



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

GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD CON AGUAS RESIDUALES DEL RIO VILLALOBOS

Trabajo de graduación

Presentado al comité de la Maestría en Energía y Ambiente por

INGENIERO CIVIL
Luis Alberto Barquín Galván

Al conferírsele el título de
MAESTRO EN ENERGIA Y AMBIENTE

Guatemala, Octubre de 2,010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

HONORABLE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Murphy Olympo Paíz Recinos
VOCAL I	Inga. Blenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortiz de León
VOCAL V	Br. José Alfredo Ortiz Herincx
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**JURADO EXAMINADOR QUE PRACTICÓ EL EXAMEN PRIVADO DE TESIS
SEGÚN EL ACTA CORRESPONDIENTE**

PRESIDENTE	Ing. Murphy Olympo Paíz Recinos
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez
EXAMINADOR	Ing. Cesar Augusto Akú Castillo
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortíz
ASESOR DE TESIS	Ing. Carlos Hugo Rodas Marotta

HONORABLE COMITÉ EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala presento a su Consideración mi trabajo de tesis titulado

GENERACION DE ELECTRICIDAD CON AGUAS
RESIDUALES DEL RIO VILLALOBOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, con fecha 24 de Julio De 2,010.



Ing. Luis Alberto Barquín Galván

**Universidad de San Carlos
de Guatemala**



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
de Postgrado

Como Revisor de la Maestría en Energía y Ambiente del trabajo de tesis de graduación titulado **GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD CON AGUAS RESIDUALES DEL RIO VILLALOBOS**, presentado por el Ingeniero Civil **Luis Alberto Barquín Galván**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Msc. Ing. César Augusto Akú Castillo
Director
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, Octubre de 2010.

/la.

**Universidad de San Carlos
de Guatemala**



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
de Postgrado

Como Coordinador de la Maestría en Energía y Ambiente, y revisor del trabajo de tesis de graduación titulado **GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD CON AGUAS RESIDUALES DEL RIO VILLALOBOS**, presentado por el Ingeniero Civil **Luis Alberto Barquín Galván**, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz
Coordinador
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, Octubre de 2010.

/la.

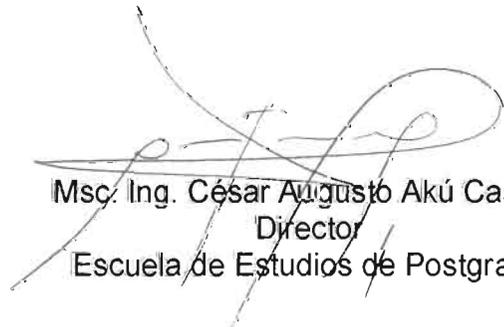
**Universidad de San Carlos
de Guatemala**



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
de Postgrado

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del trabajo de tesis de graduación titulado **GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD CON AGUAS RESIDUALES DEL RIO VILLALOBOS**, presentado por el Ingeniero Civil **Luis Alberto Barquín Galván**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Msc. Ing. César Augusto Akú Castillo
Director
Escuela de Estudios de Postgrado

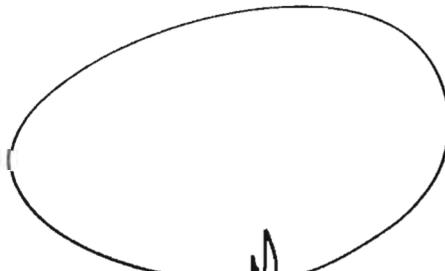
Guatemala, Octubre de 2010.

/la.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al trabajo de graduación de la Maestría en Energía y Ambiente titulado: **GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD CON AGUAS RESIDUALES DEL RIO VILLALOBOS**, presentado por el Ingeniero Civil **Luis Alberto Barquín Galván** procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, octubre de 2010

CAUDAL

Dar es amar
Dar prodigiosamente
Por cada gota de agua
Devolver un torrente

Fuimos hechos así,
Hechos para botar semillas en el surco
Y estrellas en el mar
Y ¡ay! Del que no agote,
Señor, su provisión
Y al regresar te diga:
Como alforja vacía
Esta mi corazón.

Miguel Ángel Asturias.

AGRADECIMIENTOS:

A mi familia, mi Universidad, mis maestros, A mi asesor Ing. Hugo Rodas, a mis compañeros Aníbal Chicojay, Carlos Aguilar, Fernando Alvarez, Ignacio De La Paz por la oportunidad de compartir, y ayuda mutua.

ACTO QUE DEDICO

A MI MADRE:

EJEMPLO DE LUCHA, SACRIFICIO Y ENTREGA

INDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS	5
INDICE DE CUADROS	7
GLOSARIO	9
RESUMEN	13
OBJETIVOS	15
General	15
Especifico	15
HIPOTESIS	17
INTRODUCCION	19
ANTECEDENTES	21
1. POLITICA ENERGETICA	25
1.1 Política energética de Guatemala.	25
1.1.1 Aspectos regulatorios y políticas.	25
1.1.2 participación de energías renovables en el cubrimiento de la demanda.	26
1.1.3 Participación futura de energías renovables en el Cubrimiento de la demanda.	26
1.1.4 Recursos energéticos renovables y no renovables	26
1.1.5 Mandatos ambientales relacionados con energía.	28
2. GENERACION DEELECTRICIDAD CON AGUAS RESIDUALES A PARTIR DEL USO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS.	33
2.1 Uso de aguas residuales urbanas.	33
2.1.1 Lagunas de estabilización.	34
2.1.2 Objetivo del tratamiento de aguas residuales	35
2.1.3 Principios de tratamiento de aguas residuales.	35
2.1.4 Tratamiento anaeróbico.	35

2.1.4.1	Ecología de las lagunas anaerobias.	36
2.1.4.2	Ecología de las lagunas facultativas.	36
2.1.4.3	Geometría de la laguna	38
2.1.4.4	Principios de diseño	38
2.1.4.5	Construcción de lagunas de estabilización.	45
2.2	Calidad y cuantificación del agua del río Villalobos en época seca y lluviosa en un punto previo a la entrada del lago de Amatitlán.	48
2.2.1	Descripción del estudio.	49
2.2.2	Ubicación geográfica de la cuenca	49
2.2.3	Geología y morfología.	50
2.2.4	Flora y fauna.	53
2.2.5	Clima.	53
2.2.6	Temperatura.	54
2.2.7	Municipios con más influencia en la cuenca.	54
2.2.8	Erosión y azolvamiento.	56
2.2.9	Resultados.	58
2.2.9.1	Conclusiones.	61
3.	POTENCIAL HIDROELECTRICO A PARTIR DEL USO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS.	64
3.1	Introducción.	64
3.2	Diseño de un aprovechamiento hidroeléctrico	68
3.2.1	Determinación del caudal de equipamiento.	68
3.2.2	Potencial eléctrico río Villalobos.	69
3.2.3	Potencial a instalar y producción.	75
3.2.4	Instalaciones de obra civil.	77

4. CONCLUSIONES.	94
5. RECOMENDACIONES	96
6. BIBLIOGRAFIA.....	97
7. REFERENCIAS ELECTRONICAS.....	99
8. ANEXOS.....	100

INDICE DE FIGURAS

1.	Grafica despacho de energía periodo 2,005-2,022	28
2.	Sistema de generación con reservorio diario.	40
3.	Sistema de generación con dos reservorios.	41
4.	Sistema de administración de agua en ciudades Andinas.	41
5.	Vista aérea rio Villalobos.	46
6.	Mapa cuenca del lago de Amatitlan.	47
7.	Ríos de la cuenca del lago de Amatitlan	47
8.	Foto erosión de rio Villalobos.	57
9.	Mapa punto de monitoreo rio Villalobos.	57
10.	Foto puntos de muestreo.	58
11.	Grafica construcción de la curva de caudales clasificados.	72
12.	Esquema general de un salto de agua.	74
13.	Sección de una presa.	74
14.	Composición parque generado año 2,009	76
15.	Diseño grafico de azud.	77
16.	Foto generador eléctrico.	88
17.	Foto subestación eléctrica.	89
18.	Foto línea de conducción eléctrica.	90

INDICE DE CUADROS

1.	Estimación de crecidas región III	52
2.	Área total de influencia por municipios	55
3.	Caracterización física de micro cuencas	56
4.	Caudales de ríos de la subcuenca Amatitlan	56
5.	Variación de carga contaminante rio Villalobos	58
6.	Comparación DBO –DQO en el rio Villalobos	60
7.	Matriz de correlación de los parámetros de calidad	60
8.	Regresión lineal de las variables de caudal	62
9.	Coefficiente para la crecida	118
10.	Caudales modulares Tabla 3.	119
11.	Caudales modulares Tabla 4.	119

GLOSARIO

Alta tensión	tensión por encima de 1000 v.
Caudal del río	flujo de agua superficial que proviene de las Precipitaciones y deshielos de las cuencas Hidrográficas del sistema de generación.
Caudal ecológico	caudal mínimo circulante por el río, capaz de Mantener el funcionamiento, composición y Estructura del ecosistema fluvial.
Caudal medio diario	Media de los caudales instantáneos medidos a lo largo del día.
Caudal mínimo técnico	Caudal mínimo de funcionamiento del grupo turbogenerador sin comprometer la degradación de su vida útil.
Caudal de equipamiento	Caudal de diseño de la central.
Caudal de servidumbre	Caudal a dejar en el río por su cauce normal, que engloba el caudal ecológico más el caudal necesario Para otros usos.

Cuenca hidrográfica

Superficie de terreno, cuya escorrentía superficial Fluye en su totalidad a través de una serie de corrientes ríos y eventualmente lagos hacia el mar por una única desembocadura.

Embalse

deposito que se forma artificialmente cerrando la boca de un valle mediante un dique o presa y donde se almacenan las aguas de un rio, a fin de utilizarse para producción de energía eléctrica.

Generador

maquina basada en la inducción electromagnética que se encarga de transformar la energía mecánica de rotación, que proporciona la turbina, en energía Eléctrica.

Hidroelectricidad

energía eléctrica obtenida de la transformación de la energía mecánica de un curso de agua.

Potencia

es el trabajo o transferencia de energía realizada en la unidad de tiempo.

Potencial

eléctrico capacidad anual de producción de energía Hidroeléctrica.

Salto bruto

desnivel existente entre el nivel de agua en el aliviadero del azud y el nivel normal de desagüe de la turbina.

Salto útil	desnivel existente entre la superficie libre del agua en la cámara de carga y el nivel de desagüe en la turbina.
Salto neto	es la diferencia entre el salto útil y las pérdidas de carga producidas a lo largo de todas las conducciones.
Turbina hidráulica	elemento que aprovecha la energía cinética y potencial del agua para producir un movimiento de rotación.
Turbina de acción	turbina que aprovecha únicamente la velocidad del flujo de agua para hacerla girar.
Turbina de reacción	Turbina que además de aprovechar la velocidad del flujo de agua, aprovecha la presión que le resta a la corriente en el momento de contacto.

RESUMEN

El impacto por el cambio climático, el crecimiento poblacional, y el incremento de la demanda energética, así como los compromisos adquiridos en el tratado de Kioto nos obligan a buscar nuevas fuentes de generación de electricidad, buscando minimizar la emisión de gases de efecto invernadero, es por ello que la generación de electricidad con hidroenergía, fuente de generación de origen renovable es una posible solución para atender la demanda que se incrementa en forma proporcional al crecimiento poblacional. Uno de los grandes problemas de las municipalidades es la falta de recursos financieros para resolver el problema sanitario de tratamiento de aguas residuales; una forma de hacer autofinanciable el tratamiento de aguas residuales es haciendo uso de estas aguas residuales urbanas para la generación de electricidad, este tipo de proyectos puede calificar como proyecto de manejo de desarrollo limpio, debido a que ayuda a la reducción de emisiones de los GEI, así como a resolver un problema sanitario. Se analizo caudales de invierno y verano así como calidad del agua en la cuenca del rio Villalobos, siendo el caudal de verano de 1.75 m³/seg y 5.80 m³/seg el caudal de invierno. Para poder generar electricidad se propone utilizar lagunas de estabilización como reservorios para generar electricidad en horas pico, garantizando el caudal de servidumbre, el caudal de agua residual es directamente proporcional al crecimiento poblacional, y su comportamiento grafico es similar a la curva de la demanda energética, por lo que el caudal de aguas residuales estará garantizado con el crecimiento poblacional, pues el agua es el recurso más barato y mas practico para ser utilizado para el transporte de desechos sólidos de origen humano. Cada persona necesita de 150 lts./día para uso domestico, el 70% de estas aguas

residuales llegan a la alcantarilla garantizando un caudal para generación de electricidad.

OBJETIVOS

General

- ✓ Calcular el impacto en la matriz energética de Guatemala por la generación de energía con aguas residuales.

Específicos

1. Determinar el impacto ambiental por el uso de aguas residuales para generación.
2. Determinar requerimientos mínimos de calidad de aguas residuales para generación.

HIPOTESIS

El uso de aguas residuales es una alternativa viable para la generación de energía eléctrica.

INTRODUCCION

Breve historia:

La demanda energética en Guatemala, de 1885 hasta 1,959 fue suplida en su mayoría por el sector privado. El INDE fue creado en 1,959 debido a que el gobierno asume la responsabilidad de prestar el servicio, toda la generación privada fue transferida al INDE.

De los años 1,969 a 1,990 y con la construcción de las hidroeléctricas Aguacapa y Chixoy el servicio de distribución, transmisión y generación se caracteriza por un monopolio público donde el INDE es el responsable.

El sector energético se debilito debido al retraso en la ejecución de las hidroeléctricas Chixoy y Aguacapa, las políticas del gobierno del subsidio tarifario provocaron la disminución de inversiones.

En los años 1990 las políticas de gobierno deben cambiar debido al crecimiento de la demanda, es necesario reducir los subsidios, la economía del país se ve afectada por la devaluación del quetzal.

Es necesario promover la generación privada, especialmente en los ingenios utilizando bagazo de caña.

En 1991 hay crisis de generación lo que provoca apagones de hasta 8 horas; una solución parcial al problema es hacer contratos de compraventa con productores privados; en el año 1992 entra en operación la planta de puerto Quetzal de 100 MW por lo que se rompe el monopolio del INDE-EEGSA.

De 1993 a 1996 el INDE-EEGSA firman 20 contratos de compra de energía con el sector privado, se invierten 383 MW a un costo de 300 millones de dólares en 13 proyectos.

En 1996 se aprueba la ley general de electricidad con el objetivo de disminuir los precios de la energía a través de la creación de un mercado de oportunidad promoviendo la competencia a corto plazo.

A la fecha se ha desarrollado una institucionalidad respetada, formada por la comisión nacional de energía eléctrica (CNEE) como brazo técnico del ministerio de energía y minas y regulador del subsector y administrador del mercado mayorista.

ANTECEDENTES

El cambio climático tendrá profundos efectos por la nueva distribución de recursos.

Los desafíos de la pobreza y el gobierno serán más difíciles de encarar teniendo repercusiones políticas y de seguridad.

Los sucesos climáticos extremos aumentaran la carga política financiera de la respuesta a los desastres.

El cambio climático provocara mayor escases de recursos aumentando la competencia entre los grupos sociales.

Los sistemas de administración de agua estarán sometidos a mayor tensión, conforme se intensifica la tendencia a las sequias.

En Mesoamérica los próximos 5 años se pronostican sequias relacionadas con el evento del niño.

Durante los próximos 20 años la región experimentara de 3 a 5 eventos ENSO (del niño) lo que causara sequias y afectara suministro de alimentos.

Para el año 2,020 la lluvia disminuirá en 5.5% y un 20% para el 2,100 en la región norte de centro América; mientras que en la región sur de centro América aumentara en un 10%.

Actualmente la precipitación anual es de 1,216 mm distribuido en 110 días en los meses de mayo a octubre.

Los impactos para el año 2,030 será de cambios en los patrones de lluvia, cambios en la cantidad de tierra cultivable, destrucción de la infraestructura costera, incremento de inundaciones costeras.

En relación a la demanda energética, será cada vez mayor, requiriendo de nuevas alternativas en las fuentes de generación renovable.

La demanda eléctrica en Guatemala se ha suplido históricamente a través de una combinación de fuentes: hidroeléctricas y de generación geotérmica. Es importante contar con varias fuentes de generación, como apoyo en los ciclos

de la naturaleza, una mezcla balanceada de las fuentes de generación eléctrica reduce el riesgo de precios y aprovechamiento.

Desde un punto de vista microeconómico, un portafolio de generación con energía renovable-aunque se diga que cuesta más producir en el corto plazo-va a reducir el riesgo y el costo de generación, porque sus costos no se mueven con el precio de los combustibles fósiles.

Es importante invertir en tecnologías de generación no fósil, en renovables y tal vez energía nuclear.

De las fuentes de generación renovable, la más viable son las hidroeléctricas, sin embargo existe el riesgo de una variación irregular de los caudales de generación, debido al cambio climático, ya Costa Rica recientemente se vio obligado a racionar el servicio debido a sequías prolongadas; entonces surge la duda: como garantizarse caudales regulares para la generación?

Es indudable que el crecimiento poblacional ir regulado en países en vías de desarrollo será un problema a muy largo plazo, la generación de aguas residuales será uno de los problemas sanitarios a resolver, pues directamente proporcional a la cantidad de personas que habitan determinada zona, de tal forma que el riesgo de reducción de caudal sería menos probable, además se resolvería parcialmente un problema sanitario, con la posibilidad de implementar un programa de manejo de desechos que permita reciclaje, generación por biomasa y el uso de biodigestores como un valor agregado al proyecto.

En la presente investigación, el capítulo 1 se hace una introducción a la política energética y un análisis de la situación actual de la generación hidroeléctrica.

En capítulo 2, se analiza el uso de agua residual y calidad del agua en la cuenca del río Villalobos, así como hace referencia a medición de caudales en época seca y en época lluviosa.

En el capítulo 3 se hace cálculo de potencial eléctrico de generación con aguas residuales.

En el capítulo 4 conclusiones de la investigación. .

En el capítulo 5 recomendaciones.

1. Política energética generación hidroeléctrica 2008-2030

1.1 Política energética de Guatemala

1.1.1 Aspectos regulatorios y políticas

El subsector eléctrico ha contado con normativa oficial, desde la creación del INDE esta normado la generación eléctrica con recursos renovables..

El decreto ley 20-86 se emitió para incentivar el uso de energías renovables; por tener un vacío legal se cancelo y se aprobó la ley general de electricidad.

El decreto 4-93 se emitió con el objeto de terminar con el monopolio del INDE.

En 1996 fue aprobada la ley general de electricidad, busca fomentar la competencia a corto plazo, pero castiga las inversiones en energías renovables, pues requieren un mayor tiempo de preparación; en 2003 se aprueba la ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable, el reglamento fue aprobado en 2005.

En la ley general de electricidad se introdujo el concepto de generación distribuida renovable;

Una política energética tiene como objetivo mejorar la eficiencia y sostenibilidad ambiental, más equidad, reducir las emisiones de GEI, el uso de los recursos en forma equilibrada y responsable, asegurar el abastecimiento energético pleno, atención especial al combate a la pobreza, oportunidades de mercado dentro del marco de la globalización.

El acuerdo gubernativo 481-2007: POLITICA ENERGETICA Y MINERA fue presentado al congreso, pero no se logro completar en forma jurídica.

La energía no eléctrica nunca ha sido regulada, es necesario normar el consumo de agro combustibles.

1.1.2 Participación de energías renovables en el cubrimiento de la demanda eléctrica

Debido a los cambios de ciclo de la naturaleza, es importante contar con varias fuentes de generación. Es importante considerar que los combustibles fósiles son importados.

Una mezcla balanceada en las fuentes de generación eléctrica reduce el riesgo de precios y aprovechamiento.

El uso de energías renovables reduce el riesgo y el costo de generación, porque no le afecta el precio de los combustibles fósiles.

Se debe tomar acciones para el uso abundante de recursos renovables a través de incentivos y acciones pro activas.

El MEM trabaja en el cambio de la matriz energética para incorporar más energía renovable, eliminar el diesel y sustituir la base por carbón.

1.1.3 Participación futura de las energías renovables en el cubrimiento de la demanda

La CNEE tiene como interés principal asegurar la provisión de energía en Guatemala, con un plan enfocado a la demanda local. En la demanda a futuro se debe tomar en cuenta el desarrollo y crecimiento vegetativo de la demanda, demandas adicionales que presenten las industrias de alto consumo.

1.1.4 Recursos energéticos renovables y no renovables

Según información del MEM los recursos renovables para la producción de energía con que cuenta Guatemala son:

- Hidroelectricidad: se estima un potencial bruto de los ríos del país en 10,900 MW, el potencial técnicamente aprovechable es cercano a los 5,000 MW.

- Eólico: el potencial teórico de energía eólica en Guatemala para generación eléctrica es de 7,800 MW, tomando en base las clases de vientos del 3 al 7. (Mediciones estimadas por el proyecto SWERA del PNUMA.)
- Geotérmico: el potencial para generación con energía geotérmica se estima en 1000 MW.
- Solar: los valores anuales de radiación global para todo el país en promedio son de 5.3 kWh/m²/día. Mapas preparados por SWERA.
- Otro potencial energético no tomado en cuenta es la generación con productos derivados de la biomasa y el uso de la leña.

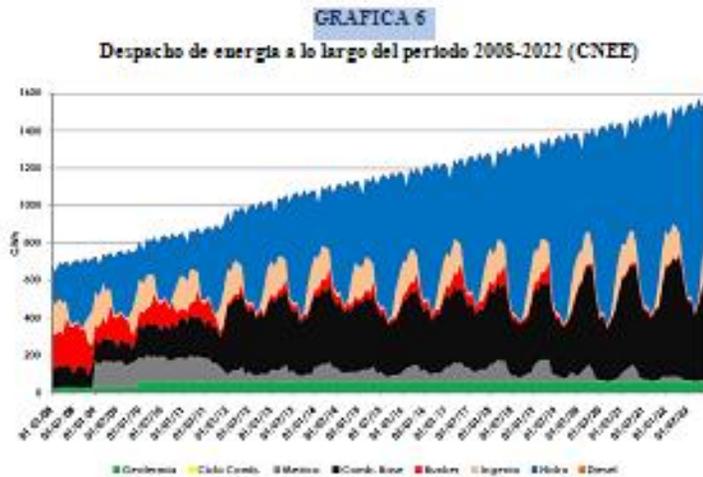
Las reservas de combustibles fósiles se estiman de la siguiente manera:

- Petróleo: según el Energy information administration, Guatemala tiene reservas comprobadas de 526 millones de barriles de petróleo, la producción anual es aproximadamente 20,000 barriles por día.
- Gas: según el Energy information administration, se cuenta con reservas de gas natural de 109 billones de pies cúbicos.
- Carbón: se conoce que existen algunos depósitos de carbón en la zona de Izabal, pero no tienen la calidad para la generación de energía eléctrica y no está cuantificado.

Para el año 2022 la demanda energética estimada será de 17,772 GWh de energía con una capacidad instalada de 3,099 MW en el escenario medio.

En la siguiente grafica CNEE ilustra la simulación con distintas fuentes de generación para satisfacer la demanda a través del tiempo.

La gráfica preparada por la CNEE que se presenta a continuación ilustra la simulación realizada, mostrando como las distintas fuentes de generación satisfacen la demanda a través del tiempo.



Podemos observar que la base (en verde) representa la geotermia, generación renovable con un alto factor de planta, aproximadamente 95%. Eso quiere decir que funciona 24 horas, todos los días, exceptuando paros por mantenimiento. Es una energía muy deseable, y Guatemala tiene más de 1000 MW de potencia estimada (podría ser más). El crecimiento no es muy significativo, pero la CNEE solo toma en consideración plantas que han ingresado solicitudes para aprobación.

La demanda de energía crece en forma paralela a la población. El desarrollo de fuentes renovables implica generación de empleo. Se debe buscar no depender de combustibles importados y utilizar nuestros propios recursos para asegurar la provisión de energía accesible a Guatemala.

1.1.5 Mandatos ambientales y aspectos relacionados con energía.

La generación de electricidad a partir de recursos renovables, permitiría el ahorro en la factura de compra de combustibles al exterior, este ahorro

permitiría invertir en la recuperación de cobertura forestal, y en la creación de bosques energéticos para suplir la demanda de leña.

Una política energética tiene como objetivo contribuir a orientar el desarrollo nacional hacia un modelo en el que el progreso se alcance sin perjuicio o menoscabo de la calidad del ambiente ni del patrimonio natural y cultural de nuestra nación.

Para lograr este objetivo es necesario tomar las siguientes decisiones:

Dentro de la política energética, se deben de afirmar los lazos con la política ambiental y otras políticas de desarrollo, armonizando las acciones para que sean complementarias.

Es necesario la eliminación o mitigación de la pobreza para evitar la degradación ambiental, y llevar a patrones de consumo energético más sustentables. La destrucción de los bosques para sembrar milpa, así como para limpiar extensas áreas boscosas para crianza de ganado, siembras de caña de azúcar y palma africana, el consumo masivo de leña, ha llevado a una seria deforestación en áreas del país, que son los efectos del cambio climático.

Es importante que el progreso económico se oriente al desarrollo sostenible, inter generacional, creciente con enriquecimiento socio ambiental, así como la conservación del patrimonio natural y cultural.

El uso de cualquier tipo de recurso para generar energía tiene impacto en el medio ambiente. Cada recurso tiene impactos específicos.

Para poder hacer uso de recursos renovables y no renovables para generación de energía, hay una serie de requisitos ambientales que cumplir: estudio de impacto ambiental, compromisos con fianzas de cumplimiento para la protección del medio ambiente.

Los temas ambientales importantes que deben estar coordinados entre energía y ambiente son:

- Determinar el grado de contaminación y medidas de mitigación.
- Asegurar que la biodiversidad este fuera de peligro en su ambiente natural.

- Trabajar en que se mantengan niveles bajos de perturbación de ecosistemas naturales.
- Búsqueda de sostenibilidad y eficiencia en el uso de la leña
- Racionalidad en la explotación de los recursos energéticos fósiles
- Racionalidad en el manejo de cuencas hídricas, trabajando con aspectos de gestión integrada de recursos hídricos.
- Acciones para reducir la vulnerabilidad ante el cambio climático.

Para el uso masivo de la leña para cocinar en casi toda el área rural del país, no existe ninguna reglamentación ni regulación que pueda hacerse cumplir. Se necesita educación, plan de sostenibilidad para no destruir el recurso. El uso de la leña, y su relación a la pobreza es un vínculo que se deberá de trabajar, para tener una mayor eficiencia en el aprovechamiento, hacer el consumo más sostenible. También es necesario introducir combustibles más modernos, con mayores eficiencias. El uso de recursos renovables va íntimamente ligado a la protección ambiental, para asegurar la sostenibilidad.

Relación ambiental con la generación eléctrica:

Los aspectos técnicos relacionados con el uso de recursos renovables y el cuidado ambiental para la generación eléctrica están normados a nivel internacional, con parámetros de control estricto, la mayoría de instituciones financieras, especialmente el Banco mundial y el BID, se rigen por políticas socio ambientales que garantizan el buen uso de los recursos, tanto financieros como locales. Actualmente para poder acceder a un contrato de bienes de dominio público para la generación eléctrica, en el caso de los recursos naturales, o una autorización para construcción en el caso de recursos térmicos, se debe de contar con un estudio de impacto ambiental aprobado por el MARN.

Estudio de impacto ambiental:

Objetivos del EIA:

Identificar, describir y cuantificar los probables impactos positivos y negativos que pueden ocasionar la construcción y operación-mantenimiento de una presa.

Proponer las medidas de control que eviten o mitiguen los impactos negativos, así como acciones que potencian los efectos e impactos positivos.

2. GENERACION DE ELECTRICIDAD CON AGUAS RESIDUALES.

2.1 Uso de aguas residuales para generación de electricidad

La generación de electricidad con aguas residuales se puede considerar como una fuente renovable por lo que disminuirá las emisiones GEI correspondientes a los combustibles cuyo uso se evita.

Existe el precedente de hidroeléctrica las vacas, proyecto realizado por Iberdrola en Guatemala, el objetivo del proyecto fue generación de electricidad a partir de una fuente de energía renovable por lo que disminuirá las emisiones de GEI correspondientes a los combustibles cuyo uso se evita.

La hidroeléctrica las vacas tiene una capacidad instalada de 45 MW, situada en el río las vacas. El proyecto se construyó en tres fases, la primera fase de 20 MW se finalizó en mayo de 2002, las segunda y la tercera en mayo de 2003. La central tiene una producción de 120 GWh de promedio anual. La planta utiliza el agua retenida por un dique de gravedad para producir electricidad en los momentos de pico altos de demanda.

Promotores: Iberdrola, cementos progreso, Fabrigas, y Comegsa.

El proyecto hidroeléctrica las vacas es considerado un proyecto mecanismo de desarrollo limpio porque llena los siguientes requisitos:

- Participación en forma voluntaria
- El proyecto cuenta con la carta de no objeción de la administración guatemalteca.
- Los gases objetivos del proyecto son los gases de efecto invernadero citados en el anexo A del protocolo de Kioto.
- La reducción de gases de efecto invernadero es adicional a la que ocurriría en ausencia del proyecto.
- El proyecto contribuye al desarrollo sostenible del país.
- El proyecto supone transferencia de tecnología ecológicamente inocua.

- El proyecto se desarrollo en un país que es parte del protocolo de Kioto y que no pertenece al anexo I de convención Marco de cambio climático.
- Se produce una inversión económica a la vez que se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero, con lo que se contribuye al objetivo último de la convención Marco de Cambio Climático, la estabilización de las emisiones de gases de efecto invernadero.

2.1.1Lagunas de estabilización

El tratamiento de aguas residuales tiene un alto costo para las comunidades; el diseño de tratamientos por lagunas de estabilización , es un sistema natural de bajo costo de operación, y muy compatible para la generación de electricidad, el uso de lagunas de estabilización permite un mejor manejo de los sedimentos, se puede utilizar lagunas de estabilización como reservorio y luego bombear a un punto alto para generar electricidad, esto permitirá un mejor manejo del caudal ecológico así como la generación en horas pico..

Las lagunas de estabilización no requieren terrenos adicionales ni obras civiles de gran costo.

La generación de aguas residuales es un producto inevitable de la actividad humana. El tratamiento y disposición apropiada de las aguas residuales supone el conocimiento de las características físicas, químicas y bilógicas de dichas aguas, de sus efectos principales sobre la fuente receptora.

Las aguas residuales tienen ciertos parámetros que son característicos:

DBO,DQO, sólidos totales, sólidos totales volátiles, sólidos suspendidos, sólidos suspendidos volátiles, sólidos sueltos, coliformes.

2.1.2 Objetivos del tratamiento de las aguas residuales

De acuerdo a diferentes estudios y caracterizaciones, se ha estimado que la cantidad total de excrementos humanos húmedos es aproximadamente de 80 a 270 gramos por persona por día, la cantidad de orina es de 1 a 1.3 kilogramos por persona por día, un 20% de la materia fecal y un 5% de la orina húmeda es material orgánico putrescible.

El objetivo del tratamiento de las aguas residuales es proteger la salud., son objetivos iniciales principales la remoción de DBO, sólidos en suspensión, remoción de patógenos, remoción de nitrógenos y fosforo, remoción de detergentes, remoción de trazas de metales pesados, remoción de sustancias inorgánicas disueltas.

2.1.3 Principios de tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales es una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos que remueven el material suspendido, coloidal o disuelto. En el tratamiento convencional se utilizan rejillas para remoción de materiales gruesos, desarenadores para remoción de arena sedimentación para remoción de material sedimentable y tratamiento biológico para tipos de actividad biológica: oxidación aeróbica y oxidación anaeróbica. La retención de la biomasa y la evaporación de los productos gaseosos formados permiten efectuar el tratamiento del agua o remoción de DBO.

2.1.4 Tratamiento anaeróbico

La descomposición se ejecuta en ausencia de oxígeno disuelto y se usa oxígeno de compuestos orgánicos, nitratos, nitritos, sulfatos y el CO₂ como aceptador de electrones.

En el proceso de desnitrificación, los nitratos y nitritos son usados por bacterias facultativas en condiciones anóxicas condiciones intermedias con formación de CO₂, agua y nitrógeno gaseoso como productos finales.

El uso de sulfatos y CO₂ como aceptadores de electrones requiere de ausencia de oxígeno y nitratos.

La descomposición anaeróbica es posible con todos los compuestos orgánicos que contienen oxígeno en sus moléculas.

En el tratamiento anaeróbico ocurren los procesos básicos de la descomposición anaeróbica: desnitrificación, reducción de sulfatos, hidrólisis y fermentación acetogénica y metanogénica., se puede decir que el proceso anaeróbico de descomposición de la materia orgánica está compuesto de dos etapas: fermentación de ácidos y fermentación de metano.

2.1.4.1 Ecología de las lagunas anaerobias

La laguna anaerobia es un biorreactor que combina la sedimentación de sólidos y su acumulación en el fondo, con la flotación de materiales del agua residual en la superficie y con biomasa activa suspendida en el agua residual o adherida a los lodos sedimentados y a la nata flotante.

El uso de lagunas anaerobias para la sedimentación de los sólidos suspendidos sedimentables previo al uso como caudal para generación de electricidad es una buena alternativa en la cuenca del río Villalobos, se podría techar si se quisiera aprovechar el uso de gas metano.

La correlación apropiada en el río Villalobos entre DBO/N/P por lo que si existen los nutrientes requeridos para el crecimiento de bacterias.

2.1.4.2 Ecología de las lagunas facultativas

Los componentes biológicos de las lagunas de estabilización facultativas son algas y bacterias, su interacción constituye el efecto ecológico más importante sobre el proceso de auto purificación.

El oxígeno liberado por las algas, a través del metabolismo fotosintético es usado por las bacterias en la descomposición aeróbica de la materia orgánica. Los nutrientes y el dióxido de carbono producidos por la actividad bacteriana son usados por las algas. Otros organismos como los rotíferos y los protozoarios, tienen como función depurar el efluente.

La combinación de la actividad bacteriana, aeróbica y anaeróbica da origen a las lagunas de estabilización facultativas.

En lagunas aeróbicas deben predominar condiciones aeróbicas en la profundidad de toda la laguna; en lagunas facultativas la capa superior debe ser predominantemente aeróbica y actuar como barrera contra el agua anaeróbica con contenido de H_2S .

Profundidad

La profundidad tiene efecto sobre el consumo de oxígeno, pues gran cantidad de la demanda de oxígeno es ejercida por los lodos sedimentados.

En lagunas poco profundas el metano escapa a la atmósfera, esta podría ser una buena alternativa para minimizar problemas de deterioro de equipo y tubería de presión producida por la concentración de gases.

La profundidad controla el crecimiento de vegetación indeseable, en la mayoría de los casos las lagunas tienen profundidades mayores de 1 m, lo cual es suficiente para prevenir el crecimiento. A menor profundidad se tiene más aeración por efecto del viento. Estanques profundos pierden menos calor y permiten una descomposición más intensa.

Tiempo de retención

Es el parámetro más importante en remoción de coliformes fecales y la eliminación de organismos patógenos del agua residual.

Sedimentación de lodos:

En una laguna facultativa primaria, parte de la reducción de DBO se debe a sedimentación de la materia orgánica como lodo, el cual se descompone anaeróbicamente para reducir su concentración orgánica y liberar los productos de fermentación anaeróbica. Inicialmente la capa de lodo aumenta en volumen, la DBO añadida por sedimentación se iguala con la DBO removida por fermentación anaeróbica y el volumen de lodo no aumenta más.

El fondo de una laguna facultativa actúa como una zona de almacenamiento de lodos de descomposición anaeróbica.

La acumulación de lodos en lagunas anaeróbicas es de 0.03 a 0.05 m³ por persona por año.

Las lagunas grandes tienen mejor mezcla que las lagunas pequeñas por efecto del viento.

2.1.4.3 Geometría de la laguna

La forma de la laguna de estabilización depende de la topografía. Pueden tener cualquier forma, pero se deben evitar las zonas muertas.

Para asegurar el flujo en pistón y mejorar el rendimiento se recomienda geometría rectangular, con relaciones 2/1 a 4/1.

2.1.4.4 Principios de diseño

La propuesta de diseño es aprovechar las experiencias de proyectos de

generación con aguas residuales ya existentes, el modelo que se presenta a continuación fue utilizado en Ecuador, Bolivia, etc. En Guatemala se tiene la experiencia de hidroeléctrica Las Vacas, en el caso de hidroeléctrica Las Vacas, el no tener un tratamiento previo de las aguas residuales les ha ocasionado muchos contratiempos, incremento de costos de operación y problemas de tipo ambiental.

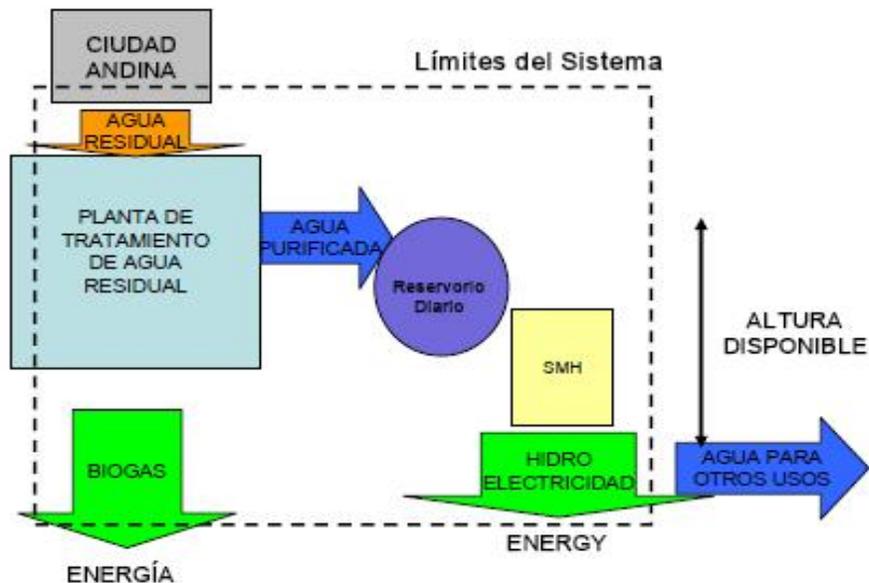
El presente modelo de diseño tal como se explica esquemáticamente, consiste en dar un tratamiento a las aguas residuales con lagunas de estabilización, estas estarían ubicadas en la intersección del río Villalobos con la ruta CA-9, las lagunas de estabilización serían el reservorio para posteriormente generar, los reservorios pueden ser varias, dependiendo las horas de generación, el salto para generar se estima de 30 mts.

El valor agregado de la propuesta además de la generación de electricidad, es las reducciones de emisiones de CO₂, resolver parcialmente el problema sanitario del tratamiento de las aguas negras de la cuenca, minimizar el problema de azolvamiento del lago de Amatitlán, pues los sedimentos serían extraídos en la fase de operación y mantenimiento, se podría generar con gas metano, para captar el gas metano sería necesario colocar una cubierta sobre las lagunas, el uso de reservorios facilita resolver el problema del caudal ecológico y caudal de servidumbre.

Los parámetros de diseño de las lagunas de estabilización tienen como fuente de información "CUANTIFICACION DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RIO VILLALOBOS EN EPOCA SECA Y LLUVIOSA EN UN PERIODO DE 24 HORAS 2 VECES AL MES EN UN PUNTO PREVIO A LA ENTRADA AL LAGO DE AMATITLAN", estudio presentado a la escuela regional de ingeniería sanitaria y recursos hidráulicos ERIS, por el MSc. Hayro Oswaldo García García, en junio de 2002, la correlación de estos valores es buena en época seca, y en época lluviosa, para el crecimiento de bacterias y tratamiento de aguas residuales es necesario que exista una buena interrelación, por lo que el uso de lagunas de estabilización como reservorio es

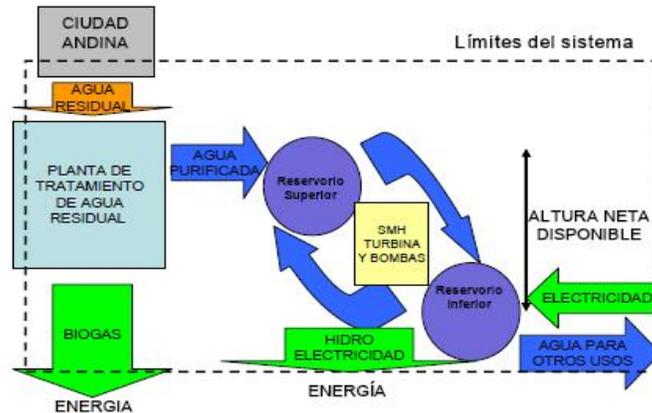
ideal en época seca y en época lluviosa ,la mayor cantidad de descargas contaminantes se reciben de 9 de la mañana a 3 de la tarde (Msc.Oswaldo García), con el fin de optimizar el uso del recurso, deberá captarse en reservorios durante la mañana, y generar electricidad a partir de las seis de la tarde, se tendría el beneficio financiero de generar en hora pico, y se protegería mas las cuenca pues, las aguas de la noche que son las menos contaminadas tendrían un flujo directo sin periodo de retención.

SMH con Reservorio diario



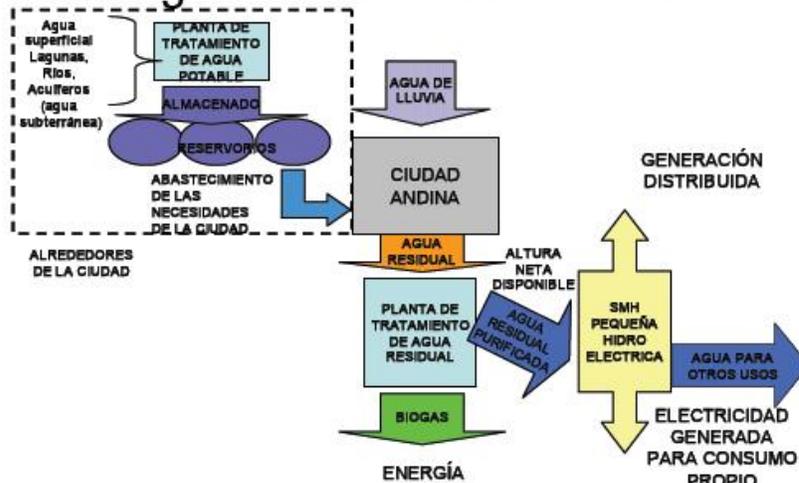
Una alternativa de diseño es tener un reservorio inferior para dar un tratamiento primario, para luego bombear a un reservorio superior, para utilizar el reservorio superior para generar electricidad.

SMH con dos Reservorios Pump Storage



En las ciudades Andinas tienen integrado en el sistema de administración de agua el uso de aguas residuales para generación de energía, tanto con biogás haciendo uso del metano, así como hidroelectricidad.

Sistema para la Administración del Agua en Ciudades Andinas



Las lagunas de estabilización constituyen el proceso de tratamiento biológico más confiable.

Lagunas en serie permiten diseños más eficientes.

Lagunas primarias tienen como propósito la remoción de DBO y coliformes fecales.

Recomendaciones de diseño:

- Distancia apropiada entre el fondo de la laguna y nivel freático
- Utilizar para diseño temperatura mínima del agua
- Proveer borde libre suficiente que permita el aumento del tiempo de retención por medio de la elevación de la cresta del vertedero de descarga.
- Diseñar vermas alrededor de las lagunas para permitir acceso vehicular
- Diseñar dos o más trenes de flujo

La profundidad de laguna facultativa primaria será de 4 m

El caudal residual en época de lluvia estimado para $4.05 \text{ m}^3/\text{s}=5832 \text{ m}^3/\text{día}$

Población tributaria a caudal de agua residual estimada en área de cuenca 607,163 personas para el año 2010

Carga equivalente de DBO $11 \text{ g m}^3/\text{d}$

Carga orgánica de afluente $400 \text{ g m}^3/\text{d}$

Cf del afluente $2 \times 10^{**7}$

Temperatura de diseño 20 grados centígrados

Remoción DBO 80%

CF del efluente 1000

Cargas orgánicas

$\text{COS}=16.5 \times 20 - 100 = 230 \text{ g DBO m}^3/\text{had}$

Volumen de la laguna $= 400 \times 1000 / 230 = 1,739 \text{ m}^3$

Tiempo de retención $= 1739 / 5832 = 0.30 \text{ días}$

Pero el tiempo de retención óptimo son 5 días

Volumen total $= 5,832 \times 5 = 29,160 \text{ m}^3$

El 50% de volumen son lodos y el otro 50% son líquidos

Para una acumulación de lodos de $0.04 \text{ m}^3/\text{hab}$

El periodo de desenlode $t=(29,160 \text{ m}^3/2)/(0.041 \times 29160)=12.5$ años

La eficiencia DBO se supone al 50%

Por lo que es una laguna primaria

$DBO=0.5 \times 400,000/5832=34$ mg/L

Carga orgánica del efluente primario

$CO \ t=400 \times 0.5= 200$ kg DBO/d -1

De la ecuación de Marais, constante de mortalidad $CF=2.6$ d

Densidad de coliformes fecales

$Nt=2 \times 100,000,000/(1+2.6 \times 5)=1.4 \times 10,000,000$ NMP/100 ml

Para una profundidad de laguna de 4 mts

El área media $A=29,160 \text{ m}^3/4=7,290 \text{ m}^2=0.729$ ha

Carga orgánica superficial:

$COS=400/0.729=548$ DBO/had

Dimensiones de lagunas

Relación ancho largo 3/1

Para 7290 m²

Se puede utilizar una longitud de 120 mts y un ancho de 30

Se utilizaría dos lagunas de 3,600 m²

Para el diseño de lagunas facultativas el criterio de diseño es el mismo

Pero su profundidad será de 2 mts, por lo que el área requerida para

Las lagunas facultativas será el doble, se construirán 4 lagunas de

120 mts de largo por 30 de ancho.

Estas lagunas serán el reservorio para la generación de electricidad, si el periodo de retención recomendable es de 5 días. Sin embargo de ecuación de Marais, el periodo de retención es de 0.30 días, por lo se podría generar electricidad con un flujo permanente.

Diseño de laguna facultativa primaria

$$C=600/(2d+8) \quad (\text{Marais y Meiring}) \quad d=\text{profundidad de la laguna}$$

C=DBO del efluente de la laguna primaria

$$C=600/(2*1.5+8)=55 \text{ mg/L}$$

Constante de remoción de DBO

$$20-35 \quad -1$$

$$Kt=1.2(1.085) \quad =0.35d$$

Tiempo de retención de laguna

$$O=d(DBOU)/0.28FS$$

$$O=1.5(200)/.28x1.6x180$$

$$O=3.7 \text{ días}$$

Área superficial

$$A=2000x3.7/1.5=4,933 \text{ m}^2=.493 \text{ ha}$$

Cargas orgánicas

$$COS=200x2000/1000x1=400 \text{ kg DBO/had}$$

$$COV=200x200/2000x3.7=54.72 \text{ g DBO/m}^3d$$

Eficiencia

$$E=(200-55)/2=72.5\%$$

LAGUNA SECUNDARIA

Tiempo de retención

$$O=1/0.35(55/20-1)= 5 \text{ días}$$

Área superficial para una profundidad de 1.5 mts

$$A=2000x5/1.5=6667 \text{ m}^2=.6667 \text{ ha}$$

Cargas orgánica

$$COS=55x2000/(1000x.6667)=165 \text{ kg DBO/ha}$$

$$COV=55x2000/(2000x5)=11 \text{ g DBOmed}$$

Eficiencia

$$E=(55-20)/.55=64\%$$

2.1.4.5 Construcción de lagunas de estabilización

Dada su sencillez como sistema de tratamiento, las lagunas deben ser económicas en su construcción y de configuración elemental, con estructuras de entrada y salida fáciles de mantener y únicamente con accesorios de aforo y pre tratamiento estrictamente indispensables.

La primera laguna de estabilización fue construida en Dakota del norte en 1948. El diseño físico de las lagunas de estabilización es importante como el diseño sanitario para lograr las eficiencias requeridas.

En general las lagunas con mezcla completa son cuadradas, mientras que las lagunas con flujo en pistón requieren relaciones longitud/ancho mayores de 3/1. El dique debe ser construido para prevenir los efectos destructivos de la erosión causada por el oleaje en lagunas grandes y por aguas de lluvias así como por madrigueras de ratas o ratones. En los taludes se debe proveer protección contra la erosión, especialmente en la zona comprendida entre 0.3 m por debajo del nivel mínimo del agua y 0.3 m por encima del nivel máximo del agua. La protección contra la erosión se puede hacer con piedra de río (15 a 20 cms de ancho.), asfalto, concreto o geotextiles.

En taludes internos se usan pendientes 3H/1V en taludes internos y en taludes externos 1.5H/1V.

La impermeabilización se hace con geomembranas, capas de arcilla o tierra compactada.

Las unidades de entrada y de salida tiene por objeto distribuir lo, mas uniformemente posible el agua en la laguna y prevenir la presencia de corto circuito.

Se considera conveniente unidades de entrada centrales, por el fondo, para depositar sumergidamente. En lagunas anaeróbicas, la descarga puede

dejarse 1.5 m sobre el fondo para evitar obstrucciones. La unidad de salida debe estar lo más lejos posible de la unidad de entrada, para obtener un flujo uniforme.

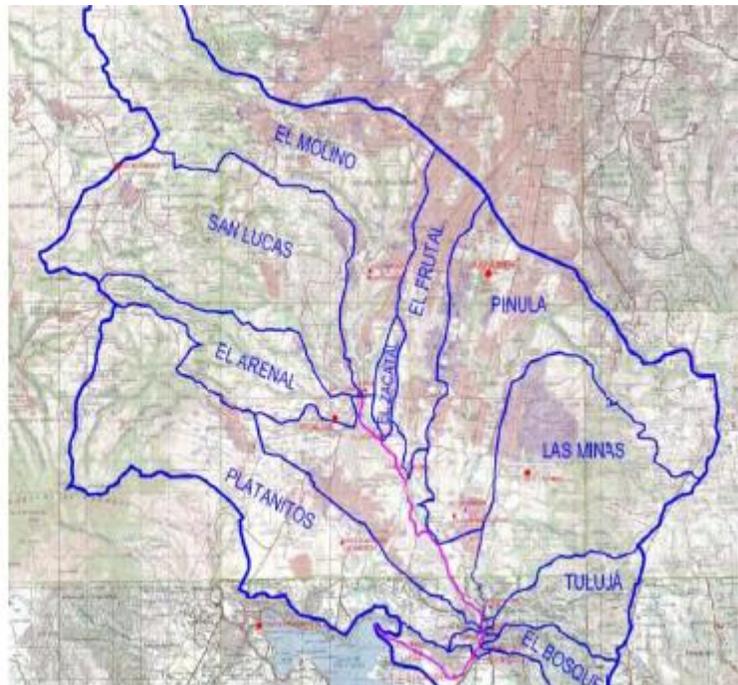
Se utilizan pantallas de partición para evitar corto circuitos, incrementar el tiempo de retención, crear una trayectoria de flujo eficiente, serán de tal manera que el que el área de flujo sea constante. Las lagunas se podrían situar en la intersección del río Villalobos con la ruta CA-9 sur.





RIOS DE LA CUENCA

10 Ríos Principales



2.2 Calidad y cuantificación del agua del rio Villalobos en época seca y lluviosa en un Punto previo a la entrada del lago de Amatitlán.

La información de calidad del agua del rio Villalobos, tiene como fuente de información la tesis "CUANTIFICACION DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RIO VILLALOBOS EN EPOCA SECA Y LLUVIOSA EN UN PERIODO DE 24 HORAS 2 VECES AL MES EN UN PUNTO PREVIO A LA ENTRADA AL LAGO DE AMATITLAN", estudio presentado a la escuela regional de ingeniería sanitaria y recursos hidráulicos ERIS, por el MSC. Hayro Oswaldo García García, en junio de 2002

Este estudio se basa en un monitoreo continuo en época seca y lluviosa de la calidad y cantidad del agua del rio Villalobos, se estableció una estación previo a unirse al lago de Amatitlán. Se tomaron datos a cada hora de pH, temperatura, conductividad eléctrica, salinidad, sólidos disueltos y muestras de agua a cada 3 horas, se clasificaron parámetros como nitrógeno, fosforo, de manda química y bioquímica de oxígeno y sólidos en suspensión.

Uno de los objetivos de la investigación fue la obtención de información sobre el comportamiento diurno y nocturno en época seca y lluviosa de este cuerpo hídrico.

En época seca el caudal es una variable inversamente proporcional hacia los contaminantes químicos a excepción del nitrógeno y fósforo y en la lluviosa el caudal actúa directamente sobre los parámetros físicos y químicos.

La cuenca del lago de Amatitlan se encuentra ubicada en el valle de las Vacas, departamento de Guatemala, situada entre tres sistemas de fallas: Mixco, Pinula y Jalpatagua formando el graben en donde se encuentran asentados los municipios de Guatemala, Mixco, Santa Catarina Pinula, Villa Nueva, San Miguel Petapa, Villa Canales, Amatitlan y otros. Inicia en la divisoria continental de aguas: carretera Roosevelt, Boulevard Liberación, Boulevard Los Próceres y Ruta a Cuilapa, abarca una área de 382 km² y está integrada por 14 municipios

de los cuales 7 (Villa Canales, Villa Nueva, San Miguel Petapa, Amatitlan, Mixco, Santa Catarina y Guatemala zonas 11,12,13,14 y 21) tienen mayor impacto en la degradación de los recursos naturales.

El municipio de Villa Nueva para el año 2002 contaba con 1.5 millones de personas, su tasa de crecimiento es de 13.7 % anual.

El crecimiento poblacional promedio de la cuenca está estimado en 9.2% anual, tanto vegetativo como migratorio; para el año 2002 se estima que la población rebasaba los 2.5 millones de habitantes.

Del agua que es utilizable por las poblaciones para sus diferentes usos como riego, potable, domestico y otros, el 70% de la misma es irrigada hacia las alcantarillas municipales como AGUA RESIDUAL, donde no existen alcantarillas son dirigidas hacia los diferentes ríos tributarios que se han convertido en cuerpos receptores de todas las descargas domesticas e industriales.

Se estima que el 95% de las aguas residuales de tipo domestico e industrial no tienen un tratamiento previo a ser vertidas hacia los diferentes cuerpos receptores.

2.2.1 Descripción del estudio

Se realizo un monitoreo de 24 horas para determinar su comportamiento en época seca y lluviosa. La toma de muestras se estableció cada 3 horas, 2 veces al mes, empezando el monitoreo en el mes de agosto y terminando en el mes de marzo.

2.2.2 Ubicación geográfica de la cuenca

La cuenca del lago de Amatitlán está formada por varias subcuentas, las que finalmente convergen en el rio Villalobos, en el lado norte del lago y el rio

Michatoya al sur. Los ríos tributarios principales del río Villalobos son: Platanitos, Pinula, Las Minas, Tuluja, El Bosque, Molino, San Lucas, Parrameno. Los suelos de la cuenca son de origen volcánico de diferentes épocas (consolidados hasta ser rocas), aluvión y del lado norte sedimentos eólicos, flujos de ceniza sedimentos fluviales y lacustres.

Según la clasificación taxonómica de suelos de Simmons (1959), los suelos de la cuenca corresponden a las categorías taxonómicas III, V, y VII, de vocación forestal.

La topografía de la cuenca se caracteriza por un relieve muy fuerte y subsuelo muy suelto, forma un terreno de relieve moderado, al norte de una cadena volcánica de la época cuaternaria con alturas hasta 4000 msnm, paralela a la costa pacífica. Su climatología, hay predominancia de vientos noreste-sureste, donde su temperatura media anual de la cuenca es bastante estable. De junio a septiembre es la época más lluviosa, la altura sobre el nivel del mar varía desde 2400 hasta 1188 msnm, ambos parámetros ubicados en el municipio de Amatitlán.

La cuenca del río Villalobos se encuentra situada dentro del sistema montañoso formado por la faja volcánica del Pacífico que atraviesa el país y que se compone de rocas terciarias y cuaternarias. El valle es el resultado de una depresión de origen tectónico de dirección NE-SO en forma de recipiente alargado en una extensión aproximada de 800 km².

2.2.3 Geología y morfología

La formación de los suelos de Guatemala iniciaron durante la época terciaria, en la que grandes subsidencias formaron una topografía de gradas con grandes

depressiones y alzamientos formando así el graben (sistema que está entre dos fallas geológicas) que se extiende en dirección NNE-SSW por casi 40 kms. Está delimitado hacia el este y oeste por las fallas de Santa Catarina Pinula y Mixco. Hacia el sur, convergiendo en una estructura de colapso vulcano-tectónico en forma concéntrica la cual ha sido parcialmente afectada por estructuras y fallas preexistentes que pertenecen a los sistemas de Mixco y Santa Catarina Pinula.

La actividad volcánica en el área, se inicio en el periodo terciario con la emisión de flujos de lavas en forma de erupciones y conjuntamente con la actividad tectónica se depositaron materiales con un volumen total estimado de 60 kms². Los niveles de sedimentos y productos volcánicos encontrados en los diferentes estratos de estos suelos testifican la presencia de una cuenca lacustre de considerable dimensión.

Datos hidrológicos de la cuenca:

Área de la cuenca 40.02 km²

Largo de la cuenca 21.8 km

Ancho de la cuenca 6.75 km

Perímetro de la cuenca 58 km

Fuente:PRMC/CATIE 8

Caudales

Caudal alto 3000 lt/s

Caudal medio 773 l/s

Caudal bajo 27 l/s

Fuente: Escobar, v.ARRLA_1996

Caudal específico medio anual 10 lt/s/km²

Caudal específico en año húmedo 20 lt/s/km²

Caudal específico en año seco 5 lt/s/km²

Caudal específico en mes crítico 5 lt/s/km²

Caudal específico superado en el 90% del tiempo 2 lt/s/km²

La cuenca se ubica en la región III

Para estimar la crecida con un periodo de retorno T_r en años:

$$OMM = B \cdot A^{**n}$$

B y n se obtienen de tabla 1 de crecidas

$$Q \text{ m}^3/\text{seg} = K \cdot OMM \quad K \text{ se obtiene de tabla 3 de crecidas}$$

A = área de la cuenca 40.02 km²

Estimación de crecidas

T_r años	K	B	n	$Q \text{ m}^3/\text{seg} = K \cdot B \cdot A^{**n}$
100	5.1	0.26	1.04	61.50
50	4.36	0.26	1.04	52.58
30	3.87	0.26	1.04	46.67
25	3.72	0.26	1.04	44.86
20	3.47	0.26	1.04	41.84
10	2.85	0.26	1.04	34.37
5	2.24	0.26	1.04	27.01
2	1.45	0.26	1.04	17.48

Isoyeta medias anuales 1,500 mm

Número promedio de días de lluvia al año 125

Intensidad de lluvia de 5 minutos de duración y periodo de retorno de

10 años 200 mm/hora

Intensidad de lluvia 20 minutos de duración y periodo de retorno de

30 años 120 mm

Lluvia máxima diaria con periodo de retorno de 2 años 60 mm

Lluvia máxima diaria con periodo de retorno de 10 años 150 mm

Lluvia máxima diaria con periodo de retorno de 30 años 150 mm

Evapotranspiración potencial promedio anual 1500 mm

2.2.4 Flora y fauna

Los terrenos de la cuenca presentan áreas de poca vegetación con pasto, arbustos, las áreas planas fueron áreas cultivables.

La cuenca del lago de Amatitlán presenta dos zonas de vida: a) bosque húmedo subtropical templado: con vegetación: *Pinus ocarpa* (pino colorado), *Curatella americana* (lengua de vaca), *Quercus sp.*, (roble), *Bysonima crassifolia* (nance) y b) bosque húmedo mediano bajo subtropical: *Pinus pseudostrobus* (pino triste), *Pinus montezumae* (pino ocote), *Alnus jorullensis* (aliso), *Juniperus cominata* (cipres), *Ostrya sp.* (duraznillo), *Arbutus xalapensis* (madrón de la tierra fría). Sobre la vegetación acuática se encuentran como géneros predominantes: *Eicchornia* y *Egeria*.

La fauna característica son mamíferos pequeños como ardillas, conejos, serpientes, ratones, búhos y aves. La cuenca del río Villalobos es un área de paso para aves migratorias.

2.2.5 Clima

Las características del clima son muy variables por las diferentes alturas que se registran en la cuenca y que por diferentes efectos ambientales se ha ido modificando radicalmente llevándolo a un ambiente con incidencia en épocas cálidas y frías a los extremos lo que hacen muy incomodo y poco confortable.

2.2.6 Temperatura

Varían entre 15 a 28 grados centígrados. La precipitación pluvial se establece dentro del rango de 650 a 1500 mm al año. Los vientos son de predominancia de norte a sur.

2.2.7 Municipios con más influencia en la cuenca

- Municipio de Guatemala

Es el municipio más importante del país, ahí se concentra la mayor cantidad de industria y comercio.

- Municipio de Mixco

Está ubicado en el extremo oeste de la ciudad capital. Se localiza 90 grados 34 min de longitud oeste y 14 grados 16 min latitud norte, con una área total de 99 km² de los cuales 45.26 km² están dentro de la cuenca.

- Municipio de Villa Nueva

Ubicado al sur de la ciudad capital, dentro de los 14 grados 31 min 32 seg latitud norte y 90 grados 35 min longitud oeste del meridiano de Greenwich. Su área total es de 75 km² de la cual el 98% pertenece a la cuenca.

- Municipio de Villa Canales

Ubicado en el suroriente de la capital, dentro de los 14 grados 29 min de latitud norte y 90 grados 33 min de longitud oeste. Su área total es de 353 km² de los cuales el 77% están dentro de la cuenca. Los servicios municipales se concentran en la capital exclusivamente.

- Municipio de Amatitlán

Se encuentra al sur de la ciudad capital su ubicación es en los 14 grados 29 min de latitud norte y 90 grados 37 min de longitud oeste, con una extensión territorial de 114 km².

- Municipio de Santa Catarina Pinula

Ubicado en el extremo este del departamento de Guatemala. Se localiza a 14 grados 35 min de latitud norte y 90 grados 30 min longitud oeste.

Su área total es de 48 km².

- Municipio de San Miguel Petapa

Es el municipio más pequeño del departamento de Guatemala, ubicado al sur oriente de la capital dentro de los 14 grados 29 min de latitud norte y 90 grados 37 min de longitud oeste. Su área total es de 20.14 km².

Cuadro No. 1 Area total y de influencia por municipios

CUENCA	AREA TOTAL Km ²	AREA INFLUENCIA km ²	INTERVIENE CUENCA (%)
Amatitlán	114,0	48,3	42,4
Guatemala	228,0	42,7	18,7
Mixto	99,0	45,3	45,7
San Miguel Petapa	20,1	20,1	100,0
Sta Catarina Pinula	48,0	25,2	52,5
Villa Canales	353,0	76,4	21,6
Villa Nueva	75,0	73,4	97,9
Otros municipios		49,9	
Total de la cuenca	937,1	381,32	

Fuente: AMSA 1995 (10)

Cuadro No. 2 Caracterización física de las Microcuencas del Lago de Amatitlán

Microcuenca	Area (ha) (miles)	% Area	Longitud (km)	Ancho (km)	Perímetro (km)
Platanitos	5,003	13,17	16,00	6,10	43,50
Amatitlán	6,384	16,80	23,35	11,43	44,62
El Bosque	656	1,73	5,05	2,30	13,75
Tulujá	1,130	2,98	6,75	3,90	17,00
Las Minas	5,458	14,36	9,90	6,50	28,00
Villalobos	4,002	10,53	21,80	6,75	58,00
Pinula	4,563	12,00	38,65	3,95	45,00
Molino	4,810	12,66	19,10	4,00	44,50
San Lucas	4,355	11,46	11,35	5,00	34,12
Parrameño	1,639	4,31	10,50	3,00	24,37
TOTAL	38,000	100,00			

Fuente: PRMC/CATIE '87

Cuadro No. 3 Caudales de los principales ríos de la subcuenca Amatitlán

Río	Caudal alto	Caudal medio	Caudal bajo
Villalobos	3000 l/s	773 l/s	27 l/s
Pinula	673 l/s	173 l/s	43 l/s
Las Minas	230 l/s	54 l/s	20 l/s
Tulujá	72 l/s	31 l/s	15 l/s
El Bosque	76 l/s	24 l/s	15 l/s

FUENTE: Escobar, V. ARRLA_1996

2.2.8 Erosión y azolvamiento

En 1974 el IGN reporta una tasa anual de arrastre de sedimentos cercana las 400,000 toneladas (Ocheita, 1976). Según la autoridad del lago de Amatitlán en 1994 esta tasa se incremento a 550,000 toneladas/año. En los últimos años, la deposición de sedimentos en zona de desfogue el rio Villalobos ha sido tal, que anualmente cobra un área considerable del lago de Amatitlán en al menos 10,000 m².

En 1987, un estudio del Proyecto regional de manejo de cuencas y del centro agronómico tropical de investigación (PRMC/CATIE), tipifica el deterioro causado a la cuenca por la actividad humana y el crecimiento de la ciudad de

Guatemala y su área de influencia hacia el sur, incluyendo : Villa Canales, San Miguel Petapa, Villa Nueva y parte de Mixco.

Existe deforestación inmoderada, quemas, prácticas agrícolas, ganaderas y mineras; acentuado crecimiento urbano.

Según estudios de INAFOR, tipifica las causas del fenómeno de erosión como debida a ciertos parámetros geomorfológicos e hidrológicos, acentuados por una deficiente interrelación de las características de los suelos, un mal uso de la tierra y la vegetación.



Fotografía No. 3 Vista aérea de la entrada de los sedimentos de l río Villalobos hacia el Lago de Amatitlán en época de lluvias hacia el Lago de Amatitlán.

Mapa del punto de monitoreo en el Rio Villalobos





2.2.9 Resultados

En época lluviosa, es cuando existe el mayor arrastre de sedimentos. En época de lluvia de las 9:00 a las 15:00 son las horas pico, donde se ha determinado la mayor cantidad de contaminantes.

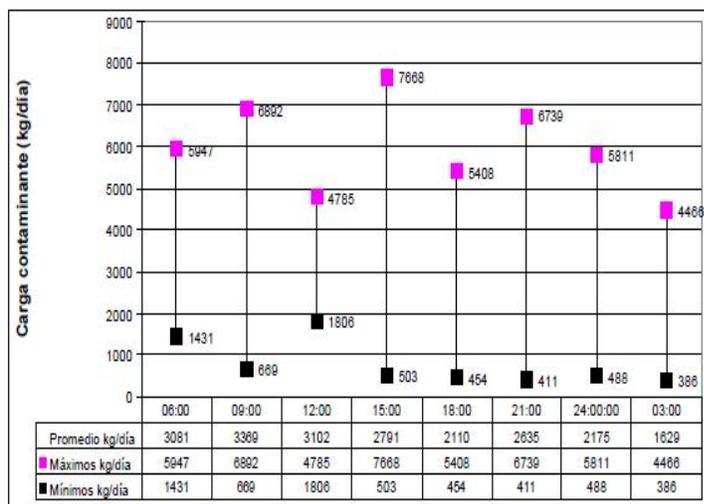


Figura No. 2 Variación de la carga contaminante de fósforo (kg/día) en época seca y lluviosa en el río Villalobos

El fósforo es un nutriente que contamina un cuerpo de agua. En el monitoreo realizado tiene un máximo de 7,668 y un mínimo de 503 kg/día a las 15:00 horas en un día lluvioso de monitoreo de 24 horas. Este elemento deriva de

aguas domesticas, industriales así como forma parte del principio activo de los fertilizantes. Las diferencias entre las dos épocas se denotan, pero en la estación seca las aguas van mayormente concentradas.

Los parámetros de concentraciones de nitrógeno, DBO y DQO son más altos que los permitidos por la OMS. El tratamiento para potabilizar el agua debe ser de tipo físico, químico y microbiológico, pues los contaminantes están en concentraciones muy altas.

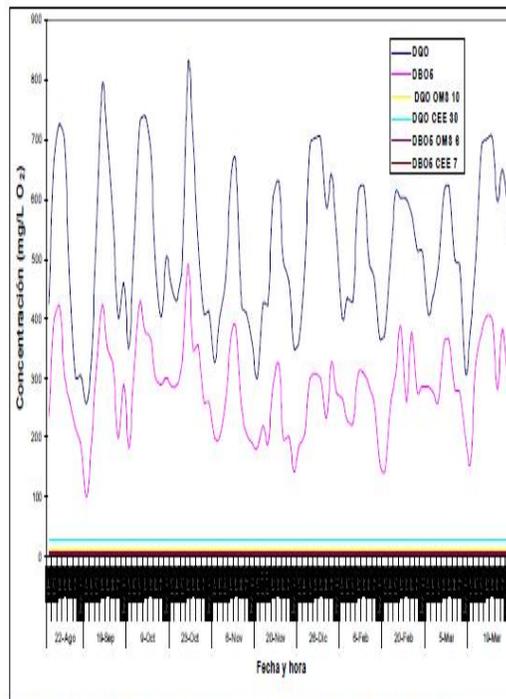


Figura No. 3 Comparación de la demanda química y bioquímica de oxígeno (mg/L O₂) con los criterios de la Organización Mundial de la Salud-OMS- y la Comunidad Europea-CEE- en época seca y lluviosa en el río Villalobos

Existe muy buena correlación entre las variables de concentración N/P,N/DQO,P/DQO,P/DBO en época seca y lluviosa. El caudal establece muy buena correlación con las variables N, P, DQO y DBO. Solo en época lluviosa pero no en la estación seca.

Cuadro No. 6 Matriz de correlación de los parámetros de calidad en época lluviosa en el río Villalobos

Parámetros	T	Cond	TDS	Ssusp	POR	N	P	DQO	DBO ₅	Q
	°C	umhos/cm	mg/L	mg/L	mV	mg/L	mg/L	mg/L O ₂	Mg/L O ₂	m ³ /s
pH	0.78	0.33	0.32	0.53	-0.29	0.63	0.6	0.68	0.64	-0.6
T		0.36	0.34	0.55	-0.5	0.76	0.82	0.81	0.75	0.75
C			0.99	0.28	-0.022	0.21	0.28	0.4	0.41	-0.03
TDS				0.27	-0.002	0.17	0.23	0.38	0.38	-0.009
C					-0.009	0.48	0.45	0.49	0.36	-0.22
POR						0.53	-0.54	-0.48	-0.58	0.64
N							0.88	0.65	0.65	-0.63
P								0.76	0.74	-0.69
DBO ₅									0.93	-0.80
DQO										-0.81

Cuadro No. 7 Matriz de correlación de los parámetros de calidad en época seca en el río Villalobos

Parámetros	T	Cond	TDS	Ssusp	POR	N	P	DQO	DBO ₅	Q
	°C	umhos/cm	mg/L	mg/L	mV	mg/L	mg/L	mg/L O ₂	Mg/L O ₂	m ³ /s
pH	0.56	0.51	0.51	0.85	-0.15	0.48	0.65	0.56	0.57	0.37
T		0.26	0.26	0.46	-0.34	0.14	0.34	0.63	0.62	-0.12
C			0.99	0.51	-0.43	0.39	0.65	0.37	0.42	0.34
TDS				0.51	-0.43	0.39	0.65	0.37	0.42	0.35
C					-0.19	0.57	0.63	0.6	0.51	0.35
POR						-0.28	-0.36	-0.12	-0.16	-0.46
N							0.84	0.15	0.35	0.35
P								0.33	0.51	0.49
DBO ₅									0.82	0.07

En el análisis de regresión lineal determinado entre las variables caudal con respecto a los parámetros de calidad como N,P,DQO y DBO se puede inferir que existe una aceptable regresión entre estas variables en época seca, pero no en la estación lluviosa.

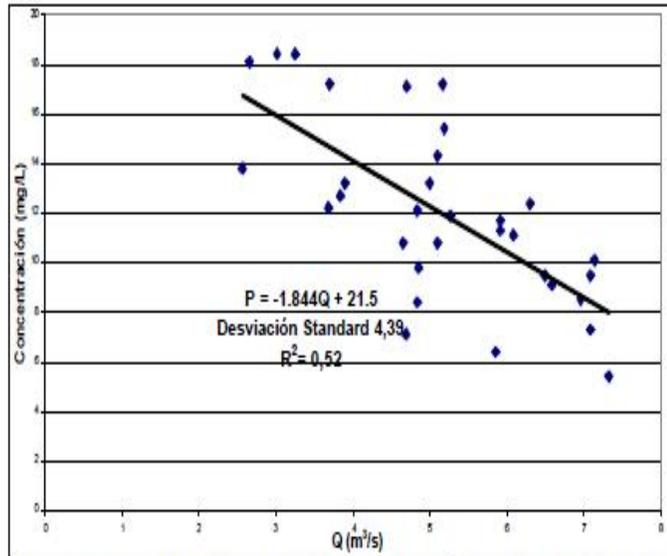


Figura 4. Regresión lineal de las variables caudal, Q (m^3/s) contra el fósforo en época lluviosa en el río Villalobos

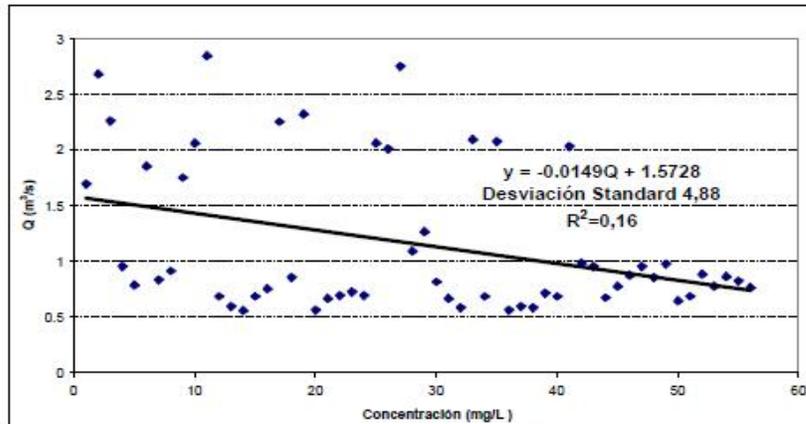


Figura 5. Regresión lineal de las variables caudal, Q (m^3/s) contra el fósforo en época seca en el río Villalobos

2.2.9 Conclusiones de estudio calidad del agua del río Villalobos

- En jornadas diurnas en horarios de 9:00 a las 15:00 hora, es cuando el río Villalobos recibe mayores descargas contaminantes que coincide con las horas de uso del agua. En horario nocturno disminuye considerablemente los contaminantes.

- De los aforos mantiene el caudal promedio en época seca de 0.85 m³/seg y de 4.05 m³/seg en época lluviosa.
- Al comparar los diferentes parámetros de calidad en época seca y lluviosa se puede establecer que existe una buena correlación entre estas variables.
- La regresión lineal entre las variables caudal contra el nitrógeno, fosforo, demanda química y bioquímica de oxígeno en época seca y lluviosa se puede establecer que solo en época lluviosa existe una aceptable correlación entre los datos.
- El uso del agua a las horas pico se ha determinado la mayor concentración de nutrientes como fosforo y nitrógeno. Estos compuestos tienden a contaminar o eutrofizar un cuerpo hídrico.

3. Potencial hidroeléctrico a partir del uso de aguas residuales

3.1 Introducción

La humanidad cada vez demanda más recursos energéticos para satisfacer sus necesidades de consumo y bienestar. Las energías renovables que provienen del sol que no emiten gases de efecto invernadero son útiles para la construcción de un sistema de desarrollo sostenible.

Los acuerdos y tratados internacionales tienen como objetivo prioritario un desarrollo sostenible que no comprometa los recursos naturales de las futuras generaciones.

El sistema energético a nivel mundial se basa en la generación de energía a partir de combustibles fósiles como el petróleo, el carbón mineral y el gas; la generación de energía a partir de estos materiales presenta el inconveniente que son recursos limitados ubicados en puntos concretos del planeta, su impacto ambiental ha sido alto; además las reservas se están agotando comprometiendo el futuro de las nueva generaciones.

El índice de consumo mundial de energía comercial es miles de veces inferior a los flujos que recibe la tierra procedente del sol. La energía hidroeléctrica, que indirectamente proviene de la energía solar, tiene la ventaja de ser limpia e inagotable.

A gran escala la fuente de energía hidroeléctrica tiene un campo de expansión limitado, en los países más desarrollados la mayoría de los ríos importantes ya cuentan con una o varias centrales, en los países en vías de desarrollo los grandes proyectos pueden chocar con obstáculos de carácter financiero, ambiental y social.

A menor escala, mini centrales (de 10 Mw) si ofrece posibilidades de crecimiento, debido a la diversidad de caudales que aun son susceptibles de ser aprovechados con las nuevas tecnologías.

El uso del petróleo en la generación de energía hace vulnerable el sistema energético frente a posibles crisis del sector petrolífero. El incremento del precio del crudo y del gas, crea tensiones en el mercado eléctrico.

El uso de energías renovables permitirá mayor autonomía de los sistemas energéticos nacionales.

El potencial hidroeléctrico de un país es la capacidad anual de producción de energía hidroeléctrica que dicho país posee, y el potencial técnicamente explotable se deduce del anterior, teniendo en cuenta las pérdidas.

Característica de la energía hidroeléctrica:

La superficie de la tierra está cubierta por el 71 % de agua. La energía hidroeléctrica proviene indirectamente del sol, responsable del ciclo hidrológico natural. La radiación que procede de las fusiones nucleares que se producen en el sol calienta la superficie terrestre, ríos, lagos y océanos, provocando la evaporación del agua. El aire caliente transporta el agua evaporada en forma de nubes y niebla a distintos puntos del planeta, donde cae nuevamente en forma de lluvia y nieve. Una parte de la energía solar permanece almacenada en el agua de los ríos, los lagos y los glaciares.

Las centrales hidroeléctricas transforman esa energía en electricidad, aprovechando la diferencia de desnivel existente entre dos puntos. La energía se transforma primero en energía mecánica en la turbina hidráulica, esta activa el generador, que transforma en un segundo paso la energía mecánica en energía eléctrica.

Las centrales hidroeléctricas se clasifican de la siguiente manera:

- Central de agua fluyente:

Es el aprovechamiento en el que se desvía parte del agua del río mediante una toma, y a través de canales o conducciones se lleva hasta la central donde será turbinada. Una vez obtenida la energía eléctrica el agua desviada es devuelta nuevamente al cauce del río. Dependiendo del lugar donde se sitúe la central, será necesaria la construcción de los siguientes elementos:

- Azud
- Toma
- Canal de derivación
- Cámara de carga
- Tubería forzada
- Edificio central y equipamiento electro-mecánico
- Canal de descarga
- Subestación y línea eléctrica.

Todas las centrales de agua fluyente dependen directamente de la hidrología, ya que ni tienen capacidad de regulación de caudal turbinado y este es muy variable. Estas centrales cuentan con un salto útil prácticamente constante y su potencia depende directamente del caudal que pasa por el río.

En algunos casos se construye una pequeña presa en la toma de agua para facilitar la entrada al canal o tubería de derivación.

Para que las pérdidas de carga sean pequeñas y poder mantener la altura hidráulica, los conductos por los que circula el agua desviada se construyen con pequeña pendiente, provocando que la velocidad de circulación del agua sea baja, la pérdida de carga es proporcional al cuadrado de la velocidad. En algunos casos la mejor solución es construir un túnel, acortando el recorrido horizontal.

Otro caso puede ser, siempre que no exista caudal turbinado, es situar la central en el curso del río, en el que se ha ganado altura mediante la construcción de un azud, sin necesidad de canal de derivación, cámara de carga ni tubería forzada.

• Central de pie de presa:

Consiste en construir un embalse en el cauce del río para almacenar, además del agua procedente de las lluvias. Este tipo de instalaciones cuenta con la capacidad de regulación de caudales de salida de agua, que será turbinada en los momentos que se precise. Esta capacidad de controlar el volumen de producción se emplea en general para proporcionar energía durante las horas pico de consumo.

La toma de agua de la central se encuentra en la zona útil, que contiene el total de agua que puede ser turbinada. Debajo de la toma se sitúa la zona muerta, que almacena agua no útil para turbinar.

La regulación puede ser horaria, diaria o semanal, según la capacidad de agua que tenga la zona útil.

En mini centrales hidroeléctricas el volumen de almacenamiento suele ser pequeño, permitiendo producir energía eléctrica un número de horas durante el día, llenándose el embalse durante la noche. Si la regulación es semanal, se garantiza la producción de electricidad durante el fin de semana, llenándose de nuevo el embalse durante el resto de la semana.

Los embalses destinados para otros usos, como riego o abastecimiento de agua, se turbinan los caudales excedentes, los caudales desembalsados para riegos o abastecimientos, e incluso los caudales ecológicos.

Obras e instalaciones necesarias:

- Adaptación o construcción de las conducciones de la presa a la mini central
- Toma de agua con compuerta y reja
- Tubería forzada hasta la central
- Edificio central y equipamiento electro-mecánico
- Subestación y línea eléctrica.

3.2 DISEÑO DE UN APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO

La potencia de una central hidroeléctrica es proporcional a la altura del salto y al caudal turbinado, por lo que es muy importante determinar correctamente estas variables para el diseño de las instalaciones y el dimensionamiento de los equipos.

3.2.1 Determinación del caudal de equipamiento

La energía producida deberá ser la máxima posible en función de la hidrología, por lo que la elección del caudal de diseño también servirá para definir el equipamiento a instalar.

Debe conocerse el régimen de caudales del río en la zona próxima a la toma de agua.

La medición de caudales del río se realiza en las estaciones de aforo donde se registran los caudales instantáneos que circulan por el tramo del río donde está ubicada la estación, a partir de estos caudales se determinan los caudales máximos, medios y mínimos diarios correspondientes a un gran número de años, con los que se elaboran series temporales agrupadas por años hidrológicos.

Las series hidrológicas de las estaciones deberán ser de más de 25 años.

Cuando no existe ninguna estación de aforo en la cuenca donde se ubicara la central, hay que realizar un estudio hidrológico teórico, basado en datos de precipitaciones de la zona y en aforos existentes en cuencas semejantes.

Se debe analizar las series de datos pluviométricos disponibles, completando los periodos en los que falten datos utilizando métodos de correlación de cuencas, para lo que hay que determinar previamente las características físicas de la cuenca a estudiar, topografía de la cuenca.

Se debe relacionar las aportaciones de ambas cuencas en función de las precipitaciones, superficies y coeficientes de escorrentía, teniendo en cuenta índices de compacidad y de pendientes.

Con esta relación se obtiene un factor corrector que permite obtener las aportaciones y caudales de la cuenca estudiada, que han sido obtenidos a partir de una cuenca semejante.

Es conveniente completar los datos con medidas directas del caudal en una sección del río a lo largo de al menos un año.

Al final de todo estudio hidrológico, se obtendrá una serie anual lo suficientemente grande para realizar una distribución estadística que tipifique los años en función de la aportación registrada: años muy secos, secos, medios, húmedos y muy húmedos.

Una vez obtenida la distribución anterior, se tomara un año medio representativo y se construirá la curva de caudales clasificados de la cuenca en estudio.

La curva de caudales clasificados representa gráficamente el volumen de agua existente, el volumen turbinado y el volumen vertido por servidumbre, mínimo técnico o caudal ecológico.

3.2.2 Potencial eléctrico río Villalobos

La población en el año 2002 para la cuenca es de 2.5 millones de personas, la zona donde se ubica la cuenca tiene una tasa de crecimiento poblacional de 9.5%, la población.

La población tributaria para el caudal de agua residual se puede establecer en base a los siguientes criterios:

Consumo doméstico=150 lts/hab/día

Si se conoce el caudal de aguas residuales, según datos de la cámara de industria, el caudal industrial en la zona es el 40% del caudal total.

El caudal de estiaje es 0.85 m³/s, se puede asumir que el caudal en época seca es prácticamente el 100% de agua residual, por lo tanto:

el caudal de agua residual industrial=0.85x0.40=0.34 m³/seg

luego el caudal domiciliario=0.85-0.34=0.51 m³/seg

Si consumo domestico =150lts/hab/día

Caudal domiciliario/día=0.51x1000x60x60x24=44,064,000 lts/día

Luego Q=150ltsxn

.n=44,064,000/150=293,760 habitantes

Luego la población para 2010 según Unda Opazo

$P_t = P_o((100+p)/100)^n$

Donde Pt =población futura

Po=población inicial

P=tasa de crecimiento

N=numero de años

Si calculamos la población actual en 2010, n será ocho años

$P_t = (293,760)((100+9.5)/100)^8$

Pt=607,163 habitantes

Luego si la población tributaria es 607,163 para el 2010

El caudal domiciliario=607,163x150lts/hab/día=91,074m³/día=1.05 m³/seg

Si el caudal industrial es el 40%, el caudal industrial sera 0.70 m³/seg

El caudal agua residual para 2010=1.05+.70=1.75m³/seg

Luego si caudal ano lluvioso 2002 =4.05 m³/s

El caudal de diseño en época lluviosa para 2010 será:

QM=4.05+1.75=5.80 m³/seg

Qm: caudal mínimo del año o estiaje

Qm=1.75 m³/seg

La época seca comprende los periodos del 6 de noviembre al 19 de marzo.

En la tabla II.2 tesis Msc. Hayro Oswaldo García García, se presenta datos de concentraciones de los parámetros de calidad y su factor de correlación en época seca.

Qsr: caudal de servidumbre que es necesario dejar en el río por su cauce normal. Incluye el caudal ecológico y el necesario para otros usos. El caudal ecológico lo fija el organismo de cuenca, si no se conociera, una primera estimación es considerarlo igual al 10% del caudal medio interanual.

$$\text{Caudal medio interanual} = (Q_M + Q_m) / 2$$

$$\text{Caudal medio interanual} = (5.80 + 1.75) / 2 = 3.77 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q_{sr} = 3.77 \times 10\% = 0.377 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Qmt: caudal mínimo técnico. Es aquel directamente proporcional al caudal de equipamiento con un factor de proporcionalidad "K" que depende del tipo de turbina.

$$Q_{mt} = K \cdot Q_e$$

$$Q_e = 5.80 \text{ m}^3/\text{seg}$$

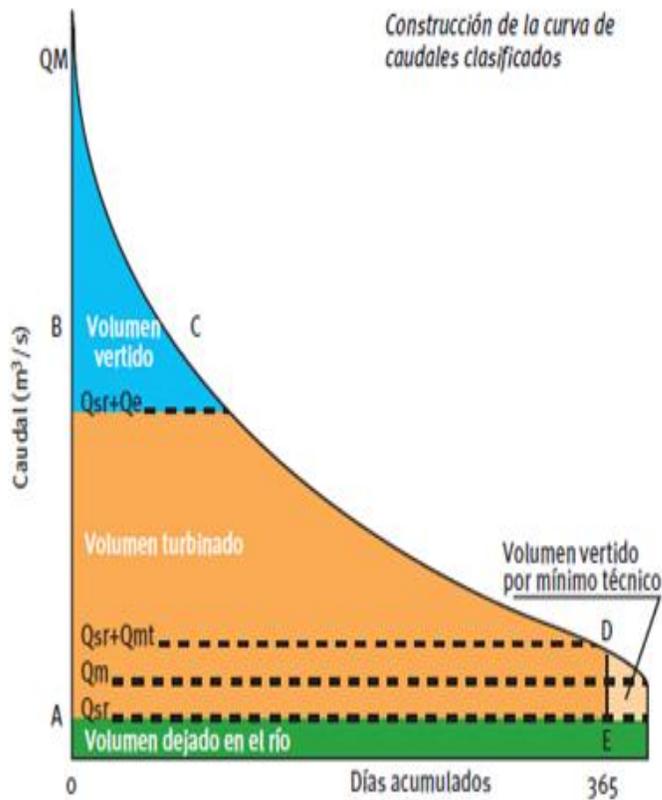
Se elige una turbina Francis, por los siguientes criterios:

Francis: Se adapta a todo tipo de saltos y caudales, cuenta con un rango de utilización muy grande. Se caracteriza por recibir el fluido del agua en dirección radial, y a medida que esta recorre la máquina hacia la salida se convierte en dirección axial. Su rendimiento es superior al 90% en condiciones óptimas de funcionamiento. Permite variaciones de caudales entre el 40% y el 105% del caudal de diseño, y en salto entre 60% y el 125% del nominal. Elementos que componen este tipo de turbinas:

$$K \text{ para turbina } 0.40$$

$$Q_{mt} = 0.40 \times 5.80 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q_{mt} = 2.32 \text{ m}^3/\text{seg}$$



Para una primera aproximación, se tomarán los siguientes valores para “K”:

- para turbinas PELTON : $k=0.10$
- para turbinas KAPLAN: $k=0.25$
- para turbinas SEMIKAPLAN $k=0.40$
- para turbinas FRANCIS $k=0.40$

El caudal de equipamiento Q_e se elegirá de forma que el volumen turbinado sea máximo.

Otra forma de determinar el caudal de equipamiento, es una vez descontado el caudal de servidumbre a la curva de caudales clasificados, se elige el caudal de equipamiento en el intervalo de la curva comprendido entre Q_{80} y el Q_{100} , es

decir el caudal que circula por el río durante 80 días al año y el que circula durante 100 días al año..

No siempre se elige el caudal que proporciona mayor producción, hay que tener en cuenta factores como la inversión necesaria, instalaciones ya existentes que condicionan el caudal a derivar (túneles, canales, etc.).

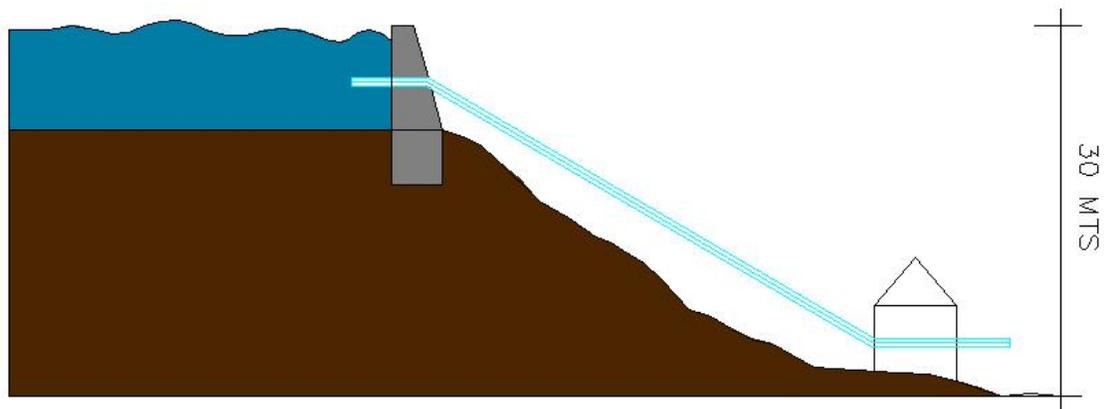
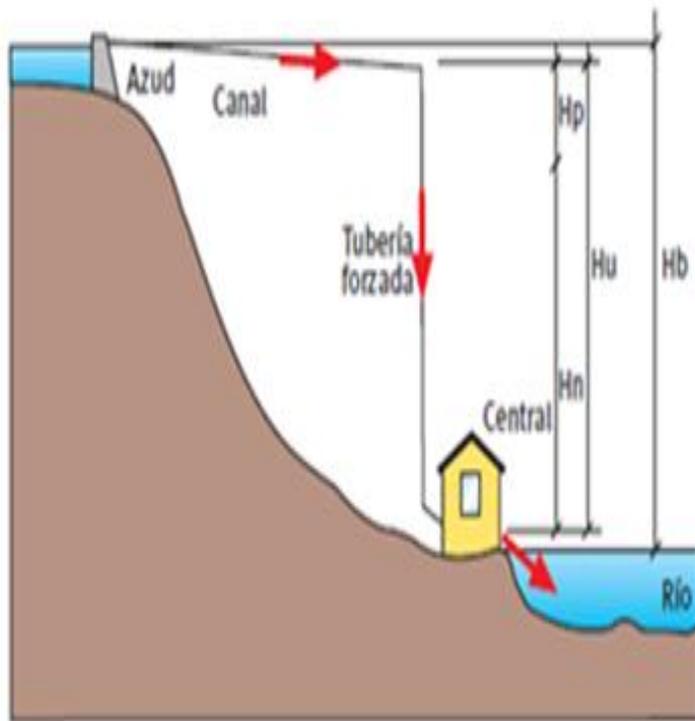
Determinación del salto neto:

El salto deberá ser el máximo permitido por la topografía del terreno, evitando afectar el medio ambiente y considerando la viabilidad económica de la inversión.

Definiciones importantes:

- Salto bruto H_b : La altura máxima entre el punto de la toma de agua del azud y el punto de descarga del caudal turbinado al río se denomina salto bruto (H_b).
- Salto útil H_u : El desnivel existente entre la superficie libre del agua en la cámara de carga y el nivel de desagüe en la turbina se denomina salto útil (H_u).
- Salto neto H_n : Es la diferencia entre el salto útil y las pérdidas de cargas producidas a lo largo de todas las conducciones. Representa la máxima energía que se podrá transformar en trabajo en el eje de la turbina.
- Pérdidas de carga H_p : Son las pérdidas por fricción en las paredes del canal y en la tubería forzada, más pérdidas ocasionadas por la turbulencia, al cambiar de dirección el flujo al pasar a través de una rejilla o de una válvula, etc.

Esquema general de un salto de agua



Para una primera aproximación se puede estimar el salto bruto mediante un plano topográfico. También se puede suponer que las pérdidas de carga son del orden del 5 % al 10 % del salto bruto.

3.2.3 Potencia a instalar y producción

La potencia varía en función del caudal de agua disponible para ser turbinado y el salto existente en cada instante.

$$P=9.81*Q*Hn*e$$

P=potencia en kw

Q=caudal de equipamiento en m³/s

Hn=salto neto existente en metros

.e=factor de eficiencia de la central, que es igual al producto de los rendimientos de los diferentes equipos que intervienen en la producción de la energía:

$$.e=Rt*Rg*Rs$$

Rt=rendimiento de la turbina

Rg=rendimiento del generador

Rs=rendimiento del transformador de salida

El rendimiento de maquinaria varia, según el tipo de equipo y el fabricante, pero para una mini central hidroeléctrica moderna el factor sugerido es 0.85.

$$P=9.81 \times 5.80 \text{ m}^3/\text{seg} \times 30 \text{ ms} \times 0.85 = 1450.9 \text{ kw}$$

Producción media:

Es el producto de la potencia en cada momento por las horas de funcionamiento.

Producción :

$$E(\text{kwh})=9.81*Q*Hn*T*e*n$$

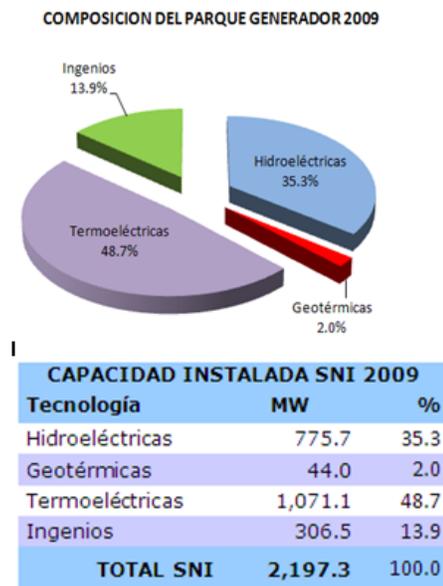
$$=9.81*5.80*30*6*.85*.85$$

$$E=7,399.58 \text{ KWh}=7.399 \text{ mwh}$$

$$E/\text{anual}=2,663,848.80 \text{ KWh}$$

$$E/\text{anual}=2,663.8 \text{ Mw}$$

$$E/\text{anual}=2.66 \text{ Gw}$$



Fuente: Ministerio de energía y minas.

Analizando la matriz energética, tendría poco impacto en la generación anual, Sin embargo no hay que descartar la cantidad de pequeñas hidroeléctricas que podrían instalarse en áreas con caudales de aguas residuales con potencial capacidad de generación.

T es el número de horas de funcionamiento, con un salto neto y caudal fijo.
n=coeficiente de imponderables que refleja las pérdidas de energía debidas al mantenimiento y reparación de la central, incluso la disponibilidad del agua y la necesidad del mercado eléctrico.

Para la simulación del cálculo de la producción tener en cuenta:

El caudal es variable en función del tiempo, por lo que la energía se calculara en periodos de tiempo en que el caudal pueda considerarse constante.

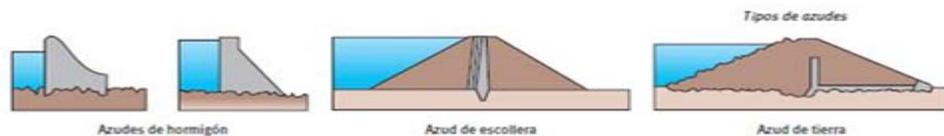
El salto se considera constante en centrales fluyentes y variable en centrales de pie de presa.

3.2.4 INSTALACIONES DE OBRA CIVIL:

Es la infraestructura e instalaciones necesarias para derivar, conducir y restituir el agua turbinada, albergar los equipos electromecánicos y el sistema eléctrico general y de control.

Componentes de la obra civil:

Azudes y presas: Es la obra para la retención del cauce de un rio. Resiste al empuje del agua por su propio peso, en los azudes de tierra y escollera se suele colocar un anclaje al terreno con el fin de aumentar su estabilidad.



- Presa: El muro que retiene el agua tiene una altura considerable, provoca una elevación notoria del nivel del rio mediante la creación de un embalse. Las aportaciones se podrán regular en función de su tamaño. Por la forma de resistir el empuje hidrostático hay varios tipos de presas:
- Presa de gravedad: Contrarresta el empuje del agua con su propio peso, según él, material de que está hecha puede ser:

- Presa de gravedad de tierra o escollera: Tienen una gran base y poca altura, no utilizan hormigón, están construidas con material propio del lugar, se emplean en centrales grandes y pequeñas.
- Presa de gravedad propiamente dicha: Se construye de hormigón y el terreno que sujeta tiene que ser muy consistente.
- Presa en arco: El esfuerzo del empuje del agua se transmite hacia las laderas del valle, su forma implica cierta curvatura. La convexidad que forma la presa esta vuelta hacia el embalse. Se sitúan en valles angostos con laderas rocosas de buena calidad. Se usa para elevaciones de poca altura de la lámina de agua.
- Aliviaderos, compuertas y válvulas: Son dispositivos que permiten el paso del agua desde el embalse hasta el cauce del río, aguas abajo, para evitar el peligro ocasionado por las avenidas. Las compuertas y válvulas permiten regular y controlar los niveles del embalse.

Distintas posibilidades de desagüe:

- Aliviaderos de superficie: Pueden disponer de distintos tipos de compuertas, permiten mantener totalmente cerrado, abierto parcial o totalmente el paso del agua. Según la técnica que emplean se distinguen:
 - Compuertas verticales: El elemento de cierre es un tablero de chapa reforzado que se sube y baja verticalmente guiado por unas ranuras en los pilares adyacentes.
 - Compuertas de segmento o Taintor: Es una estructura metálica con una superficie de forma cilíndrica, que gira alrededor de un eje al que está unido a través de brazos radiales. La apertura se realiza con un movimiento hacia arriba.
 - Compuertas de sector: Su forma es similar a las compuertas de segmento, difiere de estas en el movimiento de apertura, es de arriba hacia abajo, dejando libre el paso para que el agua vierta por encima de la compuerta.

Esto implica un espacio vacío en el interior de la presa, donde se guarda la compuerta cuando está abierto el paso de agua.

- Clapeta: Son las compuertas basculantes alrededor de un eje que vierten por arriba. Se necesita un alojamiento horizontal para la compuerta cuando esta abatida.
- Desagües de fondo o medio fondo: Utilizan las válvulas y las compuertas como elementos de cierre. Las válvulas se emplean en instalaciones con caudales moderados o medios. Pueden ser de aguja, mariposa, compuerta o de chorro hueco. Es necesario colocar rejas protectoras en la entrada de las válvulas, las rejas deben de contar con dispositivo limpiador que las mantenga libre de cualquier obstrucción.
- Toma de agua: Es la estructura que se realiza para desviar parte del agua del cauce del río y facilitar la entrada desde el azud o la presa. En el diseño debe buscarse que las pérdidas sean mínimas. La toma dispone de una rejilla que evita la entrada de elementos sólidos al canal y una compuerta de seguridad que se denomina ataguía. La ataguía solo se cierra en caso de emergencia o cuando se va a realizar una inspección o reparación. Otro tipo de toma es la sumergida, se utiliza en centrales de montaña por la sencillez de su construcción, provoca un impacto mínimo sobre el medio ambiente.
- Canales, túneles y tuberías: Las instalaciones situadas al pie de presa no tienen cámara de carga (es el propio embalse), en las centrales de derivación donde el agua tiene que hacer un recorrido más largo: primero desde la toma a la cámara de carga, y después hasta la turbina. El primer tramo que recorre el agua se realiza a través de canales, túneles o tuberías. En el segundo tramo hasta la turbina, se utilizan siempre tuberías. Los canales que transportan el agua de la toma a la cámara de carga pueden realizarse a cielo abierto, enterrados o en conducción a presión. Las conducciones superficiales se

construyen con muy poca pendiente, el agua debe circular a baja velocidad para evitar al máximo las pérdidas de carga. Las conducciones tienen una pendiente de aproximadamente el 0.5 por mil. Los túneles suelen ser de superficie libre y funcionan como canal abierto (el agua no circula a presión). Las tuberías se emplean en las conducciones bajo tierra, si son del tipo de superficie libre, el fluido estará sometido a presión, cuando la presión interna es muy alta, se incluye un armazón metálico como refuerzo. La clase de terreno determina la sección transversal a utilizar, para canales en roca se utiliza la sección rectangular, para canales en tierra se utiliza la sección trapezoidal. Para conducciones en lámina libre enterradas se suelen utilizar tuberías prefabricadas de concreto. La altura de lámina de agua, ancho de la solera del canal en función del caudal para canales rectangulares y trapezoidales se pueden determinar por medio de graficas.

- **Cámara de carga:** Es un depósito al final del canal del cual arranca la tubería forzada. En algunos casos se utiliza como depósito final de regulación, normalmente tiene solo capacidad para suministrar el volumen necesario para el arranque de la tubería sin intermitencias. Cuando la conducción entre la toma de agua y la cámara de carga se realiza en presión, la cámara de carga será cerrada y tendrá una chimenea de equilibrio para amortiguar las variaciones de presión y protegerla de los golpes de ariete. Si la tubería forzada no está suficientemente sumergida, un flujo de este tipo puede provocar la formación de vórtices que arrastren aire hasta la turbina, produciendo una fuerte vibración que bajaría el rendimiento. La cámara de carga deberá contar con un aliviadero, para desaguar el agua turbinada al río.
- **Tubería forzada:** Lleva el agua desde la cámara de carga hasta la turbina. Debe soportar la presión de la columna de agua, la sobrepresión que

provoca el golpe de ariete en caso de parada brusca. La colocación de la tubería forzada será enterrada o aérea. Si la tubería es aérea es necesario sujetar la tubería mediante apoyos, además de los anclajes necesarios en cada cambio de dirección de esta y la instalación de juntas de dilatación que compensen los esfuerzos originados por los cambios de temperatura. Para tubería enterrada, se coloca una cama de arena en el fondo de la zanja sobre la que se apoya la tubería, se instalan anclajes de concreto en los cambios de dirección de la tubería; no es necesario las juntas de dilatación. El espesor mínimo de la tubería es de 6 mm, el espesor se calcula en función del tipo de salto y el diámetro. El diámetro se calcula en función del caudal.

- Cuarto de maquinas: Ahí estarán ubicadas turbinas, bancadas, generadores, alternadores, cuadros eléctricos, cuadros de control, etc. La ubicación del edificio depende de los estudios topográficos, geológicos y geotécnicos. Puede estar junto a la presa, al pie de la presa, separado aguas abajo cuando haya posibilidad de aumentar la altura del salto, puede construirse bajo tierra.
- Elementos de cierre y regulación: Son necesarios dispositivos que aislen las turbinas, tales como ataguías, compuertas, válvulas.
- Equipamiento electromecánico: Las turbinas y equipos de una central presentan una alta eficiencia debido a los avances en los últimos 150 años, cubriendo toda la gama de caudales desde 0,1 a 500 m³/s, se puede utilizar hasta 1800 m de salto neto con rendimientos buenos mecánicos.
- Turbinas hidráulicas: Es el elemento clave de una central hidroeléctrica, aprovecha la energía cinética y potencial que tiene el agua, transformándola en un movimiento de rotación, que transferido mediante un eje al generador produce energía eléctrica. Se clasifican en dos grupos: turbinas de acción y turbinas de reacción. En una turbina de acción la presión del agua convierte primero en energía cinética. En una turbina de reacción la presión del agua

actúa como una fuerza sobre la superficie de los alabes y decrece a medida que avanza hacia la salida.

- Turbinas de acción: aprovechan únicamente la velocidad del flujo de agua para hacerlas girar. El tipo más utilizado es el denominado turbina pelton, también existe la turbina Turgo con inyección lateral y la turbina de doble impulsión o doble flujo cruzado, también conocida por turbina Ossberger p Banki-Michell.
- Pelton: Se emplea en saltos elevados que tienen poco caudal. Está formada por un disco circular móvil con alabes de doble cuenco, El chorro de agua entra en la turbina dirigido y regulado por uno o varios inyectores, incidiendo en los alabes y provocando el movimiento de giro de la turbina. La potencia se regula a través de los inyectores, que aumentan o disminuyen el caudal de agua. En las paradas de emergencia se emplea un deflector que dirige el chorro directamente al desagüe, evitando el embalamiento de la máquina. Esto permite un cierre lento de los inyectores, sin golpes de presión en la tubería forzada. Tienen una alta disponibilidad y bajo costo de mantenimiento, además su rendimiento es bastante alto (superior al 90% en condiciones de diseño: presenta una curva de rendimiento bastante plana con un rendimiento superior al 80% para un caudal del 20% del nominal). Es muy apropiada para operar con carga parcial, permite una amplia variación de caudales en su funcionamiento. Se puede instalar con eje horizontal o vertical, con uno o varios inyectores, Por lo general se combinan:
 - Eje horizontal en las maquinas con uno o dos inyectores,
 - Eje vertical en las maquinas con mas de dos inyectores. Esta solución encarece el costo del generador.
- Turbina de flujo cruzado (Ossberger): Está constituida por un inyector de sección rectangular provisto de alabe longitudinal que regula y orienta el caudal que entra en la turbina, y un rodete de forma cilíndrica con sus múltiples palas

dispuestas como generatrices y soldadas por los extremos a discos terminales. El primer impulso se produce cuando el caudal entra en la turbina orientado por el alabe del inyector hacia las palas del rodete. Cuando este caudal ya ha atravesado el interior del rodete proporciona el segundo impulso, al salir del mismo y caer por el tubo de aspiración. Este tipo de turbina se puede instalar en aprovechamientos con saltos comprendidos entre 1 y 200 metros con un rango de variación de caudales muy grande. La potencia unitaria que puede instalar está limitada a aproximadamente a 1 MW. El rendimiento máximo es inferior al de las turbinas Pelton, siendo aproximadamente el 85%, tiene un funcionamiento con rendimiento prácticamente constante para caudales de hasta 1/16 del caudal nominal.

- Turbinas de reacción: Este tipo de turbinas cuenta con un diseño de rotor que permite aprovechar la presión que aún le queda al agua a su entrada para convertirla en energía cinética. Esto hace que el agua al salir el rotor tenga una presión por debajo de la atmosférica. Las turbinas de reacción más utilizadas son la Francis y la Kaplan. Elementos de una turbina de reacción:
 - carcás o caracol. Estructura fija en forma de espiral donde parte de la energía de presión del agua que entra se convierte en energía cinética, dirigiendo el agua alrededor del distribuidor.
 - distribuidor. Lo componen dos coronas concéntricas; el estator (corona exterior de alabes fijos) y el rotor (corona de alabes móviles).
 - rodete. Es un elemento móvil que transforma la energía cinética y de presión del agua en trabajo.
 - difusor. Tubo divergente que recupera parte de la energía cinética del agua.
- Francis: Se adapta a todo tipo de saltos y caudales, cuenta con un rango de utilización muy grande. Se caracteriza por recibir el fluido del agua en dirección radial, y a medida que esta recorre la máquina hacia la salida se

convierte en dirección axial. Su rendimiento es superior al 90% en condiciones óptimas de funcionamiento. Permite variaciones de caudales entre el 40% y el 105% del caudal de diseño, y en salto entre 60% y el 125% del nominal.

Elementos que componen este tipo de turbinas:

- distribuidor. Contiene una serie de alabes fijos y móviles que orientan el agua hacia el rodete.
- rodete formado por una corona de paletas fijas, con una forma tal que cambian de dirección del agua radial a axial.
- cámara de entrada. Puede ser abierta o cerrada, y tiene forma espiral para dar una componente radial al flujo de agua.
- tubo de aspiración o de salida de agua. Puede ser recto o acodado, y cumple la función de mantener la diferencia de presiones necesarias para el buen funcionamiento de la turbina.

- Turbinas Hélice, Semikaplan y Kaplan: Las instalaciones con turbina hélice se componen básicamente de una cámara de entrada abierta o cerrada, un distribuidor fijo, un rodete con 4 o 5 palas fijas en forma de hélice de barco y un tubo de aspiración. Las turbinas Kaplan y Semikaplan son variantes de la hélice con diferentes grados de regulación. Ambos poseen el rodete con palas ajustables que les proporciona la posibilidad de funcionar en un rango mayor de caudales. La turbina Kaplan incorpora un distribuidor regulable que le da mayor rango de funcionamiento con mejores rendimientos, a cambio de una mayor complejidad y un coste más elevado. El rendimiento es de aproximadamente el 90% para el caudal nominal y disminuye a medida que nos alejamos de él. Se utilizan para saltos pequeños y caudales variables o grandes. Para una central de tipo fluyente, con su salto constante y un caudal muy variable, se recomienda utilizar turbina Kaplan o Semikaplan. La turbina hélice se utiliza en centrales con regulación propia, que funcionan con caudales casi constante entre unos niveles máximo y mínimo de embalse. La variación admitida en el

salto de estos tres tipos de turbina es del 60% al 140% del diseño, y en caudal, del 40% al 105% del caudal nominal para la Hélice, del 15% al 110% para las Kaplan, situándose la Semikaplan entre ambas. La implantación de este tipo de turbinas suele ser con eje vertical, en cámara abierta o cerrada, aunque en ocasiones es más conveniente otro tipo de instalaciones con eje horizontal o ligeramente inclinado, como las turbinas tubulares o bulbo.

- Tubular. También llamadas en S. su implantación puede ser de eje horizontal, inclinado o vertical, tienen un rendimiento ligeramente superior a las Kaplan en cámara, de entre un 1% O 2%.
- Bulbo. El generador está inmerso en la conducción protegido por una carcasa impermeable. El rendimiento es aproximadamente un 1% superior al de la turbina tubular. Tiene la ventaja que la obra civil necesaria se reduce pero los equipos son más complejos y esto dificulta el mantenimiento.

Rangos de utilización y rendimientos de las distintas turbinas

El uso del tipo de turbina está en función del salto y del caudal.

Para seleccionar una turbina hay que tener en cuenta la curva de rendimiento.

Para saltos pequeños y caudales variables se utiliza turbinas Kaplan.

Para saltos más elevados y variaciones de caudal moderadas se utiliza turbinas tipo Francis.

Para grandes saltos y cualquier magnitud de caudal se utiliza turbinas tipo Pelton.

El rendimiento de la turbina varía en función del lugar donde se vaya a instalar la central.

Las turbinas de reacción grandes ofrecen mejores rendimientos que las pequeñas, debido a que el rendimiento aumenta cuando aumenta el diámetro de la salida.

Potencial nominal

Es la máxima potencia producida por el generador en condiciones de diseño.

Viene expresado por la siguiente formula

$$P_n = 9,81 \cdot Q_n \cdot H_n \cdot R_t \cdot R_g$$

P_n = potencia nominal den KW

Q_n = caudal de equipamiento en m³/s

H_n = sato neto de diseño en metros

R_t = rendimiento de la tubería para H_n y Q_n de diseño

R_g = rendimiento nominal del generador

Si no se tiene datos se puede estimar el rendimiento del generador en un 95% para condiciones de funcionamiento nominal.

Para aumentar la velocidad de giro del rotor del generador puede instalarse un multiplicador de velocidad entre la turbina y este., esto disminuye el tamaño del generador y su costo, pues el número de polos del generador disminuye al aumentar la velocidad de giro; el multiplicador de velocidad produce perdidas mecánicas, alcanzando un rendimiento del 98%.

El generador

Transforma la energía mecánica de rotación de la turbina en energía eléctrica. Basa su funcionamiento en la inducción electromagnética. Basa su funcionamiento en la ley de Faraday, mediante la cual, cuando un conductor eléctrico se mueve en un campo magnético se produce una corriente eléctrica a través de él.

El generador está compuesto de dos partes fundamentales:

Rotor o inductor móvil. Su función es generar un campo magnético variable al girar arrastrado por la turbina.

Estator o inducido fijo. Sobre el que se genera la corriente eléctrica aprovechable.

En centrales menores de 1000 KW la tensión de trabajo del generador es de 400 a 660 voltios. Para potencia más elevada la generación se produce en media tensión (3.000, 5.000 o 6.000 voltios).

El generador puede ser de dos tipos: síncrono o asíncrono.

Síncrono.

La conversión de energía mecánica en eléctrica se produce a una velocidad constante llamada velocidad de sincronismo, que viene dada por la expresión

$$N_s = 60 \cdot f / p$$

N_s = velocidad de sincronismo expresada en r.p.m.

f = frecuencia en Hz

p = número de pares de polos del generador.

Las bobinas crean el campo magnético en los polos del rotor. Para que esto ocurra, por estas bobinas debe circular una corriente eléctrica continua. Para producir esta corriente continua pueden emplearse diferentes sistemas de excitación:

Autoexcitación estática:

La corriente proviene de la propia energía eléctrica generada, previamente transformada de alterna en continua.

Excitación con diodos giratorios:

Se crea una corriente alterna invertida, con polos en el estator y se rectifica por un sistema de diodos, situado en el eje común.

Excitación auxiliar:

La corriente necesaria se genera mediante un dinamo auxiliar regulado por un reóstato.

El generador toma la corriente de la red para la creación del campo magnético. También es necesaria la colocación de una batería de condensadores que compense la energía reactiva generada.

El uso de este tipo de generadores no precisa regulador de velocidad en la turbina. Para arrancar el grupo se abre el distribuidor de la turbina hasta que se llega a una velocidad superior a la de un sincronismo y en este momento se conecta a la red por medio de un interruptor automático.

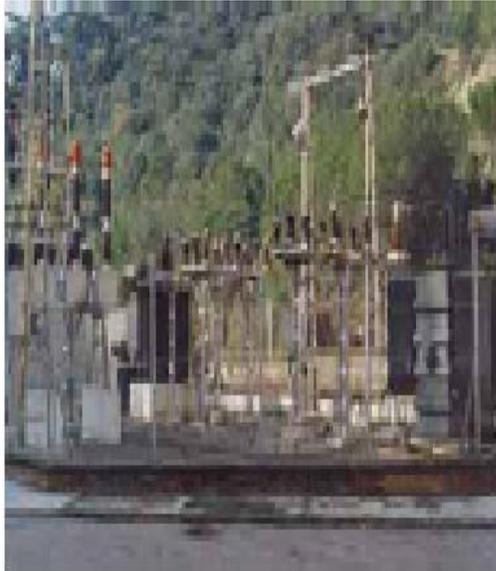


Equipo eléctrico general y línea

El equipamiento eléctrico es el encargado de la transformación de la tensión, de la medición de los diferentes parámetros de la corriente eléctrica, de la conexión a la línea de salida y de la distribución de la energía.

Transformador de tensión

Dependiendo de la tensión de trabajo del generador, la transformación puede ser baja/media o media/alta tensión. El objetivo es elevar la tensión al nivel de la línea existente para permitir el transporte de la energía eléctrica con las mínimas pérdidas posibles.



Los equipos eléctricos necesarios se disponen en cuadros eléctricos situados en el interior del edificio central y son:

- Disyuntores y seccionadores, que se emplean para la conexión y desconexión a la red.
- Transformadores de medida, tanto de tensión como de intensidad, que facilitan los valores instantáneos de estas magnitudes en diversas partes de la instalación.
- Transformadores de equipos auxiliares, que suministran la tensión adecuada para el correcto funcionamiento de los equipos.
- Pararrayos o auto válvulas, que actúan como descargadores a tierra de las sobre intensidades que se producen..

Línea eléctrica.

Es necesaria para transportar la energía producida hasta los centros de consumo o hasta la red de distribución. el costo de la línea puede encarecer el proyecto, dependiendo de su longitud y de la orografía del terreno.

Es importante conocer la frecuencia y tensión de la red.

Los valores normales de la tensión varían desde 3 kv hasta 66 kv, 72 kv o incluso 132 kv, dependiendo de las condiciones del punto de conexión. La tensión nominal de la red existente tiene gran importancia ya que implica una transformación al mismo nivel, que puede suponer un costo elevado si se estuviera condicionado a conectar a una línea de alta tensión.



Elementos de regulación, control y protección

La instalación de estos elementos es necesaria para regular y controlar el buen funcionamiento de la central, además de los dispositivos de protección que deben colocarse en la central y la línea eléctrica, y que actuaran cuando se produzca algún fallo en la central.

Los principales bucles de control y sistemas de supervisión y mando para una mini central hidroeléctrica son:

Para el control de la turbina:

Regulador de velocidad en instalaciones con grupos síncronos

Reguladores de nivel para centrales con grupos asíncronos conectados a la red.

Reguladores de potencia generada para centrales en red aislada.

Regulador de caudal turbinado.

Para el control del generador:

Regulador de tensión para grupos síncronos.

Equipo de sincronización, cuando existen grupos síncronos funcionando conectados a la red.

Baterías de condensadores y un rele taquimétrico, cuando existan grupos asíncronos funcionando conectados a la red.

Para el control de turbina y generador se pueden distinguir tres casos, en función del tipo de generador utilizado y del funcionamiento previsto:

Central con generador síncrono funcionando conectado a la red. Aunque el control de la turbina no necesita un regulador de velocidad porque la frecuencia esta mantenida por la red, es conveniente su instalación. El mando del distribuidor se realiza por medio de un servo-oleo hidráulico, y las órdenes de apertura y cierre proceden del regulador de nivel.

El control del generador es una regulación del factor potencia, ya que al estar conectado a la red esta fija la tensión, y la variación de la excitación modifica la potencia reactiva suministrada por el grupo.

El equipo automático de sincronización estará provisto de ajuste de velocidad y tensión del grupo, a través de un rele de sincronismo.

Central con generador síncrono funcionando aislado.

Se necesita un sistema de regulación de velocidad y potencia, para que el control de la turbina asegure el mantenimiento de la frecuencia de la red en cualquier condición de carga.

El control del generador necesita un regulador de tensión que actúe sobre la excitación del alternador, con el fin de mantener la tensión dentro de los límites admisibles.

Las principales causas que pueden accionar las protecciones son:

Protecciones mecánicas:

- Embalamiento de turbina y generador

- Temperatura de eje y cojinetes

- Nivel de circulación del fluido de refrigeración

- Temperatura de aceite del multiplicador de velocidad

Nivel mínimo hidráulico

Desconexión de la bomba del aceite de regulación.

Protecciones eléctricas del generador y transformador:

Intensidad máxima

Retorno de potencia (máxima admite 5% de la nominal)

Calentamiento del generador y/o del transformador

Derivación del estator

Producción de gases en el transformador

Nivel de tensión (entre el 85 y el 100% de la tensión nominal)

Nivel de frecuencia (entre 47.5 y 51 HZ)

Protecciones de la línea de media tensión:

Derivación de fase de tierra

Cortocircuito o inversión de fases

Sobre intensidad

Red de tierra, para limitar la tensión con respecto al terreno.

Conclusiones

- El impacto en la matriz energética no es altamente significativo, sin embargo es importante tener en cuenta los potenciales lugares para mini centrales eléctricas de generación con agua residual, el recurso hídrico poco a poco será más explotado y surgirán eventualmente problemas de tipo social de grupos de personas que se oponen a la construcción de hidroeléctricas.
- La calidad del agua residual para generación de electricidad deberá tener un tratamiento primario con el fin de mejorar su DBO y minimizar el problema de manejo de desechos y sedimentos, así como las concentraciones de gas metano que podrían convertirse en gases peligrosos , además es importante considerar en las fases de diseño la protección de los equipos.
- El uso de aguas residuales para generación de electricidad tendrá los siguientes impactos ambientales:
 - Impacto hídrico positivo, pues al tratar el agua residual, la calidad de agua que desfoga al lago, así como la se recarga al subsuelo por infiltración es de mejor calidad que la actual.
 - Impacto positivo en el balance hídrico, pues la aguas tratadas son aguas de mejor calidad.
 - Impacto edáfico negativo por la pérdida de suelos potencialmente cultivables.
 - Impacto socioeconómico positivo por la generación de empleos, la mejor calidad de vida pues se incrementa la oferta de energía eléctrica, el incremento de la oferta mejora la calidad de servicio y el precio.
 - Impacto atmosférico positivo, pues al generar con recursos renovables se reduce la emisión de gases de efecto invernadero.

- Reducción de emisiones de CO₂ por no usar petróleo, así como impacto macroeconómico positivo al no comprar divisas para compra de petróleo.
- Los requerimientos técnicos mínimos para aguas residuales para generación de electricidad son la buena interrelación entre las variables N/P, N/DQO, N/DBO, P/DQO, P/DBO, pues esto es un indicador que son aguas factibles de tratar, y al mejorar la calidad del agua mejoran las condiciones de generación y se reducen costos de operación.
- El potencial hídrico factible de aprovechar es de 5,000 Mw, por lo que la capacidad de generación del río Villalobos no es significativa, pero vuelve autofinanciable la solución de un problema sanitario.

Recomendaciones

Es importante determinar con exactitud los caudales sanitarios tributarios de la industria, pues son los de mayor impacto ambiental.

Hacer un análisis de potenciales zonas de generación con agua residual, evaluar la posibilidad de volver autofinanciable los proyectos de generación con agua residual, esto permitiría resolver problemas sanitarios con el mal manejo de aguas residuales, se podría normar e incluso establecer tarifas para conectarse a estos sistemas de tratamiento.

BIBLIOGRAFIA

1. Ministerio de Energía y Minas. Política Energética y Minera, 2008-2015. MEM-PRONACOM. Guatemala, octubre 2007.
2. J.M. DE AZEVEDO NETTO. Manual de Hidráulica. Harla S.A. 1976
3. Preparado por Honorable congreso de la Republica de Guatemala y el Ministerio de Ambiente y recursos Naturales, por la Ingeniera Marta Ximenez de Rivera. Documento Técnico de Apoyo al Desarrollo de la Política Energética 2008-2030.
4. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlan. AMSA. Calidad de Aguas. Causas de la Eutrofización.
5. Edmundo Villacorta. Colegio de Ingenieros del Perú. Caso de estudio en la ciudad de Arequipa. Potencial Hidroeléctrico a partir del uso de aguas residuales urbanas.
6. Edmundo Castro y Gerardo Barrientos. INBio. Generación de ingresos mediante el uso sostenible de los servicios ambientales de la biodiversidad en Costa Rica.
7. Programa regional OPS/EHP/CEPIS de mejoramiento de la recolección, transporte y disposición final de residuos sólidos. Análisis de residuos sólidos.
8. Unda Opazo Francisco.Uteha. Ingeniería sanitaria aplicada a saneamiento y salud pública.
9. Jairo Alberto Romero Rojas. Editorial escuela colombiana de ingeniería. Lagunas de estabilización de aguas residuales.
10. Hayro Oswaldo Gracia Garcia.Escuela regional de ingeniería sanitaria y recursos hidráulicos-ERIS- Cuantificación de la calidad del agua del rio

Villalobos en época seca y lluviosa en un periodo de 24 horas 2 veces al mes en un punto previo a la entrada al lago de Amatitlan.

11. García H. Contaminación por urbanizaciones en la cuenca del lago de amatitlan. AMSA Agosto 2001.
12. Mc Mannis, L. Diagnostico del sector industrial de la cuenca del Lago de Amatitlan. ARRLA. 1995.
13. Valladares, Juan Fernando. Caracterización fisicoquímica de la cuenca del rio Villalobos. Estudio Especial-ERIS-1999.
14. Cordón y Mérida-ESI, Ingenieros. Estudio Hidrológico de la cuenca del rio Villalobos. Informe Final. AMSA 1999.
15. Ministerio de Energía y Minas. Guatemala. C.A. Guía del inversionista 2010.
16. AMSA-junio 2001. Contaminación por industrias en la cuenca del lago de Amatitlan
17. Ramiro Ortiz Flores. Universidad del valle, Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.
18. IDAE. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. E28004-Madrid. Mini centrales hidroeléctricas

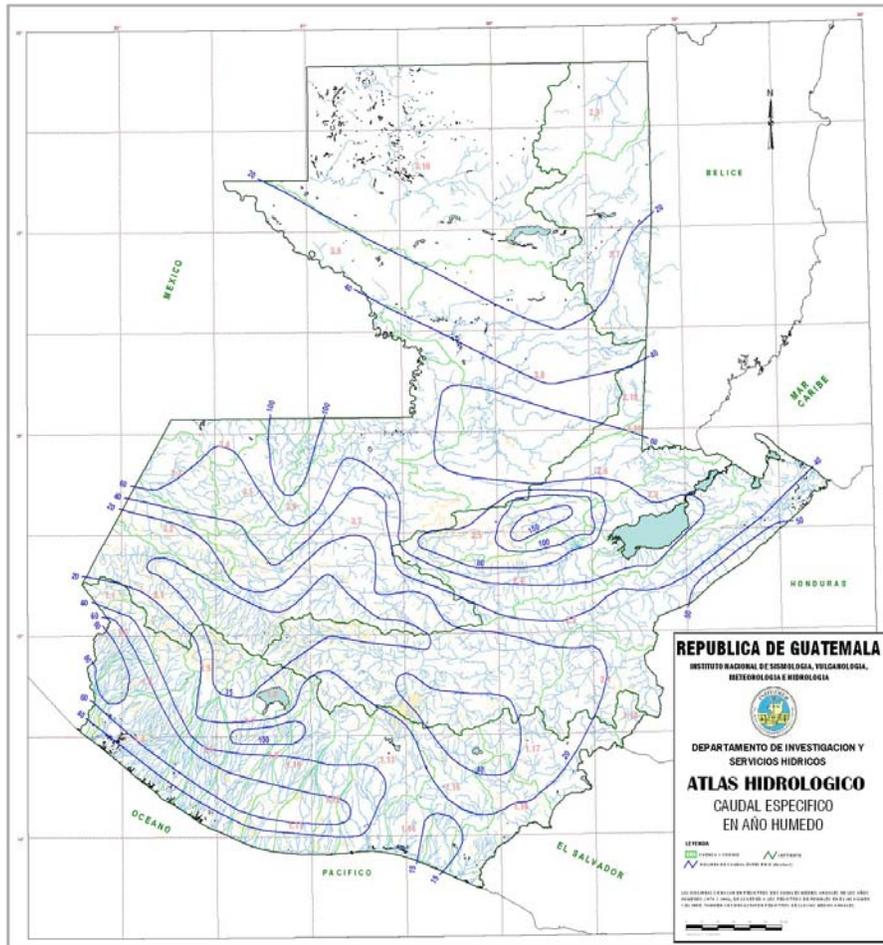
E-grafía

1. <http://www.talentfactory.dk/es/tour/wres/index.htm>
2. <http://elblogverde.com/energia-eolica/>
3. <http://swera.unep.net>
4. <http://www.bluenergygroup.org>
5. <http://www.smartplanet.com/business/blog/intelligent-energy/electricity-from-sewage-just-add-gold/2057/>
6. <http://ans.hsh.no/home/ev/>
7. http://www.mem.gob.gt/portal/documents/Magazines/2009-02/480/REV-EST_2008_WEB.pdf
8. <http://www.ciemat.es>
Centro de investigaciones energéticas, medioambientales y tecnológicas.
9. <http://www.cener.com>
Centro nacional de energías renovables
10. <http://www.appa.es>
Asociación de productores de energías renovables

ANEXOS

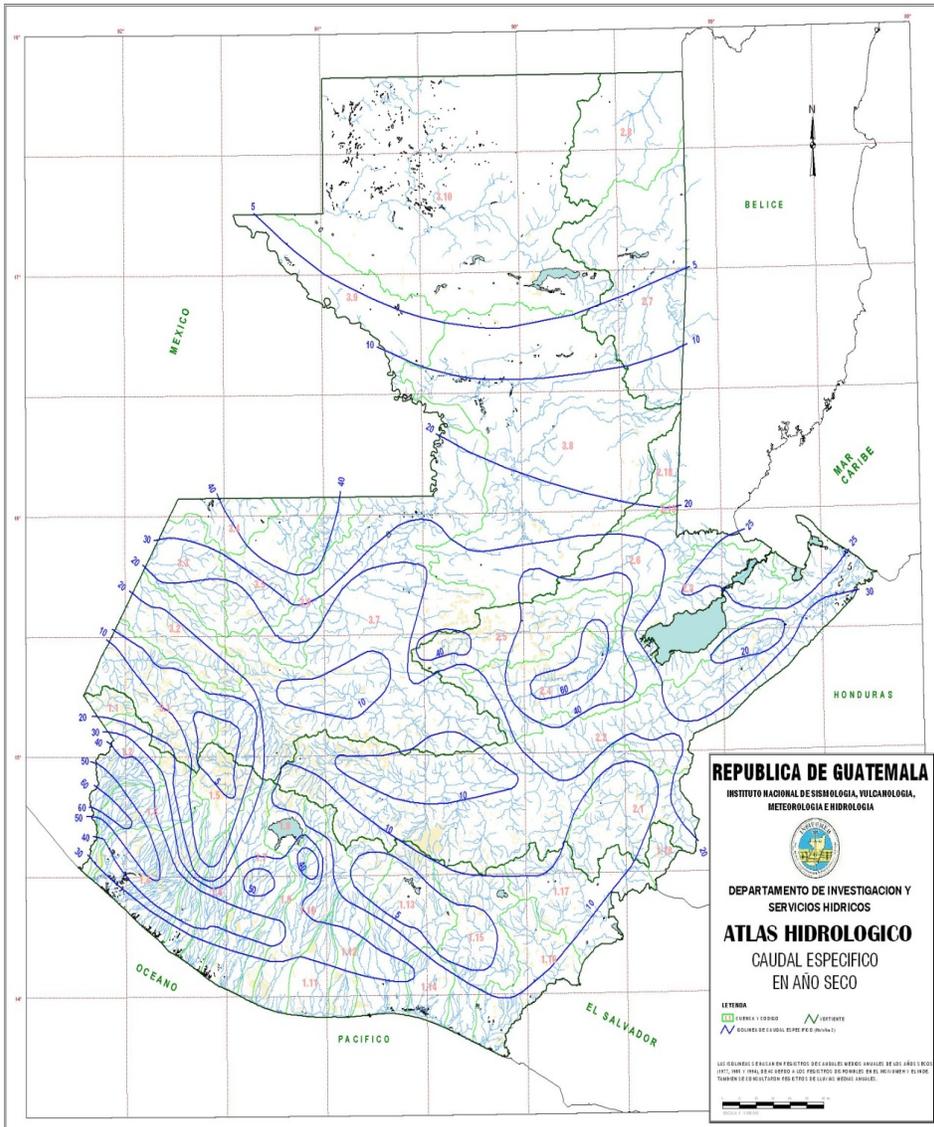
Anexo 1

CAUDAL ESPECIFICO EN AÑO HUMEDO



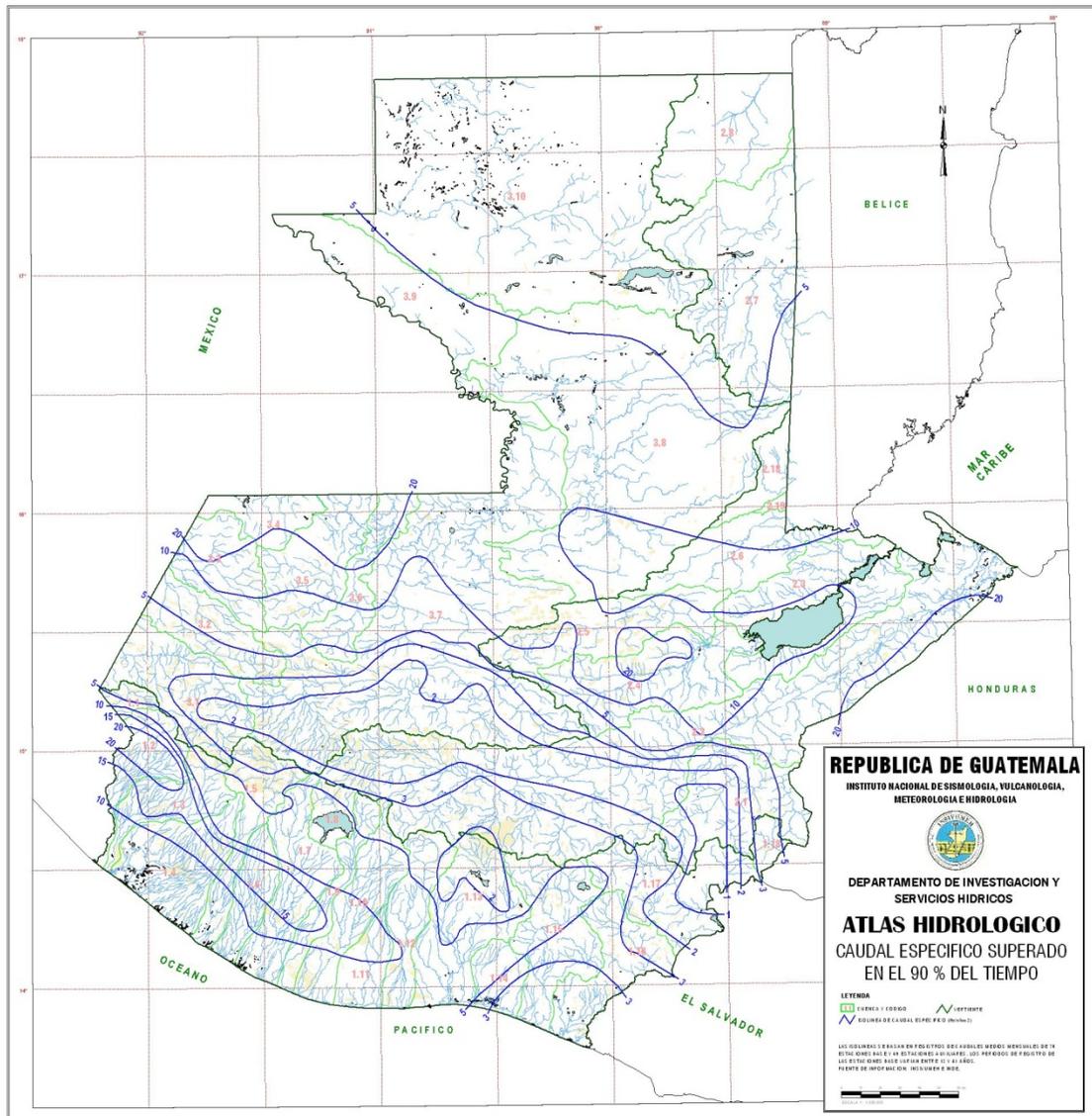
Anexo 2

CAUDAL ESPECIFICO EN AÑO SECO



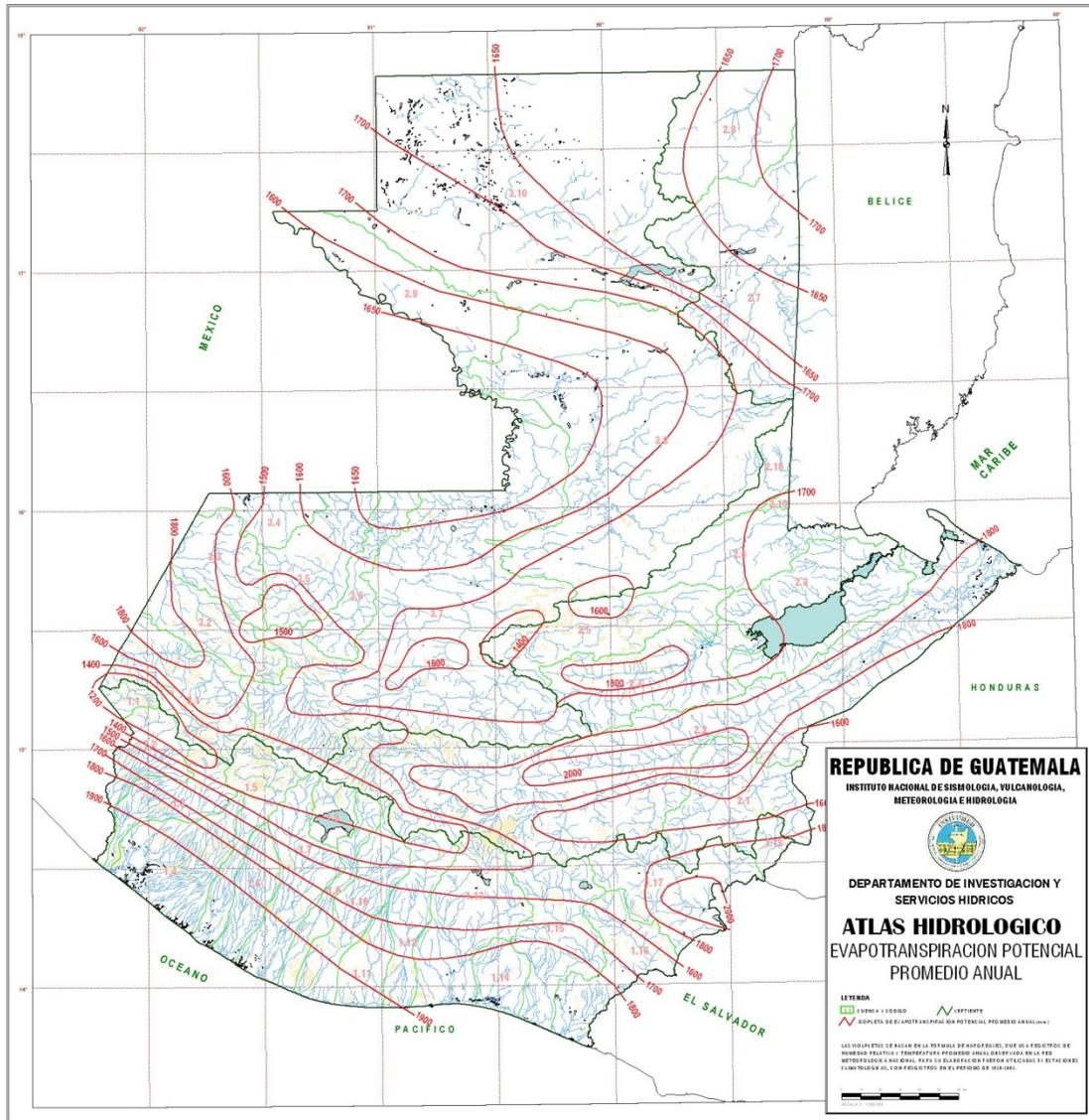
Anexo 3

CAUDAL ESPECIFICO SUPERADO EN LE 90% DEL TIEMPO



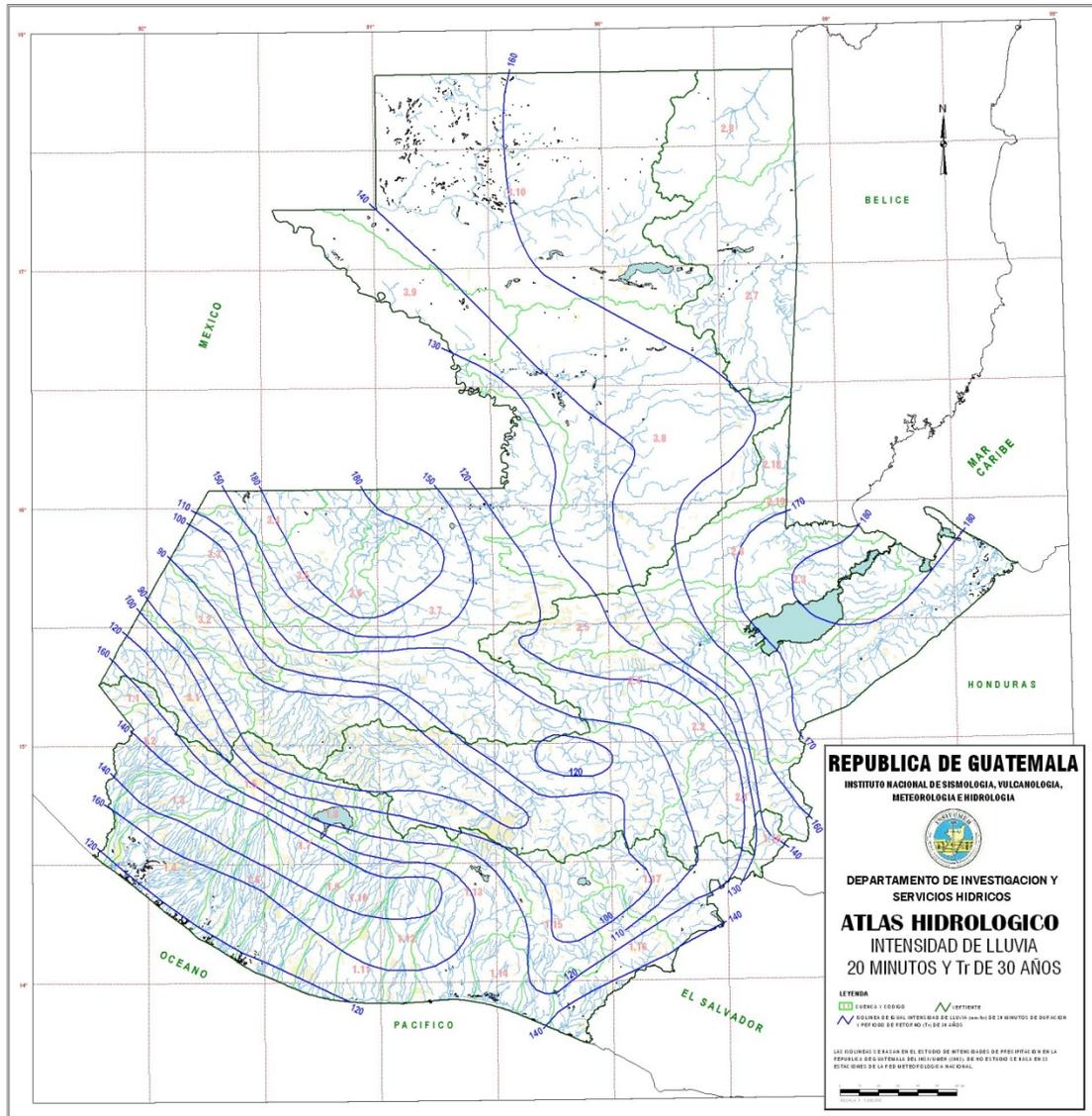
Anexo 4

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL PROMEDIO ANUAL



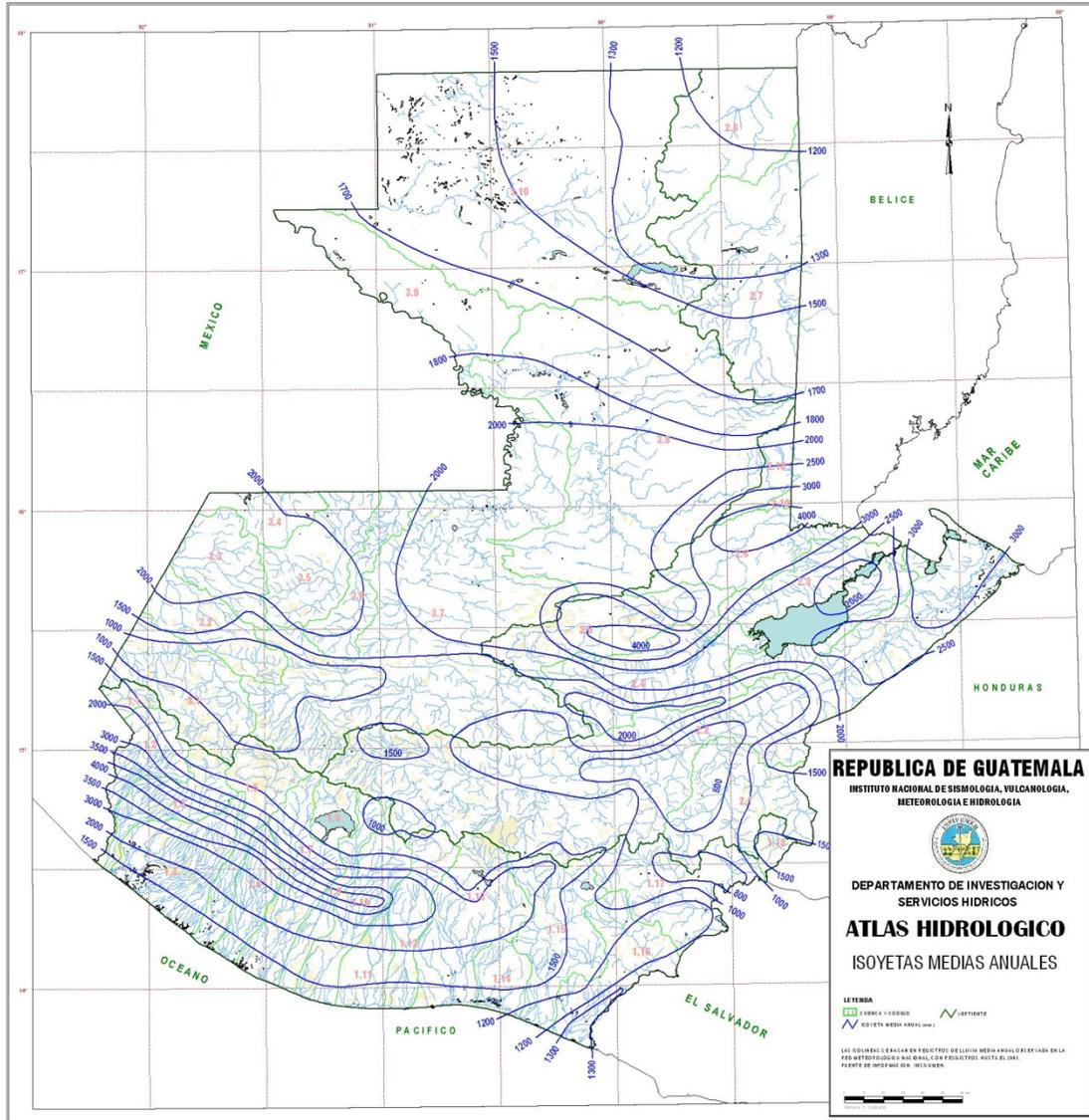
Anexo 5

INTENSIDAD DE LLUVIA
20 MINUTOS Y Tr DE 30 AÑOS



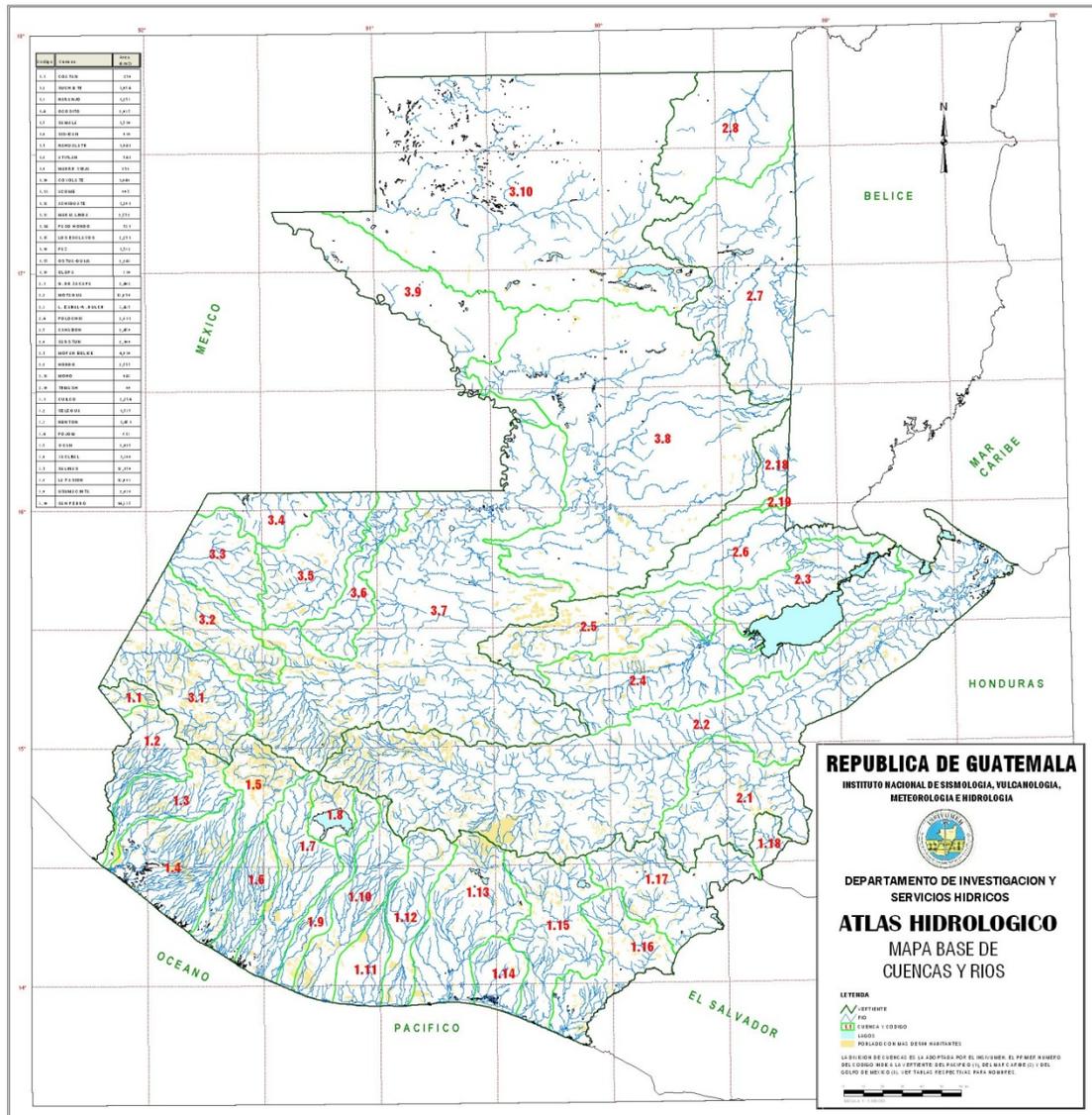
Anexo 6

ISOYETAS MEDIAS ANUALES



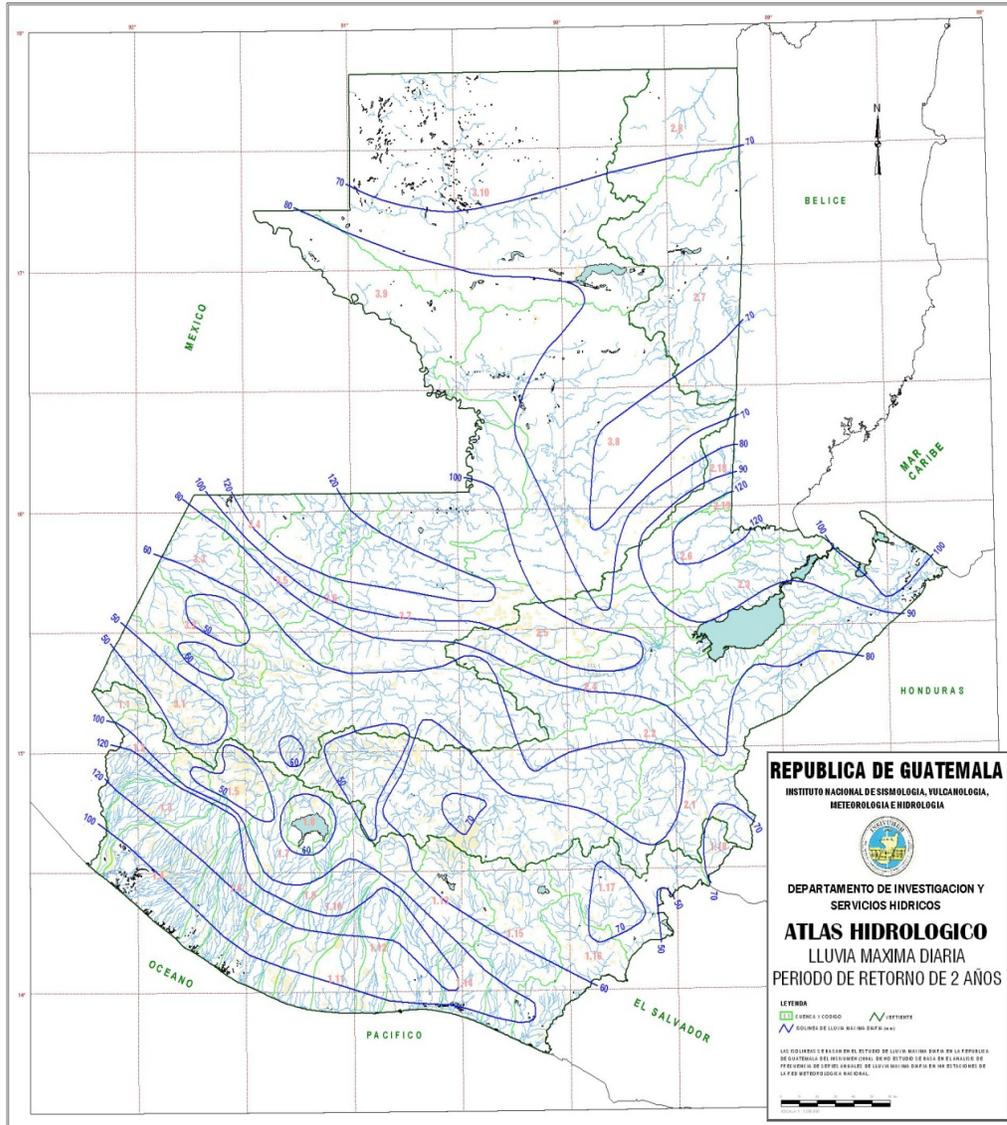
Anexo 7

MAPA BASE DE CUENCAS Y RIOS



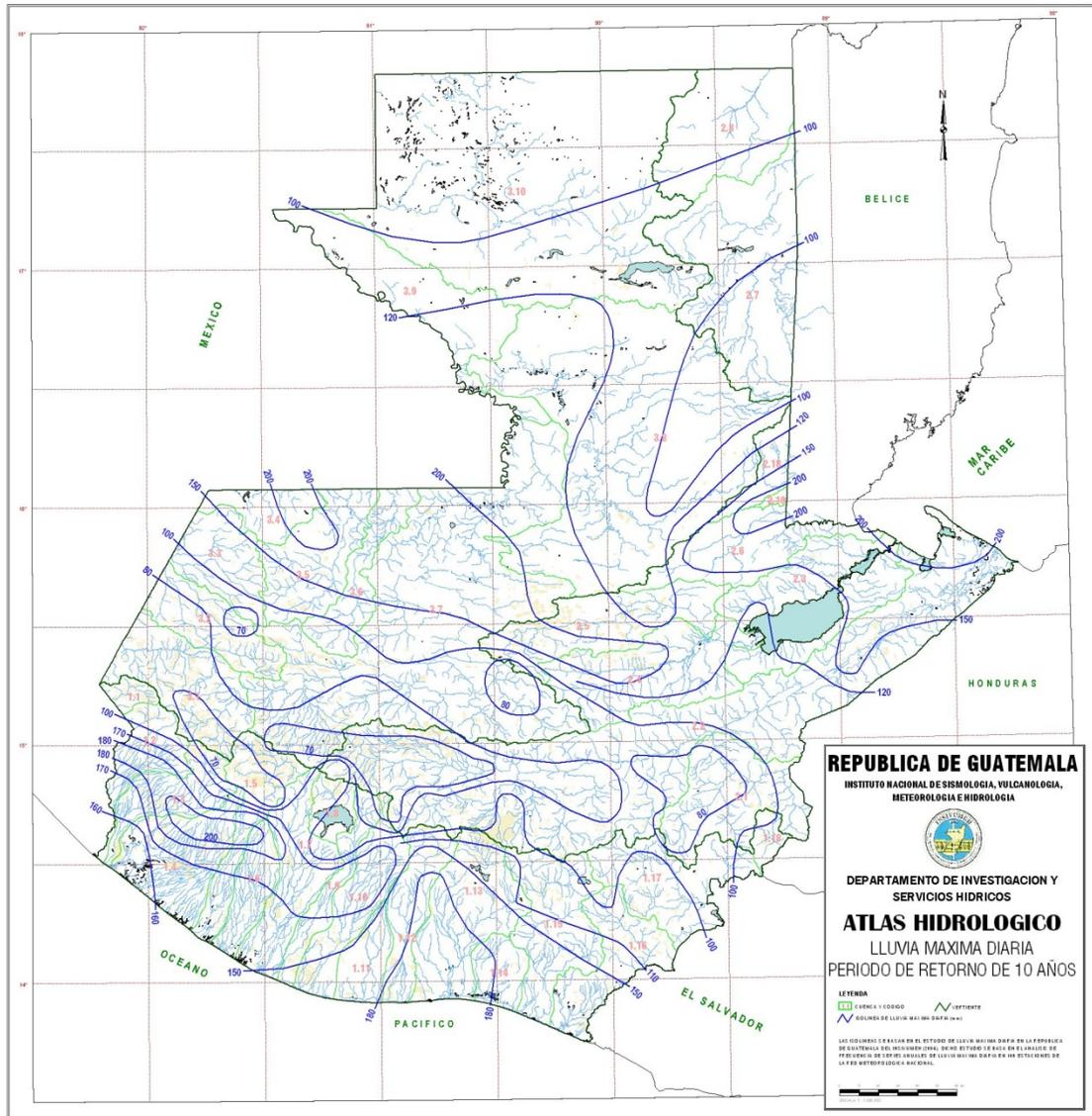
Anexo 8

LLUVIA MAXIMA DIARIA
PERIODO DE RETORNO DE 2 AÑOS



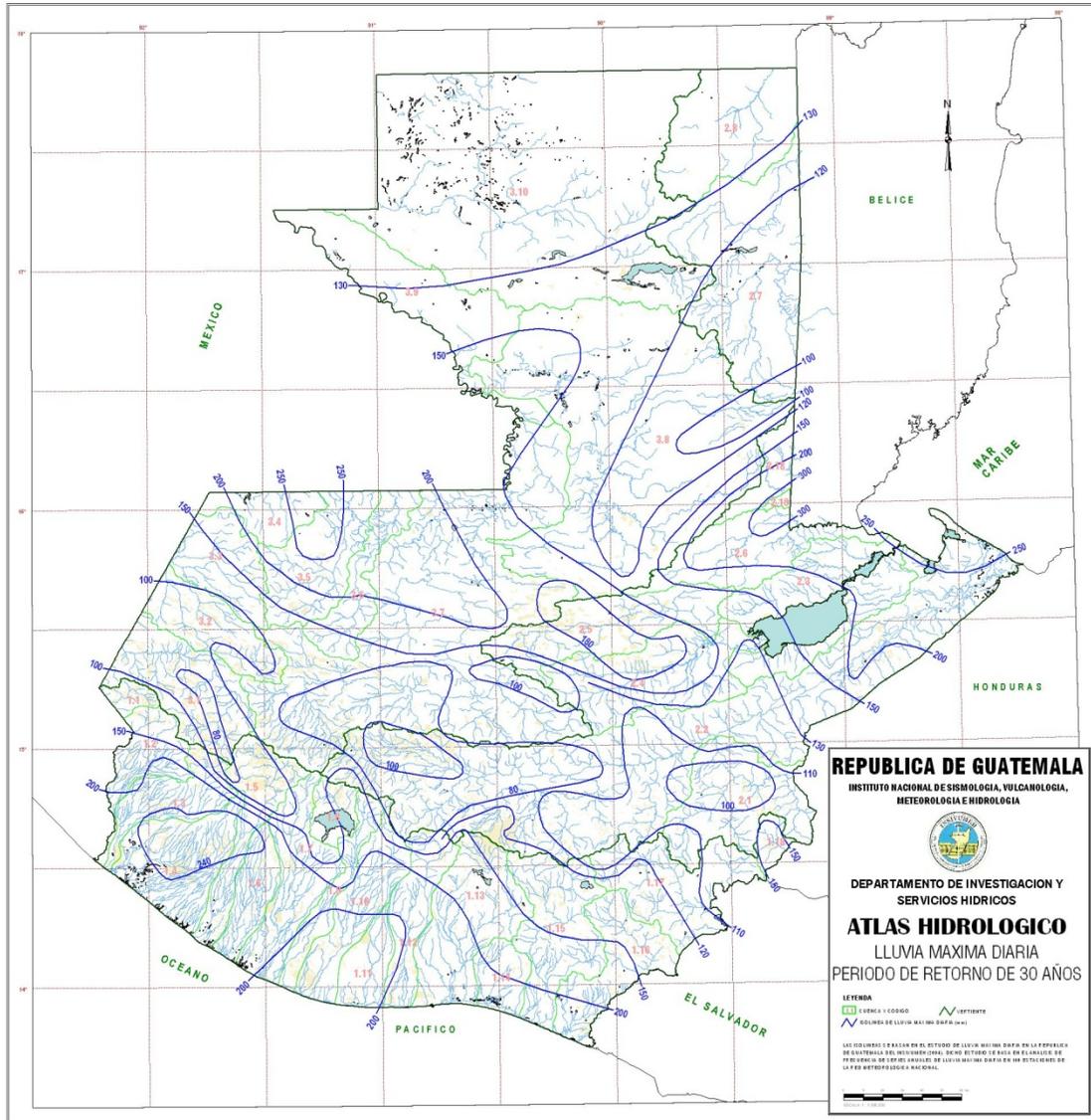
Anexo 9

LLUVIA MAXIMA DIARIA
PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS



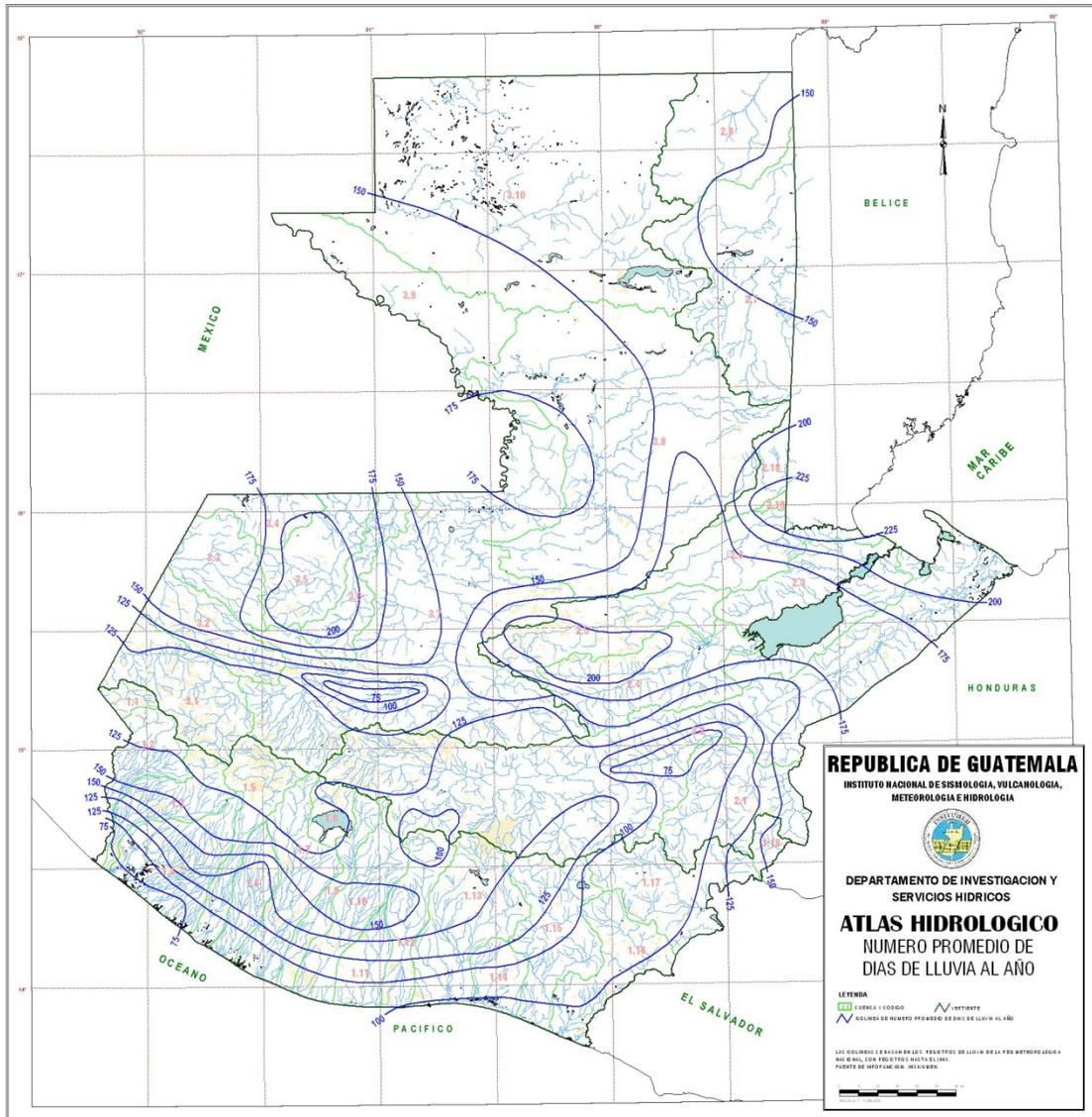
Anexo 10

LLUVIA MAXIMA DIARIA
PERIODO DE RETORNO DE 30 AÑOS



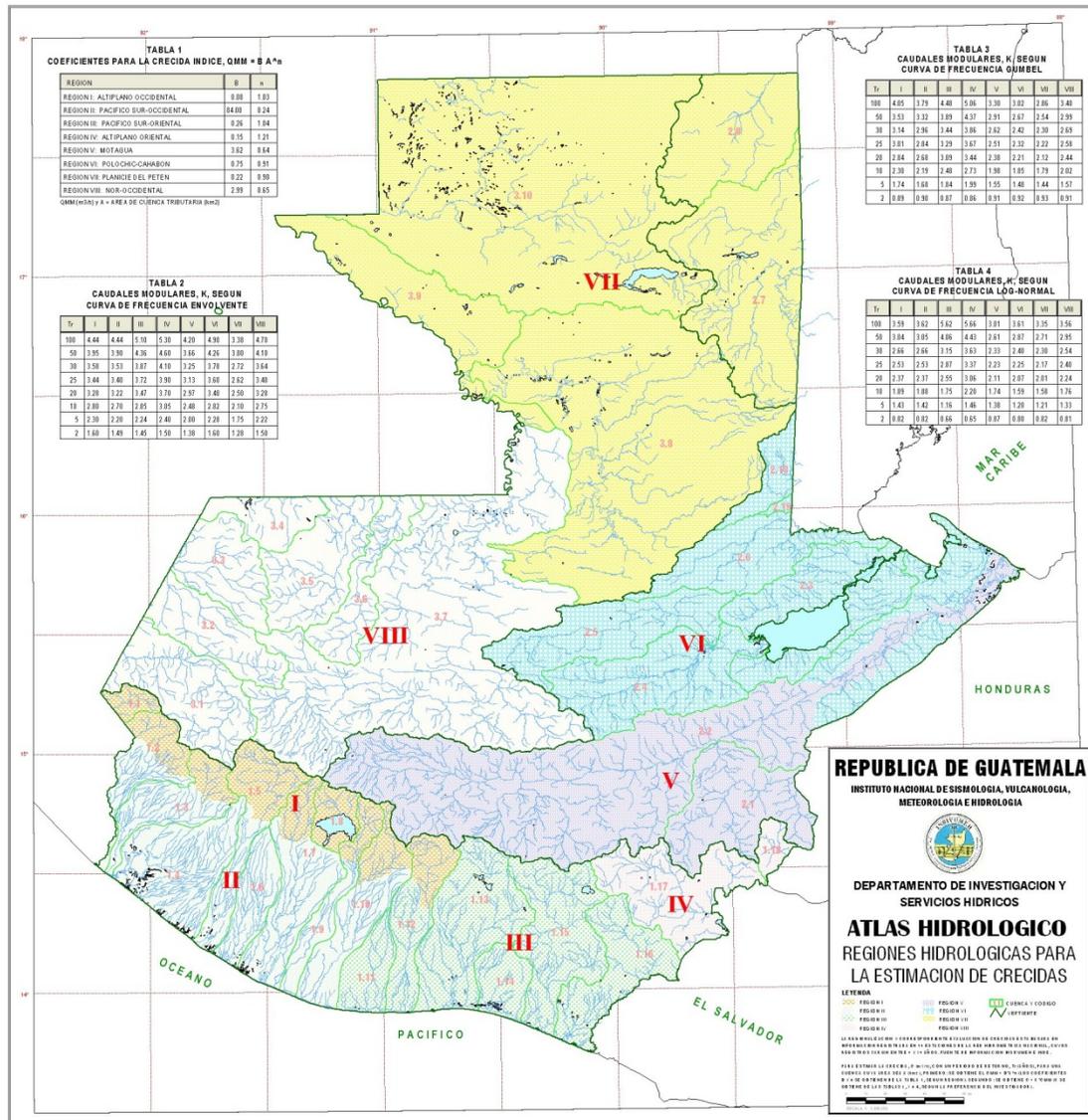
Anexo 11

NUMERO PROMEDIO DE DIAS DE LLUVIA AL AÑO



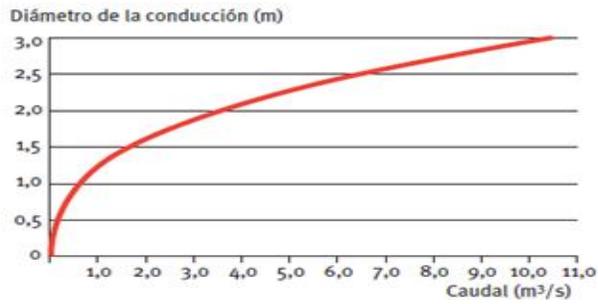
Anexo 14

REGIONES HIDROLOGICAS PARA LA ESTIMACION DE CRECIDAS



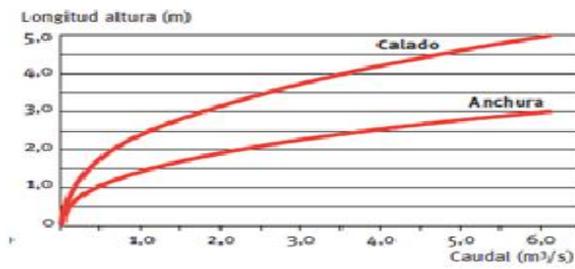
Anexo 15

Diámetro de una conducción circular en lámina libre en función del caudal



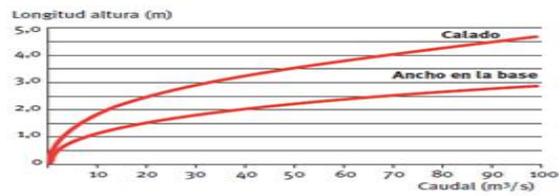
Anexo 16

Canal rectangular. Ancho y calado en función del caudal



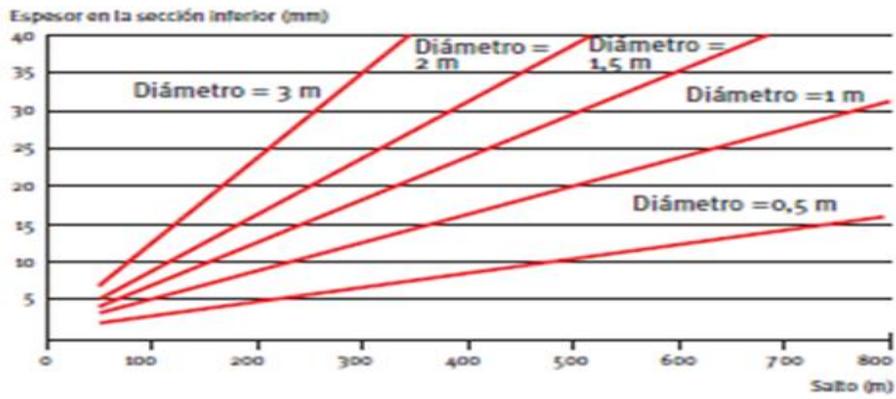
Anexo 17

Canal trapezoidal. Ancho de la base y calado en función del caudal



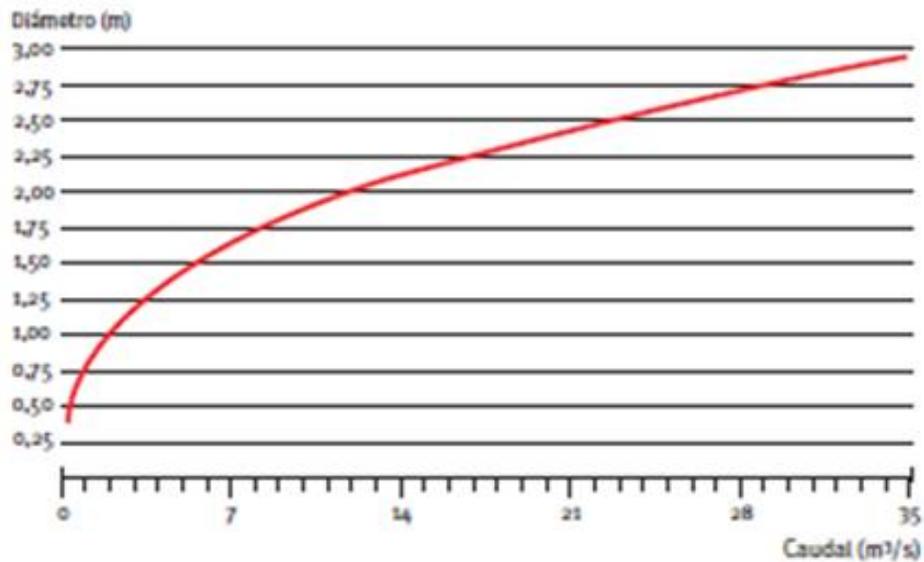
Anexo 18

Espesor de la tubería forzada en la sección inferior en función del salto y el diámetro

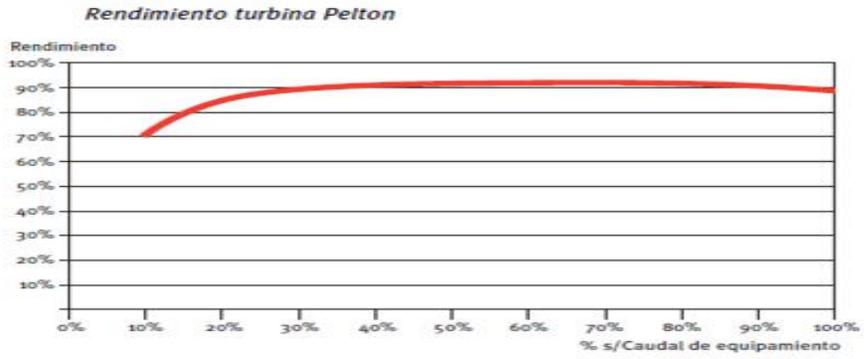


Anexo 19

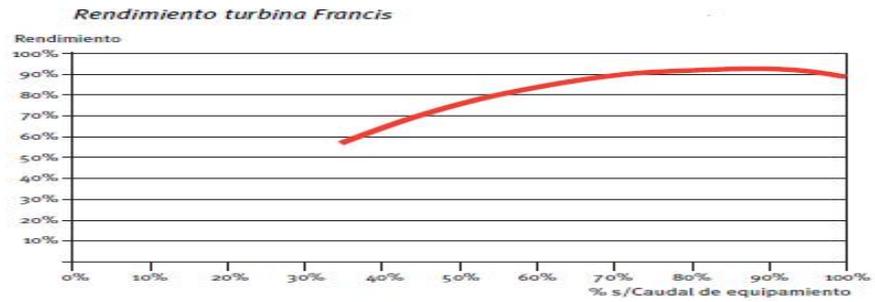
Diámetro de la tubería en función del caudal



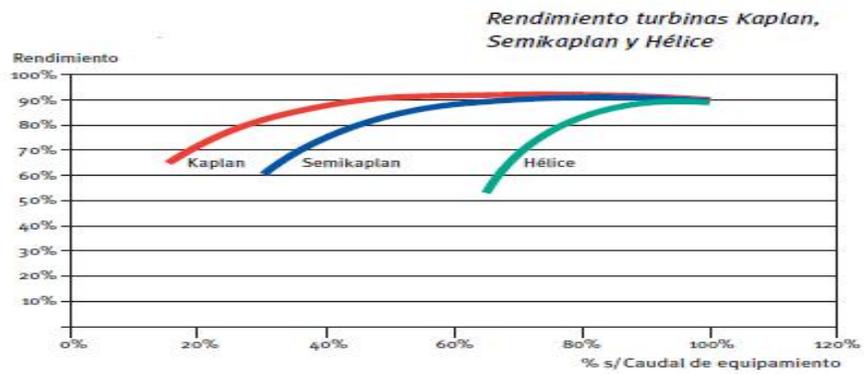
Anexo 20



Anexo 21



Anexo 22



Anexo 23

*Campo de utilización
de los diferentes
tipos de turbinas*

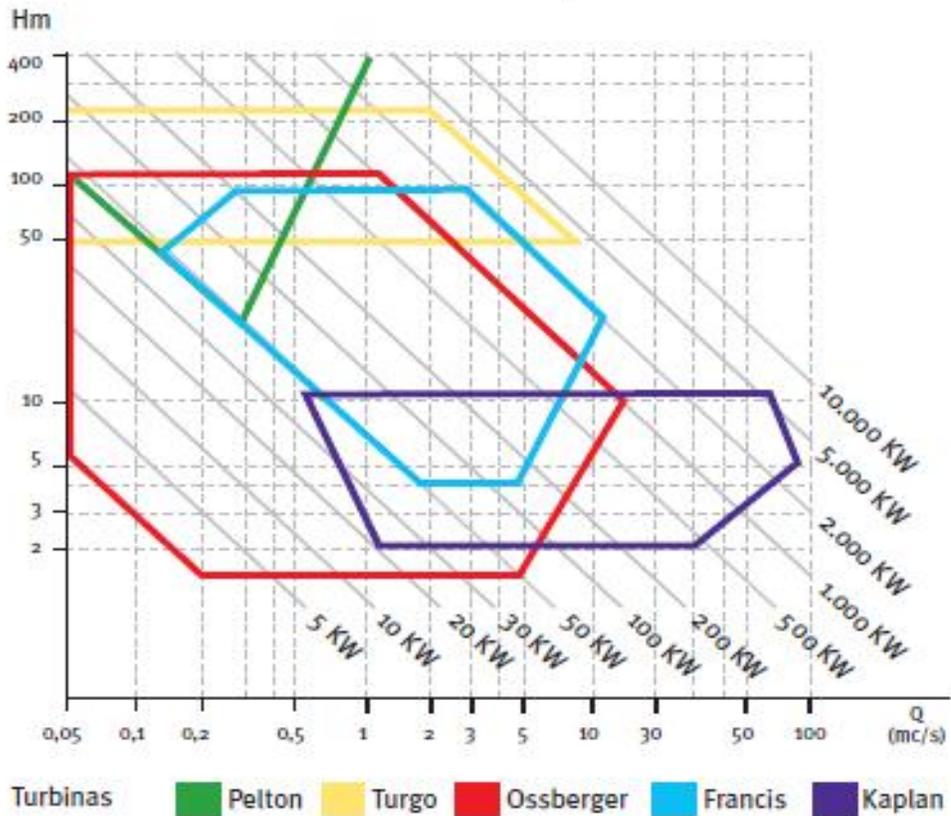


TABLA 1
COEFICIENTES PARA LA CRECIDA INDICE, $QMM = B A^n$

REGION	B	n
REGION I: ALTIPLANO OCCIDENTAL	0.08	1.03
REGION II: PACIFICO SUR-OCCIDENTAL	84.00	0.24
REGION III: PACIFICO SUR-ORIENTAL	0.26	1.04
REGION IV: ALTIPLANO ORIENTAL	0.15	1.21
REGION V: MOTAGUA	3.62	0.64
REGION VI: POLOCHIC-CAHABON	0.75	0.91
REGION VII: PLANICIE DEL PETEN	0.22	0.90
REGION VIII: NOR-OCCIDENTAL	2.99	0.65

QMM (m³/s) y A = AREA DE CUENCA TRIBUTARIA (km²)

**TABLA 3
CAUDALES MODULARES, K, SEGUN
CURVA DE FRECUENCIA GUMBEL**

Tr	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
100	4.05	3.79	4.48	5.06	3.30	3.02	2.86	3.40
50	3.53	3.32	3.89	4.37	2.91	2.67	2.54	2.99
30	3.14	2.96	3.44	3.86	2.62	2.42	2.30	2.69
25	3.01	2.84	3.29	3.67	2.51	2.32	2.22	2.58
20	2.84	2.68	3.09	3.44	2.38	2.21	2.12	2.44
10	2.30	2.19	2.48	2.73	1.98	1.85	1.79	2.02
5	1.74	1.68	1.84	1.99	1.55	1.48	1.44	1.57
2	0.89	0.90	0.87	0.86	0.91	0.92	0.93	0.91

**TABLA 4
CAUDALES MODULARES, K, SEGUN
CURVA DE FRECUENCIA LOG-NORMAL**

Tr	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
100	3.59	3.62	5.62	5.66	3.01	3.61	3.35	3.56
50	3.04	3.05	4.06	4.43	2.61	2.87	2.71	2.95
30	2.66	2.66	3.15	3.63	2.33	2.40	2.30	2.54
25	2.53	2.53	2.87	3.37	2.23	2.25	2.17	2.40
20	2.37	2.37	2.55	3.06	2.11	2.07	2.01	2.24
10	1.89	1.88	1.75	2.20	1.74	1.59	1.58	1.76
5	1.43	1.42	1.16	1.46	1.38	1.20	1.21	1.33
2	0.82	0.82	0.66	0.65	0.87	0.80	0.82	0.81