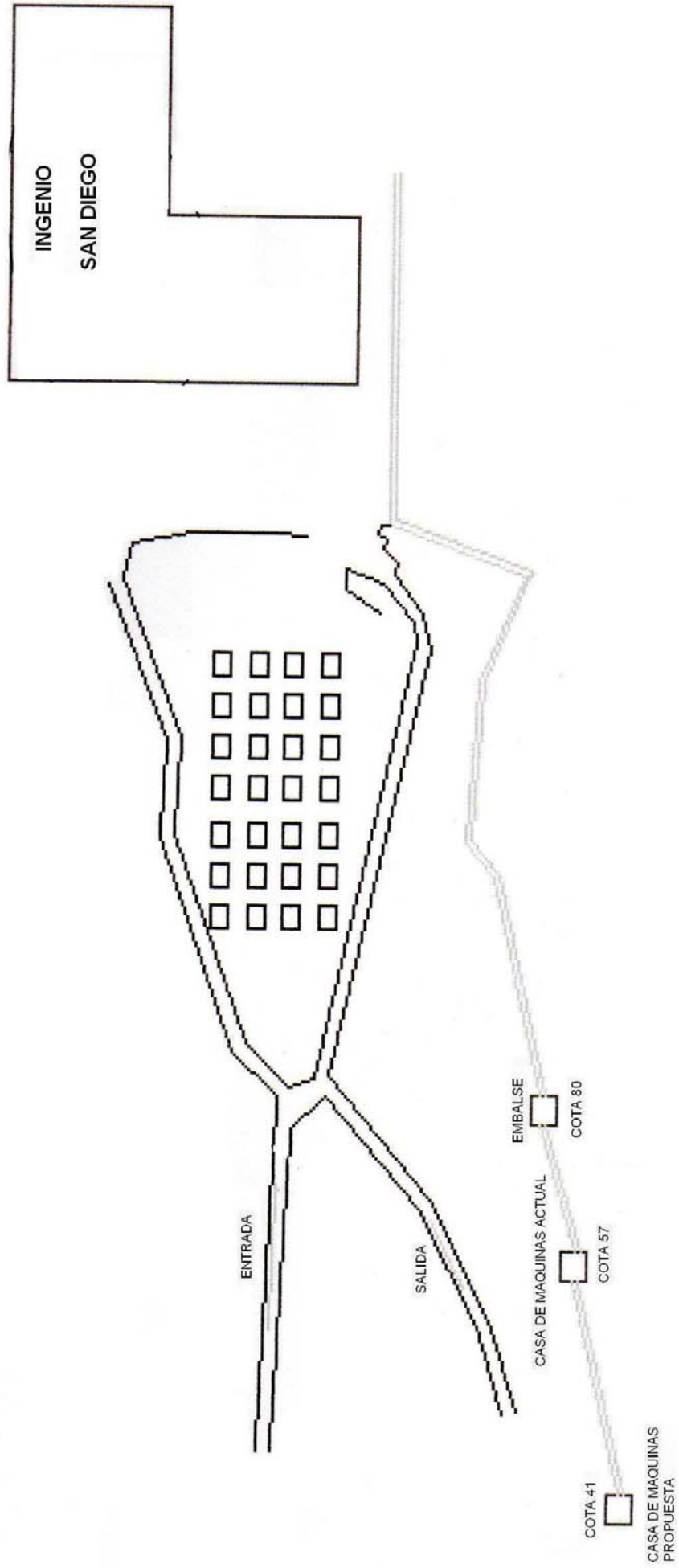
ANEXO 1

CAPACIDAD INSTALADA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL

Nov-03

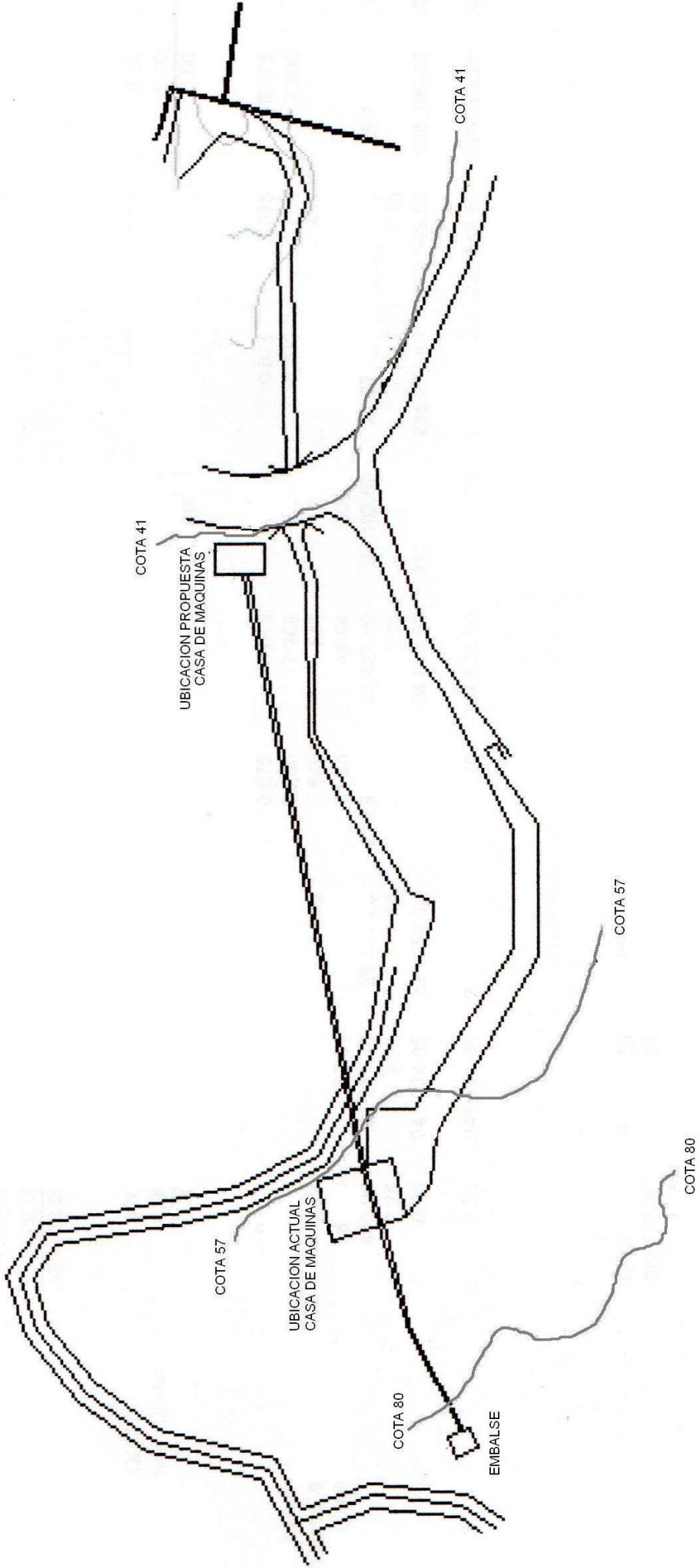
PLANTAS GENERADORAS	UNIDADES	POTENCIA		FECHA DE INSTALACIÓN	UBICACIÓN	
		DE PLACA MW	EFFECTIVA AL SISTEM MW		MUNICIPIO	DEPARTAMENTO
SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL		1,966.3	1,754.7			
HIDROELÉCTRICAS		621.9	569.9			
CHIXOY	5	300.0	275.0	27/11/83	San Cristóbal	Alta Verapaz
AGUACAPA	3	90.0	75.0	22/02/82	Pueblo Nuevo Viñá	Santa Rosa
JURÚN MARINALÁ	3	60.0	60.0	12/02/70	Palín	Escuintla
EL CANADÁ	2	41.6	40.0	Nov-03		
LAS VACAS	1	40.0	38.0	May-02	Chinautla	Guatemala
SECACAO	1	15.5	13.5	Julio/1998	Senahú	Alta Verapaz
ESCLAVOS	2	14.0	13.5	17/08/66	Cuilapa	Santa Rosa
PASABIEN	2	12.0	12.0	Jun-05	Río Hondo	Zacapa
MATANZAS	1	12.0	12.0	Jul-02	San Jerónimo	Baja Verapaz
RIO BOBOS	1	10.0	10.0	10/08/95	Quebradas, Morales	Izabal
POZA VERDE	2	8.1	8.0	Jun-05	Pueblo Nuevo Viñá	Santa Rosa
SISTEMA MICHATOYA	5	6.7	1.0	15/10/27	Escuintla	Escuintla
SANTA MARÍA	3	6.0	6.0	25/06/66	Zunil	Quezaltenango
SAN ISIDRO	2	3.5	3.4	Jul-02	San Jerónimo	Baja Verapaz
EL PORVENIR	1	2.0	2.0	Septiembre/1968	San Pablo	San Marcos
CHICHAIC	2	0.6	0.5	26/07/79	Cobán	Alta Verapaz
TERMOELÉCTRICAS		1344.3	1184.8			
TURBINAS DE VAPOR		221.0	174.9			
SAN JOSÉ	1	142.0	128.9	01 Enero 2000	Masagua	Escuintla
ESC.VAPOR 2	1	53.0	24.0	22/04/77	Escuintla	Escuintla
GGG VAPOR 3	1	13.0	11.0	1959	Amatitlán	Guatemala
GGG VAPOR 4	1	13.0	11.0	1961	Amatitlán	Guatemala
TURBINAS DE GAS		264.0	186.3			
TAMPA	2	80.0	79.3	1995	Escuintla	Escuintla
GGG STEWART & STEVENSON	1	51.0	23.0	24/12/92	Escuintla	Escuintla
ESC.GAS 5	1	41.0	15.0	Noviembre/1985	Escuintla	Escuintla
GGG GAS 4	1	33.0	27.0	1989	Amatitlán	Guatemala
ESC.GAS 3	1	25.0	17.0	09/08/76	Escuintla	Escuintla
ESC.GAS 4	1	*	*	09/08/76	Escuintla	Escuintla
GGG GAS 2	1	23.0	17.0	1978	Amatitlán	Guatemala
ESC.GAS 2	2	*	*	07/05/68	Escuintla	Escuintla
GGG GAS 1	1	11.0	8.0	1964	Amatitlán	Guatemala
MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA		627.2	602.6			
ARIZONA	10	167.0	160.0	Abril/Mayo 2003	San José	Escuintla
LA ESPERANZA	7	126.0	124.0	Mayo de 2000	Puerto Quetzal	Escuintla
PQPC	20	114.0	110.0	1993	Puerto Quetzal	Escuintla
LAS PALMAS	5	66.8	65.0	Septiembre/1998	Escuintla	Escuintla
SIDEGUA	10	44.0	36.0	1995	Escuintla	Escuintla
GENOR	2	42.4	41.6	Octubre/1998	Puerto Barrios	Izabal
GENERADORA PROGRESO	1	22.0	21.0	1993	Sanarate	El Progreso
LAGOTEX	4	20.0	20.0	1996	Amatitlán	Guatemala
AMATEX	2	10.0	10.0	2003	Amatitlán	Guatemala
ELECTROGENERACIÓN	2	15.0	15.0	Nov-03	Amatitlán	Guatemala
INGENIOS AZUCAREROS		182.7	180.2	1992 - 1996	Varios	Escuintla
PANTALEÓN		38.5	38.5			Escuintla
SANTA ANA		33.8	33.8			Escuintla
LA UNIÓN		29.5	29.5			Escuintla
CONCEPCIÓN	1	27.5	27.5			Escuintla
MADRE TIERRA		19.0	19.0			Escuintla
MAGDALENA		15.4	15.4			Escuintla
TULULA		19	16.5			Suchitepequez
GEOTÉRMICA		29.0	26.5			
ZUNIL	1	24.0	22.0	04 Agosto 1999	Zunil	Quezaltenango
CALDERAS	1	5.0	4.5	01 Diciembre 2002	San Vicente Pacaya	Guatemala

Apéndice 1: Plano de Localización

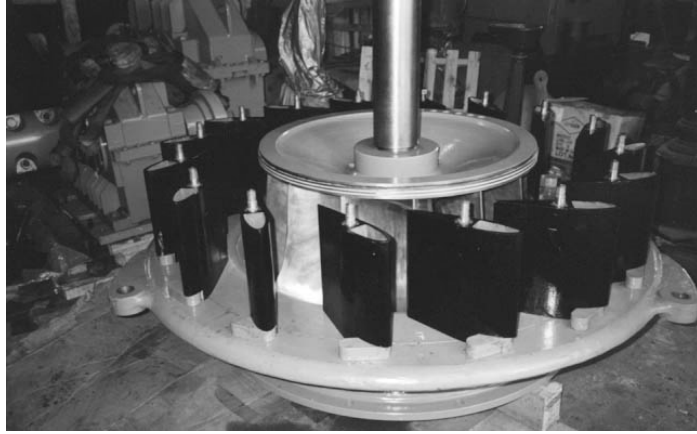


FECHA: 23/03/07

Apéndice 2: Curvas de Nivel



APÉNDICE 4



Alabes de turbina tipo Francis



Impulsor de turbina tipo Francis

APÉNDICE 5



Embalse de agua y canal de acceso



Canal de demasías y rejilla de filtración



Tubería de presión y casa de máquinas



Generador y turbina Francis de 150 Hp.



Turbina de 340 Hp y generador.



Panel de control y transformador.