



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**MEDICIÓN BATIMÉTRICA PARA DETERMINAR EL VOLUMEN
DE MATERIAL SEDIMENTADO ACUMULADO DURANTE EL
TIEMPO DE SERVICIO DEL EMBALSE PUEBLO VIEJO, DE LA
CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHIXOY**

Saulo Ariel Jom Morán

Asesorado por el Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta

Guatemala, noviembre 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MEDICIÓN BATIMÉTRICA PARA DETERMINAR EL VOLUMEN
DE MATERIAL SEDIMENTADO ACUMULADO DURANTE EL
TIEMPO DE SERVICIO DEL EMBALSE PUEBLO VIEJO, DE LA
CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHIXOY**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

SAULO ARIEL JOM MORÁN

ASESORADO POR EL ING. MANUEL ARRIVILLAGA OCHAETA
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortíz de León
VOCAL V	P.A. José Alfredo Ortíz Herincx
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
EXAMINADOR	Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta
EXAMINADOR	Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

MEDICIÓN BATIMÉTRICA PARA DETERMINAR EL VOLUMEN DE MATERIAL SEDIMENTADO ACUMULADO DURANTE EL TIEMPO DE SERVICIO DEL EMBALSE PUEBLO VIEJO, DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHIXOY,

tema que me fuera asignado por la dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,
el 9 septiembre de 2009



Saulo Ariel Jom Moran

Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería



UNIDAD DE E.P.S.

Guatemala 11 de mayo de 2010.
Ref.EPS.DOC.632.05.10.

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Saulo Ariel Jom Morán** de la Carrera de Ingeniería Civil, con carné No. **200412366**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"MEDICIÓN BATIMÉTRICA PARA DETERMINAR EL VOLUMEN DE MATERIAL SEDIMENTADO ACUMULADO DURANTE EL TIEMPO DE SERVICIO DEL EMBALSE PUEBLO VIEJO, DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHIXOY"**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

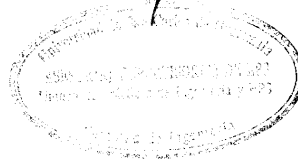
Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Manuel Alfredo Arriyillaga Ochaeta
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Civil

c.c. Archivo
MAAO/ra





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
27 de julio de 2010

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ing. Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **MEDICIÓN BATIMÉTRICA PARA DETERMINAR EL VOLUMEN DE MATERIAL SEDIMENTADO ACUMULADO DURANTE EL TIEMPO DE SERVICIO DEL EMBALSE PUEBLO VIEJO, DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHIXOY**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Saulo Ariel Jom Morán, quien contó con la asesoría del Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

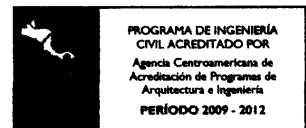
Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
Revisor por el Departamento de Hidráulica



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
HIDRAULICA
USAC

/bbdeb.

Más de 130 Años de Trabajo Académico y Mejora Continua



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería



UNIDAD DE E.P.S.

Guatemala, 11 de mayo de 2010.
Ref.EPS.D.348.05.10

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Montenegro Franco.


Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"MEDICIÓN BATIMÉTRICA PARA DETERMINAR EL VOLUMEN DE MATERIAL SEDIMENTADO ACUMULADO DURANTE EL TIEMPO DE SERVICIO DEL EMBALSE PUEBLO VIEJO, DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHIXOY"** que fue desarrollado por el estudiante universitario **Saulo Ariel Jom Morán**, quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta .

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor -Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

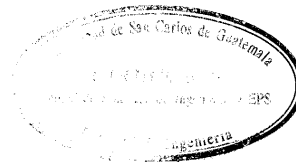
Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Norma Ileana Sarmiento Zagaña de Serrano
Directora Unidad de EPS

NISZ/ra



Edificio E.P.S., Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala,
Ciudad Universitaria zona 12, tel. (502) 2442-3509



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta y de la Directora de la Unidad de E.P.S. Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña, al trabajo de graduación del estudiante Saulo Ariel Jom Morán, titulado MEDICIÓN BATIMÉTRICA PARA DETERMINAR EL VOLUMEN DE MATERIAL SEDIMENTADO ACUMULADO DURANTE EL TIEMPO DE SERVICIO DEL EMBALSE PUEBLO VIEJO, DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHIXOY, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

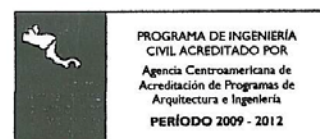

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
DIRECTOR
FACULTAD DE INGENIERÍA

Guatemala, octubre de 2010

/bbdeb.

Más de 130^{Años} de Trabajo Académico y Mejora Continua



Universidad de San Carlos
de Guatemala

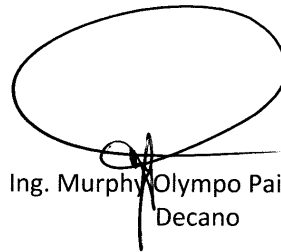


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 344.2010

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **MEDICIÓN BATIMÉTRICA PARA DETERMINAR EL VOLUMEN DE MATERIAL SEDIMENTADO ACUMULADO DURANTE EL TIEMPO DE SERVICIO DEL EMBALSE PUEBLO VIEJO, DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHIXOY**, presentado por el estudiante universitario **Saulo Ariel Jom Morán**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 2 de noviembre de 2010

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

DIOS

Todo poderoso que me ha dado vida, salud, inteligencia y me ha guiado durante este proceso de aprendizaje.

MIS PADRES

Francisco Jom y Bertha Morán, por el apoyo incondicional y sacrificios realizados en mi proceso de formación.

MIS HERMANOS

Amílcar, Ligia, Carol y Gabriela, por el apoyo y motivación de seguir luchando para el logro de mis objetivos.

MIS ABUELOS

Ramón Morán y Elena Cú (q.e.p.d), por su amor siempre estuvieron a mi lado motivándome a cumplir mis propósitos personales.

MIS TIOS

Que me apoyaron durante mi formación profesional.

MIS AMIGOS

Que estuvieron estos años en la culminación de mi carrera, espero que sigan buscando sus sueños en la vida.

ÍNDICE GENERAL

LISTA DE ILUSTRACIONES	IV
GLOSARIO	VI
RESUMEN	VII
OBJETIVOS	IX
INTRODUCCIÓN	XI
1. ANTECEDENTES	
1.1 Uso y función de los embalses	1
1.1.1 Embalses de simple propósito	2
1.1.2 Embalses de múltiple propósito	3
1.2 Tipos de embalses	3
1.2.1 Embalses estacionales	3
1.2.2 Embalses horarios	4
1.3 Factores que inciden en la operación de embalses	4
1.3.1 Características morfológicas	5
1.3.1.1 Curvas elevación-área-volumen	6
1.3.2 Parámetros geológicos	7
1.3.2.1 Infiltración	7
1.3.2.2 Sedimentación	9
1.3.2.3 Inestabilización de taludes	11
1.3.3 Parámetros climáticos	11
1.3.3.1 Precipitación	12
1.3.3.2 Evaporación	13
1.3.3.3 Escorrentía	13

1.4 Estudios batimétricos en embalses	15
1.4.1 Breve reseña histórica de los relevamientos Batimétricos	15
1.4.1.1 Batimetría mediante sensores remotos	17
1.4.2 Determinación de la posición (x,y) de un punto sobre superficie de agua	18
1.4.2.1 Métodos de corto alcance	18
1.4.2.2 Métodos de medio y largo alcance	19
1.4.3 Nueva metodología empleada a partir de 2005	22
2. LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO DEL EMBALSE PUEBLO VIEJO	
2.1 Ubicación de monumentos que representan las secciones transversales	26
2.2 Georeferenciación de monumentos de secciones transversales	28
2.3 Replanteo de monumentos faltantes	31
2.4 Especificaciones e instalación de equipo	32
2.5 Batimetría de secciones transversales	36
2.6 Planos de la batimetría	38
2.6.1 Planta general de profundidades	39
2.6.2 Batimetría de los ríos	41
2.6.3 Secciones transversales finales	49
3. CUBICACIÓN DEL EMBALSE	
3.1 Descripción del método empleado en la cubicación	71
3.2 Cálculo de superficie encerrada por cada curva de nivel	73

3.2.1 Tabulación de volumen en el embalse	75
3.3 Curva elevación área volumen	77
3.3.1 Cálculo de volumen útil	79
3.3.2 Cálculo de volumen muerto	80
4. SEDIMENTACIÓN EN EL EMBALSE	
4.1 Método utilizado para el cálculo de sedimento	84
4.2 Cálculo de sedimento acumulado	85
4.2.1 Perfiles longitudinales de los afluentes	88
4.3 Tendencia de acumulación de sedimento	92
4.4 Proyecciones del embalse	95
4.4.1 Proceso de sedimentación	96
4.4.2 Pérdida de volumen para 10,25,50 y 75 años	98
5. CONSIDERACIONES AMBIENTALES	
5.1 Evaluación de impacto ambiental de embalses	103
5.2 Legislación ambiental y eléctrica	108
CONCLUSIONES	112
RECOMENDACIONES	114
BIBLIOGRAFÍA	117
ANEXOS	119

LISTA DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Función y capacidad reguladora de los embalses	1
2	Embalse de simple propósito, Pueblo Viejo	2
3	Curva elevación-área-volumen	6
4	Modelo digital de elevaciones (MDE) embalse Pueblo Viejo	24
5	Ejemplificación del levantamiento batimétrico	25
6	Orillas del río Chixoy, incremento poblacional	27
7	Sección No. 45 nueva referenciación Chixoy	28
8	Georeferenciación del banco de marca ubicado en Táctic, Alta Verapaz, amarrado al embalse Pueblo Viejo	29
9	Estación base ubicado en PV1	30
10	Geoposición de puntos (rover) con colectora de datos y comunicación inalámbrica al geoposicionador	31
11	Monumento replanteado y reconstruido	32
12	Ecosonda knudsen utilizado en batimetría	34
13	GPS de doble frecuencia instalados en la lancha	36
14	Esquema de niveles de presa	70
15	Deducción de la ecuación para la cubicación	71
16	Sumatoria de volúmenes parciales	72
17	Gráfica de área-elevación del embalse Pueblo Viejo 2009	75
18	Gráfica de volumen-elevación del embalse Pueblo Viejo 2009	77
19	Gráfica de elevación-área-volumen Pueblo Viejo 2009	79
20	Gráfica de representación de volumen útil y muerto	81
21	Reducción de área debido a la sedimentación	85
22	Perfiles longitudinales de los ríos Chixoy y Salamá	89

23	Perfiles longitudinales de los ríos Blanco y Carchelá	90
24	Perfil longitudinal del río Chicruz	91
25	Gráfica de tendencia de acumulación de sedimentos	93
26	Gráfica de porcentaje pérdida de capacidad	94
27	Gráfica de pérdida de volumen muerto	100
28	Gráfica de decrementos en volumen y área muerto	101

TABLAS

I	Tabulación de áreas del embalse	74
II	Cálculo de volumen del embalse Pueblo Viejo	76
III	Volumen de sedimento 1997-2009	87
IV	Registro de sedimento acumulado en el embalse Pueblo Viejo	92
V	Capacidad actual del embalse Pueblo Viejo	94
VI	Sedimentación en el embalse Pueblo Viejo	95
VII	Porcentaje de decrementos en volumen muerto	100
VII	Proyección para 10, 25, 50 y 75 años	102

GLOSARIO

Batimetría	Proceso de sondeo para obtener los perfiles sumergidos en bahías, lagos, embalses, etc.
Embalse	Lago artificial construido para cumplir uno o múltiples propósitos.
Geoposición	Es una ubicación en un mapa, plantando banderas o un tipo de referencia.
Perfil	Figura que representa un cuerpo cortado real o imaginariamente por un plano vertical.
Sedimento	Partículas no consolidadas creadas por la meteorización y la erosión de rocas, y transportadas por el agua.
Vida útil	Es la duración estimada que un objeto puede tener cumpliendo correctamente con la función para la cual ha sido creado.
WGS84	Son las siglas en inglés de World Geodesic System 84 (que significa Sistema Geodésico Mundial 1984)

RESUMEN

En este trabajo de graduación titulado MEDICIÓN BATIMÉTRICA PARA DETERMINAR EL VOLUMEN DE MATERIAL SEDIMENTADO ACUMULADO DURANTE EL TIEMPO DE SERVICIO DEL EMBALSE PUEBLO VIEJO, DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHIXOY, se describen en forma general conceptos básicos necesarios para realizar una batimetría enfocándose principalmente a embalses, así como la determinación de sedimentación.

Para el análisis se determinará al embalse como un vaso topográfico, el cual consta de cinco afluentes que lo alimentan, con este trabajo se podrá determinar la sedimentación del embalse, para ello es necesario hacer un escaneo de todo el embalse de forma transversal y perpendicular a los afluentes se tiene ciento treinta y seis perfiles transversales en los márgenes de los afluentes en los cuales se hará una geoposición en el elipsoide UTM zona 15 de datum WGS-84, con geoposicionadores de doble frecuencia que permite medición en tiempo real, este equipo está compuesto por dos georeceptores, uno que se utiliza como base y otro que se utiliza como Rover (medición de puntos con coordenadas desconocidas).

Una vez obtenida la geoposición se dará inicio al trabajo de batimetría, el cual se realizará con una ecosonda de doble frecuencia sobre los 15 km² que conforman el embalse Pueblo Viejo de la Central Hidroeléctrica Chixoy, tratando

de crear una densificación de puntos para el respectivo procesamiento de los datos, para posteriormente reflejar en planos la planta general de profundidades y secciones transversales de los afluentes.

La batimetría ayudará también a determinar la cubicación del embalse, esto reflejará la cantidad de agua que tiene a diferentes cotas. Debido a la sedimentación este irá decreciendo año con año. Luego de realizar la cubicación se encontrará el volumen muerto y útil del embalse, para actualizar la curva elevación-área-volumen, la cual es una gráfica en la que se refleja la cantidad de agua almacenada y el área que ocupa este embalse en particular. Para la sedimentación se obtendrán proyecciones y gráficos en los cuales se reflejará el estado del embalse Pueblo Viejo; el método a utilizar será directo, el cual consiste en comparaciones de perfiles transversales y longitudinales arrojados de la batimetría y chequeando la reducción de áreas que ha sufrido el embalse; se crearán modelos que ayudarán a determinar el tiempo de vida útil, así como predicciones de sedimentación para años venideros.

OBJETIVOS

General

Determinar la sedimentación que se ha depositado durante el tiempo transcurrido desde el llenado del embalse Pueblo Viejo, de la Central Hidroeléctrica Chixoy desde 1983 hasta 2009.

Específicos

1. Determinar la cantidad de sedimento y el comportamiento de los afluentes para compararlos con los datos que se tienen de años anteriores.
2. Predecir cuánto tiempo de vida útil tiene la presa y en cuanto ha disminuido su volumen útil.
3. Calcular el volumen muerto, útil y curva de capacidad del embalse.
4. Actualizar la base de datos de la batimetría del embalse pueblo viejo, para crear nuevos perfiles donde sean necesarios.

INTRODUCCIÓN

Desde el inicio de operaciones del llenado del embalse de la Central Hidroeléctrica Chixoy en 1983, se ha llevado un control de la acumulación de sedimentos en dicho embalse, para lo cual se han realizado hasta la fecha tres batimetrías, las cuales fueron efectuadas en los años de 1989, 1994 y 1997. Este tipo de control se hace necesario debido a que la acumulación de sedimentos en los embalses determina la vida útil de los mismos y permite conocer el avance de la acumulación de sedimentos, es decir, significa saber cuántos años de vida útil quedan para un embalse.

Existen estudios previos que han evaluado y proyectado el proceso de acumulación de sedimentos en el embalse de Pueblo Viejo, sin embargo, de estos no se cuenta con la información completa. Se sabe que la mejor manera de ajustarse a la realidad es hacer las pruebas con alguna regularidad, para tener una proyección más realista de lo que está sucediendo.

Los presentes resultados corresponden a la concretización y análisis del procesamiento de datos de campo levantados, que definen el estado actual del embalse Pueblo Viejo de la Central Hidroeléctrica Chixoy, el diagnóstico que se presenta de la condición actual de sedimentación brinda de manera directa gran parte de la información requerida para su manejo, en función de mantener sus objetivos de producción de energía.

Como productos analíticos se presenta también, secciones transversales, análisis y cálculos que definen isobatas de los 5 ríos, así como, los planos que representan estas secciones transversales y plantas generales de la batimetría.

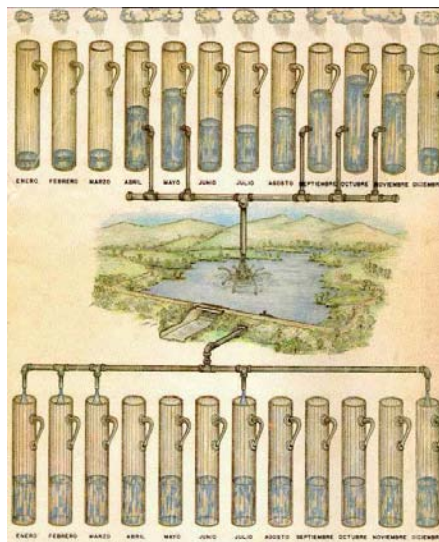
En total el proyecto definió en campo mediante replanteo de diseño existente, 130 secciones transversales, debidamente monumentadas en los diferentes ríos, así como, más de 400 secciones extras sin monumento que se consideran en los resultados como parte de la definición del fondo de agua y lodos. De igual forma para el sector del embalse, se tiene además de las secciones requeridas una densificación de toma de datos para análisis batimétricos que define líneas que oscilan entre los 20 metros de distanciamiento.

1. ANTECEDENTES

1.1. Uso y función de los embalses

En el uso de embalses, cuando se trata de casos específicos tales como proyectos hidroeléctricos, tienen entre sus funciones principales la de acumular agua durante períodos de gran escorrentía, para luego liberarla con el propósito de ser utilizada en el momento y en la forma que más convenga a los intereses de las políticas operativas (Figura 1). Los embalses son volúmenes de agua retenidos en un vaso topográfico natural o artificial gracias a la realización de obras hidráulicas.

Figura 1. Función y capacidad reguladora de los embalses



Fuente: Villamizar C.A., diseño de presas de tierra para pequeños almacenamientos .HITMAT. 1989

1.1.1. Embalses de simple propósito

Son denominados así aquellos embalses que son diseñados para ser utilizados con un propósito específico y único, ejemplos de embalses de este tipo en Guatemala son: Chixoy, Aguacapa, Jurún Marinalá y los Esclavos; (los cuales forman parte del sistema nacional interconectado de generación de energía eléctrica) y su único propósito es regular los insumos de agua para fines hidroeléctricos.

**Figura 2. Embalse de simple propósito Pueblo Viejo
Hidroeléctrica Chixoy**



1.1.2. Embalses de múltiple propósito

Son embalses diseñados para desempeñar dos o más funciones. En relación con los embalses de simple y múltiple propósito, existe una marcada diferencia en lo concerniente al proceso de operación, resultando ésta ser una tarea muy compleja en los embalses de funciones varias, pues habrá que definir con claridad cuales son las funciones de mayor prioridad que deberán satisfacerse. Con base en esto, plantear las diversas variables y restricciones que intervienen en las diferentes políticas operativas, capaces de suplir satisfactoriamente cada una de las demandas requeridas.

1.2. Tipos de embalses

Tomando en consideración el período de almacenaje y el grado de regulación que ofrezcan los embalses, el que depende, tanto de su capacidad volumétrica como del caudal que reciben éstos durante la temporada húmeda, así como, de las exigencias de demanda a que se encuentren sometidos los mismos, es posible efectuar una clasificación mas de los diversos tipos de embalses.

1.2.1. Embalses estacionales

Este tipo de embalses tienen la capacidad de almacenar agua durante la estación lluviosa, para tratar de regularla en forma eficiente y de acuerdo con la

demanda, durante el período seco o de estiaje. Como es el caso del embalse Pueblo Viejo de la Central Hidroeléctrica Chixoy.

1.2.2. Embalses horarios

Estos embalses tienen una capacidad de almacenamiento relativamente baja y generalmente su vaciado se realiza en términos de horas, condición que justifica su nombre. El llenado de este tipo de embalses se puede llevar a cabo tanto en un lapso de horas como de días, dependiendo del caudal que afluya al mismo, una de sus funciones principales, es suplir las variaciones instantáneas de demanda. Ejemplo de estos se pueden mencionar Jurún Marinalá.

1.3. Factores físicos que inciden en la operación de embalses

Para la planificación de los programas de operación de proyectos de recursos de agua es necesario considerar ciertos factores físicos sumamente incidentes en el comportamiento hidrológico de la cuenca en estudio. En el caso particular de los embalses, los principales factores físicos incidentes son: las características morfológicas de la cuenca, los parámetros geológicos de la región y los parámetros climáticos que imperan en la zona.

1.3.1. Características morfológicas

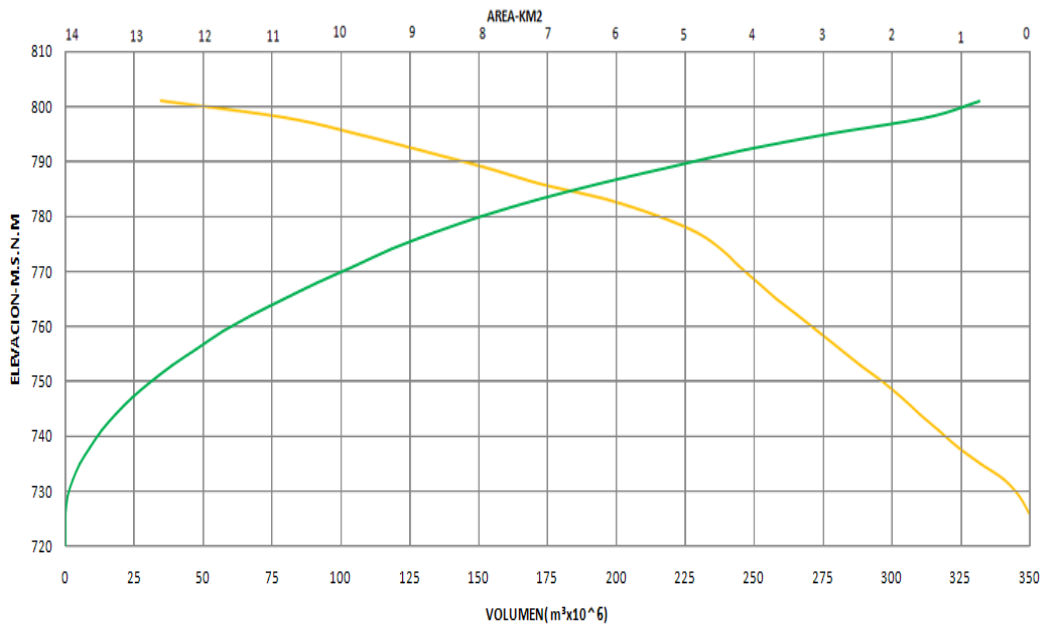
Las características morfológicas, tanto de la cuenca como del propio embalse, tienen una incidencia determinante cuando se pretende predecir la respuesta hidrológica, a partir del análisis cuantitativo de ciertos parámetros asociados a la morfología, tales como: la densidad de drenaje, longitud de flujo de superficie, relaciones del área, forma de la cuenca y del embalse y pendiente del cauce. La longitud total de los cauces dentro de una cuenca, dividido por el área total de drenaje, define la densidad de drenaje. Una densidad alta refleja una cuenca muy drenada que debería responder relativamente rápido al influjo de la precipitación; una cuenca con baja densidad, refleja un área pobremente drenada con respuesta hidrológica muy lenta. La forma de la cuenca hidrográfica afecta los hidrogramas de esorrentía y las tasas de flujo máximo.

El hidrograma típico de crecida de un pequeño río tiene generalmente la forma de una curva que asciende rápidamente hasta un caudal máximo y luego desciende más lentamente. Si la avenida se conduce a través de un embalse el hidrograma de aguas abajo es considerablemente modificado, convirtiendo la punta de la crecida en una curva ligeramente achatada. Esto se debe al almacenamiento temporal dentro del embalse, cuyo efecto es siempre el de regular, prolongando la duración del flujo de la avenida. Esto evidencia la cualidad que tienen los embalses de moderar los picos de crecida.

1.3.1.1. Curvas elevación-área-volumen

Para determinar la capacidad de embalses en sitios naturales es necesario obtener planos topográficos, los que pueden ser elaborados mediante métodos aerofotogramétricos, siempre y cuando la topografía, la vegetación y la precisión requerida lo permitan. En caso contrario, deberán usarse métodos de levantamientos terrestres, a través de los cuales sea posible contar con la información precisa, tanto altimétrica como planimétrica; Para poder efectuar el cálculo y ploteo de diferenciales de área y volumen que varían en función de la altura.

Figura 3. Curva elevación-área –volumen



La curva elevación-área-volumen es construida planimetrando el área encerrada dentro de cada una de las curvas de nivel que comprende el sitio de embalse.

La integral de la curva elevación-área es la curva elevación-volumen para el mismo embalse. El incremento de almacenaje entre dos elevaciones, es generalmente calculado multiplicando el promedio de las áreas entre las dos elevaciones por la diferencia de estas. La sumatoria de estos incrementos, bajo cualquier elevación, es el volumen almacenado bajo este nivel. (Figura 3)

1.3.2. Parámetros geológicos

Entre los parámetros geológicos, que para fines de operación de embalses se consideran importantes, tenemos: la infiltración, la sedimentación y la inestabilidad de taludes. Es obvio que los parámetros geológicos enunciados tienen también una significativa incidencia en la escorrentía de la cuenca.

A continuación se define someramente en qué consiste cada uno de los parámetros y cual es la incidencia particular de los mismos dentro del proceso de operación de embalses.

1.3.2.1. Infiltración

La infiltración es el paso del agua a través de la superficie del suelo hacia niveles inferiores (zonas no saturadas y zonas saturadas). La capacidad de infiltración depende de muchos factores, tales como: el tipo de suelo, el contenido de humedad, el contenido de materia orgánica, la cobertura vegetal y la estación del año.

De las características del suelo que afectan la infiltración, la porosidad no-capilar es posiblemente la más importante.

La porosidad determina la capacidad de almacenamiento y también afecta la resistencia al flujo. De esta manera la infiltración tiende a aumentar cuando la porosidad es mayor. El aumento en el contenido de materia orgánica también tiende a aumentar la capacidad de infiltración. El efecto de la vegetación en la capacidad de infiltración es difícil de determinar ya que también afecta la interceptación; no obstante, la vegetación aumenta la infiltración en comparación con la de un suelo desnudo, dado que retarda el flujo de superficie dando al agua tiempo adicional para penetrar al suelo.

La tasa máxima a la cual puede penetrar agua a un suelo en un sitio en particular y bajo una serie dada de condiciones, se llama capacidad de infiltración.

La infiltración puede incidir favorablemente en la operación de embalses, cuando existen condiciones geológicas adecuadas (zonas porosas), que permiten el aprovisionamiento de un almacenamiento que drena directamente al embalse. Cuando el nivel de embalse desciende por razones de operación, el agua almacenada en las formaciones permeables laterales se descarga al mismo hasta alcanzar un estado de equilibrio. Cuando el nivel sube, el proceso se invierte. Este fenómeno ofrece la ventaja de que en un momento determinado se dispone de un volumen de agua mayor que el que revela la morfología del embalse.

1.3.2.2. Sedimentación

Cuando se construye una presa atravesando un río para formar un embalse, la velocidad del flujo entrante al mismo es reducida o prácticamente eliminada. La mayor parte de todo el sedimento en suspensión, se deposita en el embalse.

Definitivamente, el relleno de embalses es inevitable y deberá tomarse en cuenta en el diseño, planificación y operación de proyectos; observando la

importancia que presenta tal fenómeno, que es el objetivo de análisis del presente trabajo.

La magnitud en que los insumos de los sedimentos puede presentarse en un embalse, depende de algunos factores que tienen un efecto determinante en el régimen de la tasa de sedimentación. Algunos de estos factores son: el área, topografía o relieve, el estado y tipo de la flora que presenta la cuenca vertiente al embalse; así como también las crecidas o torrentes que en circunstancias especiales (áreas deforestadas) propician el arrastre y erosión de las laderas, provocando altas velocidades que degradan los taludes y vertientes.

La estimación de los mencionados insumos, se realiza aquí mediante la medición de concentración de sedimentos en suspensión en el flujo y, algunos criterios para estimar el transporte de fondo. En Guatemala, por tratarse de ríos generalmente con fuertes pendientes, los cálculos técnico-matemáticos del transporte de fondo no son aplicables. Por lo tanto, deben emplearse otros criterios. Este tipo de análisis no siempre revela el verdadero rendimiento de la cuenca de sólidos totales, manteniéndose aun como incógnitas, variables difíciles de calcular, tales como: densidad resultante de los sedimentos decantados, la capacidad de atrape del embalse y la distribución especial en función del tiempo, esta última de gran importancia, ya que proporciona la medida en que se deteriora la vida útil del embalse al reducirse el volumen de regulación disponible.

Se conoce con el nombre de batimetría el proceso de medición de los sedimentos ya decantados, lo cual prevee la perspectiva más real del transporte y azolvamiento de sólidos hacia un embalse. Dicho proceso consiste básicamente en cuantificar los sedimentos totales, cuando estos ya han sido depositados durante un tiempo relativamente largo. Esta medición directa resulta ser una forma más exacta e inequívoca, permitiendo determinar el efecto de estratificación, la densidad resultante, la calidad mineralógica de las deposiciones, la capacidad de atrape y la distribución longitudinal de los sedimentos.

1.3.2.3. Inestabilización de taludes

Se denomina deslizamiento al desplazamiento de suelos y/o rocas de las paredes de un talud.

Los deslizamientos pueden producirse de varias maneras, lenta o rápidamente con o sin provocación aparente. En taludes naturales pueden originarse como consecuencia de distintas perturbaciones externas (la más severa de estas, los terremotos).

El caso frecuente de los deslizamientos en taludes sumergidos por efecto de un descenso de nivel de agua, tiene como origen generalmente la persistencia de un exceso de presión de poro. Este fenómeno ocurre

básicamente cuando la presión hidrostática desaparece a causa de un descenso brusco en el nivel del embalse y, agravado por una fuerza remanente, debido a que el agua almacenada en las formaciones del talud no drena rápidamente (exceso de presión de poro).

1.3.3. Parámetros climáticos.

Entre los principales parámetros que influyen en forma directa en la operación de embalses y que son afectados por las condiciones climáticas de la región, tenemos: la precipitación, la evaporación y la escorrentía (esta última depende también de factores topográficos y del suelo). Estos tres parámetros específicos vienen a ser el resultado de una fase del ciclo hidrológico, mediante la cual, de la precipitación que llega a la superficie de la tierra una parte retorna a la atmosfera en forma de vapor.

1.3.3.1. Precipitación.

El termino precipitación comprende todas las aguas meteóricas que descienden a la superficie de la tierra tanto en forma líquida como sólida. La precipitación en forma de lluvia es medida mediante el uso de pluviómetros, que la registran en forma de lámina acumulada.

La red de estaciones pluviométricas y pluviográficas son los sistemas más ampliamente utilizados para la medición (puntual) de la magnitud e intensidad de la lluvia y la distribución espacial de la misma.

Con el objetivo de optimizar el recurso agua en la operación de sistemas hidroeléctricos, es necesario conocer con suficiente anticipación la disponibilidad del flujo, para ello se utilizan sistemas de información de tiempo real, que a partir de las condiciones meteorológicas, mediante el uso de radar y satélite realizan una evaluación de la duración y cantidad de lluvia esperada.

1.3.3.2. Evaporación

Se denomina evaporación, al proceso mediante el cual interaccionan un conjunto de fenómenos físicos, que transforman el estado líquido del agua a vapor.

Es difícil de evaluar el efecto relativo de los factores meteorológicos que influyen en la evaporación y, cualquier conclusión deberá estar sujeta en términos del período de tiempo considerado. No obstante se puede decir que la tasa de evaporación es afectada por la radiación solar, la humedad relativa del aire, la presión de vapor, el viento y posiblemente la presión atmosférica. Debido a que la radiación solar es factor importante, la evaporación varía con la latitud, época del año, hora del día y condiciones de nubosidad. En el caso

particular del embalse Pueblo Viejo, el efecto de este fenómeno no es tan severo, debido a la relativamente pequeña área expuesta. Sin embargo, en otras latitudes del planeta, en regiones sumamente áridas, la evaporación que pueda esperarse es un elemento decisivo en el diseño de programas de operación de embalses.

1.3.3.3. Escorrentía

El camino seguido por una gota de agua desde el momento en el cual alcanza la tierra hasta cuando llega al cauce de una corriente es incierto. Es conveniente imaginar tres caminos principales: escorrentía superficial, escorrentía sub-superficial y flujo de agua subterránea. El flujo de agua sobre la tierra o escorrentía superficial, corresponde al volumen de agua que avanza sobre la superficie, hasta alcanzar un cauce o cualquier depresión que pueda transportar una pequeña corriente durante una lluvia y durante un período corto después de su terminación.

Para la operación de embalses, la escorrentía tanto superficial como total tienen un valor relativamente importante. El primero de los casos, cuando existen los mecanismos necesarios para conocer en tiempo real la magnitud de la escorrentía superficial, es posible reprogramar sobre la marcha la operación del sistema y aprovechar el efecto de lluvias torrenciales, que de otra manera se convertirían simplemente en caudal rebose, si el embalse estuviera lleno o

próximo a llenarse, con la consecuente pérdida de un volumen valioso de agua, que durante el período de estiaje podría ser sumamente deseable.

La escorrentía total (superficial y subterránea) de una cuenca definida durante un ciclo hidrológico determinado, conducida a través de un embalse (hidrograma de caudales totales entrantes al embalse) y la precipitación media sobre la misma cuenca (calculada por cualquiera de los métodos tradicionales: promedio aritmético, polígonos de *thiessen* e isoyetas, dependiendo de las condiciones físicas de la zona y de la densidad de la red pluviométrica que se disponga); permite estimar el coeficiente de escorrentía anual de la cuenca en general. En el caso particular de la cuenca que vierte al embalse Pueblo Viejo, y de acuerdo a la metodología explicada anteriormente, se ha calculado que el coeficiente de escorrentía anual es del orden de 0.25.

1.4. Estudios batimétricos en embalses

1.4.1. Breve reseña histórica de los relevamientos batimétricos

El análisis parte de la fecha en que se empezó a usar la ecosonda con registro gráfico, que es el instrumento que permite realizar un relevamiento continuo del fondo de los embalses, obteniendo un documento gráfico de las mediciones efectuadas.

Desde el principio y hasta la fecha de la aparición del Gps, la orientación de la embarcación a lo largo de un perfil, se logró a través de la alineación de la lancha con la alidada fija de un teodolito situado en uno de los extremos del perfil.

Como se comprenderá, se trataba de un procedimiento sumamente lento y costoso, que obligaba a posicionar el teodolito en diversos puntos de la costa y desde allí dirigir a la embarcación. Además cada punto en la costa necesitaba ser vinculado mediante topografía de precisión a otros puntos de coordenadas conocidas, generalmente ubicados sobre obras de hormigón existentes en las presas.

Debido a esto, los relevamientos consistían en la realización de unos pocos perfiles transversales al valle del embalse. En algunos casos se complementaban con otros longitudinales, pero esto dependía de cuán largo era el perfil (hay que pensar que el operador del teodolito ubicado en una costa debía visualizar el jalón o marca en la costa opuesta y, además tener visual con la embarcación que viajaba entre ambos puntos).

Con la aparición del Gps esta situación cambió radicalmente. El Gps diferencial permite obtener las coordenadas de cualquier punto con una precisión adecuada para los trabajos de batimetría, sin necesidad de emplear teodolito con un operador en la costa.

A esta situación se sumó la aparición de ecosondas con registro digital de la información, lo que permitió juntar la información de profundidad (de la ecosonda) con la de posición (del Gps diferencial) en un solo archivo, para procesar posteriormente toda la información utilizando una computadora.

1.4.1.1. Batimetrías mediante sensores remotos

La ejecución de batimetrías mediante sensores remotos es el campo que en mayor medida y más rápidamente se ha desarrollado recientemente. Se trata de sistemas con aplicaciones en condiciones puntuales. No obstante, las precisiones que se obtienen por los diferentes métodos son, en general elevadas, por lo que los objetivos marcados en la actualidad en los estudios en desarrollo, apuntan precisamente hacia su mejora.

a) Batimetrías mediante sistema multihaz de sondeo por eco

Las técnicas que se utilizan hoy en día para la cartografía de fondos marinos, se basan principalmente en el empleo de sondas por eco de haz único y, el empleo del sonar de barrido lateral, que permiten la inspección visual entre líneas de sondeo.

La ecosonda permite un muestreo, altamente densificado, de la topografía a lo largo de los perfiles del levantamiento, pero no da ninguna información del

lecho marino entre dichos perfiles. Para una cartografía de detalle se precisa una densificación de perfiles, de hasta uno cada 25 metros, lo que supone un alto costo económico y de tiempo. La producción de mapas a partir de estos datos precisa de personal especializado y de técnicas avanzadas de interpolación.

1.4.2. Determinación de la posición (x,y) de un punto sobre una superficie de agua

1.4.2.1. Métodos de corto alcance

El problema de la determinación de (x,y) consiste en replantear el perfil a ejecutar, o los puntos aleatorios que pretenden levantarse, y determinar las coordenadas de los puntos en los que se va a medir la profundidad. Los métodos que generalmente se han utilizado son:

a) Por medio de sextante

Es el método más antiguo, en desuso actualmente, a no ser que simplemente se quiera hacer una rápida aproximación. Este instrumento se utiliza para medir ángulos desde la superficie del barco, por lo que simplemente se puede utilizar en el caso de que, desde la embarcación podamos ver tres puntos de referencia en la costa, y conocer sus coordenadas planas.

Se debe medir simultáneamente los dos ángulos que forman nuestro punto con los tres puntos de referencia visados, obteniéndose las coordenadas de nuestro punto por intersección inversa. Este método es impreciso y en el mejor de los casos se puede llegar a los 10 segundos en la apreciación de una lectura, aunque lo normal es que esté en torno a los 30 segundos.

b) Método de bisección

Se necesitan dos teodolitos con sus operarios. La toma de datos en cada perfil se realiza desde dos bases: una **(B1)**, generalmente coincidente con la propia del perfil, y otra **(B2)** desde la cual se intersecta la dirección del perfil posicionando el barco. La precisión de este método depende de varios factores, como son:

- La visibilidad, factor que siempre será un inconveniente importante a tener en cuenta.
- El error angular del aparato.
- La sincronización entre los distintos operarios.
- La geometría de la figura de intersección, que dependerá en gran medida de la buena elección de las bases.

1.4.2.2. Métodos de medio y largo alcance

a) Omega

Este sistema proporciona posiciones en todo el mundo, con una exactitud nominal de 1.6 km durante el día y 3.2 km durante la noche. Este sistema es un sistema global de ocho estaciones terrestres, situadas de tal forma que el usuario recibirá señales de al menos tres de ellas. Al igual que el sistema Loran-C, es un sistema de navegación hiperbólica de muy baja frecuencia, pero con la variante de que éste emplea diferencia de fase en vez de diferencia de tiempo. Esto hace que la ecuación de la hipérbola sea más exacta.

b) NNSS (Navy Navigation Satellite System)

Este es un sistema que utiliza los satélites norteamericanos de la constelación TRANSIT, aunque puede recibir señales de otros satélites como los GEOS. La TRANSIT dispone de seis satélites en el momento de la observación. La diferencia con el sistema GPS, que posteriormente se abordará, es que los satélites están a 1.100 Km de altitud, siendo esta característica la que hace que el sistema sea más preciso debido al efecto Doppler (cambio de frecuencia de la onda emitida por un foco, cuando el observador o foco están en movimiento relativo).

La diferencia entre dos cuentas Doppler permite calcular una diferencia concreta de distancia entre ambas posiciones del satélite y del receptor.

c) GPS (Sistema de Posicionamiento Global)

Es un sistema que utiliza los satélites norteamericanos de la constelación NAVSTAR, compuesta por 24 satélites. Para la navegación bidimensional, donde se conoce la altura y por lo tanto sólo se necesitan 3 satélites, se puede tener cobertura continua aunque con geometría mala en algunos períodos. Esta es una de las causas que lo hacen más aconsejable que el método anterior.

El cálculo de las coordenadas utilizando el método de pseudodistancias, exclusivo de la técnica GPS, consiste básicamente en la intersección de las distintas esferas que entren en el cálculo, con centro en los respectivos satélites y radio, la pseudodistancia obtenida.

La pseudodistancia es el resultado de multiplicar la velocidad de la luz por el desplazamiento temporal necesario para correr una réplica del código GPS generado en el receptor, con la señal procedente del satélite GPS para sincronizar la réplica con el original recibido, el instrumento empieza a aplicar un retardo. Cuando la anulación sucede, el tiempo de retardo permite calcular una distancia. Esta no será precisamente la que se busca ya que, aunque se sabe el momento de emisión del satélite porque el estado y la marcha del reloj del satélite son conocidos por el mensaje, se conoce el estado del reloj del receptor.

Por esta razón el valor obtenido no es una distancia sino una pseudodistancia. Se reciben dos portadoras moduladas con distintos códigos, el P y el C/A. La diferencia entre ambos responde a los algoritmos polinómicos con que se generan ambas señales. El código P (Precise or Protected Code) está reservado para usuarios autorizados, en general militares. El segundo C/A (Code Acquisition or Standard), está dedicada a todo tipo de usuarios. La precisión obtenida depende de la longitud de onda de modulación, por lo que si se utiliza el código C/A, de longitud de onda 300 metros, se obtiene una precisión del orden del decámetro. Si por el contrario utilizamos el código P cuya longitud de onda es 10 veces menor, es decir, de 30 metros, la precisión será de algún metro. Los satélites que necesitamos para el posicionamiento serán como mínimo tres, debido a que tenemos como incógnitas para el cálculo, las coordenadas planas del punto (x,y) junto con el retardo.

La obtención de las coordenadas mediante la técnica básica o estándar es un método relativo, ya que tiene un receptor fijo y otro móvil. El receptor fijo compara continuamente la posición aparente que le ofrece el sistema GPS con la real que es conocida por nosotros, por lo que obtenemos para cada instante la diferencia existente entre las dos. Estas diferencias son las correcciones que han de aplicarse a la posición aparente GPS del móvil, para obtener su posición real. Esta técnica es la denominada navegación diferencial.

1.4.3. Nueva metodología empleada a partir de 2005

Se toma el año 2005 como el de inicio de una nueva metodología para la realización de batimetrías en los embalses, pero la fecha no es taxativa. La misma metodología puede haber sido empleada antes de esa fecha. Se quiere decir que hubo un antes y un después y, para fijar una fecha de corte se toma el 2005.

En esta nueva metodología se realiza un exhaustivo relevamiento batimétrico del vaso, es decir, tener también en cuenta los principales accidentes topográficos (islas, bahías, penínsulas, etc.). Esto lleva a que se navegue por todo el embalse con una importante densificación de puntos. Además, se trazan trayectorias de perfiles transversales y longitudinales, navegándolos para que al realizar el proceso de cálculo de las curvas de nivel y realización del modelo digital de terreno (Figura 4), estos conserven la información obtenida in situ en los perfiles.

La tarea consiste entonces en una densificación de mediciones en el cuerpo principal del embalse, pero también en las márgenes y puntos intermedios destacables. Se aumenta el número de perfiles con trayectorias transversales y longitudinales, que permiten medir con un mayor detalle el cuerpo principal del embalse. La densificación del relevamiento representa a veces un itinerario en forma de espiral, a modo de lograr una grilla que permite la interpolación

precisa de los datos obtenidos. Adicionalmente se realiza un relevamiento con mayor detalle en las proximidades de la presa.

El instrumental utilizado está compuesto por una embarcación que lleva montada una ecosonda de registro digital y un GPS geodésico. El sistema se completa con otro GPS geodésico ubicado fuera del embalse.

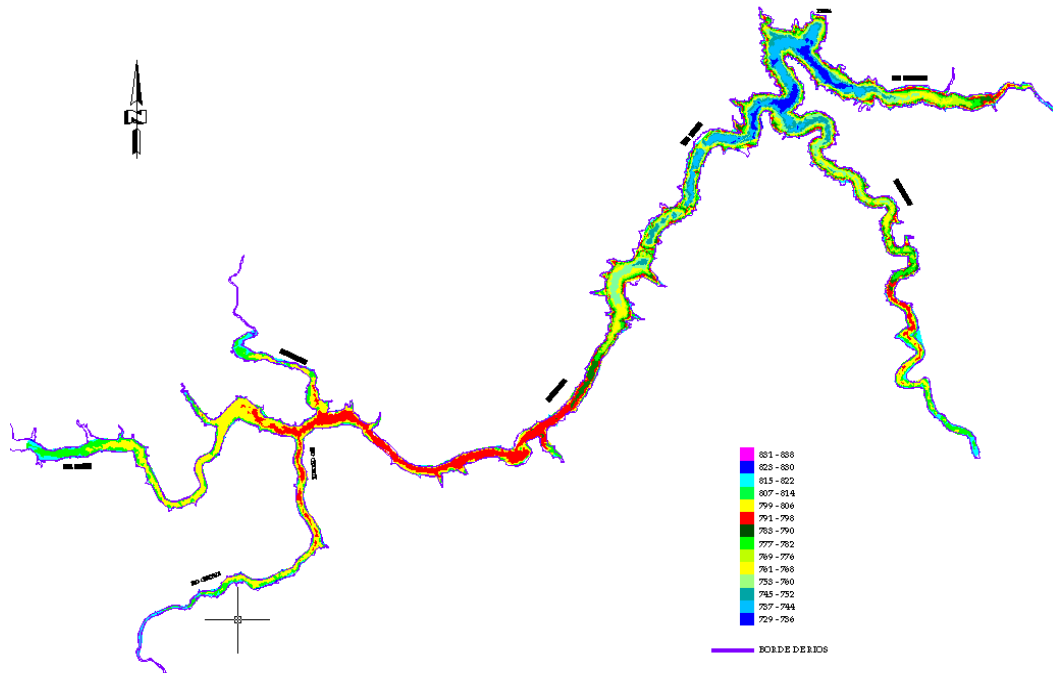
El método de relevamiento se realiza mediante determinaciones ecográficas digitales de la profundidad y, la asociación del posicionamiento satelital, con el equipamiento descrito con anterioridad. Los puntos batimétricos son leídos manteniendo una velocidad entre 6 y 8 Km/h. A su vez, con una estación total y GPS diferencial se extiende el levantamiento por sobre el nivel del agua y hasta la cota de máximo embalse.

Se adopta una curva de nivel como condición de contorno, utilizando para ello los planos originales del embalse. Con estos registros digitalizados se utilizan actualmente los siguientes programas: Autocad, TopoCalc, hoja de cálculo y de sistema de información geográfico.

A partir de estos registros digitalizados y de los programas señalados, se elaboran los perfiles y mapas de curvas de nivel referenciados, mediante un sistema de coordenadas apropiado.

Figura 4. Modelo digital de elevaciones (MDE) embalse Pueblo Viejo,

hidroeléctrica Chixoy 2009

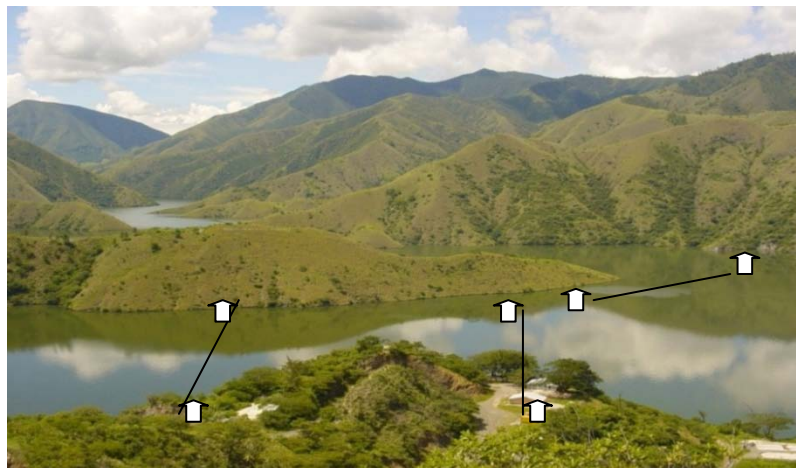


Por último, mediante análisis se estiman los volúmenes por debajo de cada cota, a intervalos que sean apropiados al embalse, partiendo de la cota de máximo embalse hasta la cota de fondo.

2. LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO DEL EMBALSE PUEBLO VIEJO

El levantamiento batimétrico tiene como principal objetivo, la medición y determinación del calado del área que constituye el embalse Pueblo Viejo, los cuales los conforman los ríos Carchelá, Chicruz, Chixoy, Blanco y Salamá. Posteriormente, plasmarlos en forma gráfica, y servirán de base e información previa para la elaboración de las proyecciones mencionadas en este trabajo. Con la nueva metodología de levantamiento, se recorrerá el embalse con una ecosonda de doble frecuencia Multihaz, en los 136 perfiles ubicados en el embalse con sus respectivos mojones, para tener más información se zigzagueará de un perfil hasta encontrar el otro. (Figura 5)

Figura 5. Ejemplificación del levantamiento batimétrico, embalse Pueblo Viejo



Con esta nueva metodología, se podrán determinar las características reales de este embalse, ya que se obtendrán coordenadas (x,y,z) de un número suficiente de puntos del vaso del embalse. Los puntos que no se obtengan de la batimetría, se hará uso de estación total para obtenerlos.

2.1. Ubicación de monumentos que representan las secciones transversales

La metodología utilizada fue la de navegación, localización y replanteo topográfico, de los 136 monumentos colocados en los márgenes izquierdos y derechos de los 5 ríos de estudio; de la ribera del embalse de la red interna de la presa Pueblo Viejo, de la Central Hidroeléctrica Chixoy. Estos monumentos fueron puestos en el año 1989 con el propósito de monitorear el crecimiento de sedimento que se provocaría en el embalse.

La navegación de coordenadas se realizó con el apoyo de un sistema GPS navegador, al cuál se le introdujeron las coordenadas preliminares, con las que se contaba en la hidroeléctrica de los monumentos; para después realizar la navegación y concluir hasta encontrar los monumentos respectivos.

La última batimetría realizada en el embalse fue en el año de 1997, ya casi transcurrieron 12 años. Por tal razón, en campo surgieron inconvenientes como la desaparición de muchos de los monumentos, esto es atribuido al incremento

de población a los alrededores de los ríos que conforman la ribera del embalse, debido a efectos tales como la deforestación, (ocasionadas por la influencia humana) [Figura 6] y también a deslizamiento de taludes.

Figura 6. Orillas del río Chixoy, incremento poblacional



Se procedió a excavar en varios lugares hasta poder encontrarlos y, en casos que no se encontraron, fue necesario crear nuevos monumentos y etiquetarlos, (figura 7). Para que formen parte de la nueva referenciación del embalse.

Figura 7. Sección 45, nueva referenciación del río Chixoy



2.2. Georeferenciación de monumentos de secciones transversales

Teniendo localizados los monumentos de los ríos, se procedió a realizar la geoposición de precisión que define la coordenada final, amarrada al sistema UTM zona 15 de datum WGS-84. Este se tomo en el banco de referencia 1436, ubicado en Tactic, Alta Verapaz con coordenadas UTM N784288.070, W1695473.890. Teniendo coordenadas conocidas y reales, fueron llevadas al embalse para el trabajo de geoposición.

El trabajo de geoposición se realizó con un sistema GPS de doble frecuencia con tecnología que permite medición en tiempo real (RTK). El

equipo GPS utilizado es de marca Topcon modelo Hiper Ga, el cual está compuesto por dos georeceptores, uno que se utiliza como base (colocado en puntos con coordenadas conocidas) y otro que se utiliza como Rover (medición de puntos con coordenadas desconocidas).

Figura 8. Georeferenciación del banco de marca ubicado en Tactic, Alta Verapaz, amarrado al embalse Pueblo Viejo



El punto de control en tierra para la geoposición fue el monumento con coordenadas conocidas denominado PV1 (815.872 m.s.n.m), localizado a un

costado de la presa de Pueblo Viejo. Este monumento sirvió de partida para la colocación de estaciones base auxiliares, ubicadas en lugares estratégicos a lo largo de los 5 ríos en estudio (figura 9).

Figura 9. Estación base ubicado en PV1



Teniendo establecidos los puntos para las estaciones base, se procedió a dar geoposición a cada uno de los monumentos encontrados, utilizando el equipo Rover instalado sobre un bípode (figura 10). En esta etapa del proyecto también se procedió a dejar amarres, para localizar los monumentos que no se encontraron o, fueron destruidos para posteriormente replantearlos con estación total, y excavarlos o construirlos, según fuera el caso.

Las coordenadas X, Y y Z obtenidas en la geoposición realizada fueron definidas en campo como coordenadas finales (véase 1.4.2.2 inciso c). Por la modalidad de trabajo usada en el modo de tiempo real, la lista final de coordenadas de todos los puntos se presenta en el anexo 1.

Figura 10. Geoposición de puntos (Rover) con colectora de datos y comunicación inalámbrica al geoposicionador



2.3 Replanteo de monumentos faltantes

Partiendo de los amarres colocados y, buscando los datos de azimut y distancia o coordenadas aproximadas, se procedió a localizar los monumentos faltantes y, replantear mediante fundición de concreto los destruidos, utilizando una estación total marca Topcon serie GTS 236W.

Los monumentos replanteados fueron los siguientes:

RÍO CHIXOY	6D, 26D, 27I, 27D, 28D, 47D
RÍO CARCELÁ	4D, 6I, 7I, 12I, 13I, 15I, 18D, 20I, 25D, 26I
RÍO SALAMÁ	22I
RÍO CHICRUZ	15D
RÍO BLANCO	3D, 5D

Figura 11. Monumento replanteadado y reconstruido río Carchelá



2.4. Especificaciones e instalación del equipo

Los instrumentos utilizados son de alta precisión y por consiguiente, muy sensibles, por lo que la manipulación de los mismos debe ser muy cuidadosa.

Para la batimetría se cuenta con ecosonda, estación total, y GPS diferencial estos necesitan ser calibrados al inicio de los trabajos de batimetría.

a) Ecosonda knudsen sounder 16212 y transuducer

Se basa en la tecnología del sonar, que a su vez se basa en ondas de sonido que permiten localizar y definir estructuras, constitución y relieve del fondo y profundidad bajo el sensor. Este envía y recibe señales sonoras y, define la distancia a determinado punto, midiendo el tiempo que tardan en rebotar (señales de ecos), y a través de esta reflexión interpreta ubicación, tamaño y composición de cada objeto que localiza.

Sus importantes características se mencionan a continuación:

- Selección de fase y rango: manual y automático.
- Frecuencias: 28 KHz y 200 KHz.
- Resolución: 1 cm por cada 100 m de profundidad.
- Resolución: 1cm para velocidades de 1300 a 1700 m/s.
- Resolución: 1 cm para calado entre 0 m a 100 m.
- Interfase de 12 Mbps por medio de USB.

Figura 12. Ecosonda knudsen utilizado en la batimetría



b) Estación total (topcon serie GTS 236W)

Se denomina estación total, a un aparato electro-óptico utilizado en topografía, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica. Consiste en la incorporación de un distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico.

Algunas de las características:

- Pantalla alfanumérica de cristal líquido (LCD)
- Led`s de avisos

- Iluminación independiente de la luz solar
- Calculadora

Una de las grandes ventajas que ofrece este aparato, es que maneja un programa que consiste en la introducción de datos angulares en formatos de azimut, rumbos, coordenadas rectangulares, coordenadas UTM; para este trabajo es necesario trabajar en coordenadas UTM. Se le introdujeron las coordenadas de cada perfil, debido a que los monumentos se encuentran fuera del agua, se auxilió de este aparato de medición.

c) GPS de doble frecuencia

La doble frecuencia en el GPS es una medición de la velocidad relativa de la señal captada usando dos señales diferentes; esto lo emplean los receptores de GPS avanzados, con el fin de disminuir o eliminar en lo posible, errores de medición inducidos por la atmósfera.

Para la geoposición, este es un aparato muy confiable con los datos que arroja. Para batimetrías como la que se hizo en donde el embalse es muy alejado y el clima es inhóspito, no es confiable el uso de un GPS de presión barométrica, entonces se auxilia de un GPS de doble frecuencia y sus principales características son:

- Receptor de satélites estándares y el satélite GLONASS.
- Capacidad para 40 canales.
- Resistente al agua.
- Conectividad Bluetooth.
- Comunicación por cable serial.

Figura 13. Gps de doble frecuencia instalados en lancha



2.5. Batimetría de secciones transversales

Se realizó el levantamiento batimétrico de los ríos Carchelá, Chicruz, Chixoy, Blanco, y Salamá, con un total de 130 secciones transversales que originalmente eran un total de 136 monumentadas previamente, por el Instituto Nacional de Electrificación. Seis de ellas se han perdido, debido al crecimiento de vegetación (ninfa).

La razón por la cual es necesario obtener las secciones transversales al eje del embalse, Es para poder sobreponer los perfiles de las batimetrías anteriores con las nuevas y, conocer cuál es el incremento de azolvamiento que se da en cada sección ya etiquetada. Para ello es necesario que el sistema GPS sea instalado directamente sobre el transducer de la ecosonda, para que la profundidad medida coincida con el diseño original, y sea exactamente la geoposicionada. (ver figuras 12 y13).

Para mantener controles de calidad del proyecto, según el S-44 (Manual de estándares de calidad para levantamientos hidrográficos), se realizaron los sondeos orden 1 y se calibró el equipo diariamente antes y después de realizados los sondeos.

2.6. Planos de la batimetría

Como resultado de la batimetría llevada a cabo en el embalse Pueblo Viejo, son creados los planos de profundidades, secciones transversales y curvas de nivel que indican el estado del embalse. Con esta información, se procederá al cálculo de cubicación del embalse, así como, el objetivo de estudio, el cual es determinar la sedimentación que se da en este embalse.

El orden de los planos es el siguiente:

Planta general de secciones transversales

Batimetría río Chixoy

Batimetría río Carchelá

Batimetría río Salamá

Batimetría río Blanco

Batimetría río Chicruz

Secciones río Chixoy

Secciones río Chicruz

Secciones río Blanco

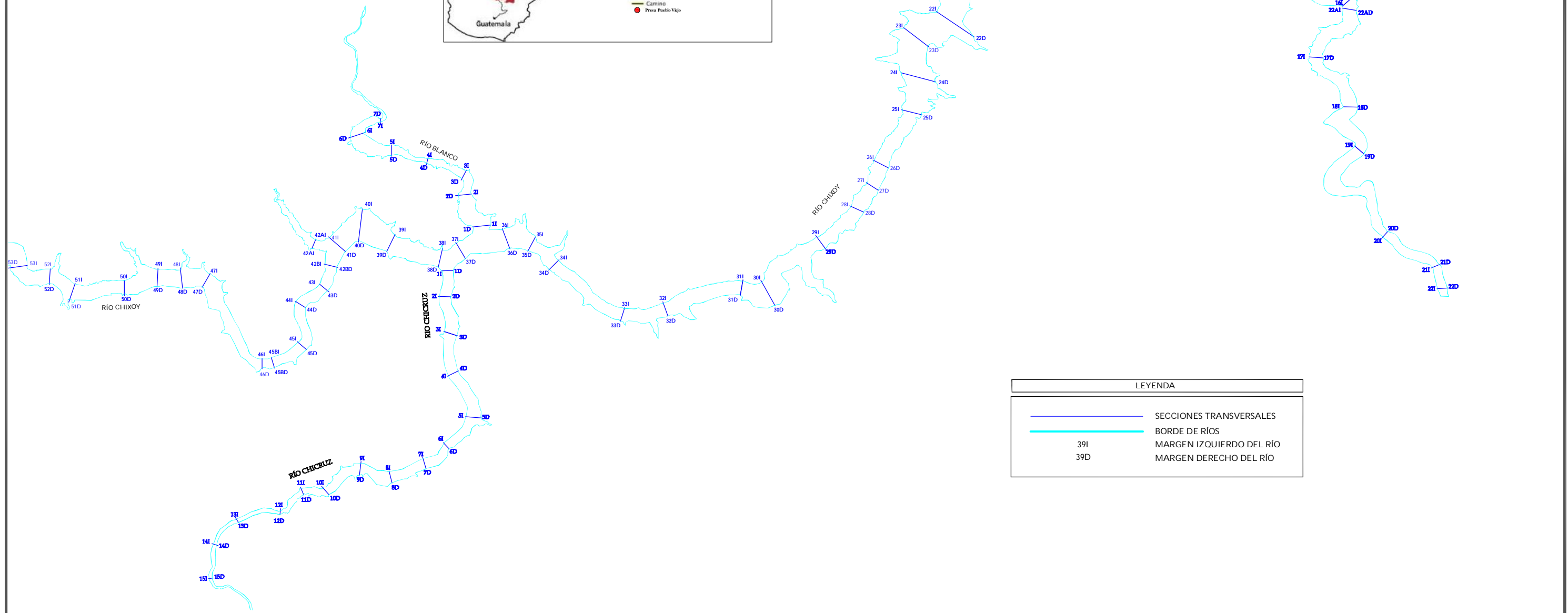
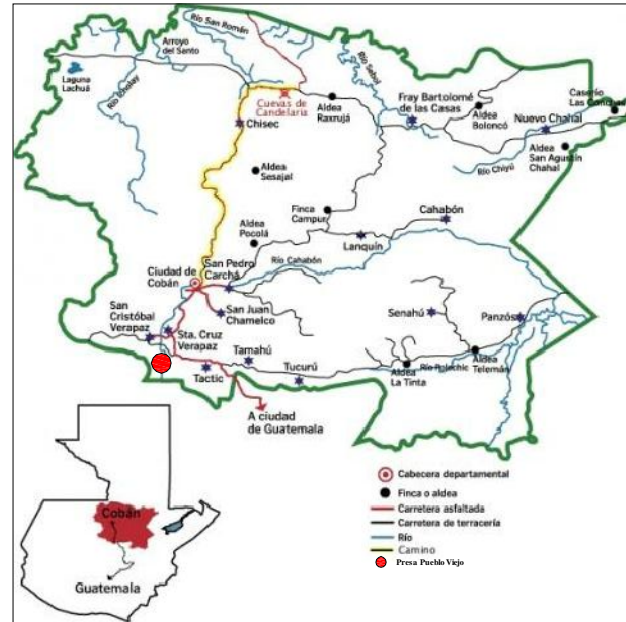
Secciones río Salamá

Secciones río Carchelá

Planta General de profundidades



MAPA DE UBICACIÓN DEL PROYECTO



LEYENDA	
	SECCIONES TRANSVERSALES
	BORDE DE RÍOS
39I	MARGEN IZQUIERDO DEL RÍO
39D	MARGEN DERECHO DEL RÍO

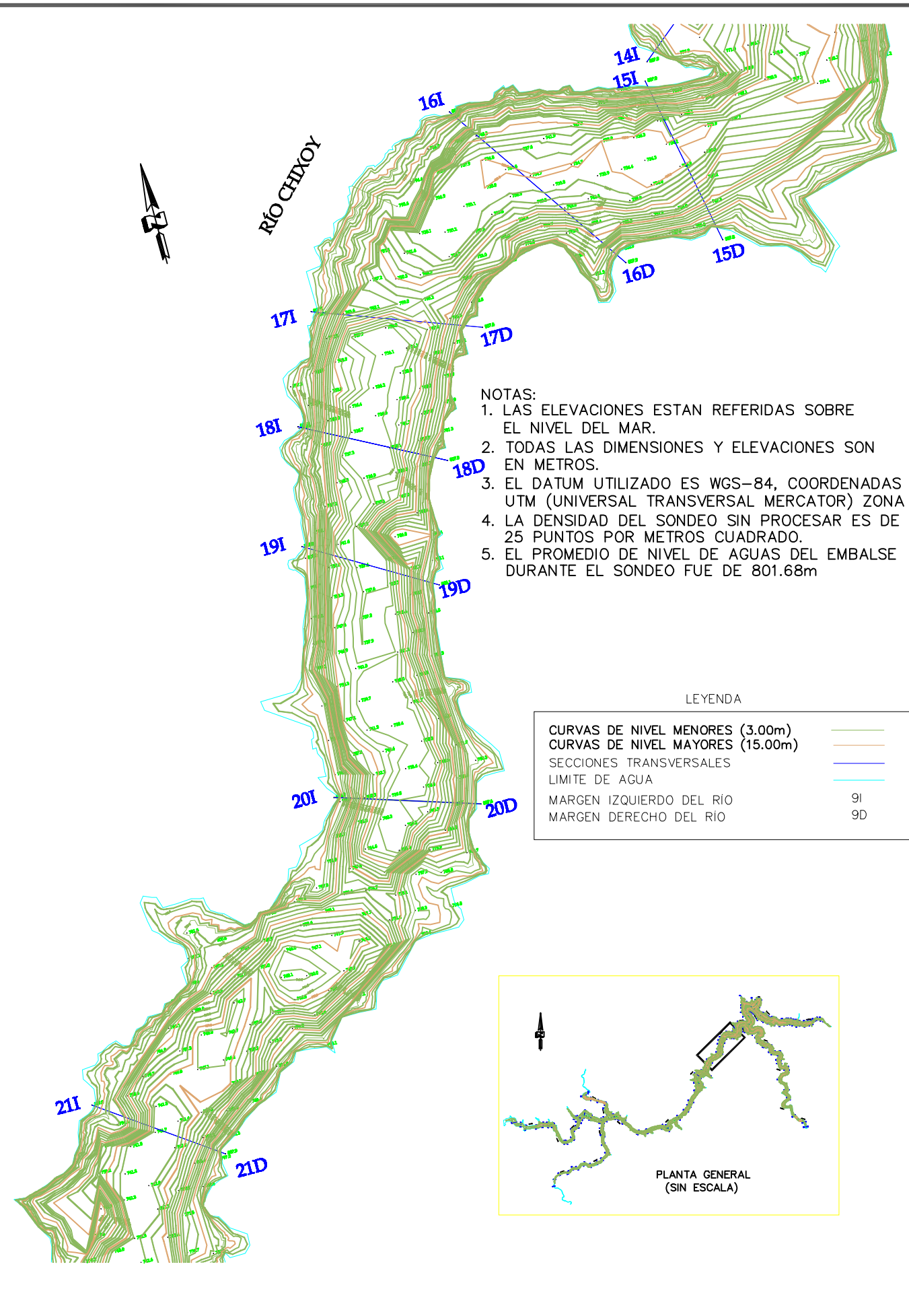
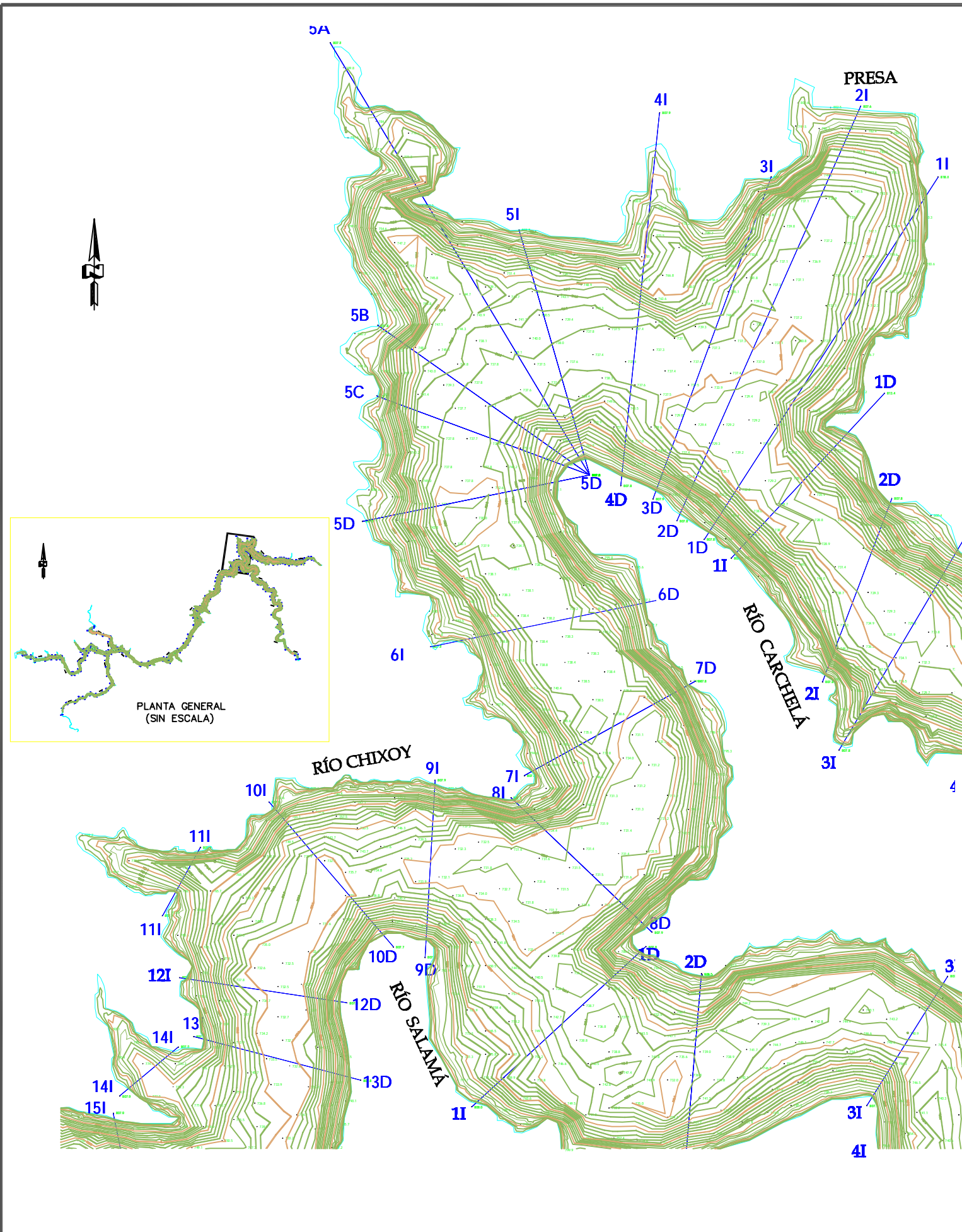


PROYECTO:
**BATIMETRÍA EN RÍOS Y EMBALSE DE
 LA PRESA DE PUEBLO VIEJO, HIDROELÉCTRICA CHIXOY.**

ESCALA:	1/25000	AREA:	N/A
UBICACIÓN:	PRESA PUEBLO VIEJO ALTA VERAPAZ, GUATEMALA	FECHA:	NOVIEMBRE 2009
DIBUJO:	SAULO JOM MORÁN	ASESOR:	ING. MANUEL ARRIVILLAGA

PLANO DE :
PLANTA GENERAL DE SECCIONES TRANSVERSALES

HOJA No.	1
	1



- NOTAS:
1. LAS ELEVACIONES ESTAN REFERIDAS SOBRE EL NIVEL DEL MAR.
 2. TODAS LAS DIMENSIONES Y ELEVACIONES SON EN METROS.
 3. EL DATUM UTILIZADO ES WGS-84, COORDENADAS UTM (UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR) ZONA 15
 4. LA DENSIDAD DEL SONDEO SIN PROCESAR ES DE 25 PUNTOS POR METROS CUADRADO.
 5. EL PROMEDIO DE NIVEL DE AGUAS DEL EMBALSE DURANTE EL SONDEO FUE DE 801.68m

LEYENDA

CURVAS DE NIVEL MENORES (3.00m)	
CURVAS DE NIVEL MAYORES (15.00m)	
SECCIONES TRANSVERSALES	
LIMITE DE AGUA	
MARGEN IZQUIERDO DEL RIO	9I
MARGEN DERECHO DEL RIO	9D



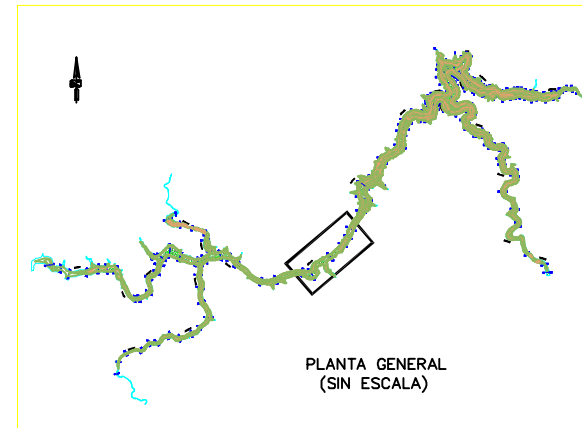
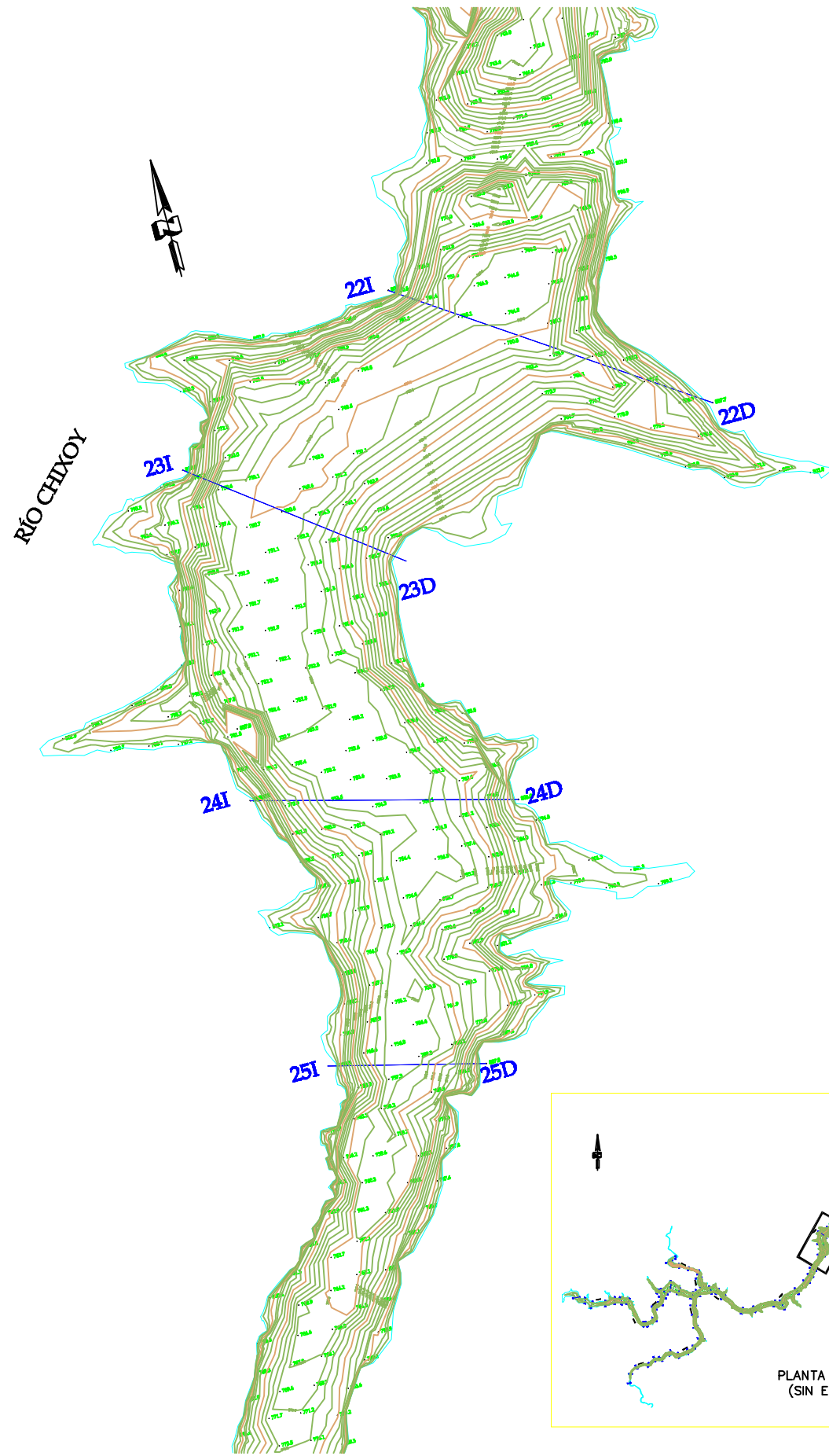
PROYECTO:
BATIMETRÍA EN RÍOS Y EMBALSE DE LA PRESA DE PUEBLO VIEJO, HIDROELÉCTRICA CHIXOY.

ESCALA: 1/5000
 UBICACIÓN: PRESA PUEBLO VIEJO ALTA VERAPAZ, GUATEMALA
 DIBUJO: SAULO JIM MORÁN

AREA:
 FECHA: NOVIEMBRE 2009
 ASESOR: ING. MANUEL ARRIVILLAGA

PLANO DE :
BATIMETRÍA RÍO CHIXOY

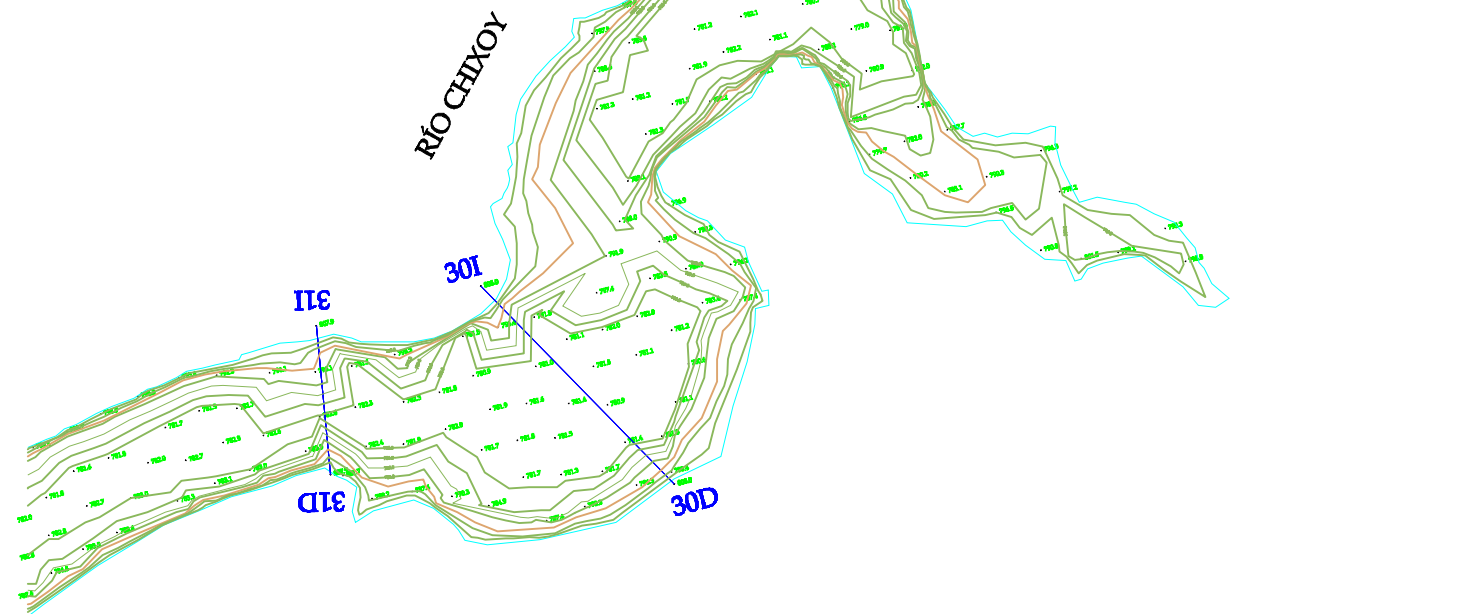
HOJA No.
 1
 4



- NOTAS:
1. LAS ELEVACIONES ESTAN REFERIDAS SOBRE EL NIVEL DEL MAR.
 2. TODAS LAS DIMENSIONES Y ELEVACIONES SON EN METROS.
 3. EL DATUM UTILIZADO ES WGS-84, COORDENADAS UTM (UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR) ZONA 15
 4. LA DENSIDAD DEL SONDEO SIN PROCESAR ES DE 25 PUNTOS POR METROS CUADRADO.
 5. EL PROMEDIO DE NIVEL DE AGUAS DEL EMBALSE DURANTE EL SONDEO FUE DE 801.68m

LEYENDA

CURVAS DE NIVEL MENORES (3.00m)	
CURVAS DE NIVEL MAYORES (15.00m)	
SECCIONES TRANSVERSALES	
LIMITE DE AGUA	
MARGEN IZQUIERDO DEL RIO	9I
MARGEN DERECHO DEL RIO	9D



PROYECTO:

BATIMETRÍA EN RÍOS Y EMBALSE DE LA PRESA DE PUEBLO VIEJO, HIDROELÉCTRICA CHIXOY.

ESCALA: 1/5000

AREA:

PLANO DE :

HOJA No.

UBICACIÓN: PRESA PUEBLO VIEJO
ALTA VERAPAZ, GUATEMALA

FECHA: NOVIEMBRE 2009

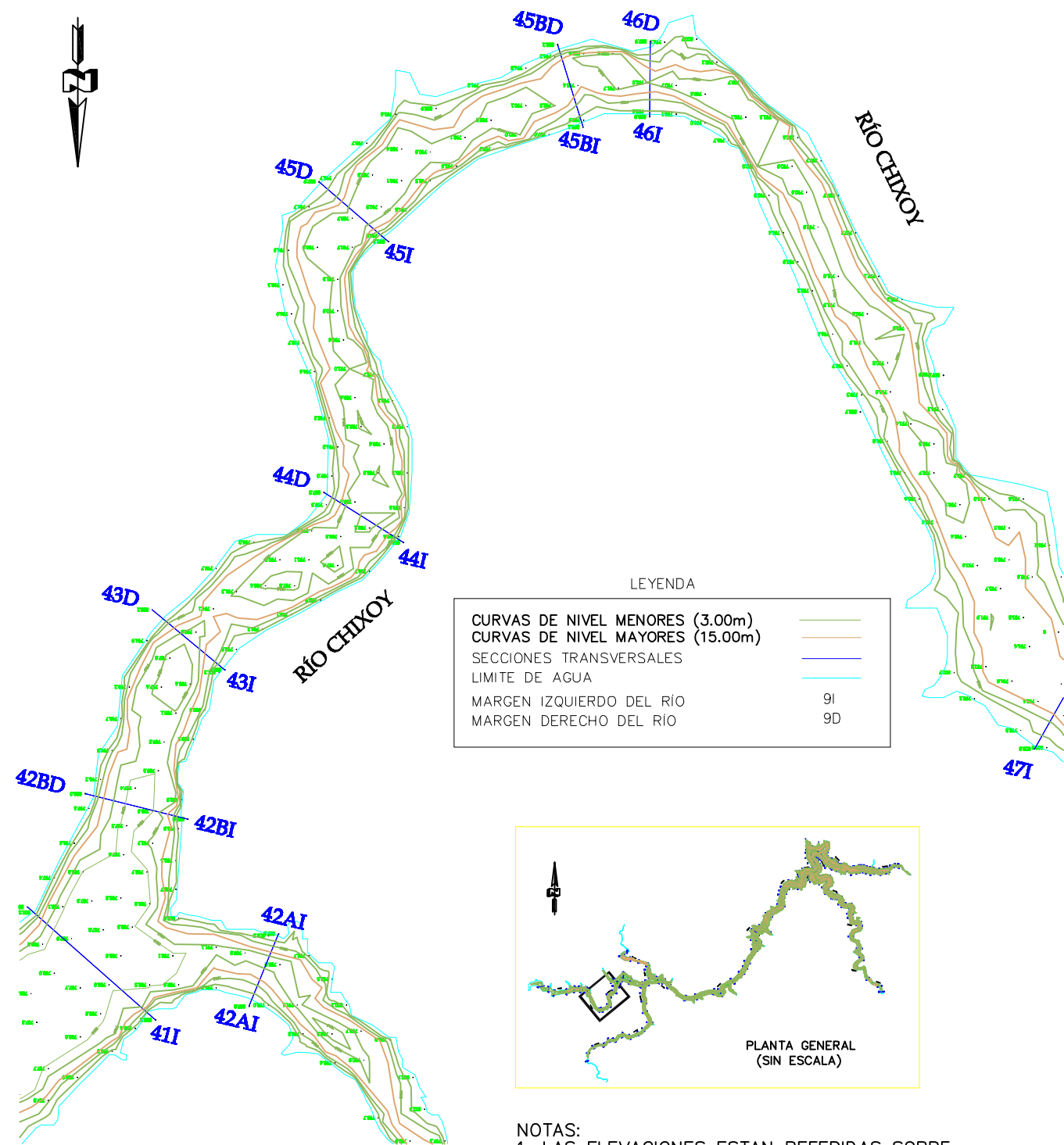
BATIMETRÍA RÍO CHIXOY

2

DIBUJO: SAULO JOM MORÁN

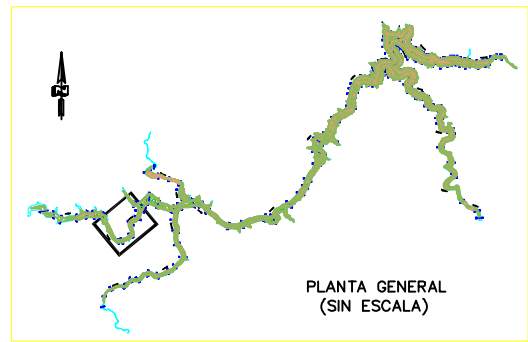
ASESOR: ING. MANUEL ARRIVILLAGA

4

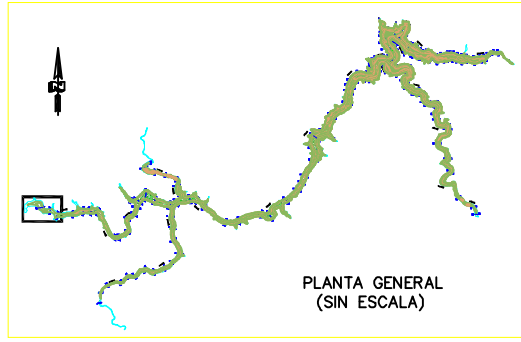
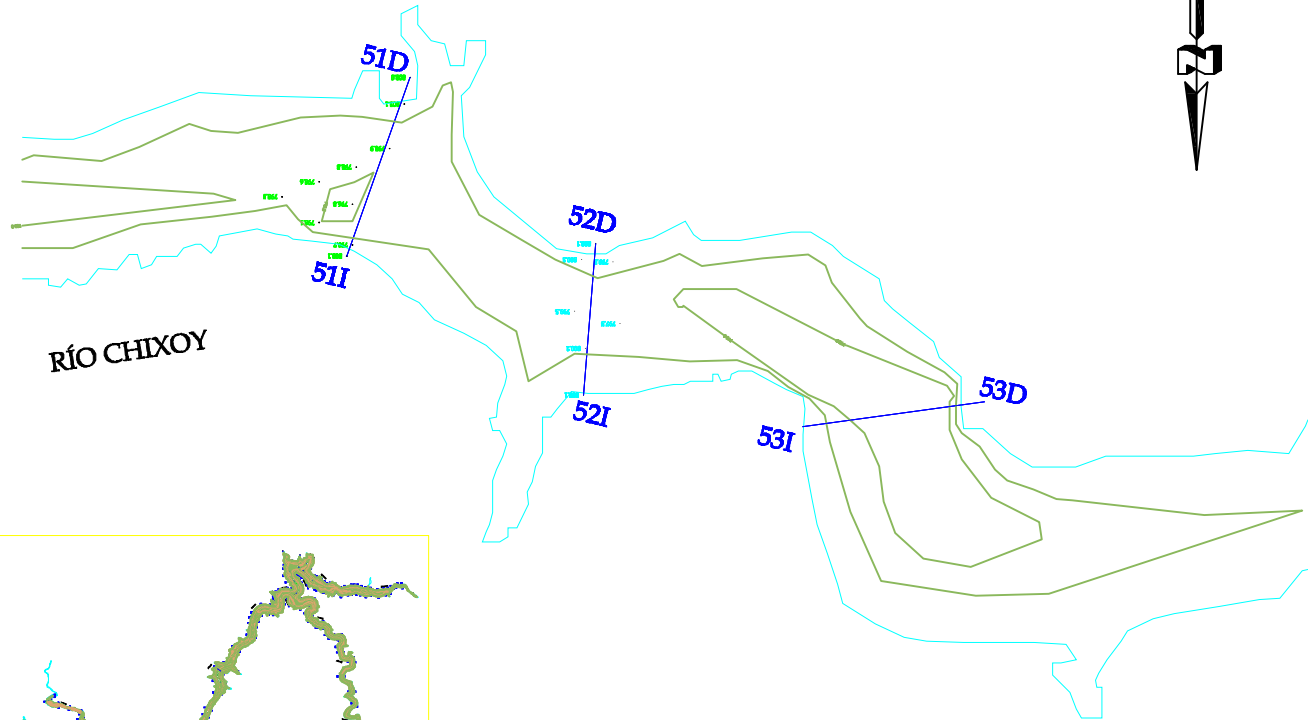
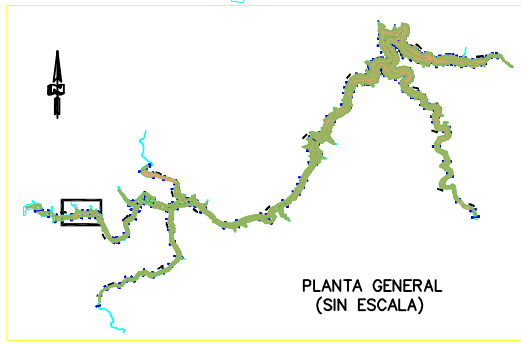
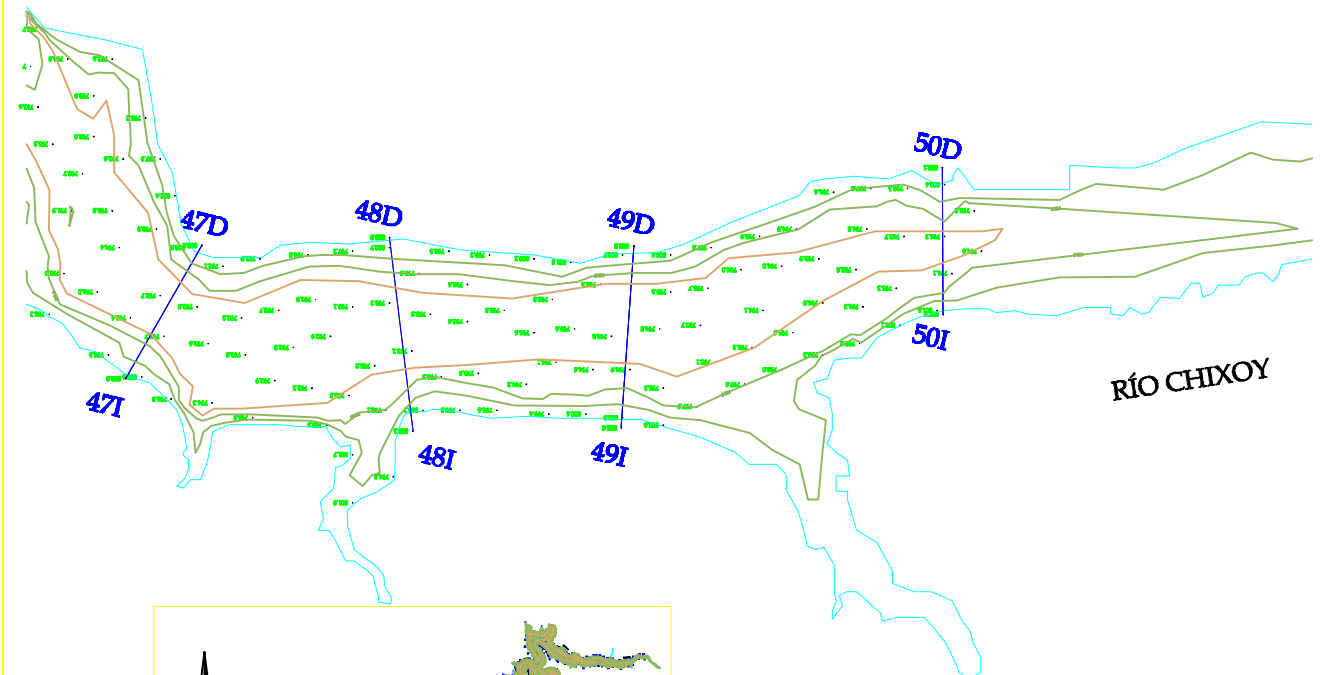


LEYENDA

CURVAS DE NIVEL MENORES (3.00m)	
CURVAS DE NIVEL MAYORES (15.00m)	
SECCIONES TRANSVERSALES	
LIMITE DE AGUA	
MARGEN IZQUIERDO DEL RIO	9I
MARGEN DERECHO DEL RIO	9D



- NOTAS:
1. LAS ELEVACIONES ESTAN REFERIDAS SOBRE EL NIVEL DEL MAR.
 2. TODAS LAS DIMENSIONES Y ELEVACIONES SON EN METROS.
 3. EL DATUM UTILIZADO ES WGS-84, COORDENADAS UTM (UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR) ZONA 15
 4. LA DENSIDAD DEL SONDEO SIN PROCESAR ES DE 25 PUNTOS POR METROS CUADRADO.
 5. EL PROMEDIO DE NIVEL DE AGUAS DEL EMBALSE DURANTE EL SONDEO FUE DE 801.68m



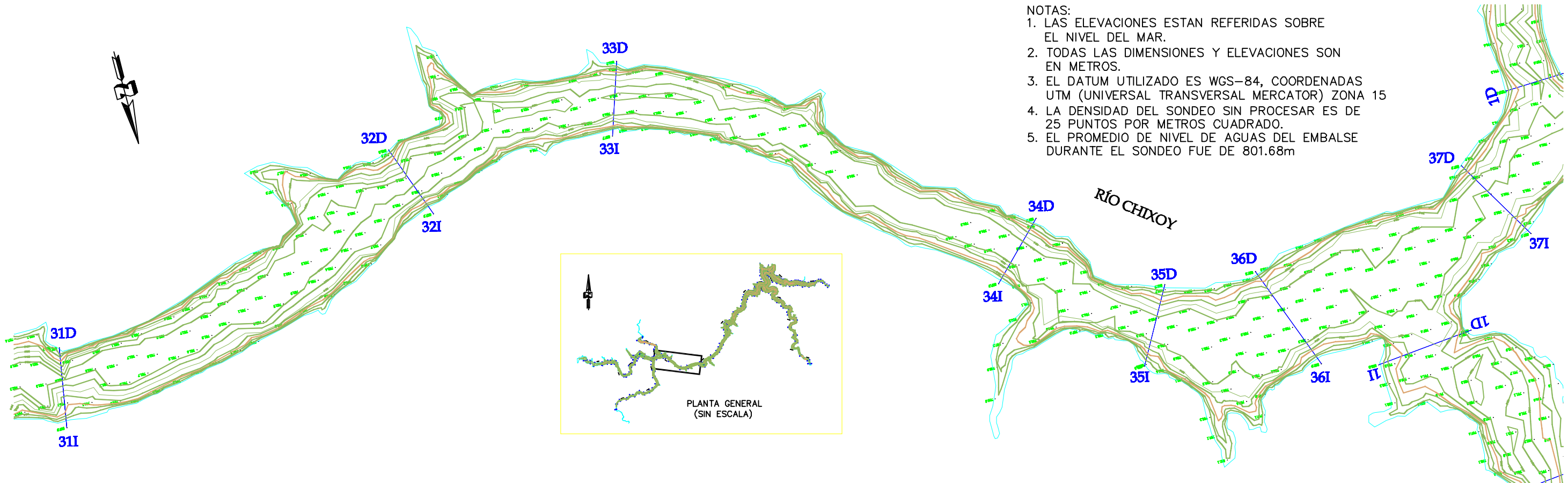
PROYECTO:
BATIMETRÍA EN RÍOS Y EMBALSE DE LA PRESA DE PUEBLO VIEJO, HIDROELÉCTRICA CHIXOY.

ESCALA: 1/5000
 UBICACIÓN: PRESA PUEBLO VIEJO ALTA VERAPAZ, GUATEMALA
 DIBUJO: SAULO JOM MORÁN

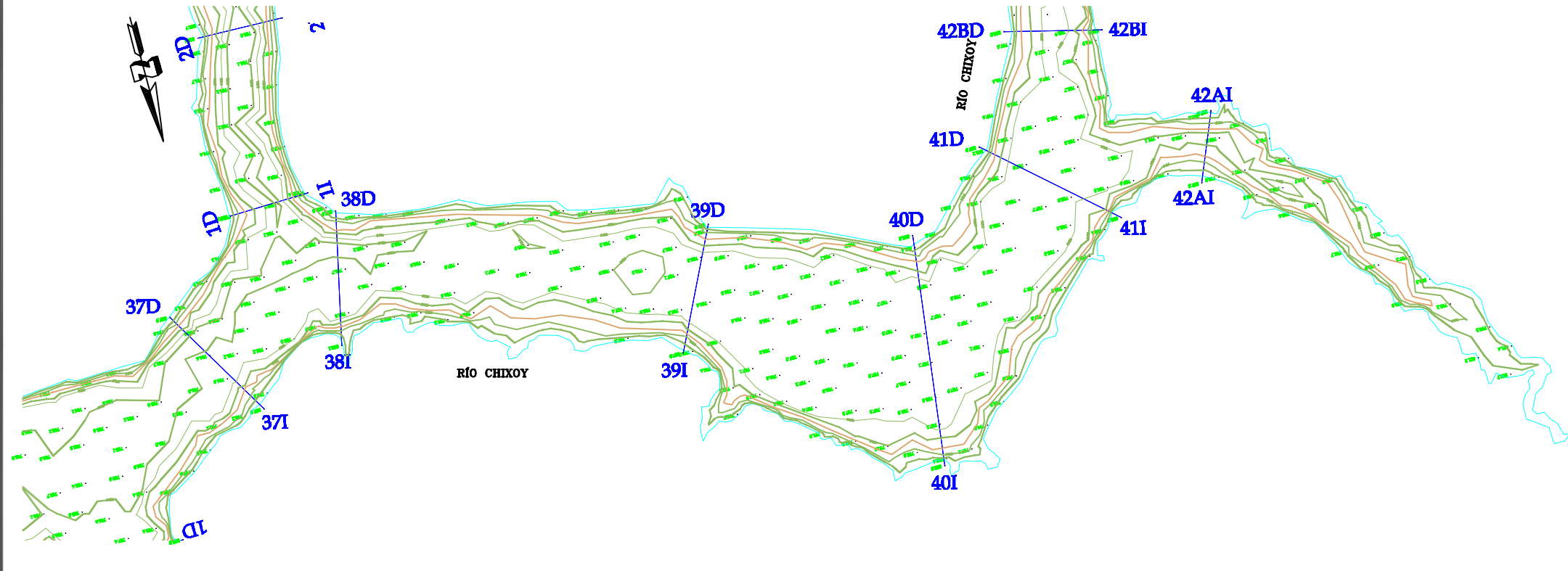
AREA:
 FECHA: NOVIEMBRE 2009
 ASESOR: ING. MANUEL ARRIVILLAGA

PLANO DE :
BATIMETRÍA RÍO CHIXOY

HOJA No.
 4
 4



- NOTAS:
1. LAS ELEVACIONES ESTAN REFERIDAS SOBRE EL NIVEL DEL MAR.
 2. TODAS LAS DIMENSIONES Y ELEVACIONES SON EN METROS.
 3. EL DATUM UTILIZADO ES WGS-84, COORDENADAS UTM (UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR) ZONA 15
 4. LA DENSIDAD DEL SONDEO SIN PROCESAR ES DE 25 PUNTOS POR METROS CUADRADO.
 5. EL PROMEDIO DE NIVEL DE AGUAS DEL EMBALSE DURANTE EL SONDEO FUE DE 801.68m



LEYENDA

CURVAS DE NIVEL MENORES (3.00m)	
CURVAS DE NIVEL MAYORES (15.00m)	
SECCIONES TRANSVERSALES	
LIMITE DE AGUA	
MARGEN IZQUIERDO DEL RÍO	9I
MARGEN DERECHO DEL RÍO	9D

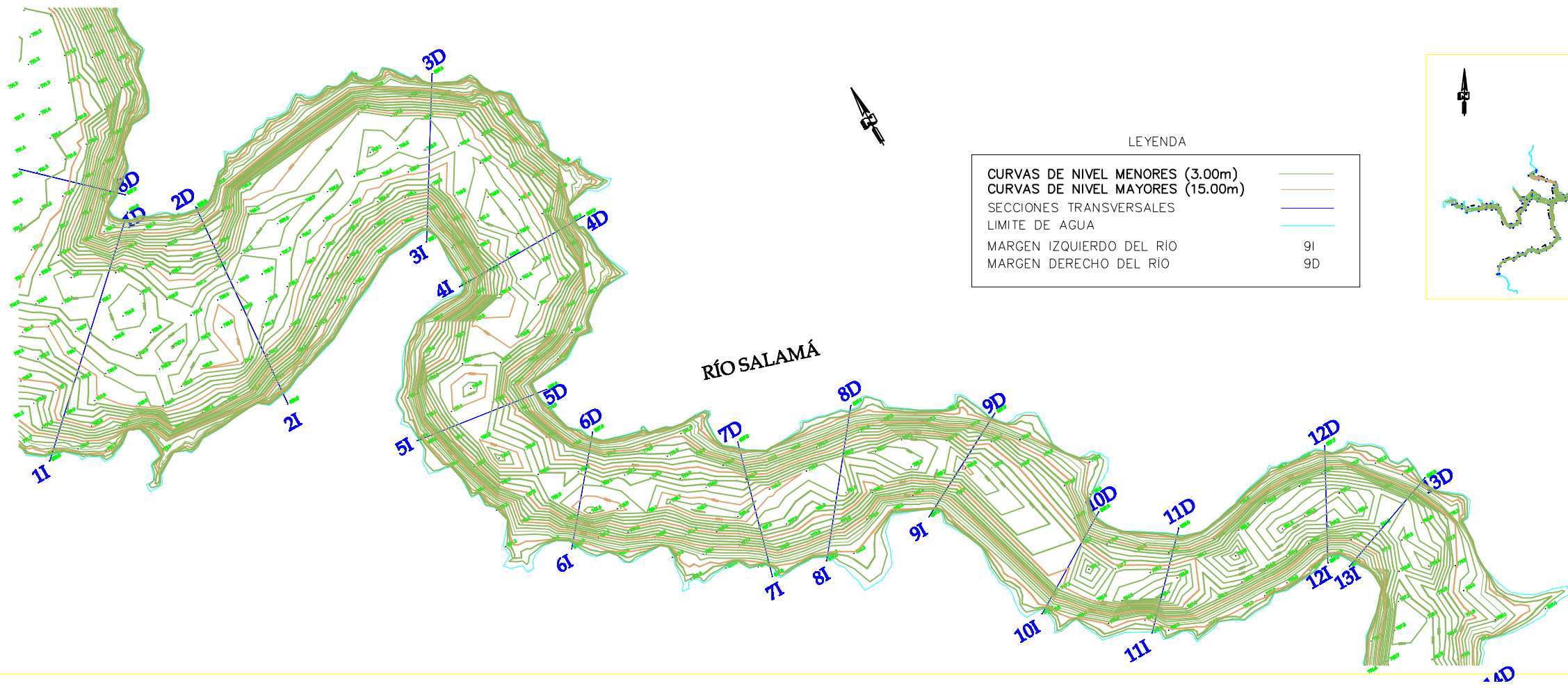


PROYECTO:
BATIMETRÍA EN RÍOS Y EMBALSE DE LA PRESA DE PUEBLO VIEJO, HIDROELÉCTRICA CHIXOY.

ESCALA: 1/5000	AREA:
UBICACIÓN: PRESA PUEBLO VIEJO ALTA VERAPAZ, GUATEMALA	FECHA: NOVIEMBRE 2009
DIBUJO: SAULO JOM MORÁN	ASESOR: ING. MANUEL ARRIVILLAGA

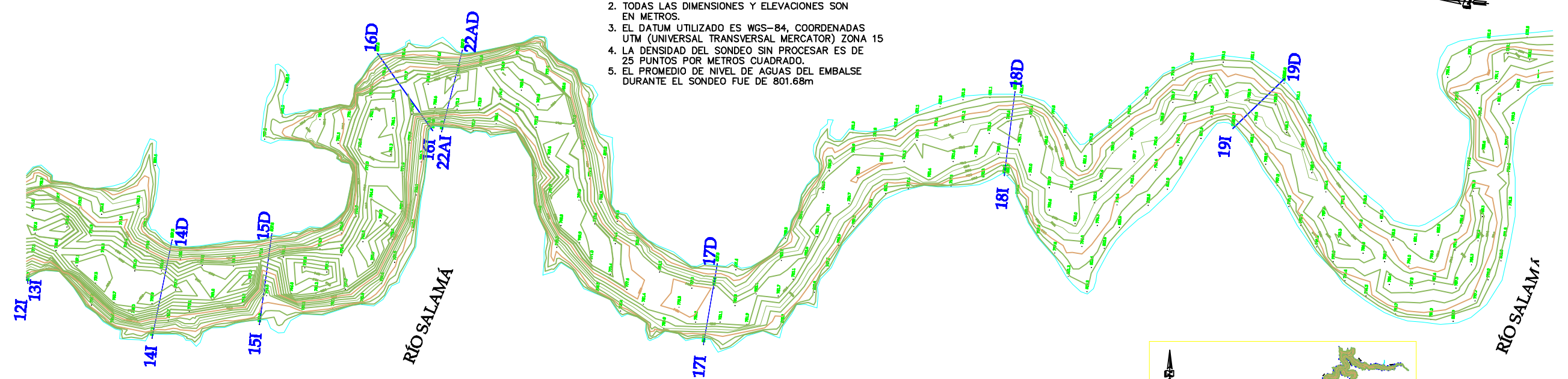
PLANO DE :
BATIMETRÍA RÍO CHIXOY

HOJA No.
3
4

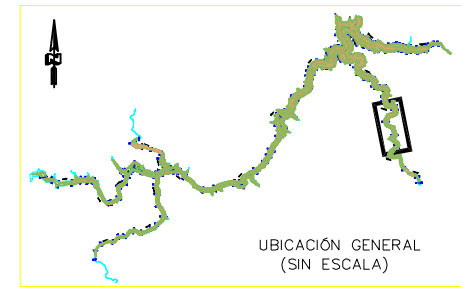


LEYENDA

CURVAS DE NIVEL MENORES (3.00m)	
CURVAS DE NIVEL MAYORES (15.00m)	
SECCIONES TRANSVERSALES	
LIMITE DE AGUA	
MARGEN IZQUIERDO DEL RÍO	9I
MARGEN DERECHO DEL RÍO	9D



- NOTAS:
1. LAS ELEVACIONES ESTAN REFERIDAS SOBRE EL NIVEL DEL MAR.
 2. TODAS LAS DIMENSIONES Y ELEVACIONES SON EN METROS.
 3. EL DATUM UTILIZADO ES WGS-84, COORDENADAS UTM (UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR) ZONA 15
 4. LA DENSIDAD DEL SONDEO SIN PROCESAR ES DE 25 PUNTOS POR METROS CUADRADO.
 5. EL PROMEDIO DE NIVEL DE AGUAS DEL EMBALSE DURANTE EL SONDEO FUE DE 801.68m



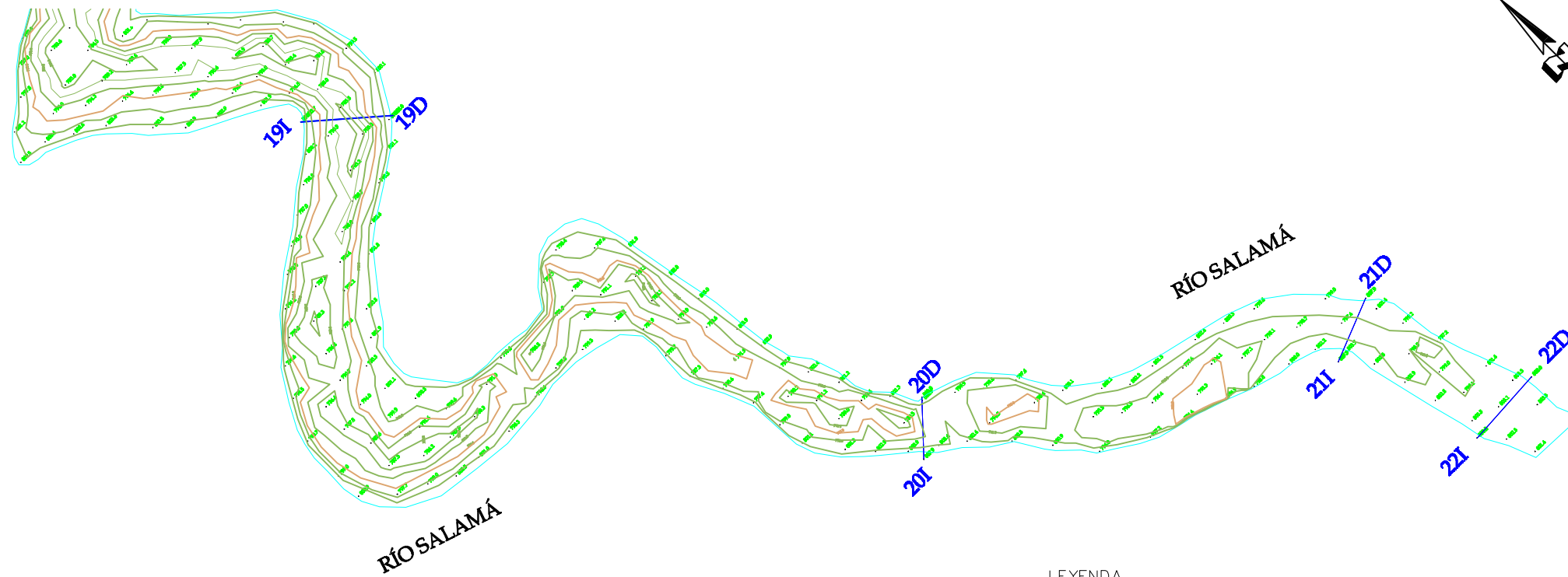
PROYECTO:
BATIMETRÍA EN RÍOS Y EMBALSE DE LA PRESA DE PUEBLO VIEJO, HIDROELÉCTRICA CHIXOY.

ESCALA: 1/5000
 UBICACIÓN: PRESA PUEBLO VIEJO ALTA VERAPAZ, GUATEMALA
 DIBUJO: SAULO JOM MORÁN

AREA:
 FECHA: NOVIEMBRE 2009
 ASESOR: ING.MANUEL ARRIVILLAGA

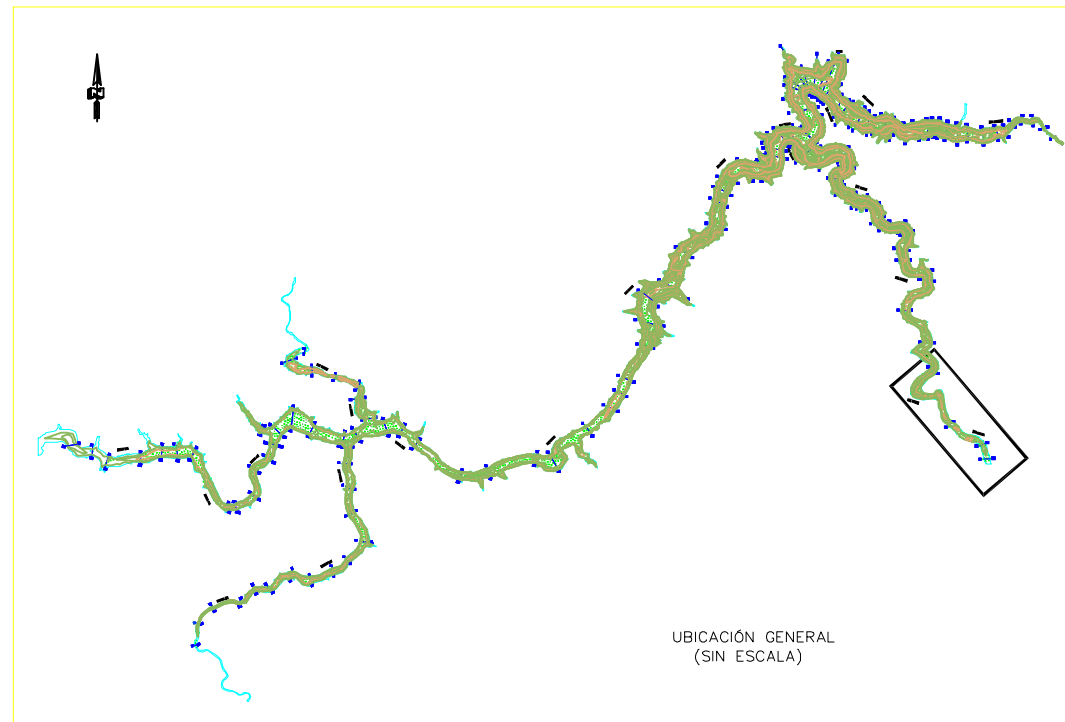
PLANO DE :
BATIMETRÍA RÍO SALAMÁ

HOJA No.
 1
 2



LEYENDA

CURVAS DE NIVEL MENORES (3.00m)	
CURVAS DE NIVEL MAYORES (15.00m)	
SECCIONES TRANSVERSALES	
LIMITE DE AGUA	
MARGEN IZQUIERDO DEL RÍO	9I
MARGEN DERECHO DEL RÍO	9D



NOTAS:

1. LAS ELEVACIONES ESTAN REFERIDAS SOBRE EL NIVEL DEL MAR.
2. TODAS LAS DIMENSIONES Y ELEVACIONES SON EN METROS.
3. EL DATUM UTILIZADO ES WGS-84, COORDENADAS UTM (UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR) ZONA 15
4. LA DENSIDAD DEL SONDEO SIN PROCESAR ES DE 25 PUNTOS POR METROS CUADRADO.
5. EL PROMEDIO DE NIVEL DE AGUAS DEL EMBALSE DURANTE EL SONDEO FUE DE 801.68m



PROYECTO:

**BATIMETRÍA EN RÍOS Y EMBALSE DE
LA PRESA DE PUEBLO VIEJO, HIDROELÉCTRICA CHIXOY.**

ESCALA: 1/5000

AREA:

PLANO DE :

HOJA No.

UBICACION: PRESA PUEBLO VIEJO
ALTA VERAPAZ, GUATEMALA

FECHA: NOVIEMBRE 2009

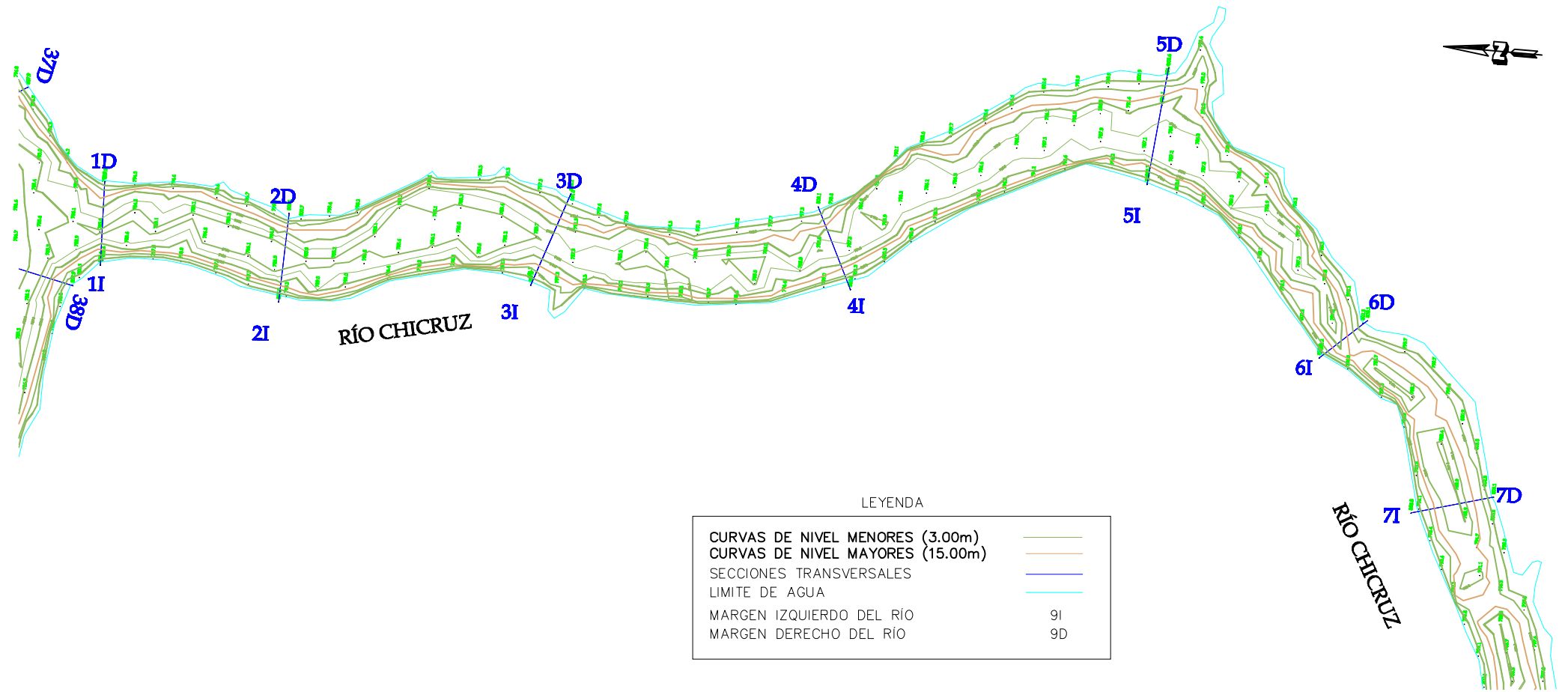
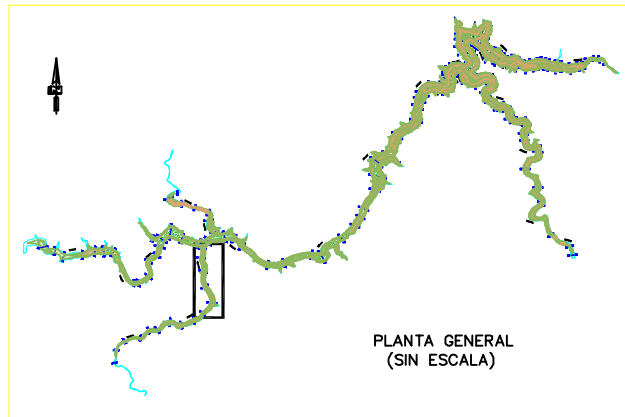
BATIMETRÍA RÍO SALAMÁ

2

DIBUJO: SAULO JOM MORAN

ASESOR: ING.MANUEL ARRIVILLAGA

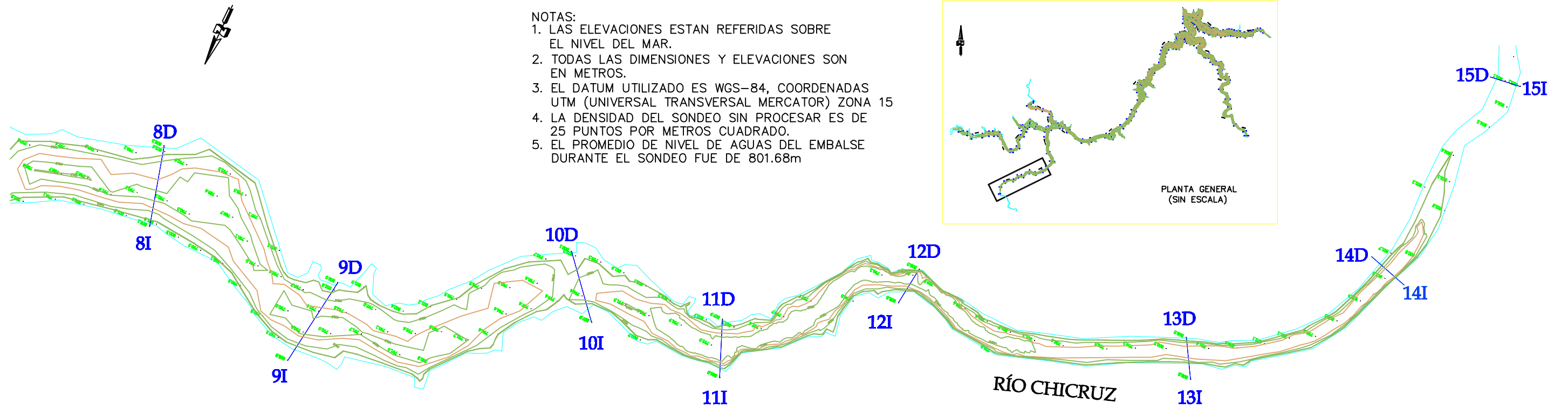
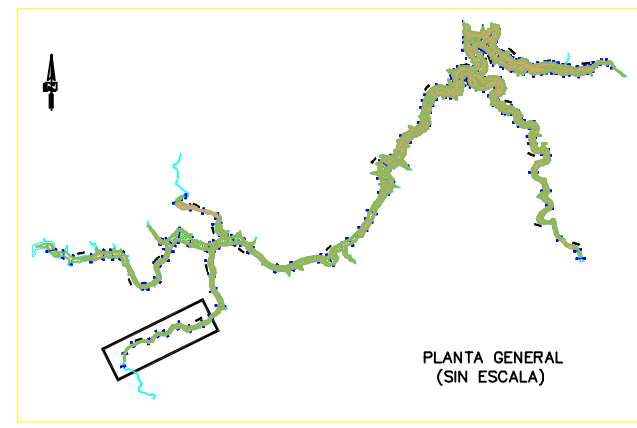
2



LEYENDA

CURVAS DE NIVEL MENORES (3.00m)	
CURVAS DE NIVEL MAYORES (15.00m)	
SECCIONES TRANSVERSALES	
LIMITE DE AGUA	
MARGEN IZQUIERDO DEL RÍO	9I
MARGEN DERECHO DEL RÍO	9D

- NOTAS:
1. LAS ELEVACIONES ESTAN REFERIDAS SOBRE EL NIVEL DEL MAR.
 2. TODAS LAS DIMENSIONES Y ELEVACIONES SON EN METROS.
 3. EL DATUM UTILIZADO ES WGS-84, COORDENADAS UTM (UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR) ZONA 15
 4. LA DENSIDAD DEL SONDEO SIN PROCESAR ES DE 25 PUNTOS POR METROS CUADRADO.
 5. EL PROMEDIO DE NIVEL DE AGUAS DEL EMBALSE DURANTE EL SONDEO FUE DE 801.68m

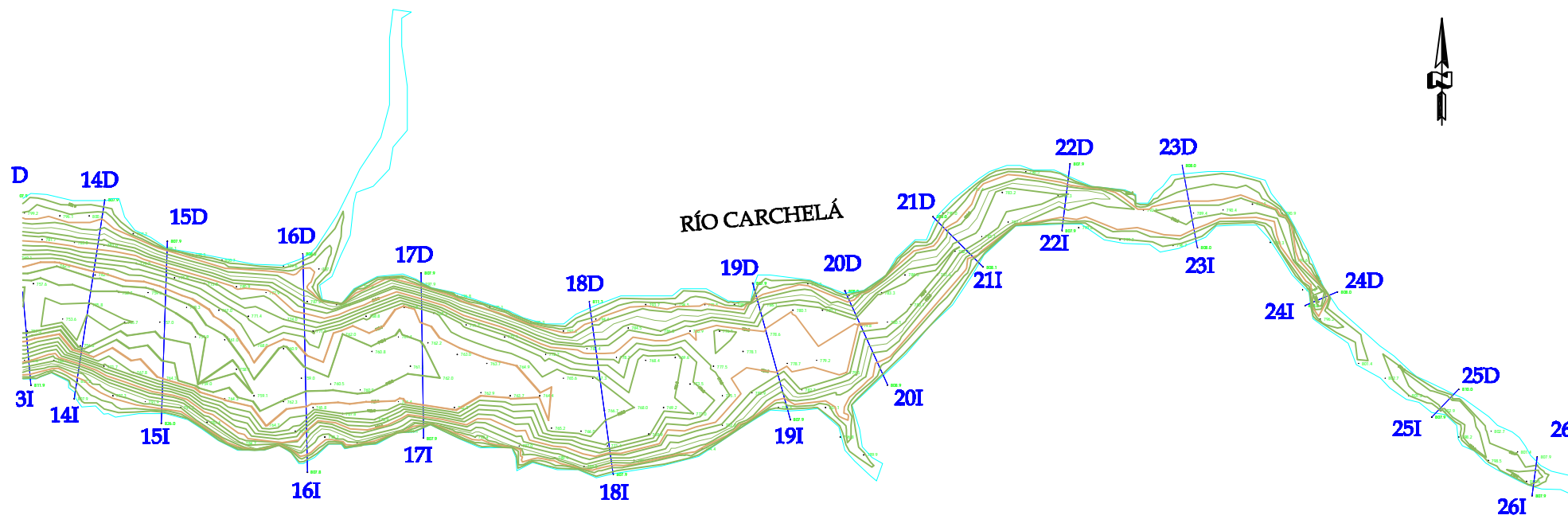
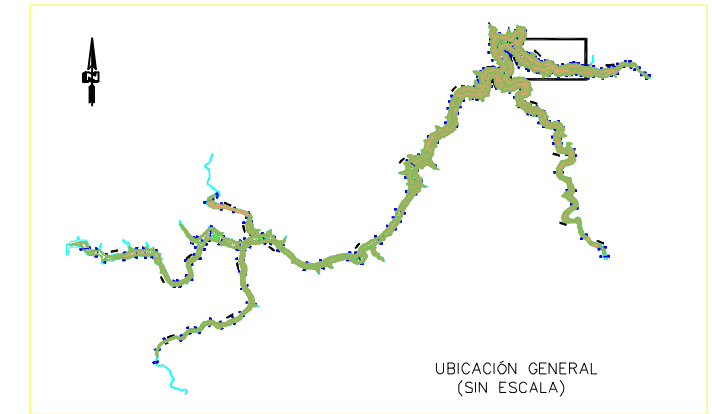
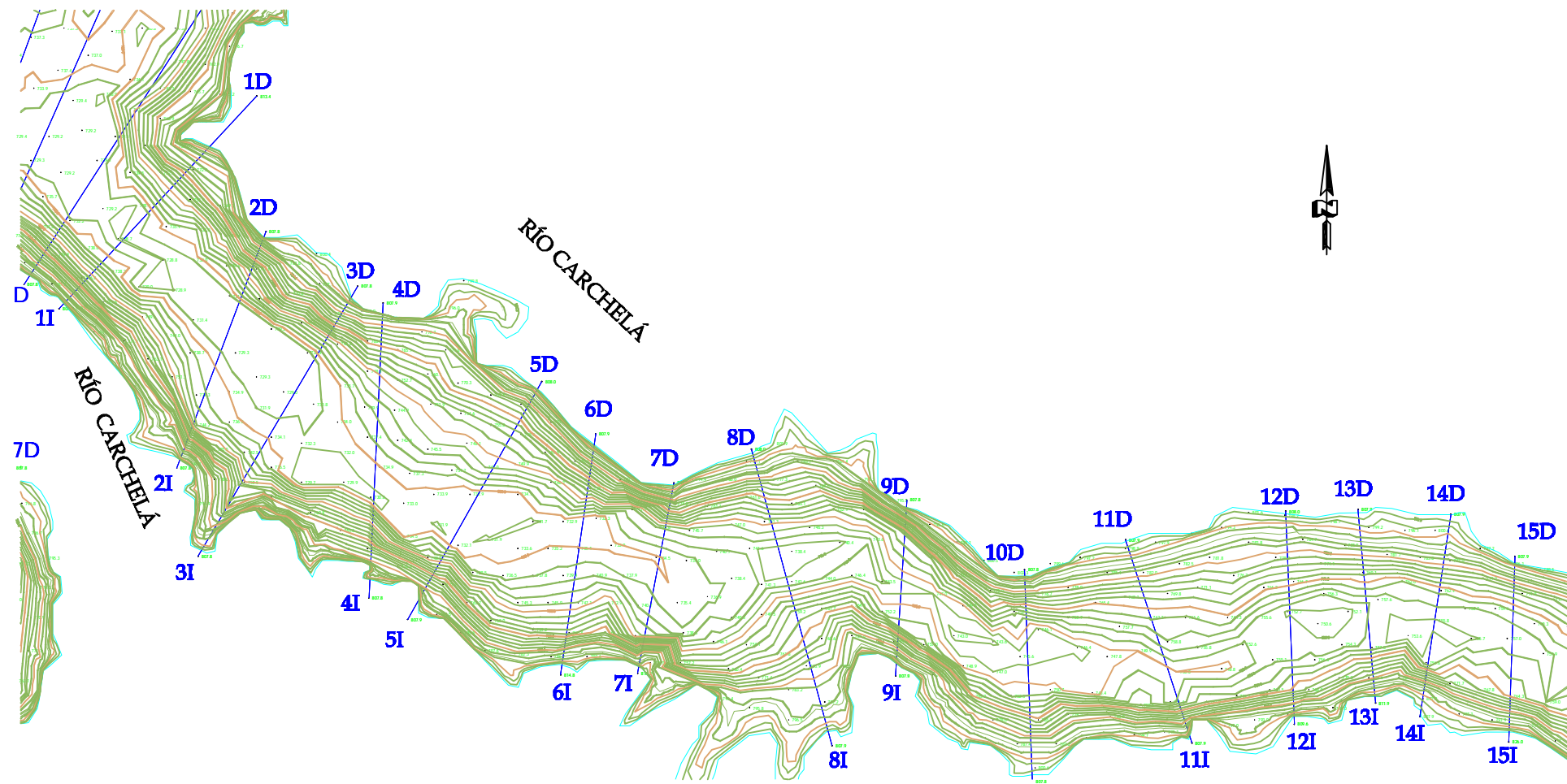


PROYECTO:
BATIMETRÍA EN RÍOS Y EMBALSE DE LA PRESA DE PUEBLO VIEJO, HIDROELÉCTRICA CHIXOY.

ESCALA: 1/5000	AREA:
UBICACIÓN: PRESA PUEBLO VIEJO ALTA VERAPAZ, GUATEMALA	FECHA: NOVIEMBRE 2009
DIBUJO: SAULO JOM MORÁN	ASESOR: ING.MANUEL ARRIVILLAGA

PLANO DE :
BATIMETRÍA RÍO CHICRUZ

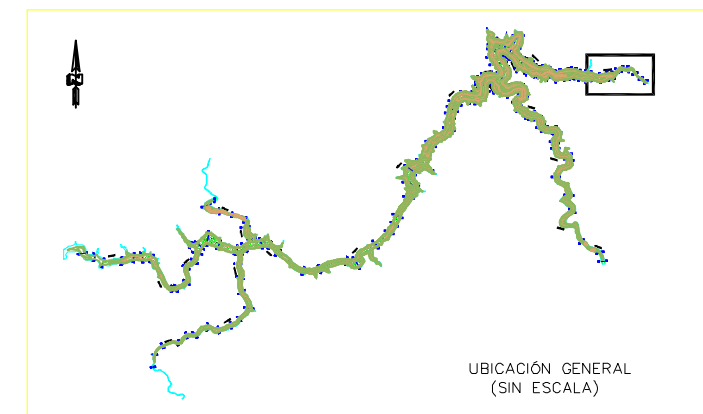
HOJA No.
1
1



- NOTAS:
1. LAS ELEVACIONES ESTAN REFERIDAS SOBRE EL NIVEL DEL MAR.
 2. TODAS LAS DIMENSIONES Y ELEVACIONES SON EN METROS.
 3. EL DATUM UTILIZADO ES WGS-84, COORDENADAS UTM (UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR) ZONA 15
 4. LA DENSIDAD DEL SONDEO SIN PROCESAR ES DE 25 PUNTOS POR METROS CUADRADO.
 5. EL PROMEDIO DE NIVEL DE AGUAS DEL EMBALSE DURANTE EL SONDEO FUE DE 801.68m

LEYENDA

CURVAS DE NIVEL MENORES (3.00m)	
CURVAS DE NIVEL MAYORES (15.00m)	
SECCIONES TRANSVERSALES	
LIMITE DE AGUA	
MARGEN IZQUIERDO DEL RÍO	9I
MARGEN DERECHO DEL RÍO	9D



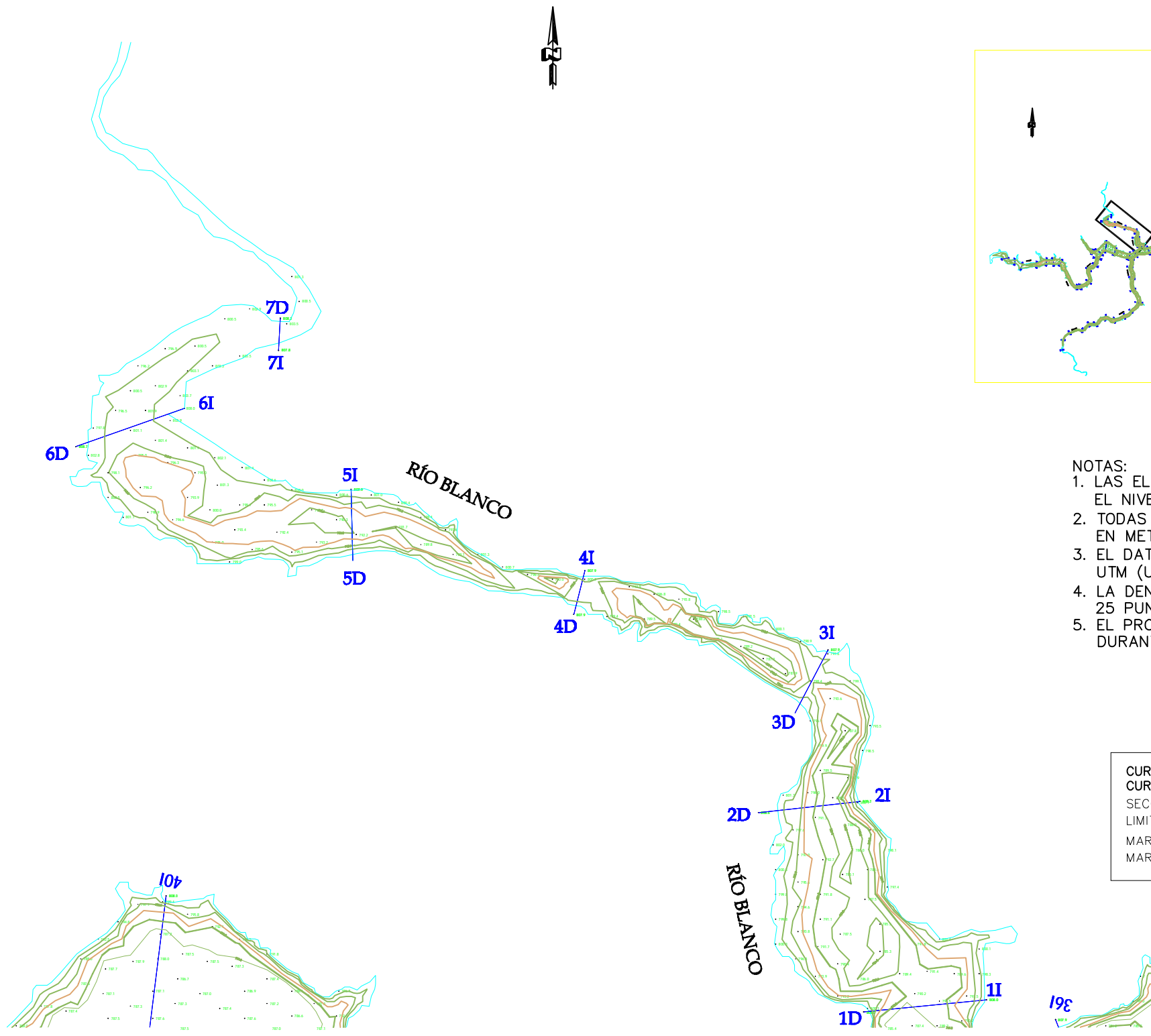
PROYECTO:
**BATIMETRÍA EN RÍOS Y EMBALSE DE
LA PRESA DE PUEBLO VIEJO, HIDROELÉCTRICA CHIXOY.**

ESCALA: 1/5000
UBICACIÓN: PRESA PUEBLO VIEJO
ALTA VERAPAZ, GUATEMALA
DIBUJO: SAULO JOM MORÁN

AREA:
FECHA: NOVIEMBRE 2009
ASESOR: ING. MANUEL ARRIVILLAGA

PLANO DE :
BATIMETRÍA RÍO CARCHELÁ

HOJA No.
1
1



- NOTAS:
1. LAS ELEVACIONES ESTAN REFERIDAS SOBRE EL NIVEL DEL MAR.
 2. TODAS LAS DIMENSIONES Y ELEVACIONES SON EN METROS.
 3. EL DATUM UTILIZADO ES WGS-84, COORDENADAS UTM (UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR) ZONA 15
 4. LA DENSIDAD DEL SONDEO SIN PROCESAR ES DE 25 PUNTOS POR METROS CUADRADO.
 5. EL PROMEDIO DE NIVEL DE AGUAS DEL EMBALSE DURANTE EL SONDEO FUE DE 801.68m

LEYENDA

CURVAS DE NIVEL MENORES (3.00m)	
CURVAS DE NIVEL MAYORES (15.00m)	
SECCIONES TRANSVERSALES	
LIMITE DE AGUA	
MARGEN IZQUIERDO DEL RÍO	9I
MARGEN DERECHO DEL RÍO	9D



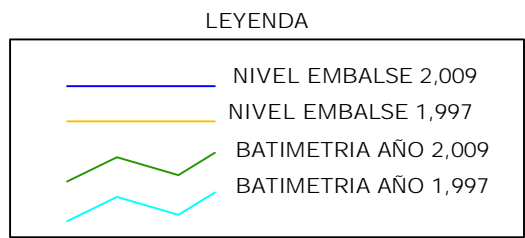
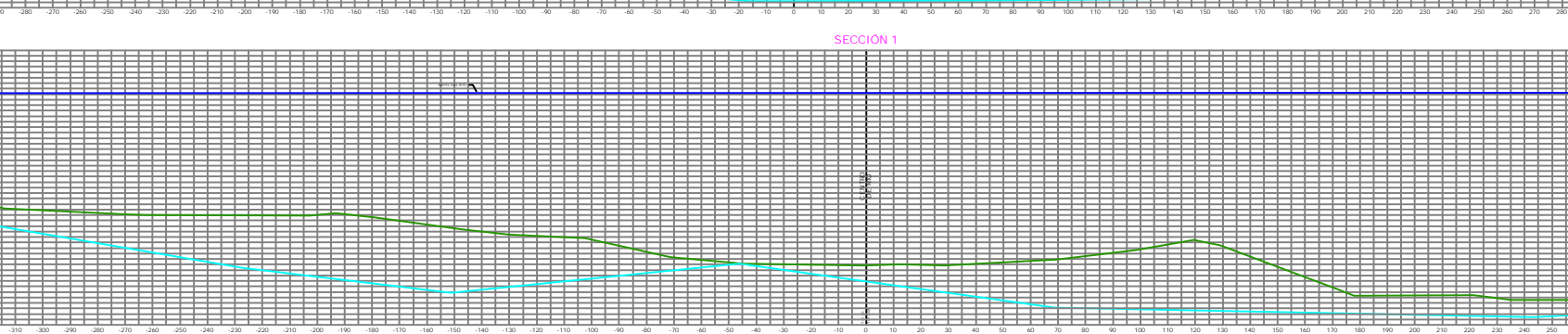
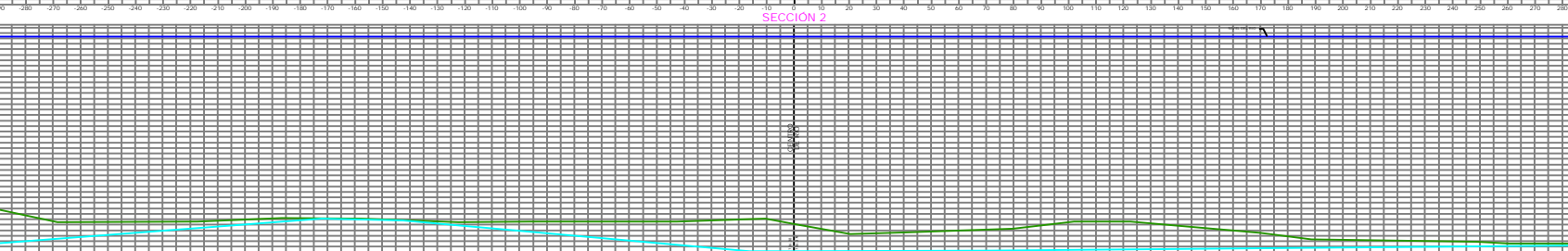
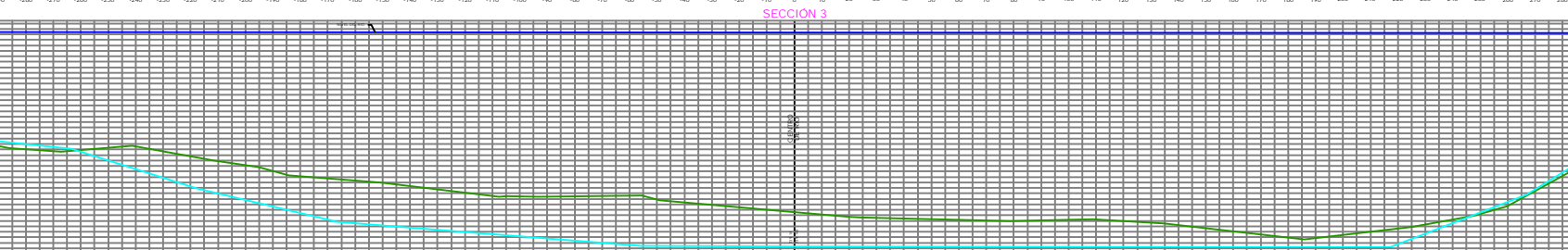
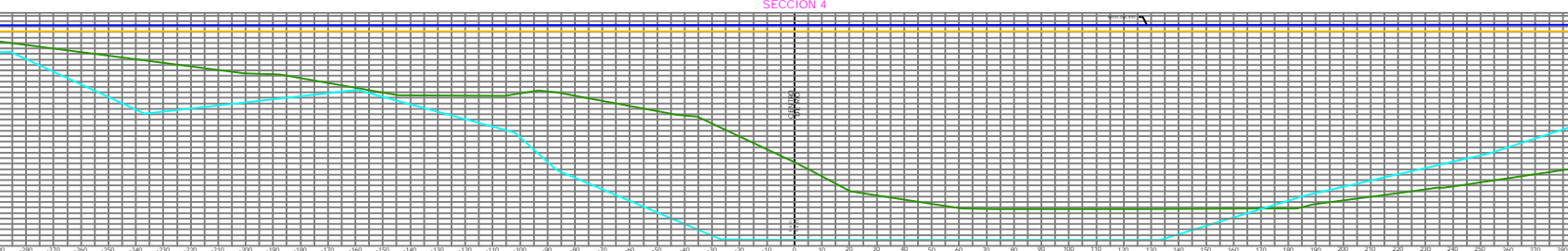
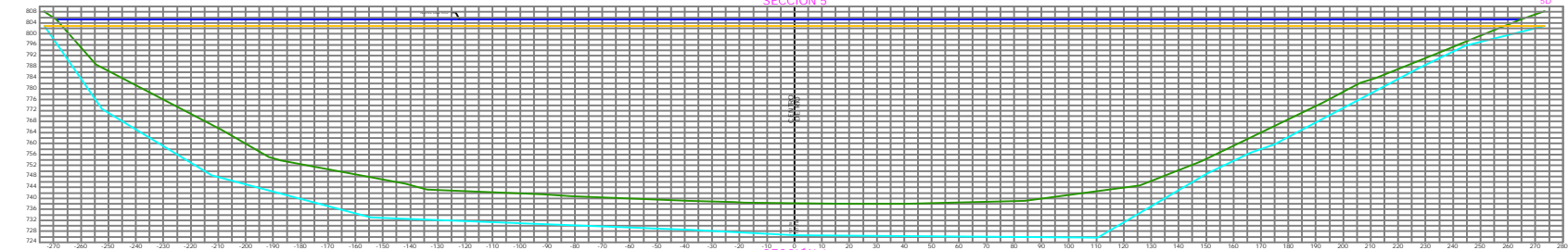
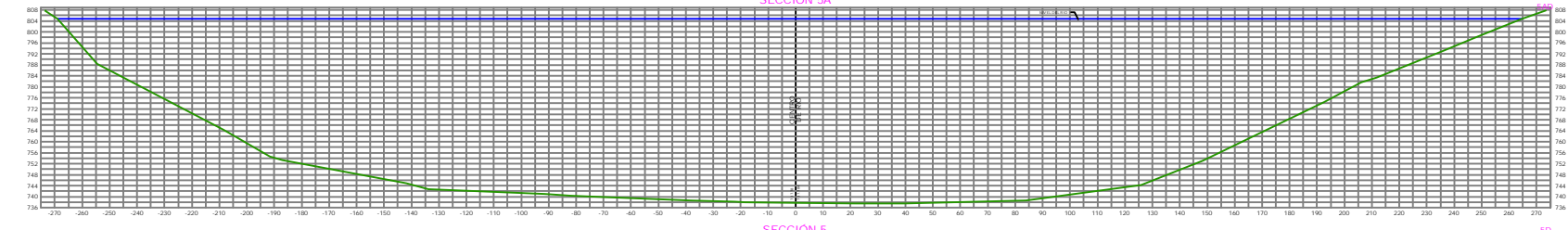
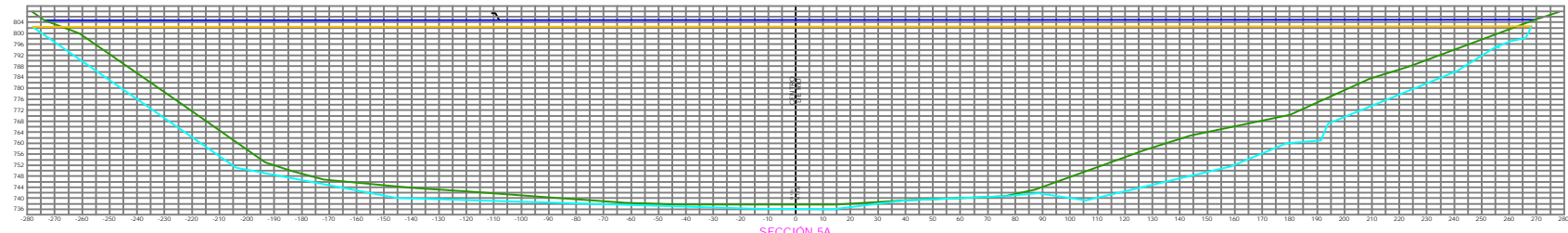
PROYECTO:
BATIMETRÍA EN RÍOS Y EMBALSE DE LA PRESA DE PUEBLO VIEJO, HIDROELÉCTRICA CHIXOY.

ESCALA: 1/5000
 UBICACIÓN: PRESA PUEBLO VIEJO ALTA VERAPAZ, GUATEMALA
 DIBUJO: SAULO JOM MORÁN

AREA:
 FECHA: NOVIEMBRE 2009
 ASESOR: ING. MANUEL ARRIVILLAGA

PLANO DE :
BATIMETRÍA RÍO BLANCO

HOJA No.
1
1



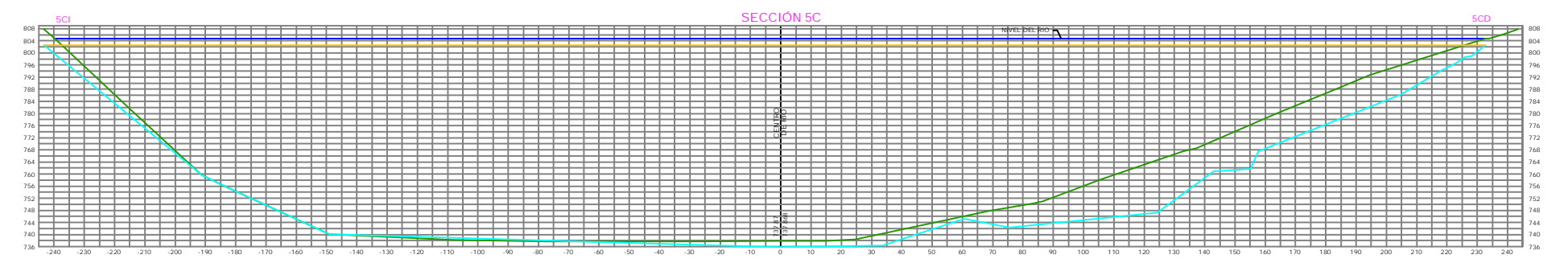
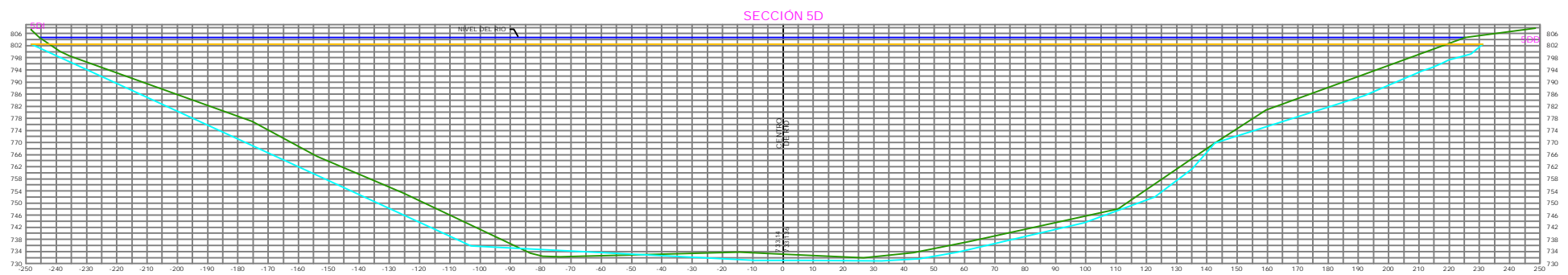
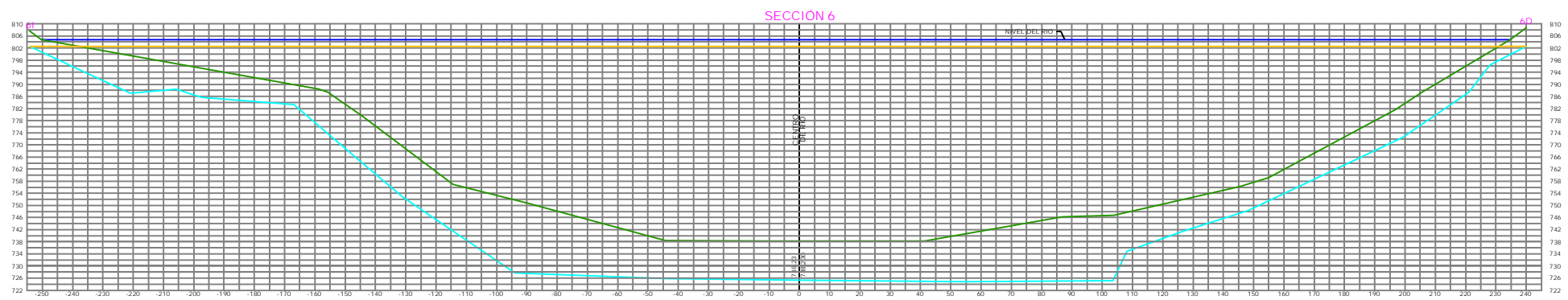
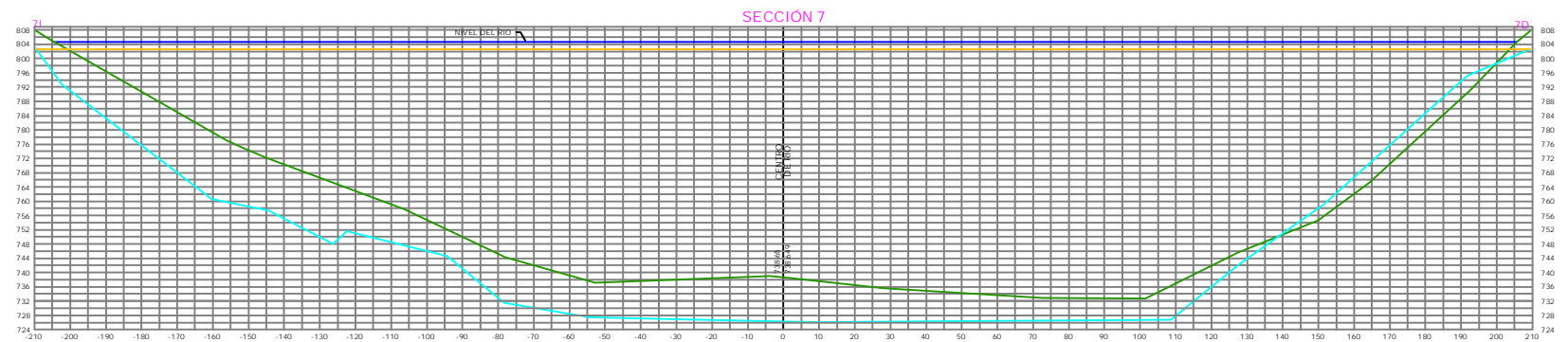
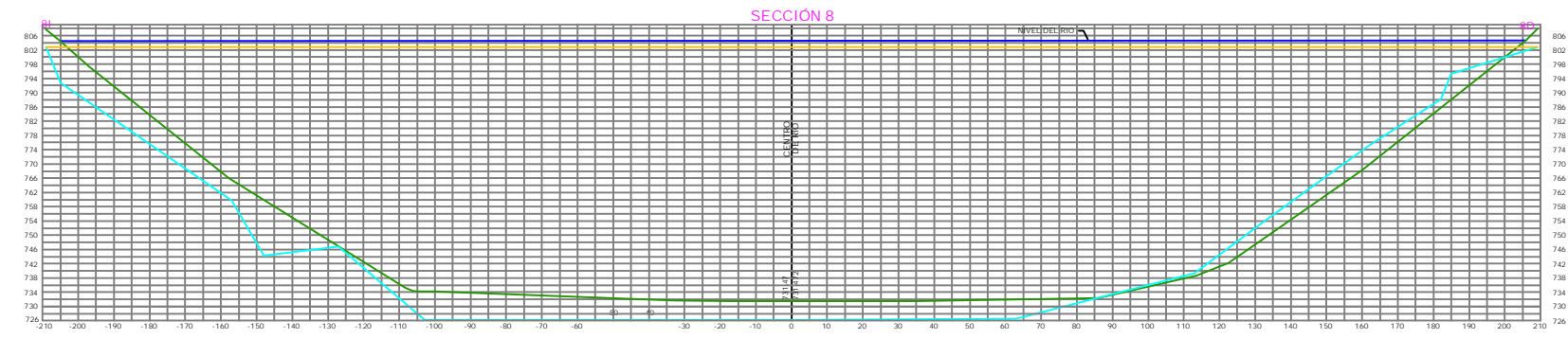
PROYECTO:
**BATIMETRÍA EN RÍOS Y EMBALSE DE
 LA PRESA DE PUEBLO VIEJO, HIDROELÉCTRICA CHIXOY.**

ESCALA: 1/1250
 UBICACIÓN: PRESA PUEBLO VIEJO
 ALTA VERAPAZ, GUATEMALA
 DIBUJO: SAULO JOM MORÁN

AREA: ----
 FECHA: NOVIEMBRE 2009
 ASESOR: ING.MANUEL ARRIVILLAGA

PLANO DE :
**SECCIONES RÍO CHIXOY
 SECCIONES DE LA 1 A LA 5B**

HOJA No.
 1
 9



LEYENDA

- NIVEL EMBALSE 2,009
- NIVEL EMBALSE 1,997
- BATIMETRIA AÑO 2,009
- BATIMETRIA AÑO 1,997



PROYECTO:

**BATIMETRÍA EN RÍOS Y EMBALSE DE
LA PRESA DE PUEBLO VIEJO, HIDROELÉCTRICA CHIXOY.**

ESCALA: 1/1000

AREA: -----

PLANO DE :

UBICACIÓN: PRESA PUEBLO VIEJO
ALTA VERAPAZ, GUATEMALA

FECHA: NOVIEMBRE 2009

**SECCIONES RÍO CHIXOY
SECCIONES DE LA 5C A LA 8**

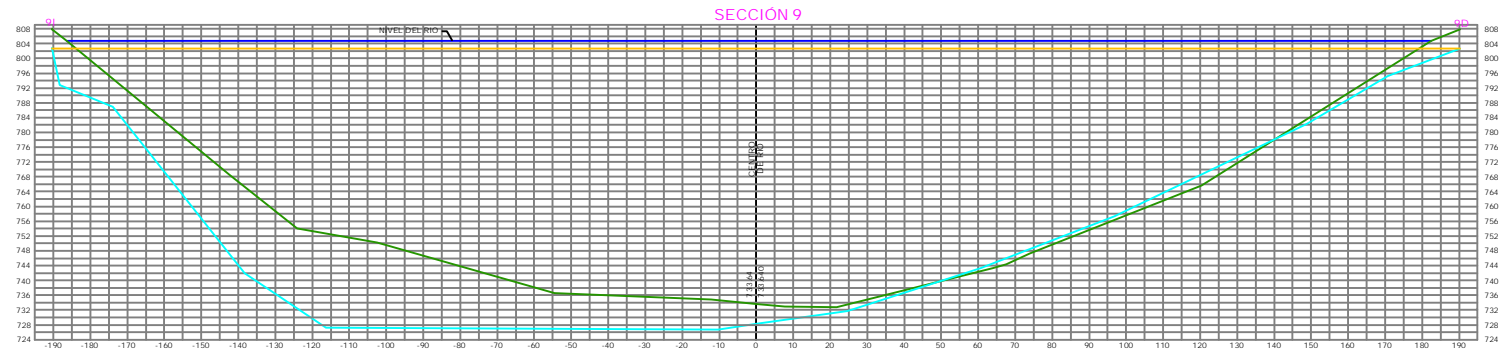
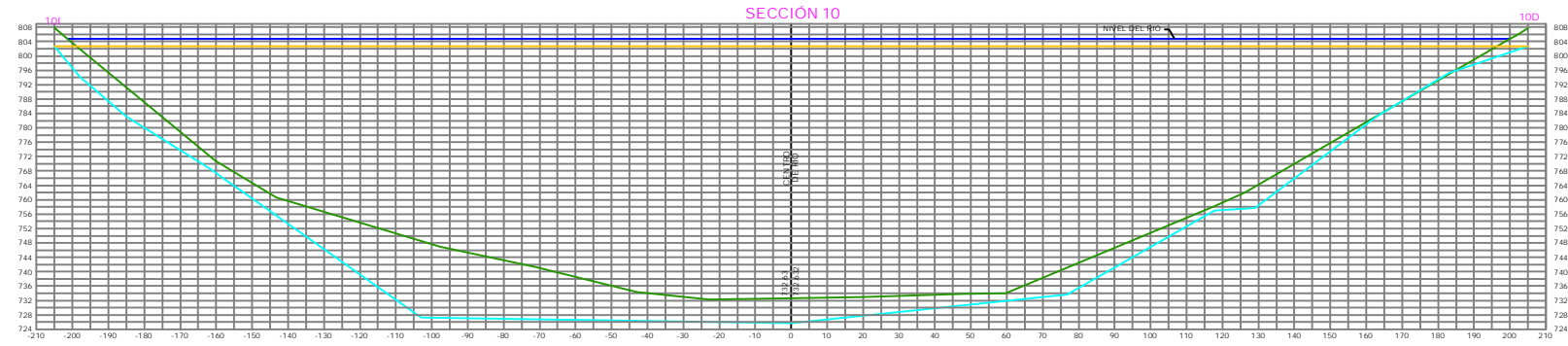
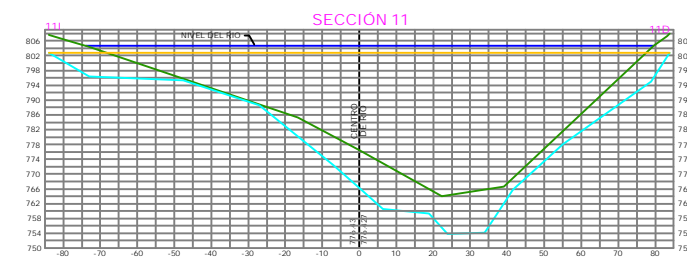
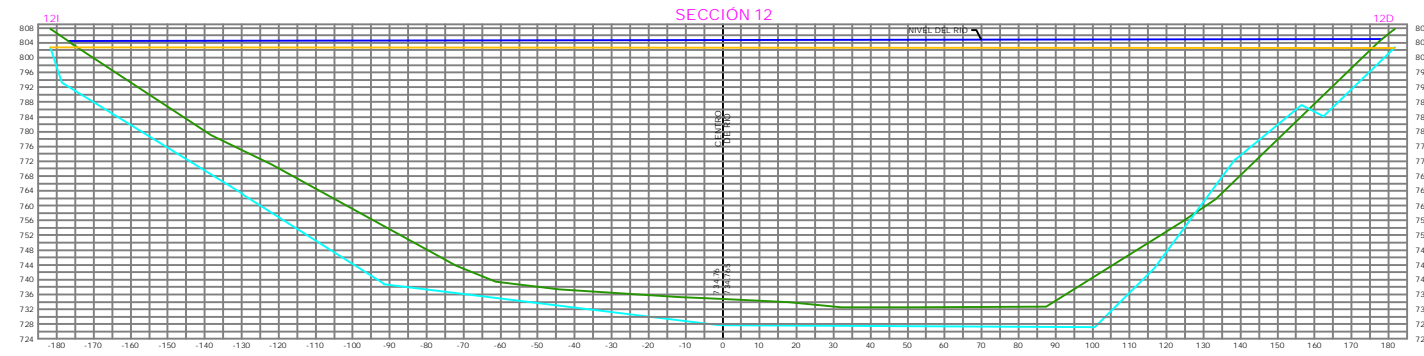
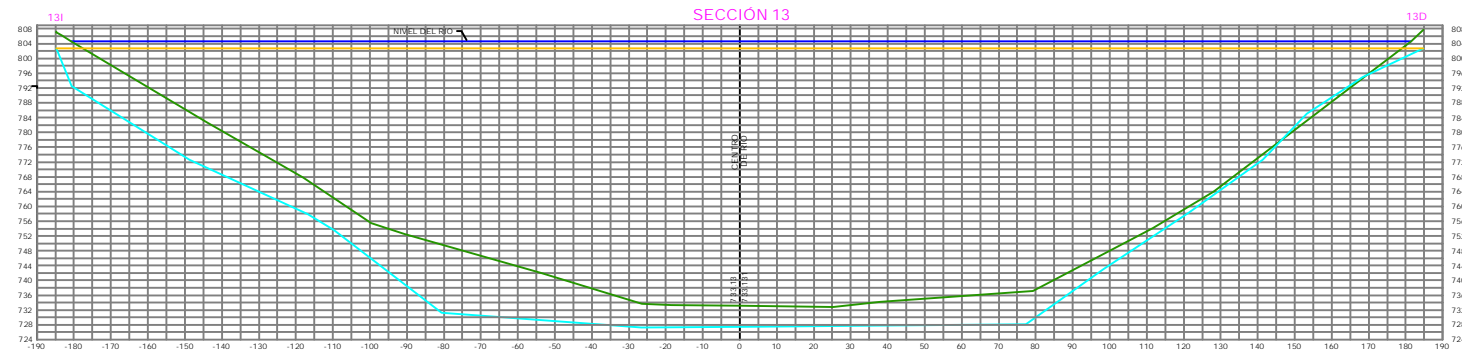
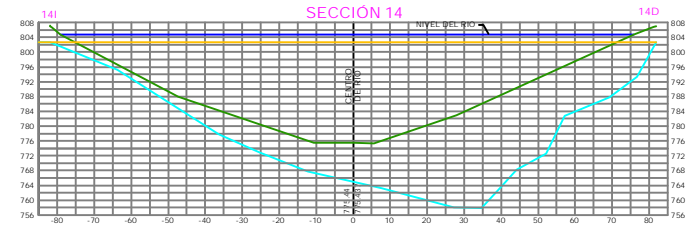
DIBUJO: SAULO JOM MORÁN

ASESOR: ING.MANUEL ARRIVILLAGA

HOJA No.

2

9



LEYENDA

- NIVEL EMBALSE 2,009
- NIVEL EMBALSE 1,997
- BATIMETRIA AÑO 2,009
- BATIMETRIA AÑO 1,997



PROYECTO:

**BATIMETRÍA EN RÍOS Y EMBALSE DE
LA PRESA DE PUEBLO VIEJO, HIDROELÉCTRICA CHIXOY.**

ESCALA: 1/1000

UBICACIÓN: PRESA PUEBLO VIEJO
ALTA VERAPAZ, GUATEMALA

DIBUJO: SAULO JOM MORÁN

AREA: -----

FECHA: NOVIEMBRE 2009

ASESOR: ING.MANUEL ARRIVILLAGA

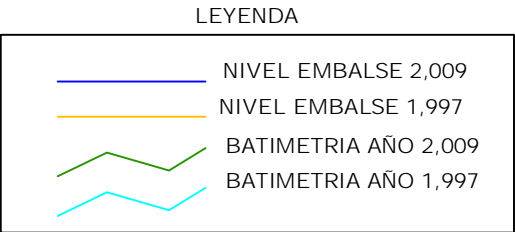
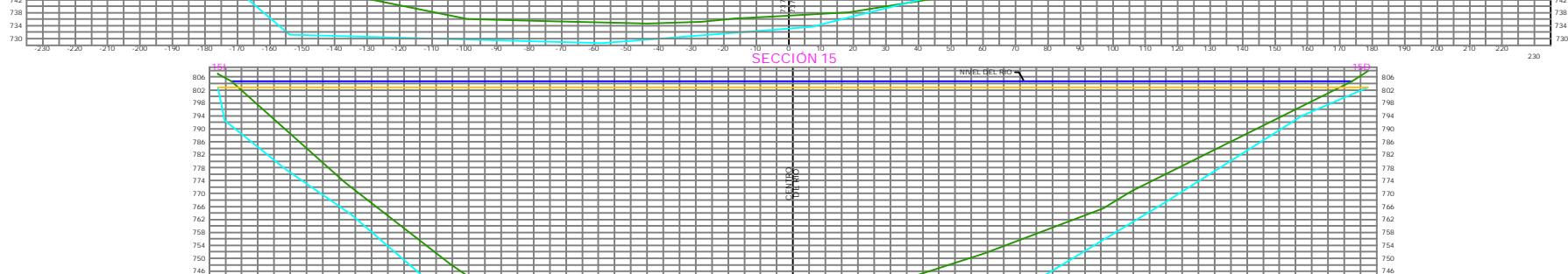
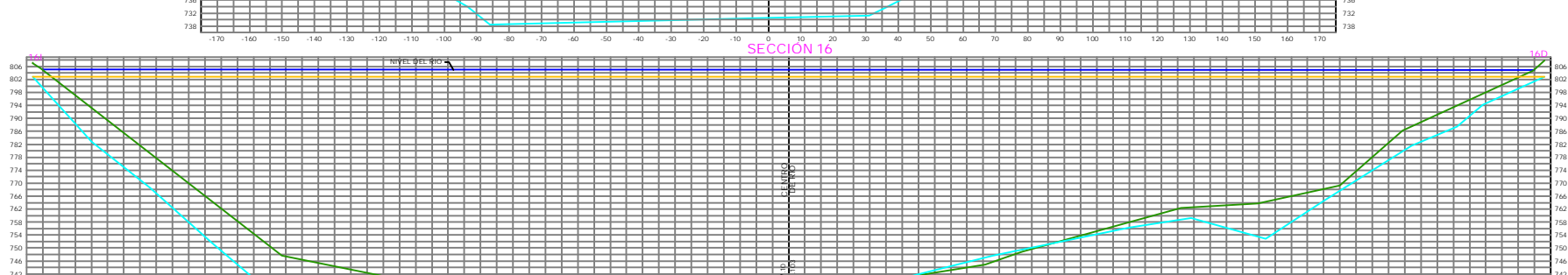
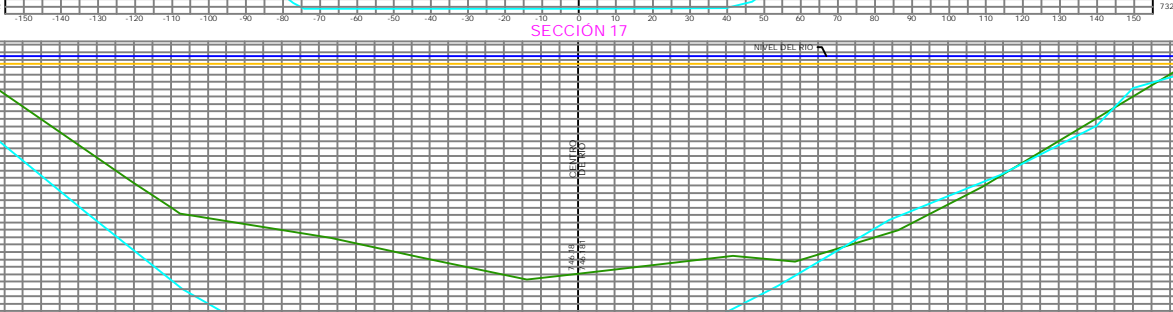
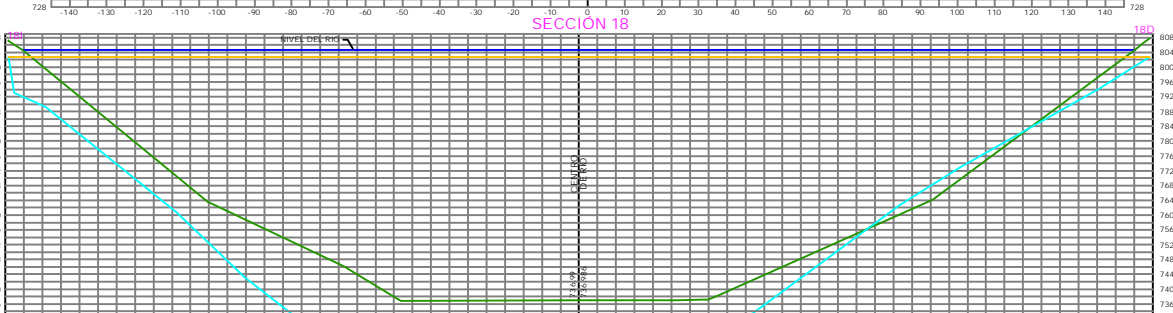
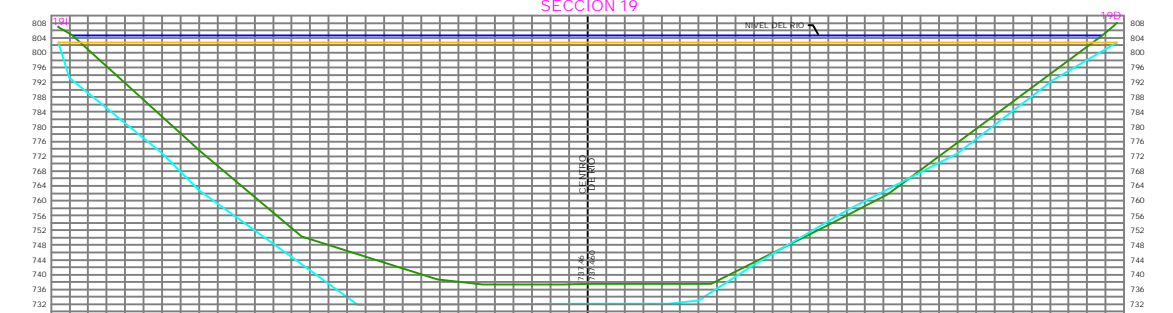
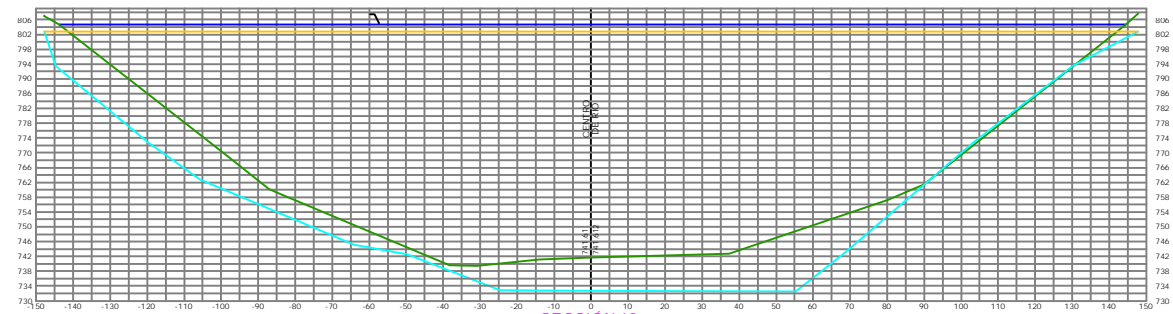
PLANO DE :

**SECCIONES RÍO CHIXOY
SECCIONES DE LA 9 A LA 14**

HOJA No.

3

9

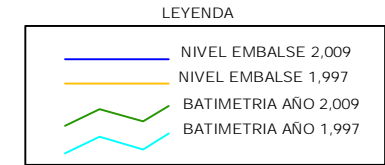
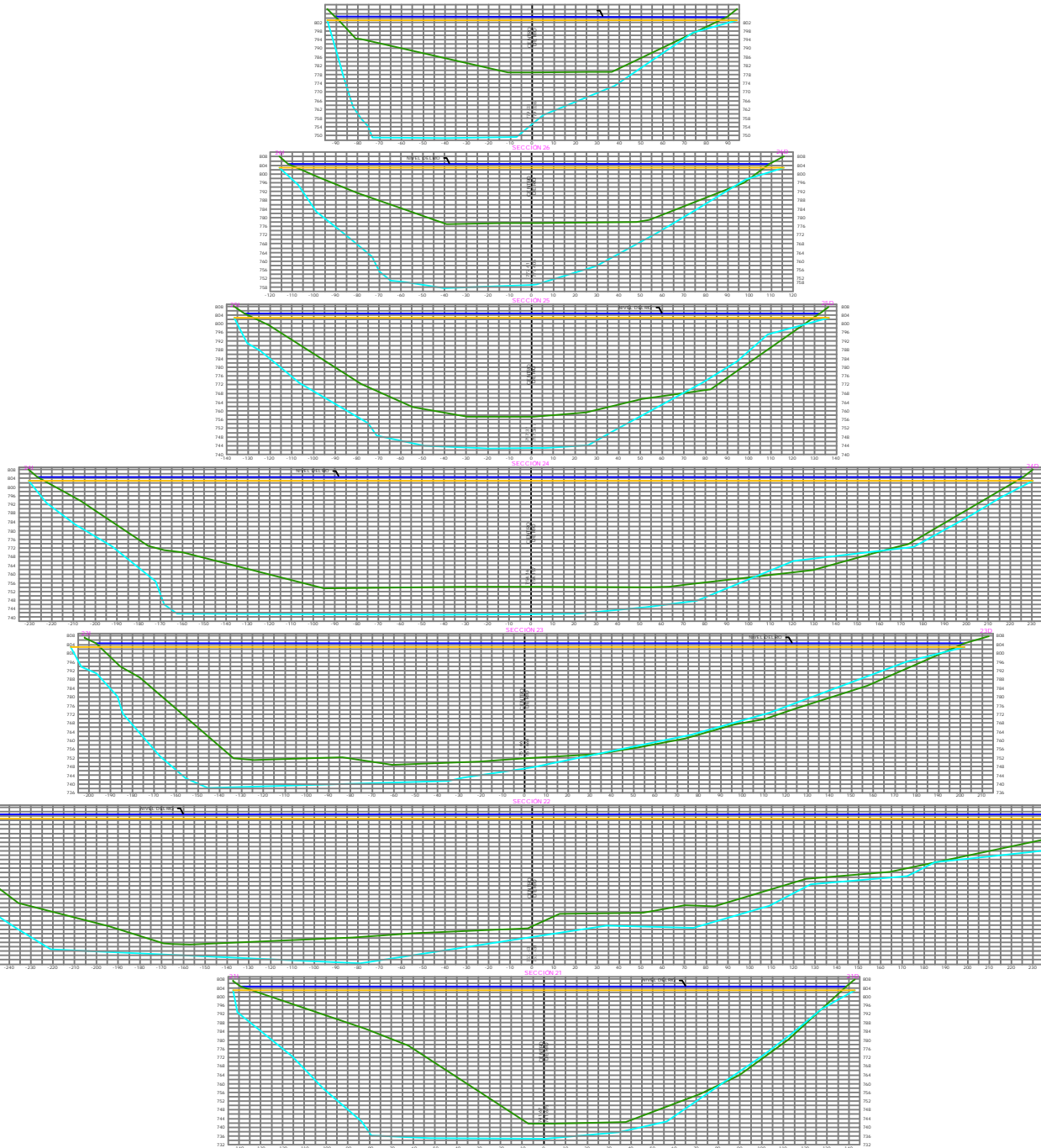


PROYECTO:
**BATIMETRÍA EN RÍOS Y EMBALSE DE
 LA PRESA DE PUEBLO VIEJO, HIDROELÉCTRICA CHIXOY.**

ESCALA: 1/1000
 UBICACIÓN: PRESA PUEBLO VIEJO
 ALTA VERAPAZ, GUATEMALA
 DIBUJO: SAULO JOM MORÁN

AREA: -----
 FECHA: NOVIEMBRE 2009
 ASESOR: ING.MANUEL ARRIVILLAGA
 PLANO DE :
**SECCIONES RÍO CHIXOY
 SECCIONES DE LA 15 A LA 20**

HOJA No.
 4
 9



PROYECTO:

**BATIMETRIA EN RÍOS Y EMBALSE DE
LA PRESA DE PUEBLO VIEJO, HIDROELÉCTRICA CHIXOY.**

ESCALA: 1/1000

AREA: -----

UBICACIÓN: PRESA PUEBLO VIEJO
ALTA VERAPAZ, GUATEMALA

FECHA: NOVIEMBRE 2009

DEJAJR: SAULO JON MORAN

ASESOR: ING. MANUEL ARRIVILLAGA

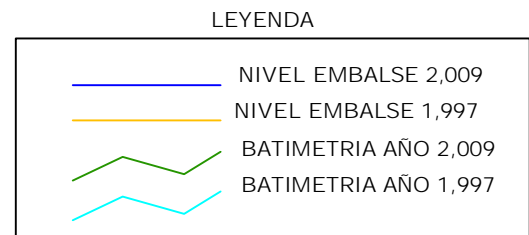
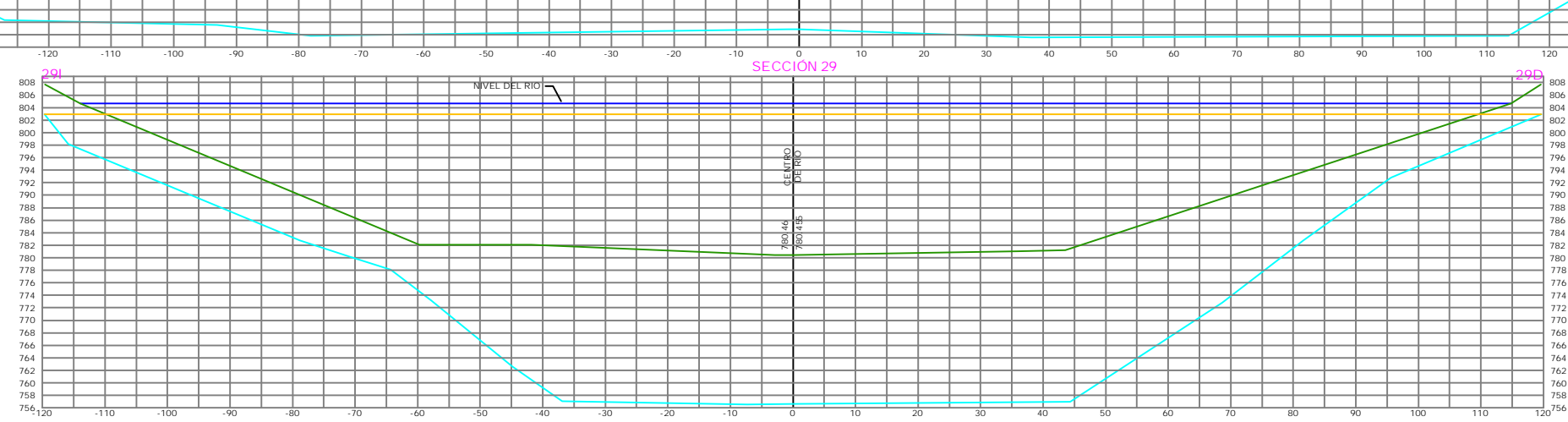
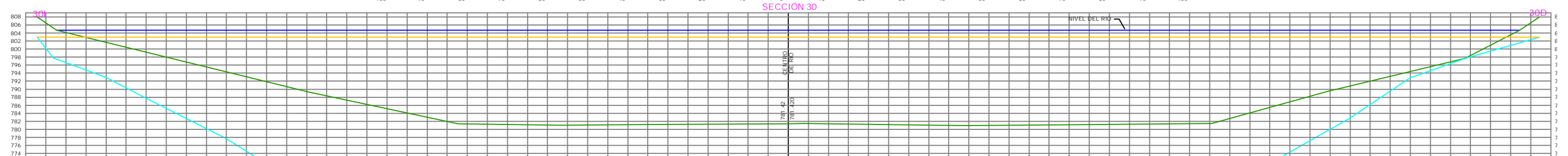
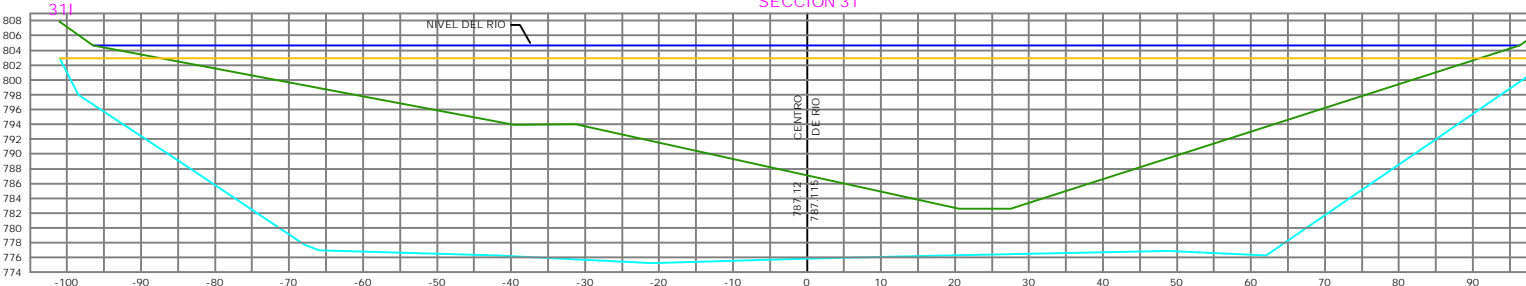
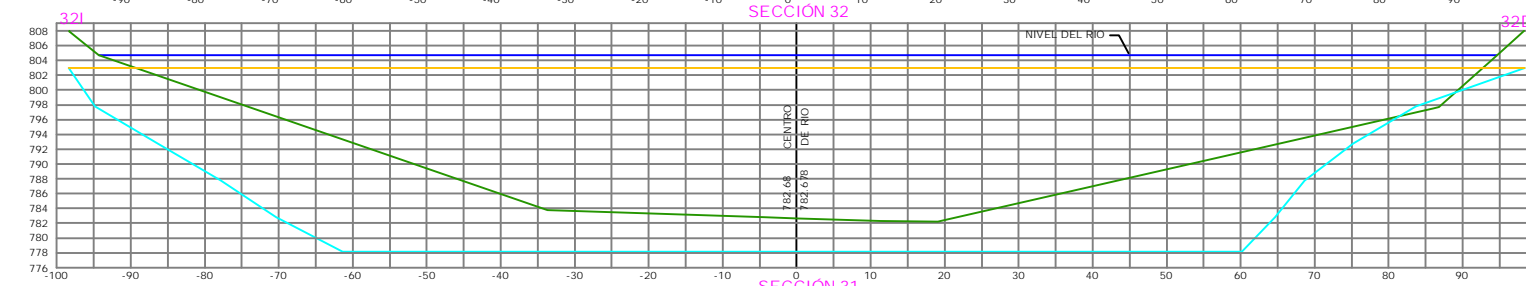
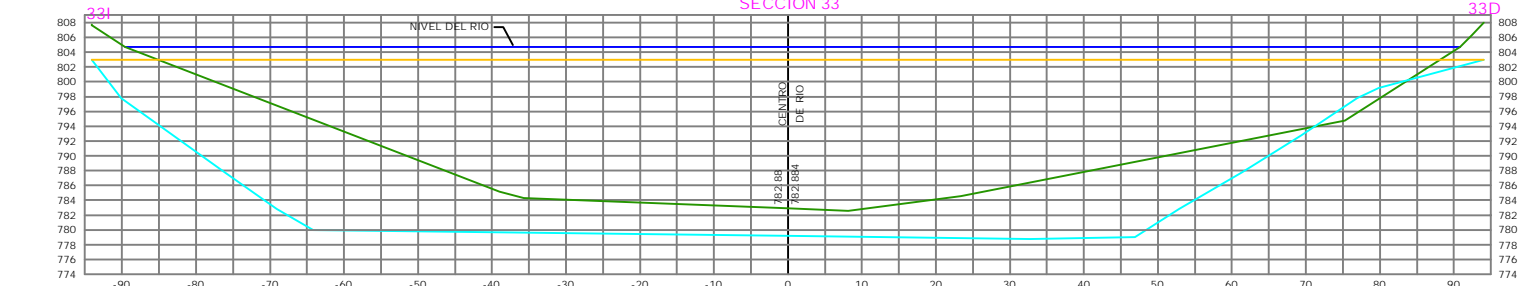
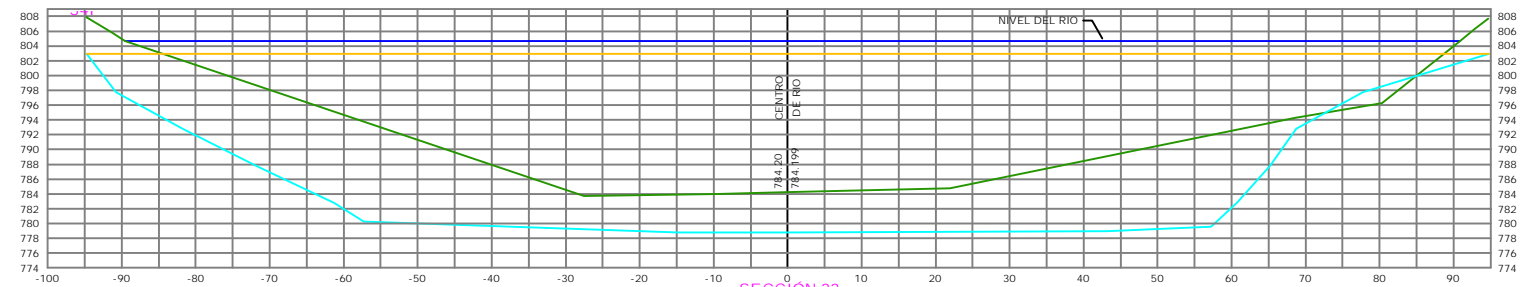
PLANO DE :

**SECCIONES RÍO CHIXOY
SECCIONES DE LA 21 A LA 28**

HOJA No.

5

9



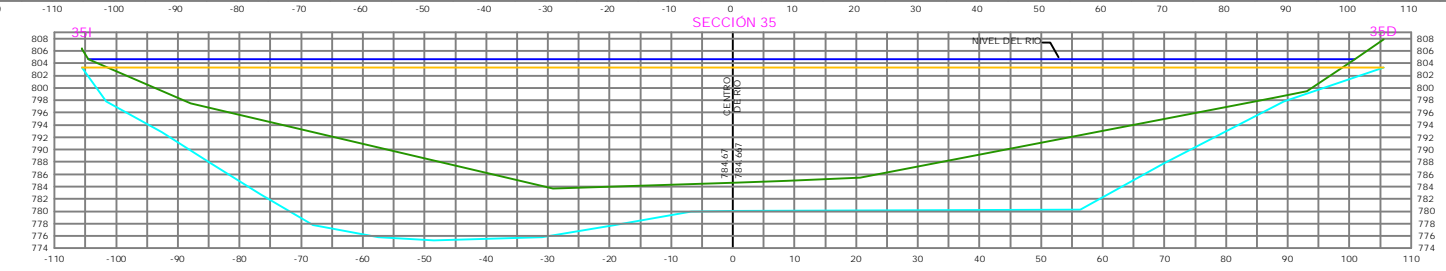
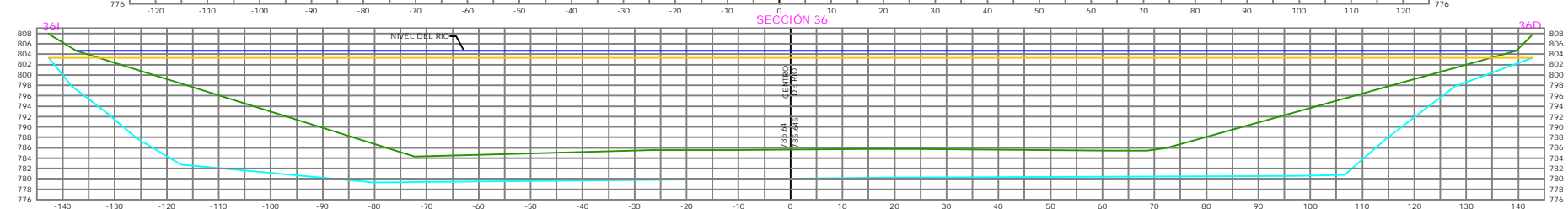
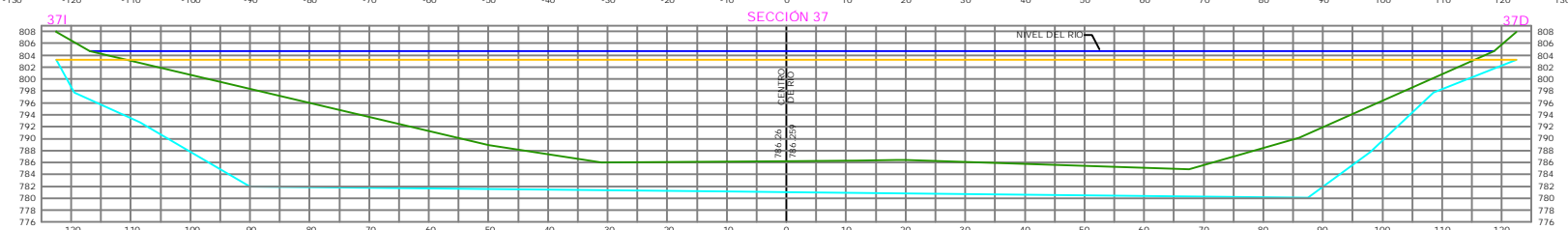
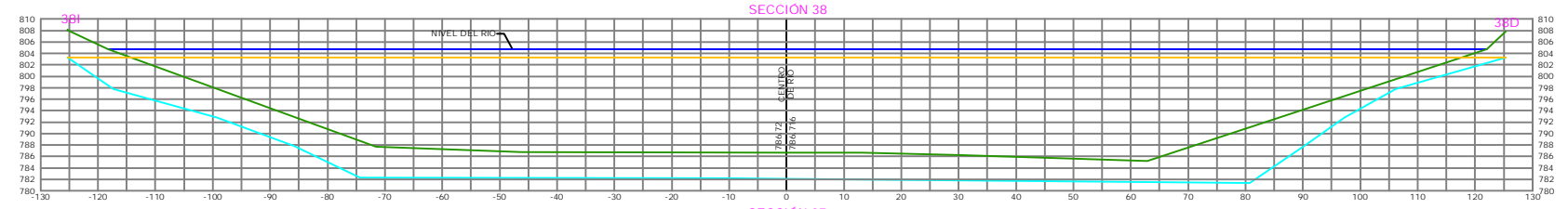
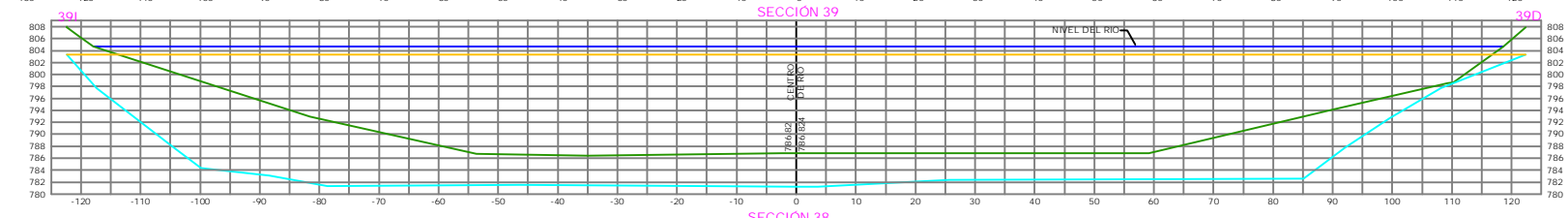
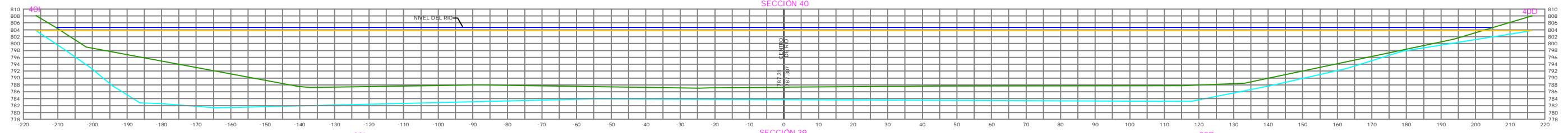
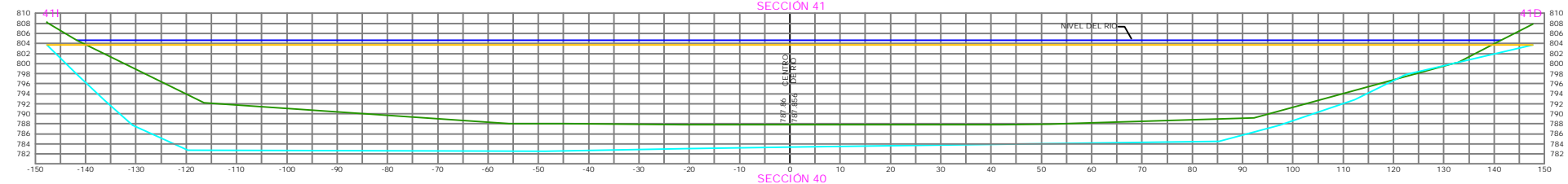
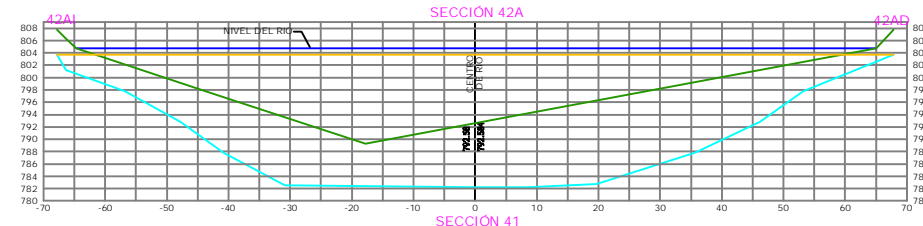
PROYECTO:
BATIMETRÍA EN RÍOS Y EMBALSE DE LA PRESA DE PUEBLO VIEJO, HIDROELÉCTRICA CHIXOY.

ESCALA: 1/500
 UBICACIÓN: PRESA PUEBLO VIEJO ALTA VERAPAZ, GUATEMALA
 DIBUJO: SAULO JOM MORÁN

AREA: -----
 FECHA: NOVIEMBRE 2009
 ASESOR: ING.MANUEL ARRIVILLAGA

PLANO DE :
SECCIONES RÍO CHIXOY SECCIONES DE LA 29 A LA 34

HOJA No.
6
9



LEYENDA

- NIVEL EMBALSE 2,009
- NIVEL EMBALSE 1,997
- BATIMETRIA AÑO 2,009
- BATIMETRIA AÑO 1,997

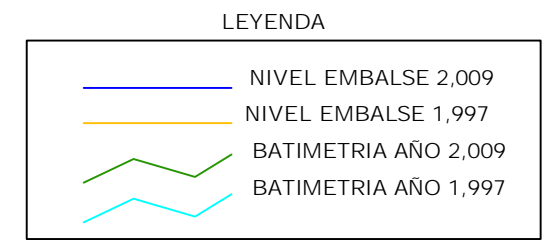
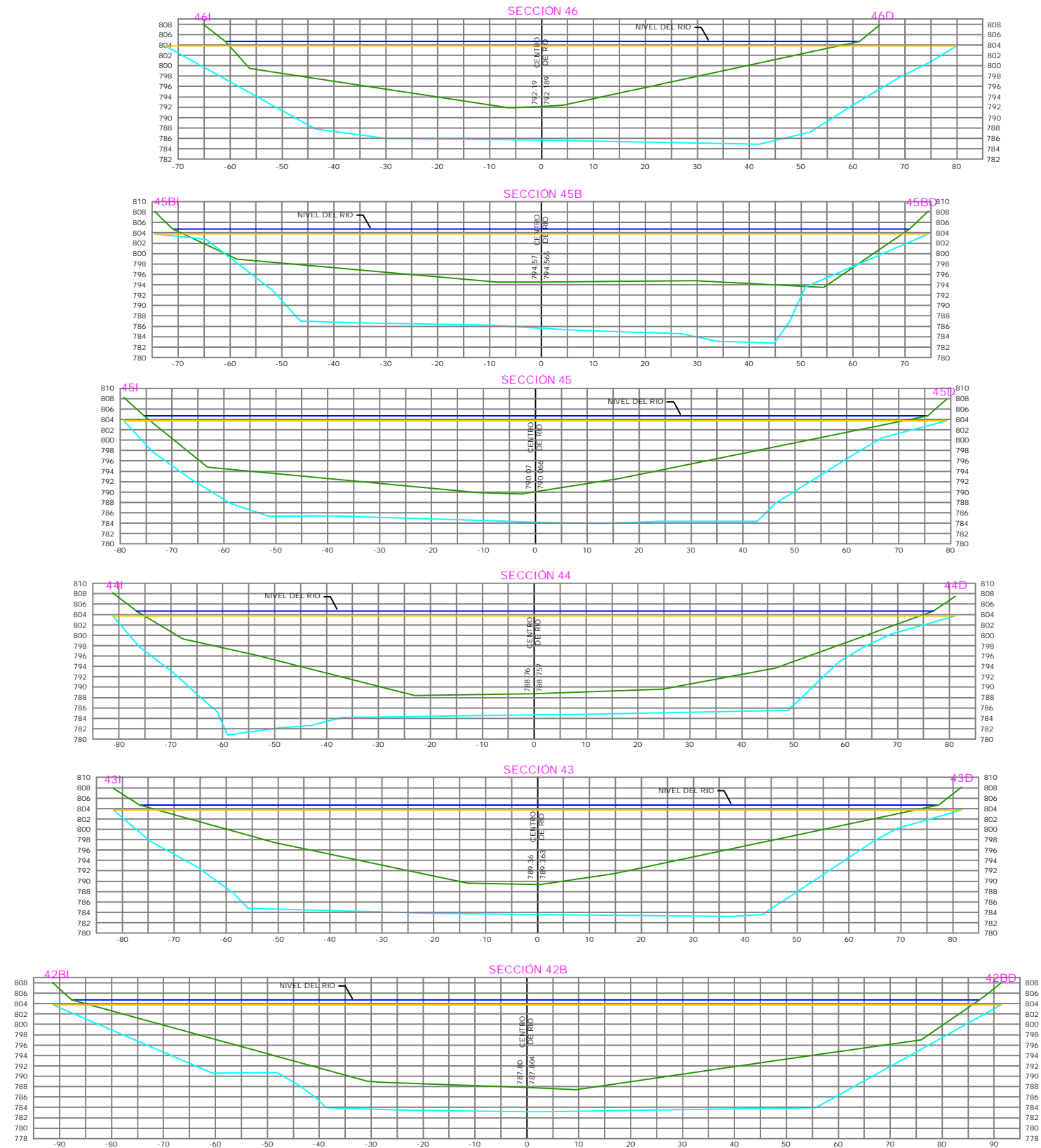


PROYECTO:
BATIMETRÍA EN RÍOS Y EMBALSE DE LA PRESA DE PUEBLO VIEJO, HIDROELÉCTRICA CHIXOY.

ESCALA: 1/600
UBICACION: PRESA PUEBLO VIEJO ALTA VERAPAZ, GUATEMALA
DIBUJO: SAULO JOM MORÁN
AREA: -----
FECHA: NOVIEMBRE 2009
ASESOR: ING.MANUEL ARRIVALLAGA

PLANO DE :
SECCIONES RÍO CHIXOY
SECCIONES DE LA 35 A LA 42A

HOJA No.
 7
 9



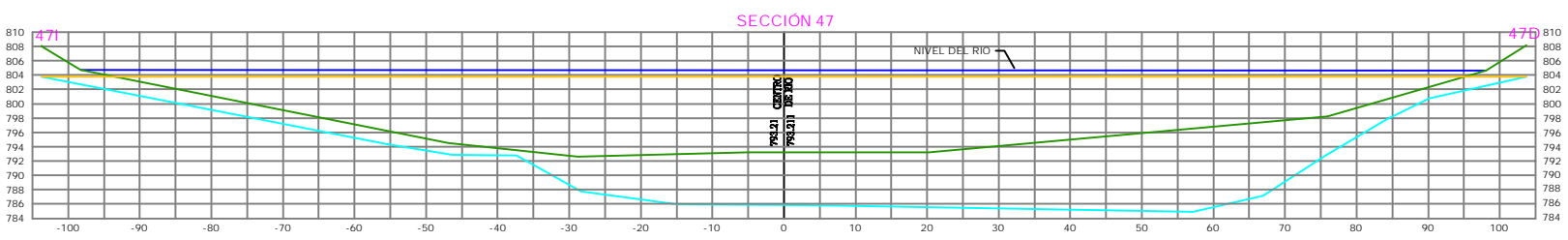
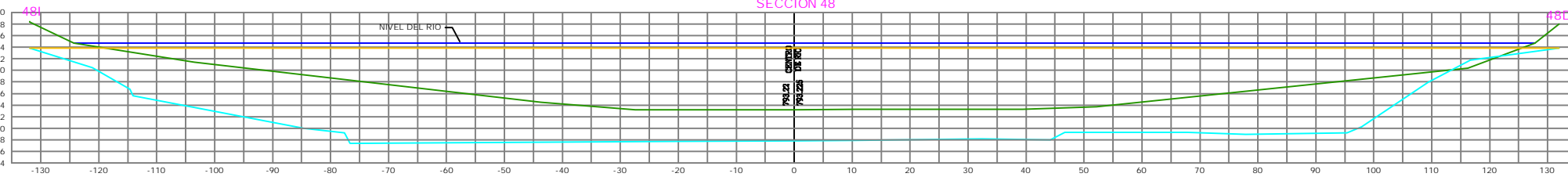
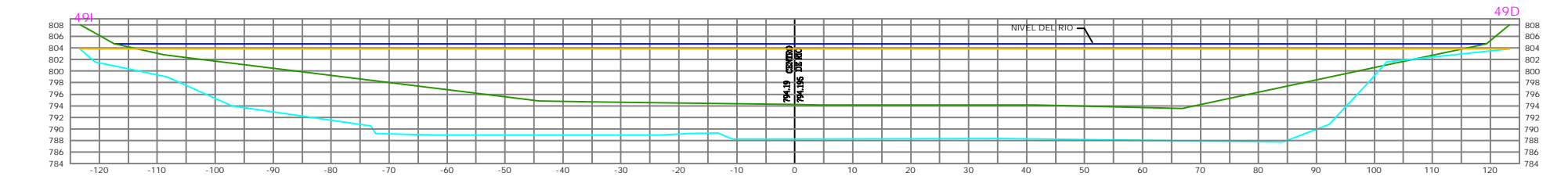
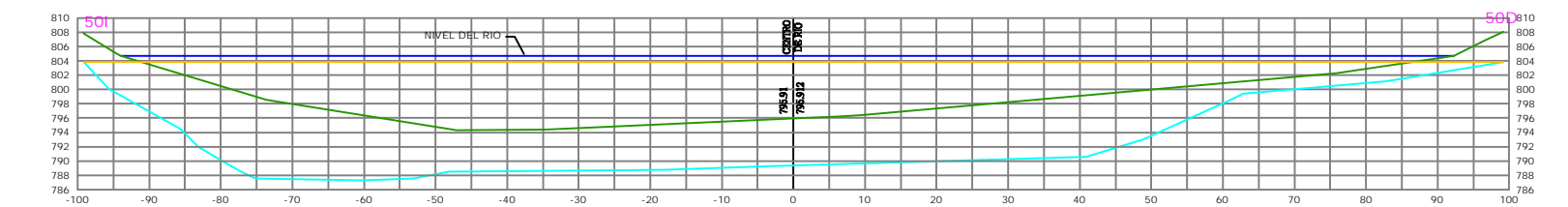
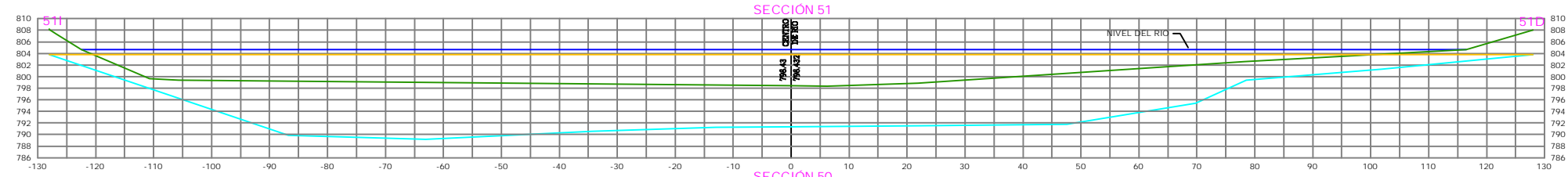
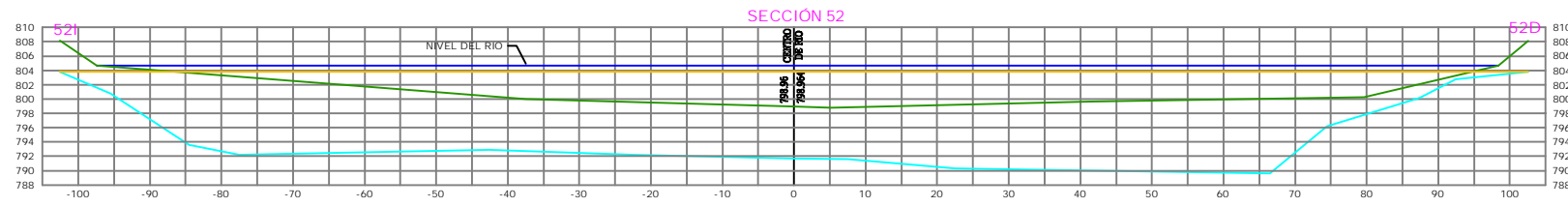
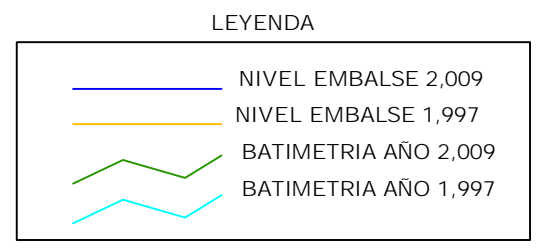
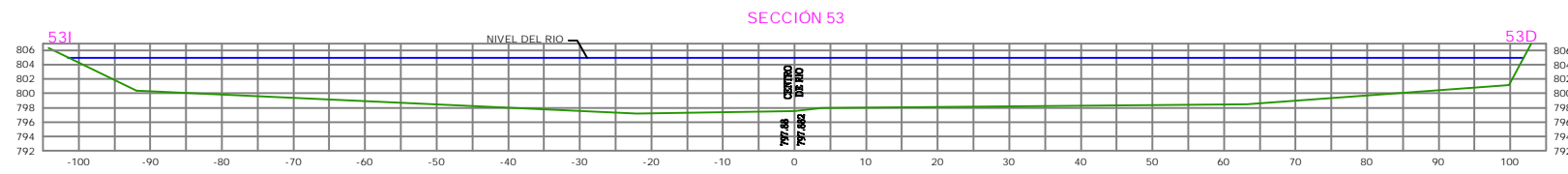
PROYECTO:
**BATIMETRÍA EN RÍOS Y EMBALSE DE
 LA PRESA DE PUEBLO VIEJO, HIDROELÉCTRICA CHIXOY.**

ESCALA: 1/500
 UBICACIÓN: PRESA PUEBLO VIEJO
 ALTA VERAPAZ, GUATEMALA
 DIBUJO: SAULO JOM MORÁN

AREA: -----
 FECHA: NOVIEMBRE 2009
 ASESOR: ING.MANUEL ARRIVILLAGA

PLANO DE :
**SECCIONES RÍO CHIXOY
 SECCIONES DE LA 42B A LA 46**

HOJA No.
 8
 9



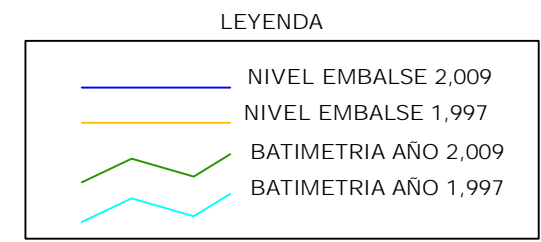
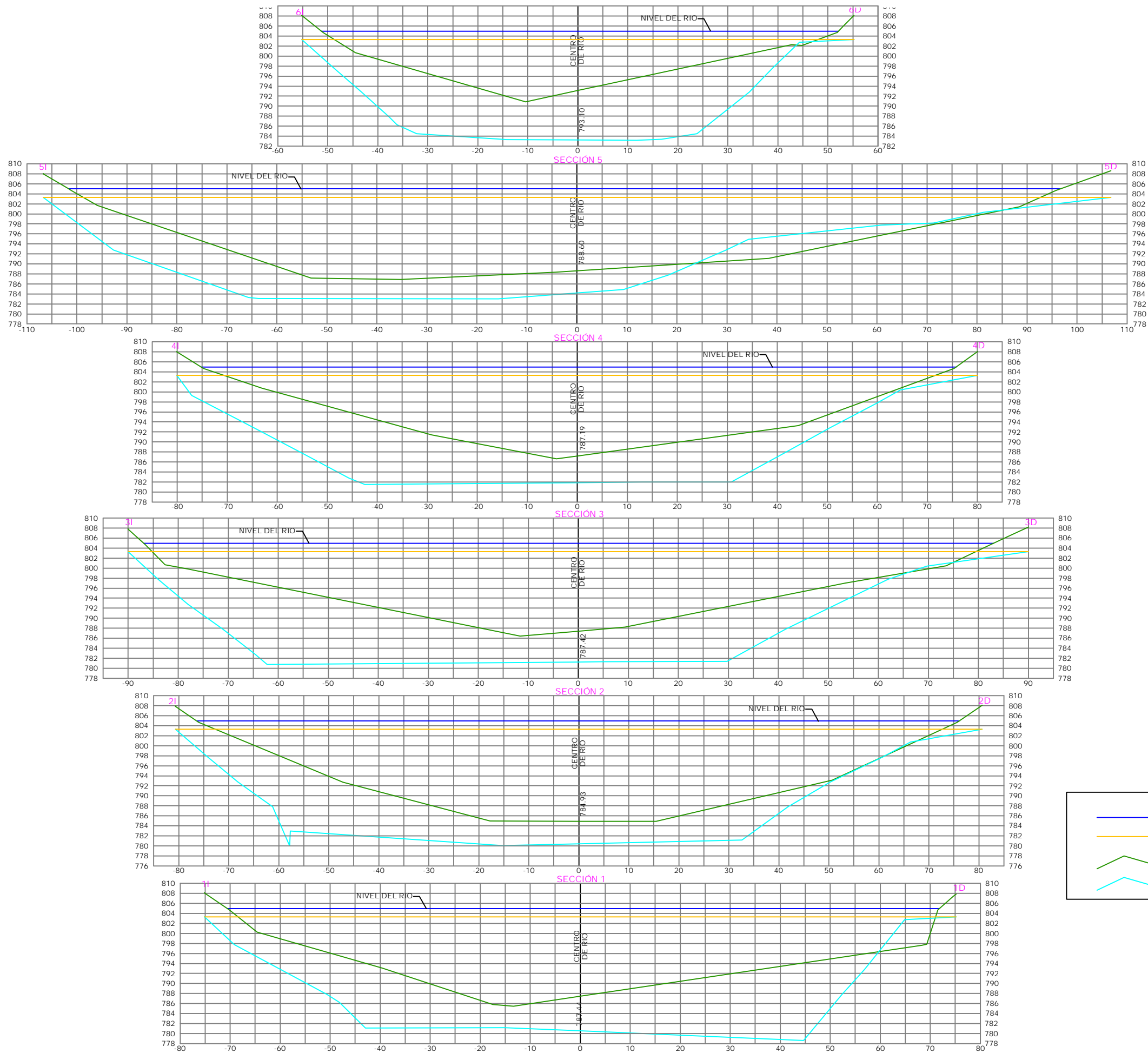
PROYECTO:
**BATIMETRÍA EN RÍOS Y EMBALSE DE
 LA PRESA DE PUEBLO VIEJO, HIDROELÉCTRICA CHIXOY.**

ESCALA: 1/500
 UBICACION: PRESA PUEBLO VIEJO
 ALTA VERAPAZ, GUATEMALA
 DIBUJO: SAULO JOM MORAN

AREA: -----
 FECHA: NOVIEMBRE 2009
 ASESOR: ING. MANUEL ARRIVALLAGA

PLANO DE :
**SECCIONES RÍO CHIXOY
 SECCIONES DE LA 47 A LA 52**

HOJA No.
 9
 9



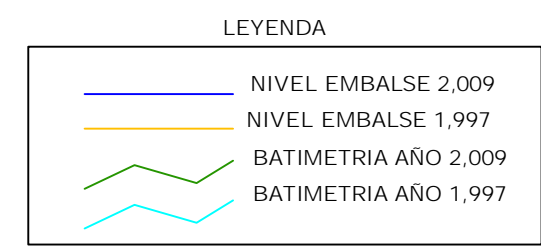
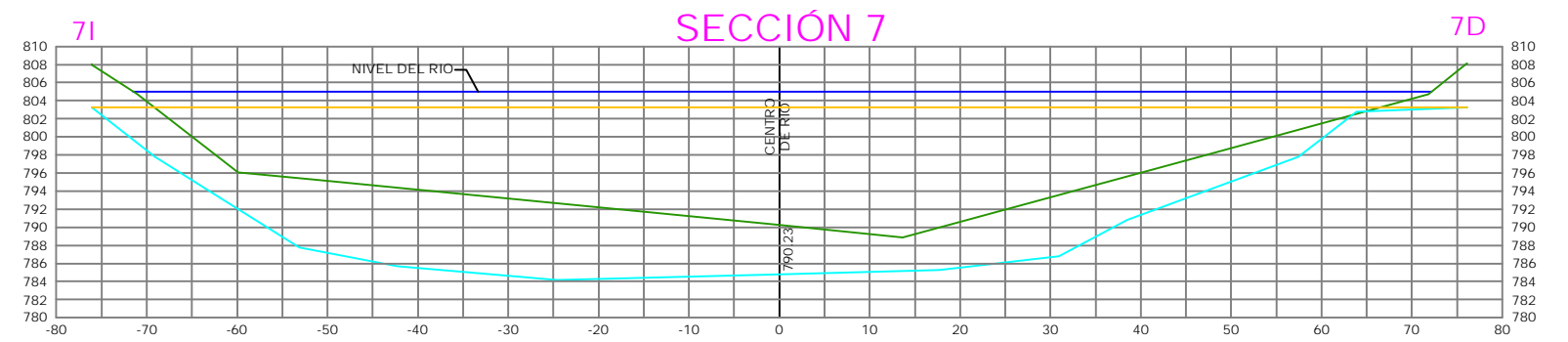
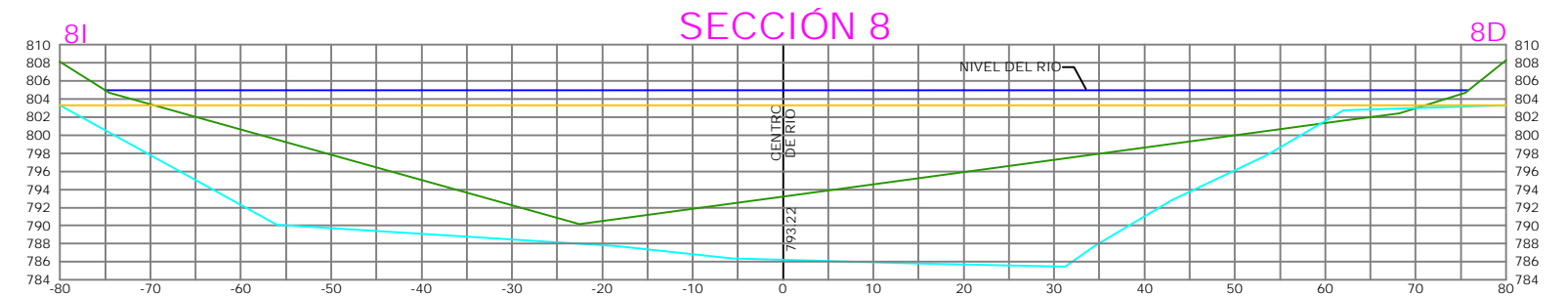
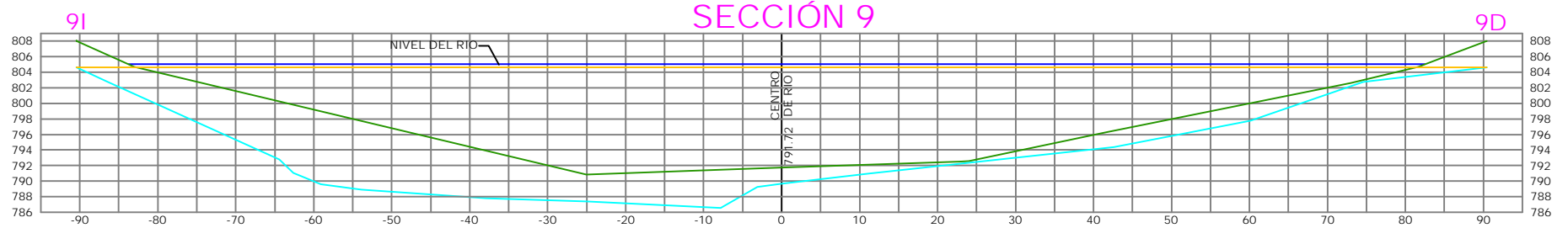
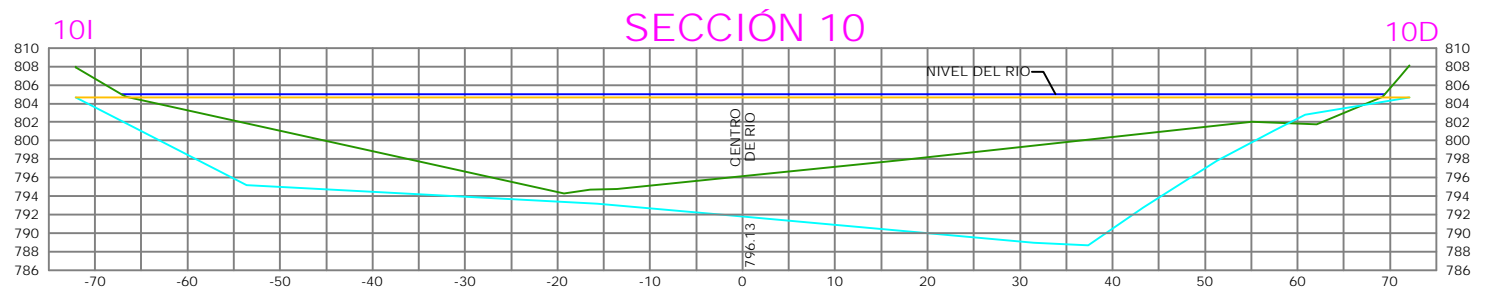
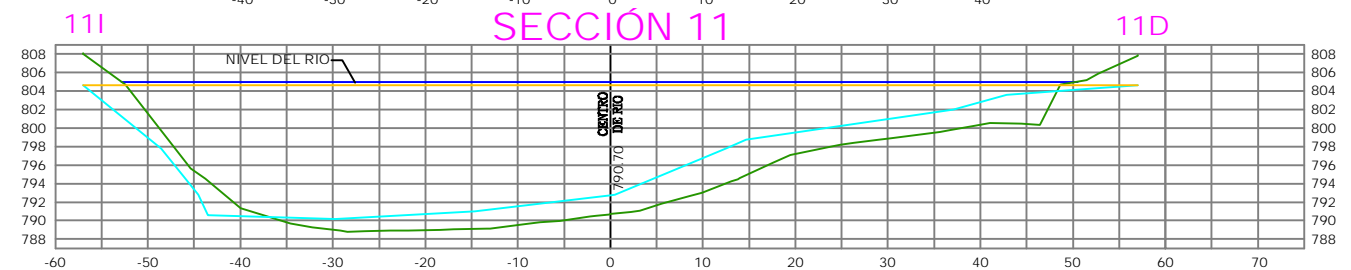
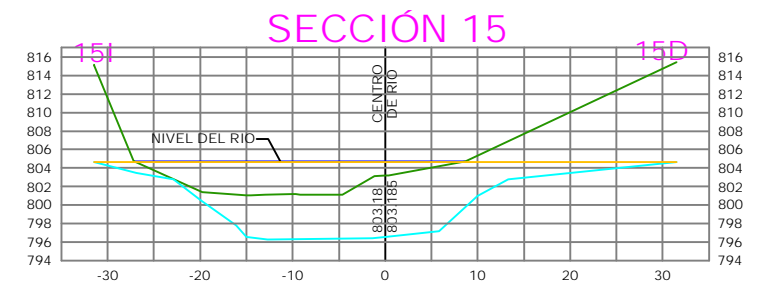
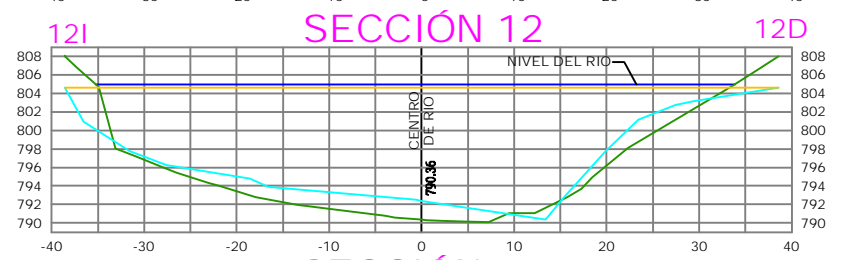
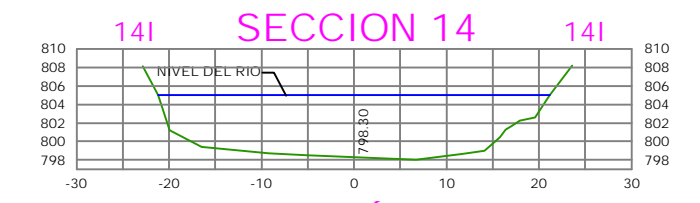
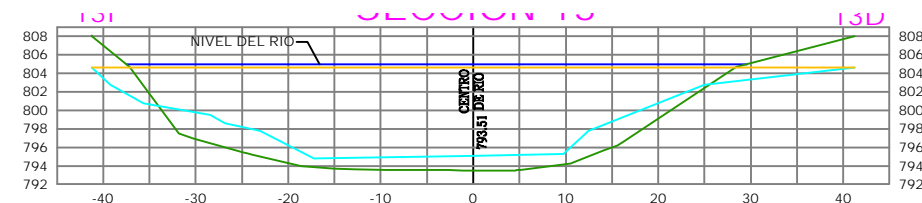
PROYECTO:
**BATIMETRÍA EN RÍOS Y EMBALSE DE
 LA PRESA DE PUEBLO VIEJO, HIDROELÉCTRICA CHIXOY.**

ESCALA: 1/400
 UBICACIÓN: PRESA PUEBLO VIEJO
 ALTA VERAPAZ, GUATEMALA
 DIBUJO: SAULO JOM MORÁN

AREA: -----
 FECHA: NOVIEMBRE 2009
 ASESOR: ING. MANUEL ARRIVILLAGA

PLANO DE :
**SECCIONES RÍO CHICRUZ
 SECCIONES DE LA 1 A LA 6**

HOJA No.
 1
 2



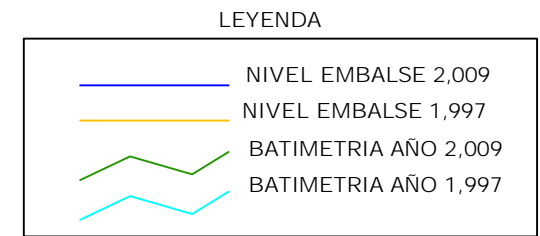
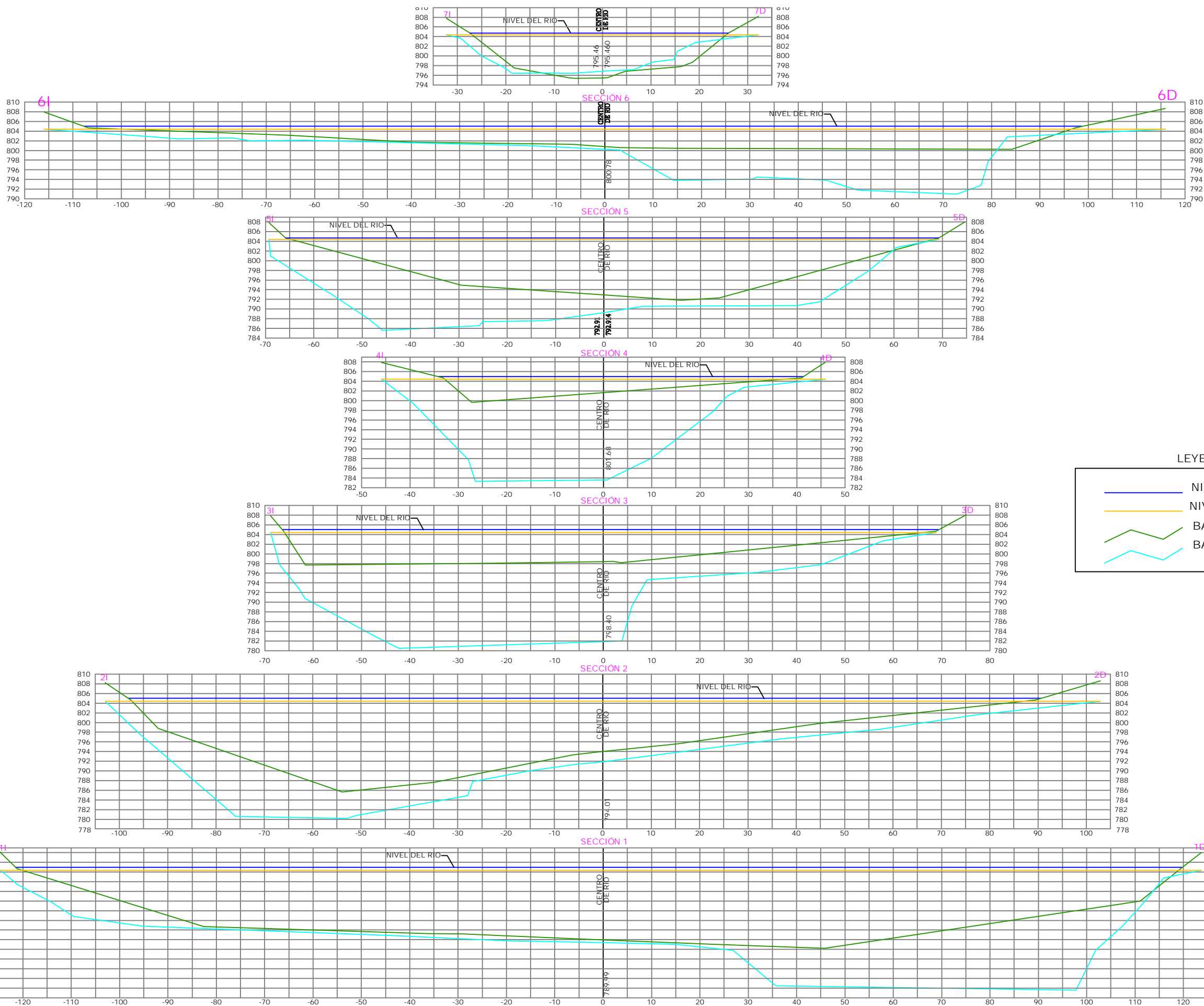
PROYECTO:
**BATIMETRÍA EN RÍOS Y EMBALSE DE
 LA PRESA DE PUEBLO VIEJO, HIDROELÉCTRICA CHIXOY.**

ESCALA: 1/400
 UBICACIÓN: PRESA PUEBLO VIEJO
 ALTA VERAPAZ, GUATEMALA
 DIBUJO: SAULO JOM MORÁN

AREA: -----
 FECHA: NOVIEMBRE 2009
 ASESOR: ING.MANUEL ARRIVILLAGA

PLANO DE :
**SECCIONES RÍO CHICRUZ
 SECCIONES DE LA 7 A LA 15**

HOJA No.
 2
 2



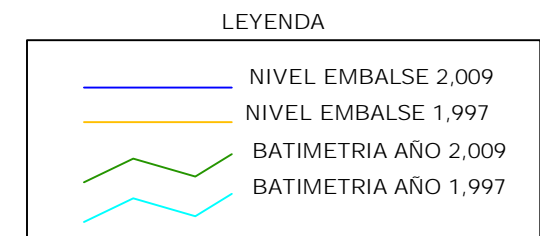
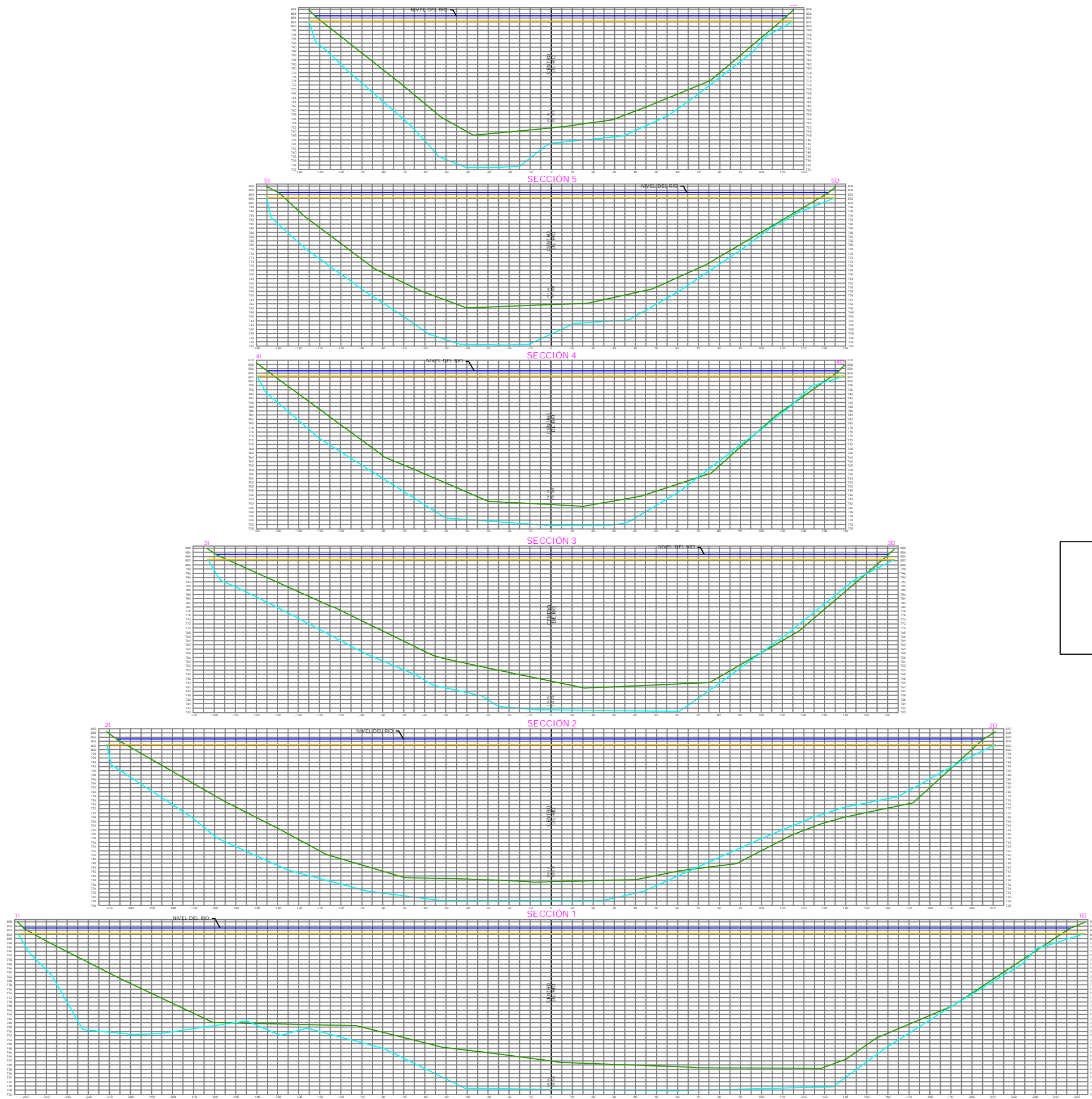
PROYECTO:
**BATIMETRÍA EN RÍOS Y EMBALSE DE
 LA PRESA DE PUEBLO VIEJO, HIDROELÉCTRICA CHIXOY.**

ESCALA: 1/400
 UBICACIÓN: PRESA PUEBLO VIEJO
 ALTA VERAPAZ, GUATEMALA
 DIBUJO: SAULO JOM MORAN

AREA: -----
 FECHA: NOVIEMBRE 2009
 ASESOR: ING. MANUEL ARRIVILLAGA

PLANO DE :
**SECCIONES RÍO BLANCO
 SECCIONES DE LA 1 A LA 7**

HOJA No.
 1
 1



PROYECTO:

**BATIMETRÍA EN RÍOS Y EMBALSE DE
LA PRESA DE PUEBLO VIEJO, HIDROELÉCTRICA CHIXOY.**

ESCALA: 1/1000

UBICACIÓN: PRESA PUEBLO VIEJO
ALTA VERAPAZ, GUATEMALA

DIBUJO: SAULO JOM MORÁN

AREA: -----

FECHA: NOVIEMBRE 2009

ASESOR: ING. MANUEL ARRIVILLAGA

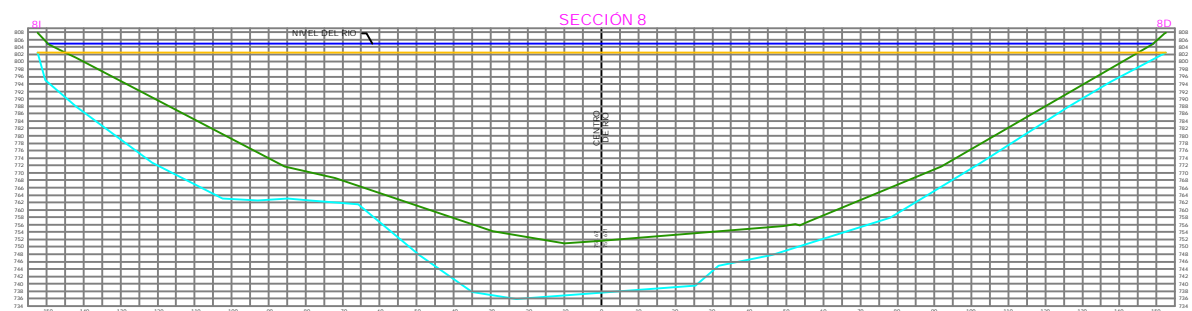
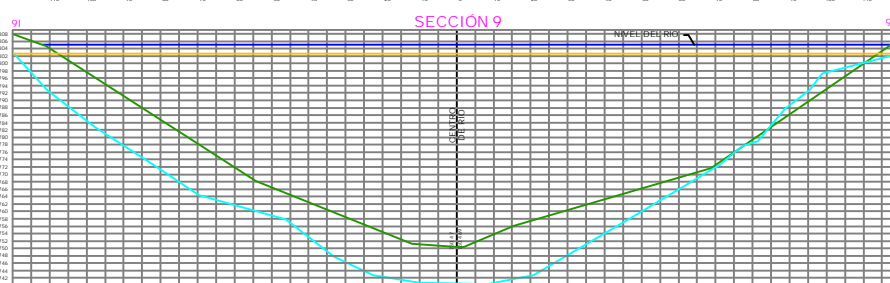
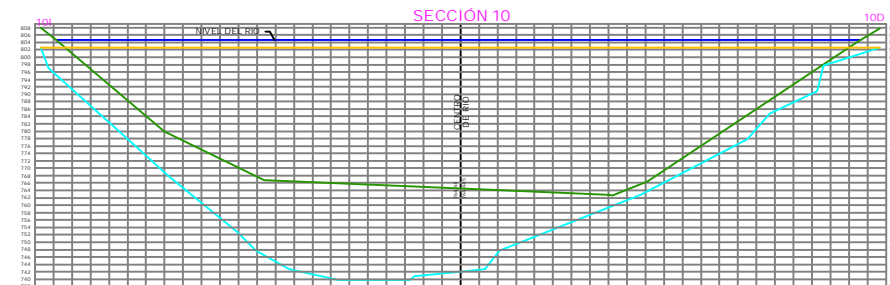
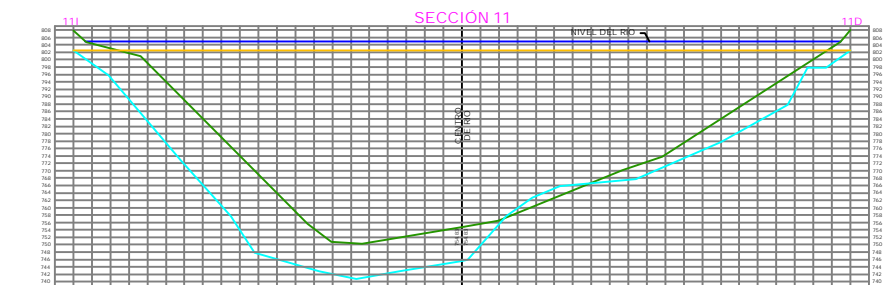
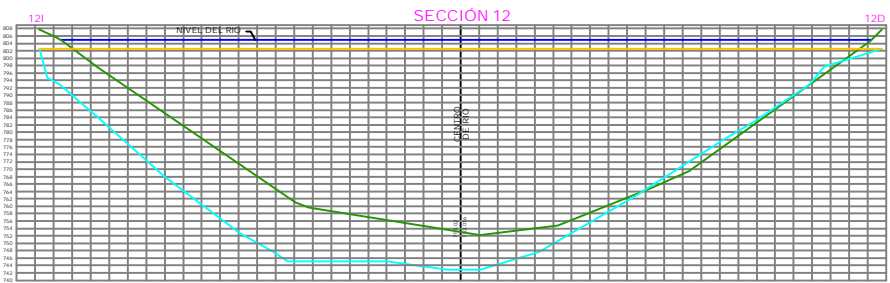
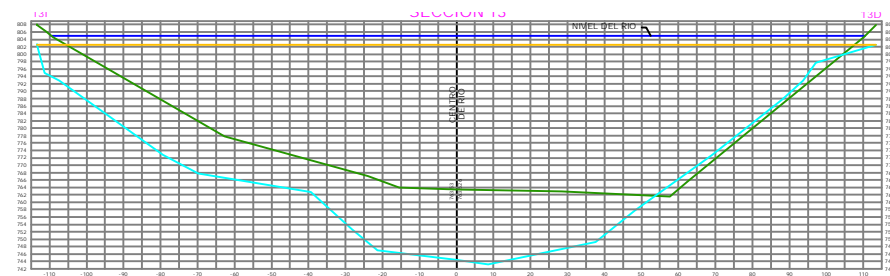
PLANO DE :

**SECCIONES RÍO SALAMÁ
SECCIONES DE LA 1 A LA 6**

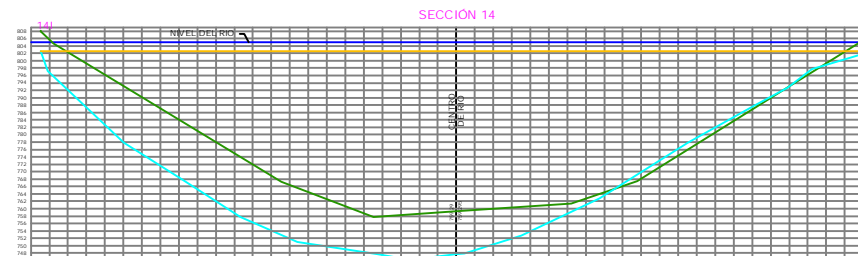
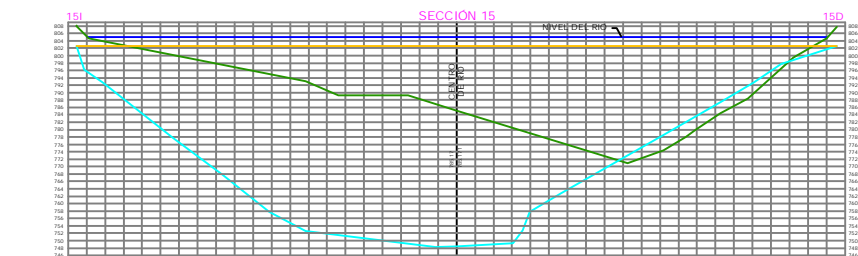
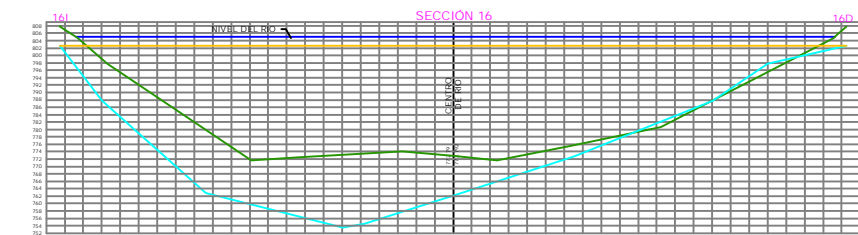
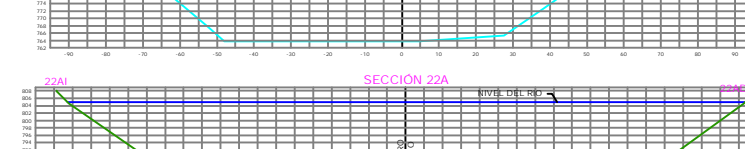
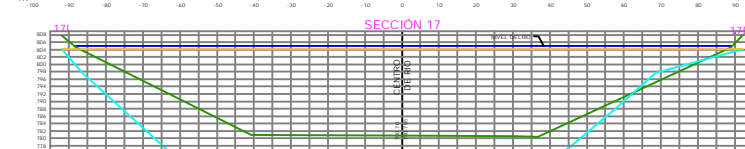
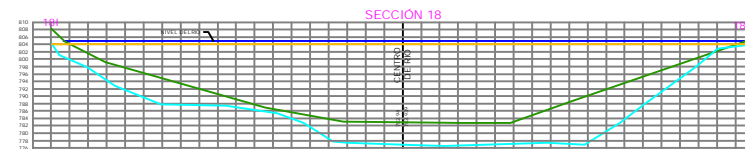
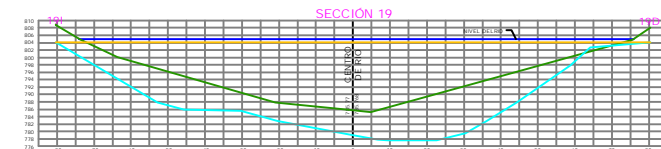
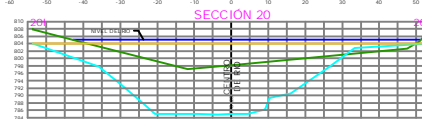
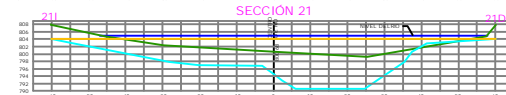
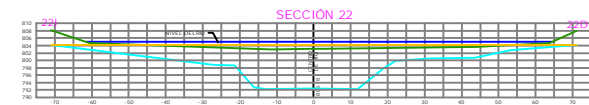
HOJA No.

1

2



SECCIÓN 7



LEYENDA

- NIVEL EMBALSE 2,009
- NIVEL EMBALSE 1,997
- BATIMETRIA AÑO 2,009
- BATIMETRIA AÑO 1,997



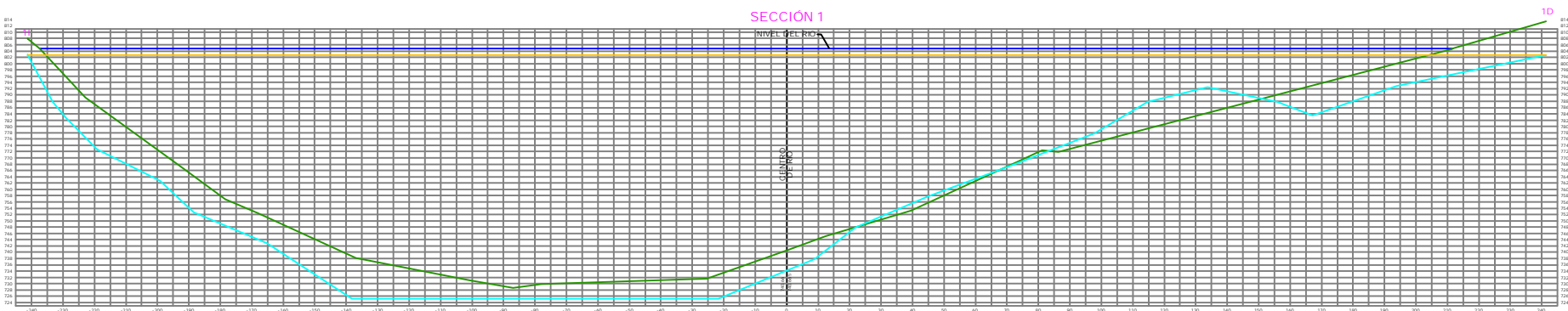
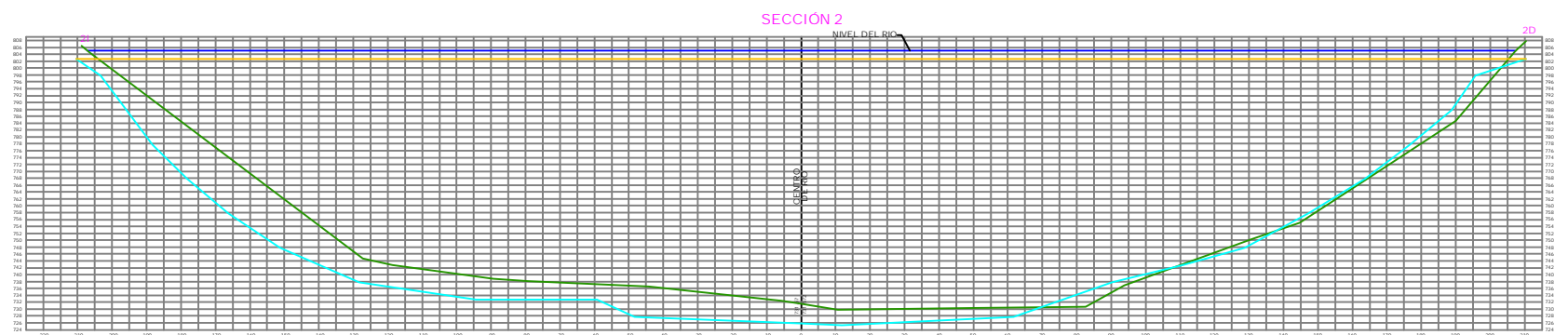
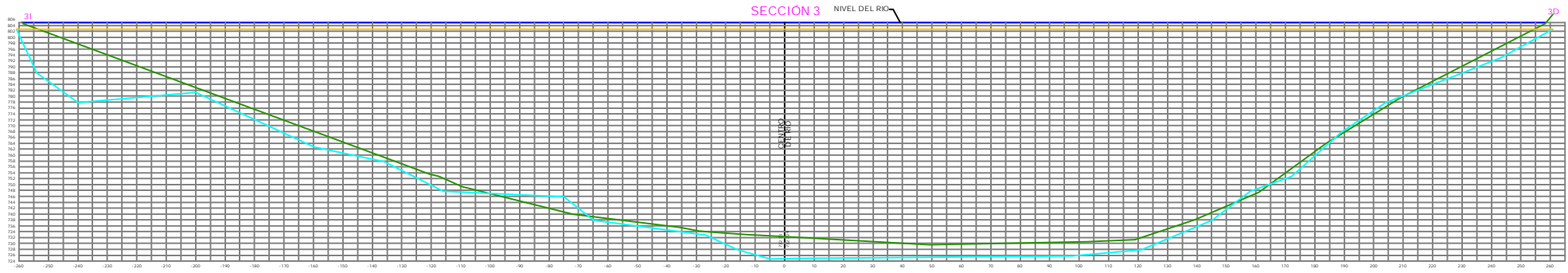
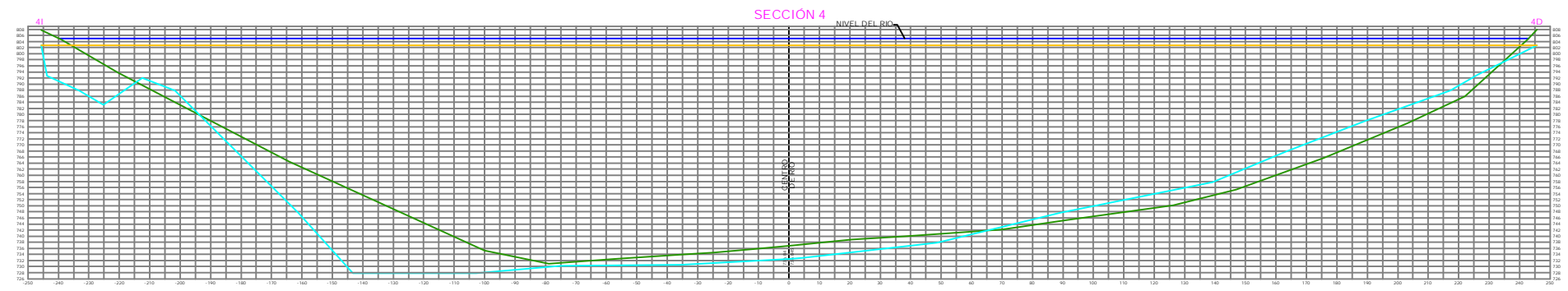
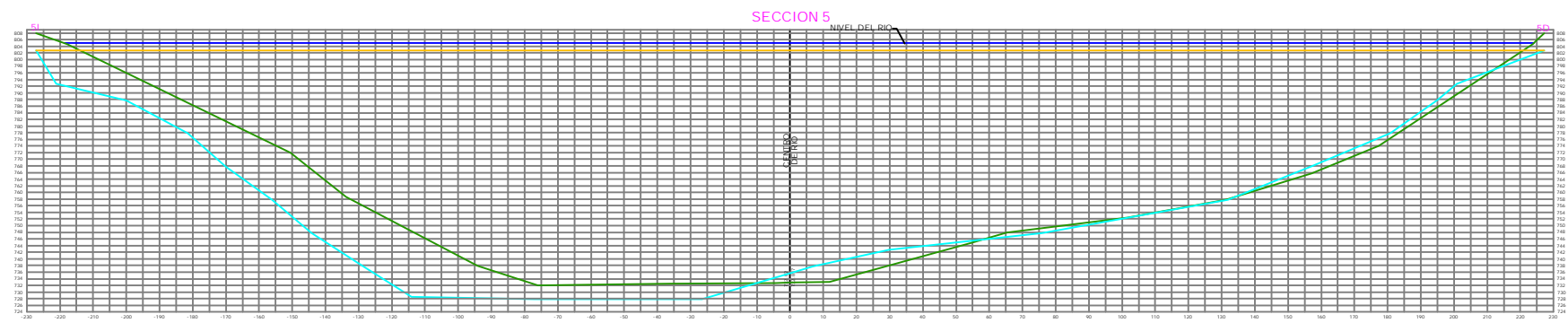
PROYECTO:
**BATIMETRÍA EN RÍOS Y EMBALSE DE
 LA PRESA DE PUEBLO VIEJO, HIDROELÉCTRICA CHIXOY.**

ESCALA: 1/1000
 UBICACIÓN: PRESA PUEBLO VIEJO
 ALTA VERAPAZ, GUATEMALA
 DIBUJO: SAULOM JOM MORÁN

AREA: -----
 FECHA: NOVIEMBRE 2009
 ASESOR: ING.MANUEL ARRIVILLAGA

PLANO DE :
**SECCIONES RÍO SALAMÁ
 SECCIONES DE LA 7 A LA 22**

HOJA No.
 2
 2



LEYENDA

- NIVEL EMBALSE 2,009
- NIVEL EMBALSE 1,997
- BATIMETRIA AÑO 2,009
- BATIMETRIA AÑO 1,997



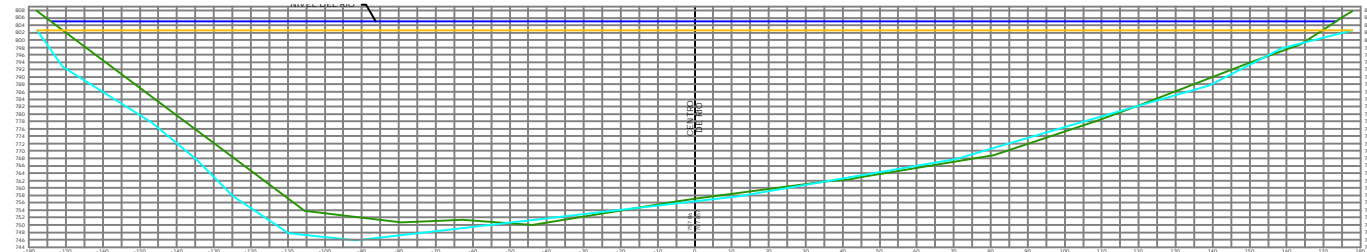
PROYECTO:
**BATIMETRÍA EN RÍOS Y EMBALSE DE
 LA PRESA DE PUEBLO VIEJO, HIDROELÉCTRICA CHIXOY.**

ESCALA: 1/1000
 UBICACIÓN: PRESA PUEBLO VIEJO
 ALTA VERAPAZ, GUATEMALA
 DIBUJO: SAULO JOM MORÁN

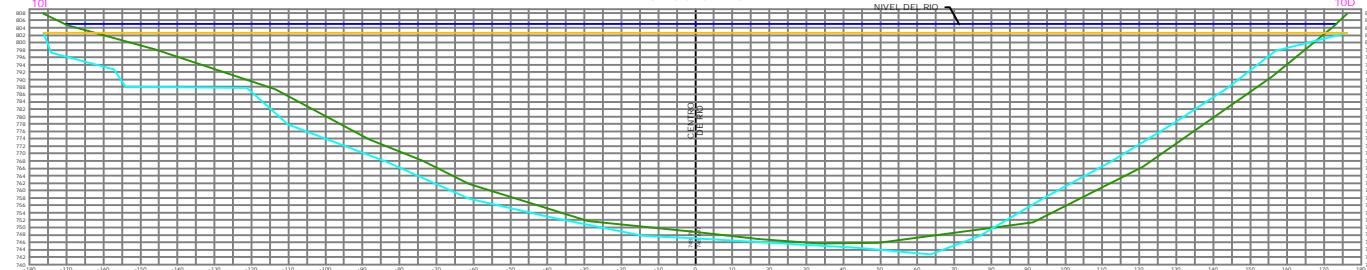
AREA: -----
 FECHA: NOVIEMBRE 2009
 ASESOR: ING.MANUEL ARRIVILLAGA

PLANO DE :
**SECCIONES RÍO CARCHELÁ
 SECCIONES DE LA 1 A LA 5**

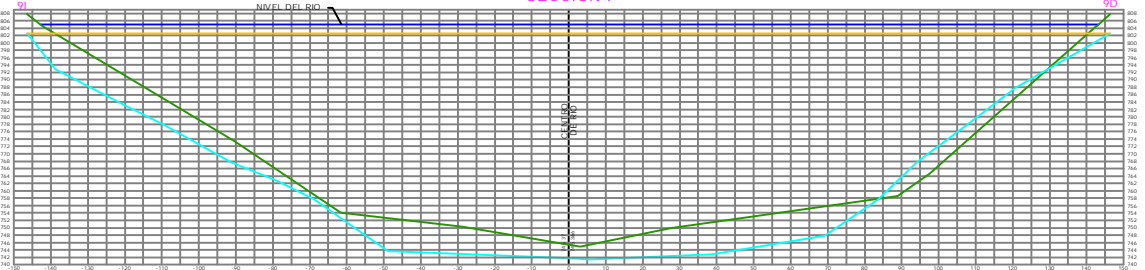
HOJA No.
 1
 4



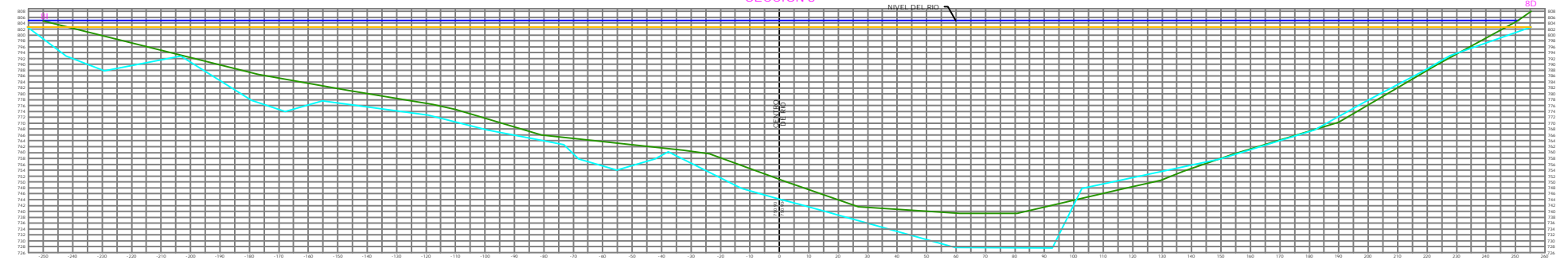
SECCIÓN 10



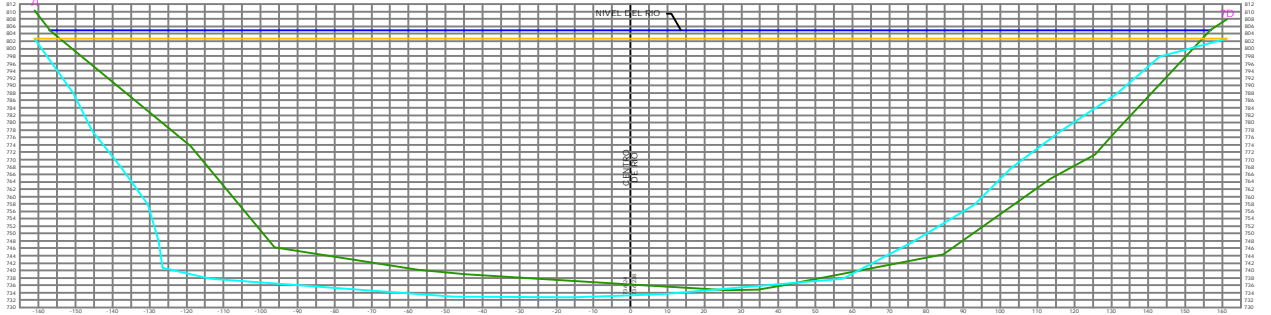
SECCIÓN 9



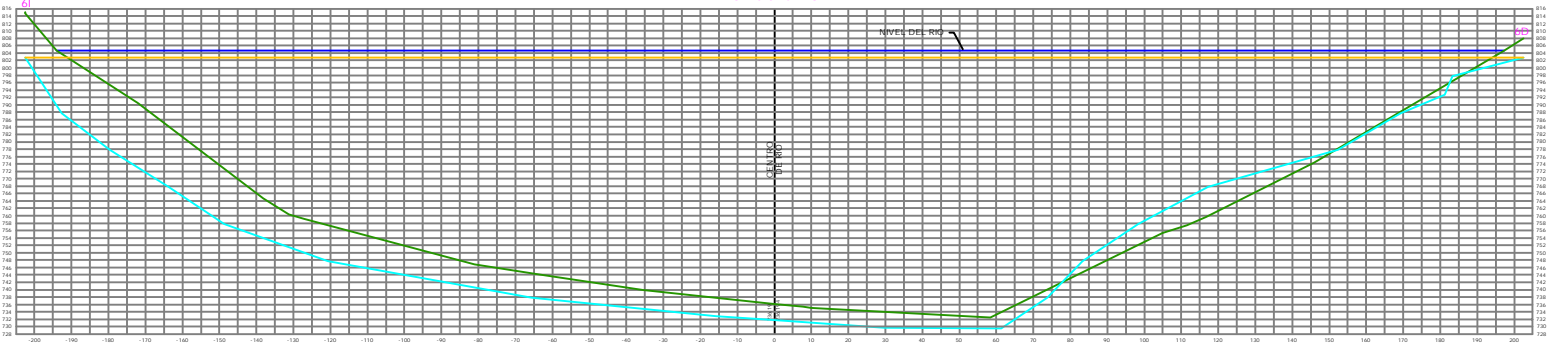
SECCIÓN 8



SECCIÓN 7



SECCIÓN 6



LEYENDA

	NIVEL EMBALSE 2,009
	NIVEL EMBALSE 1,997
	BATIMETRIA AÑO 2,009
	BATIMETRIA AÑO 1,997



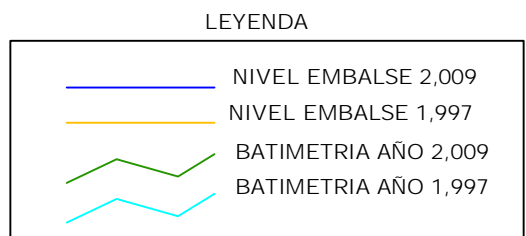
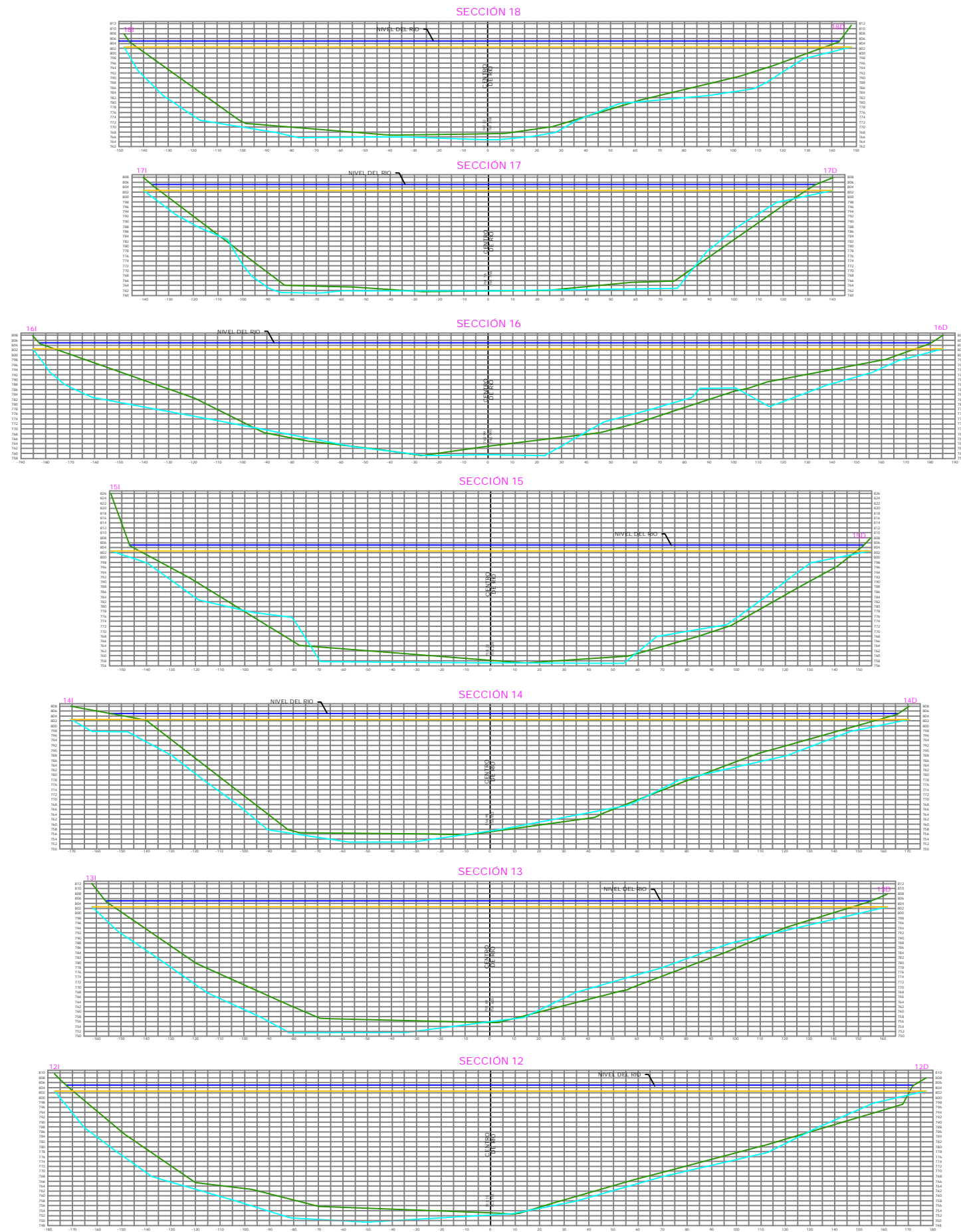
PROYECTO:
**BATIMETRÍA EN RÍOS Y EMBALSE DE
 LA PRESA DE PUEBLO VIEJO, HIDROELÉCTRICA CHIXOY.**

ESCALA: 1/1000
 UBICACIÓN: PRESA PUEBLO VIEJO
 ALTA VERAPAZ, GUATEMALA
 DIBUJO: SAULO JOM MORÁN

AREA: -----
 FECHA: NOVIEMBRE 2009
 ASESOR: ING.MANUEL ARRIVILLAGA

PLANO DE :
**SECCIONES RÍO CARCHELÁ
 SECCIONES DE LA 6 A LA 11**

HOJA No.
 2
 4



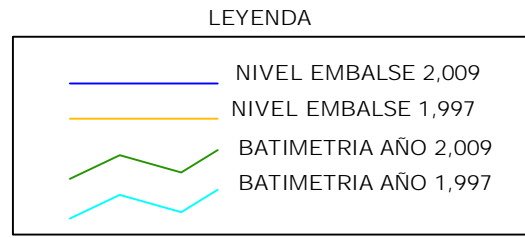
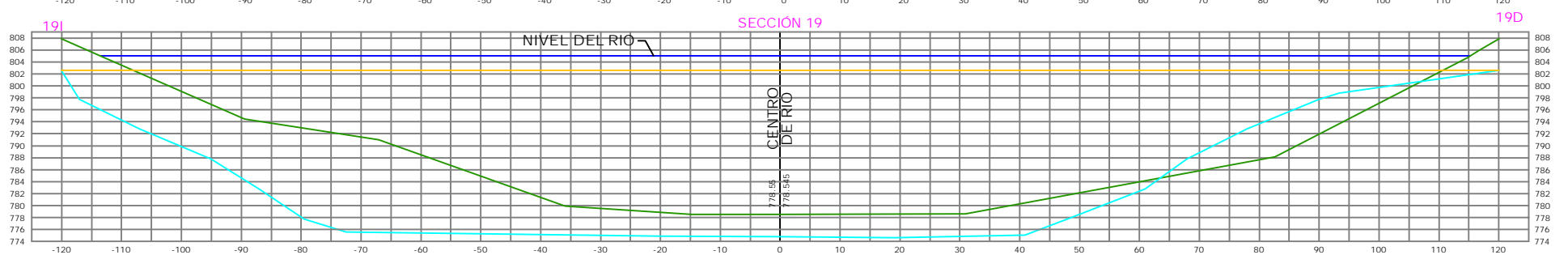
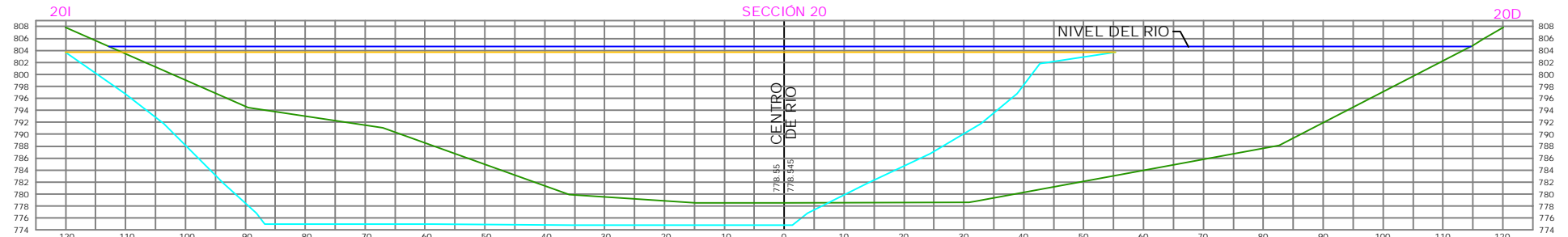
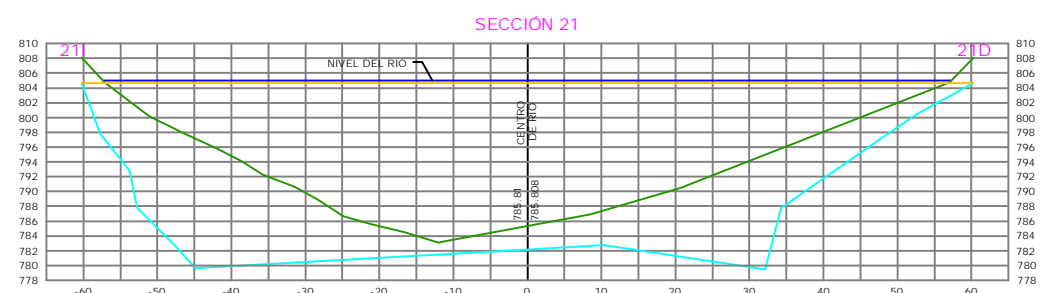
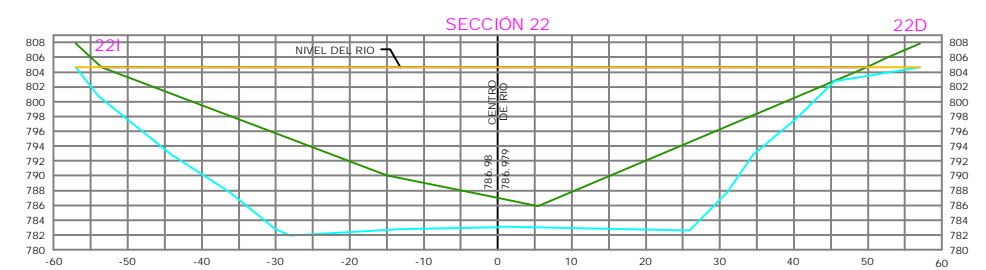
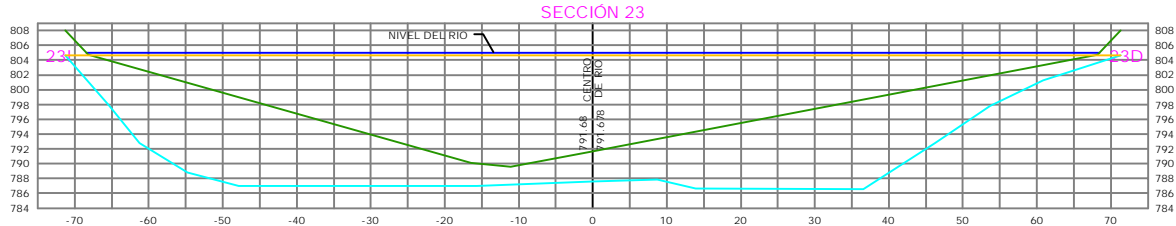
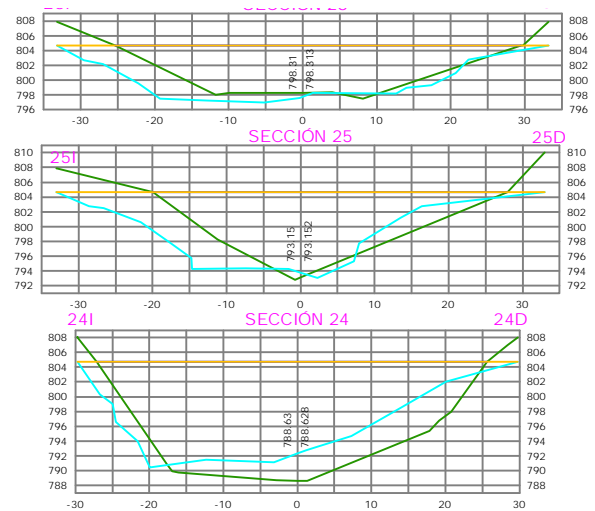
PROYECTO:
**BATIMETRÍA EN RÍOS Y EMBALSE DE
 LA PRESA DE PUEBLO VIEJO, HIDROELÉCTRICA CHIXOY.**

ESCALA: 1/1000
 UBICACIÓN: PRESA PUEBLO VIEJO
 ALTA VERAPAZ, GUATEMALA
 DIBUJO: SAULO JOM MORAN

AREA: -----
 FECHA: NOVIEMBRE 2009
 ASESOR: ING. MANUEL ARRIVALLAGA

PLANO DE :
**SECCIONES RÍO CARCHELÁ
 SECCIONES DE LA 12 A LA 18**

HOJA No.
 3
 4



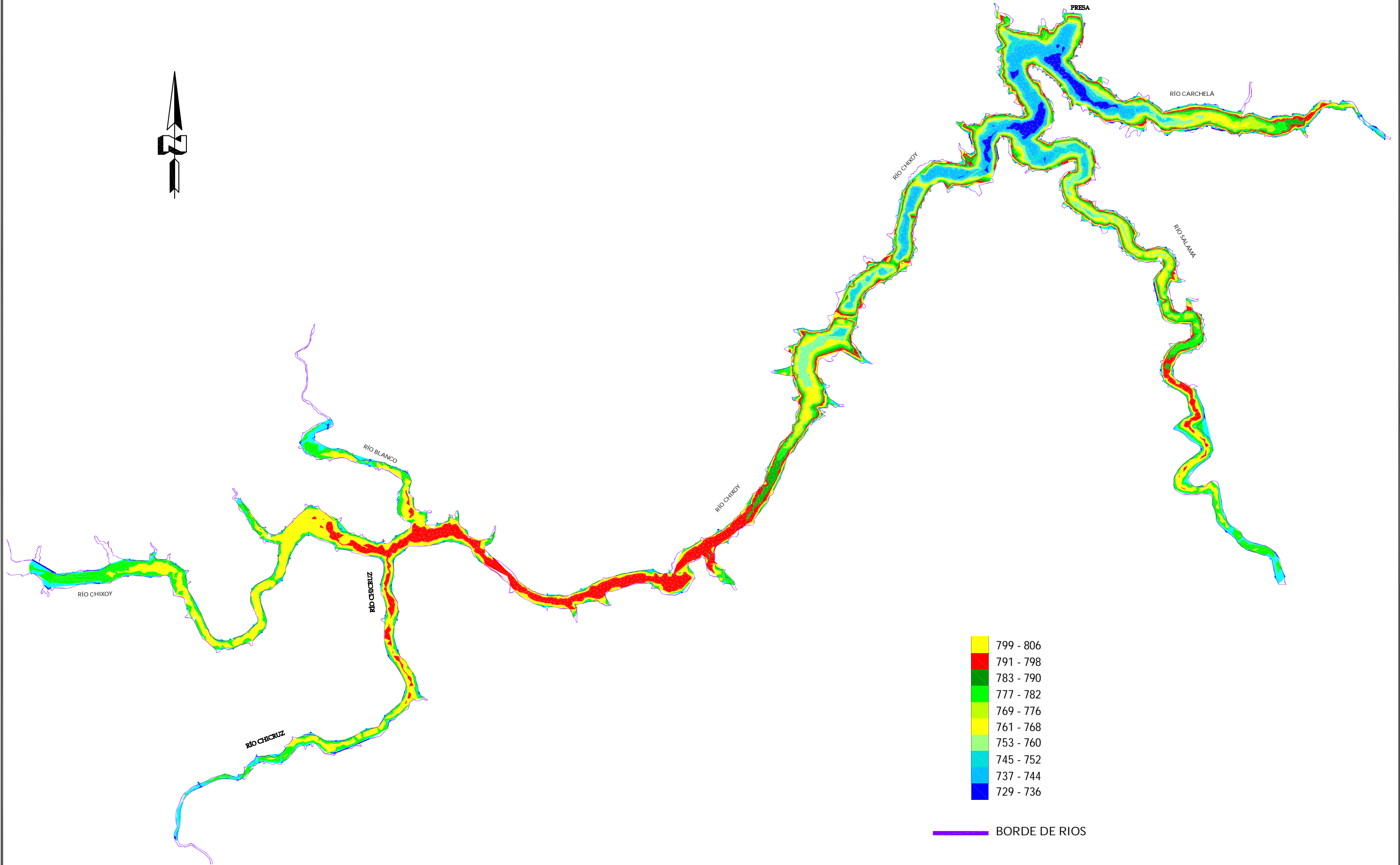
PROYECTO:
**BATIMETRÍA EN RÍOS Y EMBALSE DE
 LA PRESA DE PUEBLO VIEJO, HIDROELÉCTRICA CHIXOY.**

ESCALA: 1/500
 UBICACIÓN: PRESA PUEBLO VIEJO
 ALTA VERAPAZ, GUATEMALA
 DIBUJO: SAULO JOM MORÁN

AREA: -----
 FECHA: NOVIEMBRE 2009
 ASESOR: ING.MANUEL ARRIVILLAGA

PLANO DE :
**SECCIONES RÍO CARCHELÁ
 SECCIONES DE LA 19 A LA 26**

HOJA No.
 4
 4



PROYECTO:
**BATIMETRÍA EN RÍOS Y EMBALSE DE
 LA PRESA DE PUEBLO VIEJO, HIDROELÉCTRICA CHIXOY.**

ESCALA: 1/25000
 UBICACIÓN: PRESA PUEBLO VIEJO
 ALTA VERAPAZ, GUATEMALA
 DIBUJO: SAULO JOM MORÁN

AREA:
 FECHA: NOVIEMBRE 2009
 ASESOR: ING.MANUEL ARRIVILLAGA

PLANO DE :
PLANTA GENERAL DE PROFUNDIDADES EN COLORES

HOJA No.
 1
 1

3. CUBICACIÓN DEL EMBALSE

Se le denomina cubicación a la medición de la capacidad de retención de agua de un embalse. Este se mide por el volumen de agua contenido en su vaso de almacenamiento, para una altura dada de la presa y de su aliviadero. Para calcular la capacidad, se utilizan los planos levantados del vaso de almacenamiento obtenido de la batimetría realizada previamente. Para ello, una vez que se ha fijado el sitio de la presa con la geoposición y la cota del fondo del río, resultado de la batimetría; se comienza a planimetrar las áreas abarcadas por cada una de las curvas de nivel. Luego, si se calcula la semisuma de las áreas entre curvas y se multiplican por el intervalo entre las mismas, se obtiene el volumen almacenado entre curvas o volumen parcial. Si se acumulan luego los volúmenes parciales, se obtienen el volumen almacenado por cada cota o altura sobre el fondo del río.

$$V = \frac{A_1 + A_2}{2} \times h$$

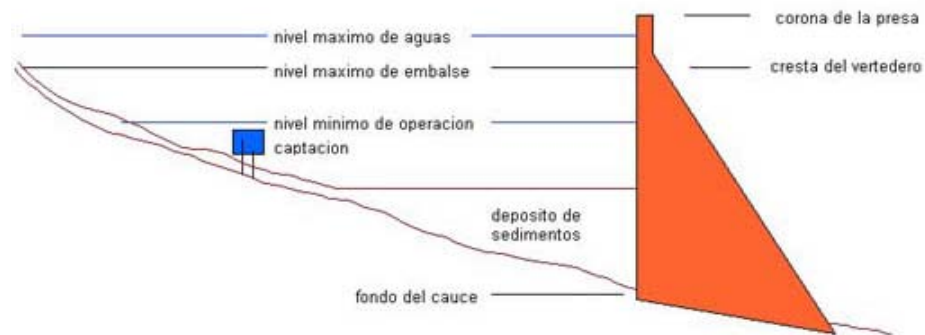
En esta ecuación se considera al embalse como un figura trapezoidal, el cual no lo es, de manera que existe otra ecuación y otros métodos para el cálculo de volumen, el cual se describe más adelante.

La cubicación ayuda a distinguir tres capacidades o volúmenes característicos: 1) el volumen muerto o capacidad de azolves; 2) el volumen útil

y 3) la suma de ambos que da el volumen total (Figura 14). Estos se describirán posteriormente y su utilidad en el embalse.

$$V_{\text{total}} = V_{\text{muerto}} + V_{\text{util}}$$

Figura 14. Esquema de niveles en presas



EL EMBALSE ÚTIL está comprendido entre el NIVEL MÁXIMO DE EMBALSE y el NIVEL MÍNIMO DE OPERACIÓN

La ALTURA de la presa se mide entre la CORONA DE LA PRESA y el FONDO DEL CAUCE

La distancia que hay entre la CORONA DE LA PRESA y el NIVEL MÁXIMO DE AGUAS es el BORDE LIBRE

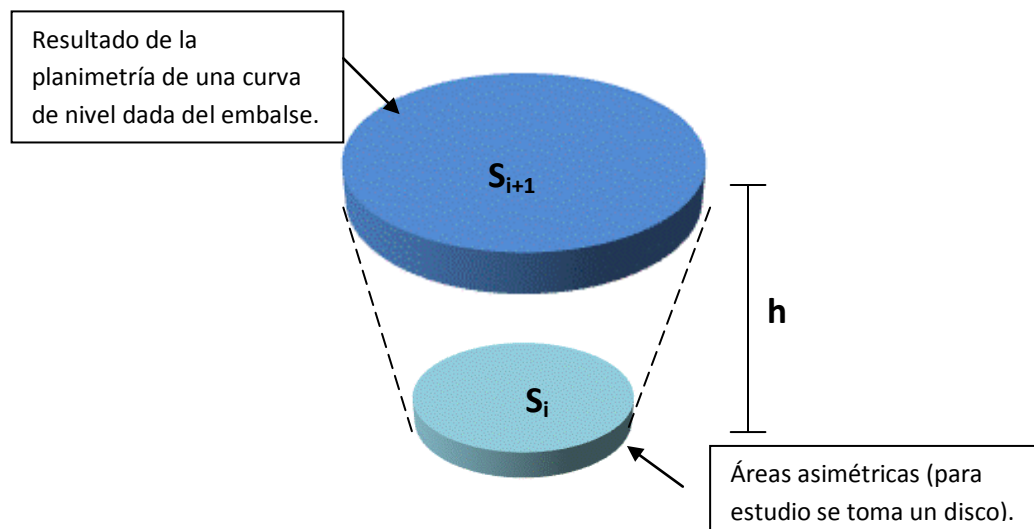
Durante la vida útil de la obra el agua en el embalse no debe superar el NIVEL MÁXIMO DE AGUAS, ni siquiera durante las crecientes extraordinarias.

3.1. Descripción del método empleado en la cubicación

El método empleado para la cubicación del embalse Pueblo Viejo, de la Central Hidroeléctrica Chixoy, se auxilia en la ecuación cónica. Esta hace

alusión de que no todas las porciones de área son rectangulares. Se considera de forma de cono invertido. Para tal ecuación, es necesario tener previamente calculadas las áreas que encierran las curvas de nivel, desde la cota baja hasta la más alta (figura 15).

Figura 15. Deducción de la ecuación para la cubicación



- S_i = Superficie encerrada por curva de nivel inferior
- S_{i+1} = Superficie encerrada por curva de nivel superior
- h = Diferencia de altura entre curvas de nivel

$$V = \frac{h}{3(S_i + \sqrt{S_i \cdot S_{i+1}} + S_{i+1})}$$

Donde:

- V = Volumen comprendido entre las cotas i e $i+1$
- h = Distancia entre curvas de nivel consecutivas

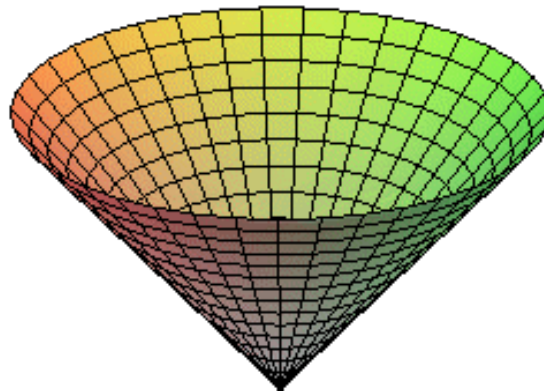
S_i = Superficie limitada por la curva de cota i

S_{i+1} = Superficie limitada por la curva de cota $i+1$

Dado que lo que se desea obtener es una relación altura-volumen, para conseguir la curva de capacidad actualizada del embalse, se calcula el volumen comprendido entre curvas de nivel consecutivas mediante la ecuación descrita anteriormente. Con esto, se obtiene el volumen almacenado entre curvas o volumen parcial. Si se acumulan luego los volúmenes parciales (Figura 16), se obtiene el volumen almacenado por cada cota o altura sobre el fondo del río.

Figura 16. Sumatoria de volúmenes parciales

$$V = \sum v_1 + v_2 + \dots + v_n$$



3.2. Cálculo de superficie encerrada por cada curva de nivel

El cálculo de área anteriormente se realizaba planimetrando cada curva, este método es inexacto, debido a la manipulación del instrumento. En la actualidad se apoya de programas de cómputo. Para la determinación de las áreas de cada curva de nivel se utilizó Autocad 2007, y los parámetros utilizados por este programa son:

- Distancia geométrica: es aquella distancia entre dos puntos tal y como se mide en el terreno. La proyección de ésta sobre un plano horizontal será la distancia reducida.

$$DG = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

- Distancia reducida: es la distancia entre las proyecciones de dos puntos sobre un plano horizontal, o dicho de otra forma, la proyección sobre un plano horizontal de la distancia geométrica de dos puntos medida sobre el terreno.

$$DR = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

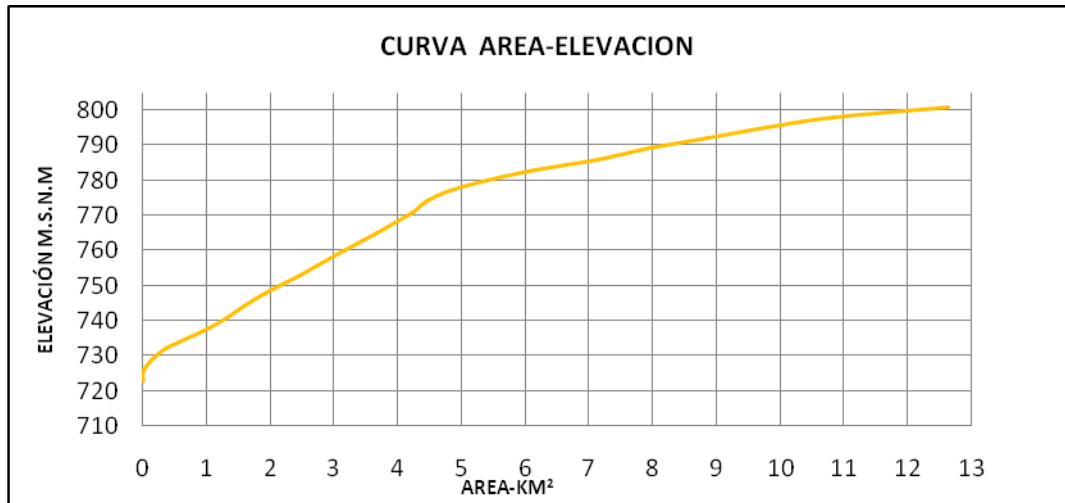
Las áreas obtenidas se presentan en la tabla I, están expresadas en metros cuadrados, obtenidas a cada 3 metros desde la cota de fondo hasta el nivel de agua de 801.64, que era el nivel al que se encontraba el embalse cuando se realizó la batimetría.

Tabla I. Tabulación de áreas del embalse

COTA	ÁREA (m²)	ÁREA (km²)
723	0	0
726	3159.064	0.003
729	145157.661	0.145
732	360878.576	0.361
735	701742.001	0.702
738	1038291.586	1.038
741	1312993.438	1.313
744	1580392.510	1.580
747	1845763.634	1.846
750	2145926.542	2.146
753	2456722.879	2.457
756	2752234.985	2.752
759	3065242.055	3.065
762	3371613.919	3.372
765	3665604.724	3.666
768	3953799.391	3.954
771	4222296.724	4.222
774	4458812.898	4.459
777	4814057.429	4.814
780	5395587.435	5.396
783	6150035.607	6.150
786	7117382.089	7.117
789	7932163.623	7.932
792	8856672.311	8.857
795	9748040.780	9.748
798	10813167.797	10.813
801	12621125.022	12.621

Estos nuevos datos se ven reflejados en (figura 17), es de suponerse que esta nueva curva tiene que tener una disminución de área, debido a la sedimentación que será objeto de estudio del capítulo siguiente.

Figura 17. Gráfica de área-elevación del embalse Pueblo Viejo 2009



3.2.1. Tabulación de volumen en el embalse

El embalse cuenta con un área de 12.621 km² esto quiere decir que su área debido a la sedimentación esta disminuyendo, ya que en 1983 era de 15 km² ; ahora es necesario saber el volumen de agua que ocupa en las áreas encerradas por cada curva de nivel. En la ecuación se obtiene volúmenes parciales, si se acumulan estos parciales se tendra el volumen total del embalse.

La ecuación para el volumen es:

$$V = \frac{h}{3(s_i + \sqrt{s_i * s_{i+1}} + s_{i+1})}$$

Tabla II. Cálculo de volumen del embalse Pueblo Viejo

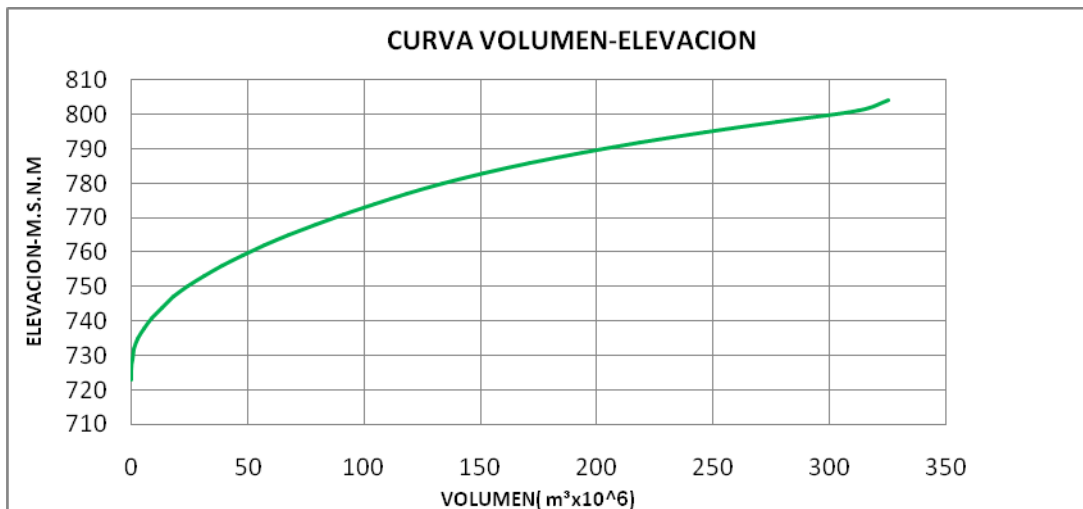
COTA	ÁREA (m²)	VOLUMEN (1x10⁶ m³)	VOLUMEN ACUMULADO
720			0
723	0	3159.064	3159.06
726	3159.064	169730.7938	172889.86
729	145157.661	734912.3825	907802.24
732	360878.576	1565853.777	2473656.02
735	701742.001	2593621.787	5067277.80
738	1038291.586	3518876.579	8586154.38
741	1312993.438	4333887.595	12920041.98
744	1580392.510	5134087.941	18054129.92
747	1845763.634	5981884.431	24036014.35
750	2145926.542	6898721.465	30934735.82
753	2456722.879	7809242.205	38743978.02
756	2752234.985	8722002.203	47465980.22
759	3065242.055	9651636.336	57117616.56
762	3371613.919	10552756.14	67670372.70
765	3665604.724	11426380.04	79096752.75
768	3953799.391	12261939.26	91358692.01
771	4222296.724	13020053.17	104378745.18
774	4458812.898	13905901.88	118284647.05
777	4814057.429	15306179.74	133590826.80
780	5395587.435	17306096.53	150896923.33
783	6150035.607	19883470.39	170780393.72
786	7117382.089	22563282.42	193343676.14
789	7932163.623	25170516.79	218514192.93
792	8856672.311	27896386.94	246410579.87
795	9748040.780	30828009.47	277238589.34
798	10813167.797	35116516.18	312355105.52
801	12621125.022	12621125.02	324976230.54

Así como el área, el volumen tiene también una curva característica que hace único al embalse, esta se gráfica con volúmenes totales de las respectivas

cotas; y ayuda a determinar el volumen que es posible almacenar en el embalse, por lógica, este sufre un decremento año con año debido al azolvamiento.

Para 2009, la gráfica del embalse es la que se presenta (figura 18). Los volúmenes están expresados en millones de metros cúbicos.

Figura 18. Gráfica de volumen-elevación del embalse Pueblo Viejo 2009



3.3. Curva elevación área-volumen

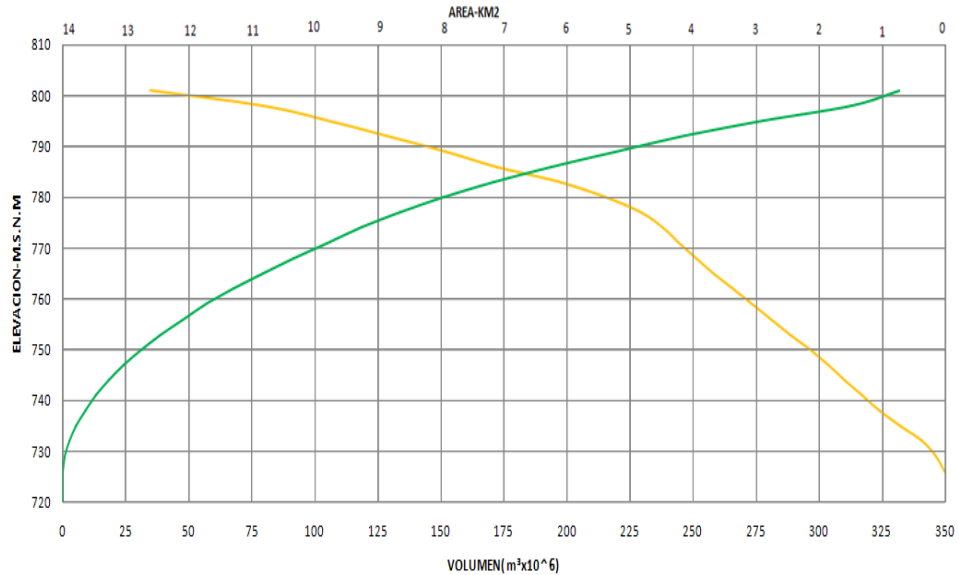
Con los datos de las tablas I y II, se grafican las curvas de capacidad, las cuales permitirán conocer los volúmenes capaces de ser almacenados en el sitio y, las áreas que serán inundadas para cualquier altura de la presa. Estas

curvas permiten seleccionar entre varias alternativas, aquellas que presentan mayores capacidades para la misma altura de la presa.

Para dibujar esta curva, se elige un sistema de coordenadas rectangulares y sobre el eje de las abscisas, a escala determinada, se dibujan los volúmenes, en las ordenadas a partir de la cota de fondo del río las alturas o cotas, o ambas. Se dibuja también las áreas inundadas, usando sentido contrario a la curva de volúmenes, para evitar confusiones al usar el gráfico.

Los cálculos de los volúmenes, de las áreas y el dibujo de las curvas deben hacerse lo más preciso posible y muy cuidadosamente. Si se cometen errores al calcularlas o dibujarlas, éstos se reflejarán en las dimensiones de todas las estructuras que integran el embalse. Tal como lo muestra la figura 19, que es el resultado de la batimetría realizada sobre el embalse de la Central Hidroeléctrica Chixoy.

**Figura 19. Gráfica de elevación-área-volumen del embalse
Pueblo Viejo 2009**



3.3.1. Cálculo de volumen útil

El volumen útil es el necesario para suplir las demandas y las pérdidas de agua durante un período determinado de funcionamiento del embalse. Cuando se presentan períodos muy secos, no previstos en el período de estudio, se puede racionar el agua prudentemente alargando así lo más posible, el tiempo de abastecimiento y evitando dejar completamente vacía la capacidad útil del embalse para el año siguiente.

En el embalse Pueblo Viejo, el volumen útil es delimitado superiormente por el nivel máximo del embalse 803 msnm y por el nivel mínimo de operación 766 msnm. Esta porción resulta ser el volumen útil, que se aprovecha y gasta para la generación de energía eléctrica. Para su ubicación, se tuvo en cuenta los siguientes aspectos: aportes de la cuenca, demanda de agua, pérdidas por infiltración y evaporación.

El volumen útil se calculó comparando las isobatas del levantamiento batimétrico 2009, en la que se muestra diferentes superficies con elevaciones que vienen desde la cota 723 msnm hasta la 801.64 msnm, obteniendo así el volumen total de agua, al cual se le ha restado el volumen inserto dentro del volumen muerto, así como el material acumulado dentro de este volumen muerto.

Volumen útil calculado es de 241, 792,164.7 m³.

3.3.2. Cálculo de volumen muerto

El volumen muerto o de sedimentos es el volumen que se debe disponer en el embalse para almacenar los sedimentos. Estos sedimentos, transportados por el río y que con el tiempo se van depositando en él. El volumen muerto en este embalse se tiene hasta la cota 766 msnm; y la razón por la que se toma

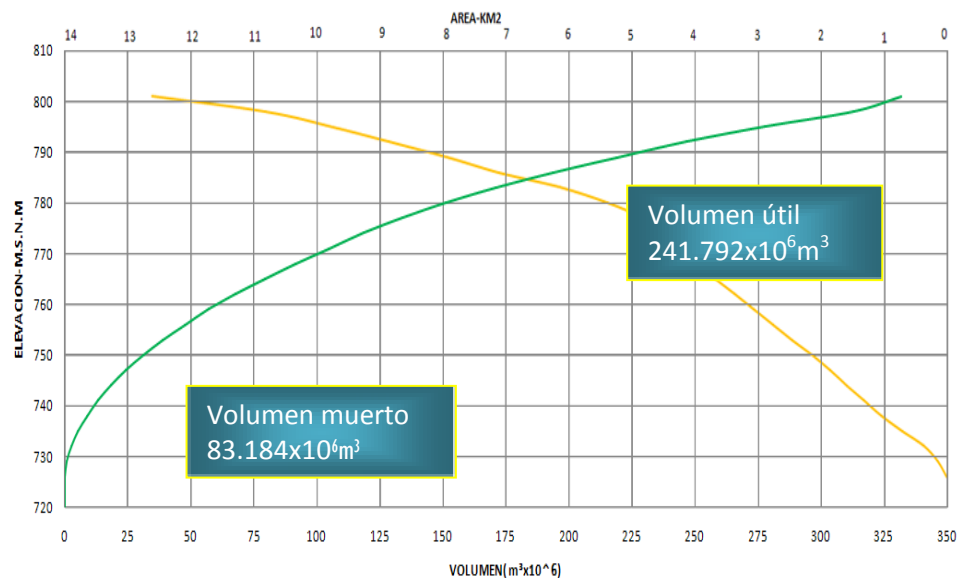
dicha cota es debido a que el embalse Pueblo Viejo tiene una estructura denominada

Bocatoma, que es una obra mediante la cual se toma el caudal que se requiere para obtener la potencia de diseño; lo conforma una tubería de 4.5 metros de diámetro y la cota invert de la tubería es 766 msnm. Esta obra de captación se ve afectada por el incremento de sedimento, en cuanto reducen la capacidad de captación de caudal, lo cual puede originar que el sedimento pueda pasar y dañar los componentes de la Central Hidroeléctrica.

Teniendo en cuenta estos parámetros, se tiene que el volumen muerto del embalse Pueblo Viejo para la cota 766 msnm es de:

Volumen Muerto: 83, 184,065.82 m³.

Figura 20. Gráfica de volumen útil y volumen muerto



4. SEDIMENTACIÓN EN EL EMBALSE

En este capítulo se presenta el análisis de los procesos de sedimentación en el embalse Pueblo Viejo, situado en una cuenca afectada por un régimen hidrológico tropical, en la que la ocurrencia de eventos hidrológicos pasados tales como el Stan y el Mitch producen efectos de gran magnitud en lo que respecta a la producción de sedimentos y, en consecuencia, su incidencia en la sedimentación en embalses resulta significativa.

El análisis de la problemática se ve fuertemente influenciado por la falta de información detallada relativa a la producción de sedimentos, ya que con los datos de batimetrías, es posible calibrar modelos de producción de sedimentos. También resulta aconsejable recurrir a la aplicación de técnicas sencillas, para la predicción del comportamiento de embalses en estas circunstancias.

La estimación de la producción de sedimentos de una cuenca o conjunto de micro-cuencas puede realizarse a partir de la aplicación de técnicas empíricas que se basan en una serie de parámetros que dependen de las características fisiográficas de las cuencas y de los aspectos climáticos en donde se ubica. Las tasas de materiales sólidos que ingresan a los ríos y que pueden ser transportados por los mismos, pueden evaluarse a partir de varios años de estadística de caudales líquidos, edición de sedimentos en suspensión y arrastre de fondo en estaciones hidrométricas y sedimentométricas.

A partir de esta información, sería posible establecer relaciones funcionales entre caudales líquidos y sólidos que permitirían generar estimaciones de los volúmenes totales por unidad de tiempo de los sedimentos transportados. Esta información, en conjunto, con las características de los embalses y la granulometría de los sedimentos, permitiría estimar la cantidad de sedimentos que se depositarán en los vasos de almacenamiento durante intervalos de tiempos establecidos, generalmente asociados a la vida útil de las obras hidráulicas.

Desafortunadamente, y esta es una situación típica en los países en vías de desarrollo tales como Guatemala, no existen mediciones sistemáticas de los parámetros antes mencionados por parte de los organismos públicos y/o privados encargados de recolectar información básica de los sistemas hidráulicos. En ese caso, se hace necesario recurrir a técnicas empíricas estimativas para la valoración cuantitativa de la producción de sedimentos en cuencas, transporte de material sólido a través de los cauces y deposición en cuerpos de agua.

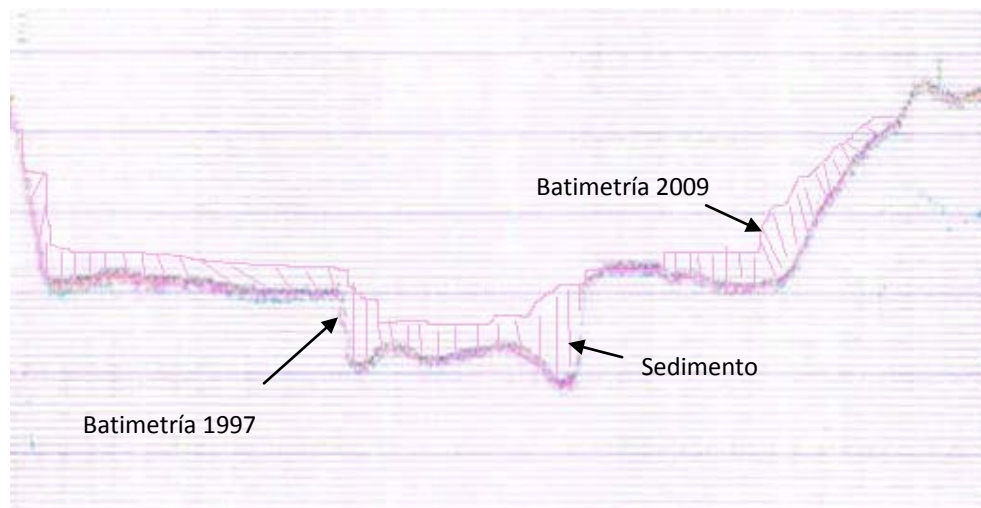
4.1 Método utilizado para el cálculo de sedimento

Prácticamente, la única información de mediciones sedimentológicas con que se cuenta, es la correspondiente a una serie de relevamientos batimétricos

realizados en el embalse Pueblo Viejo, en los años 1989,1994 y 1997. Sobre esta última batimetría, solo se cuenta con información parcial.

Para determinar la sedimentación en el embalse Pueblo Viejo, se utilizó un método directo, el cual se apoya en la batimetría realizada. Esta ayudará a conocer cuál es el comportamiento del atrape de sedimentos del embalse. Este método consiste en sobreponer los perfiles transversales al eje de la presa del año 1997, y los obtenidos en la batimetría 2009; es de esperarse que los perfiles de la batimetría 2009 sean más exactos debido a la metodología utilizada. Los 136 perfiles transversales van a ser sobrepuestos para la interpretación de reducción de áreas, debido a la sedimentación como lo muestra (Figura 21).

Figura 21. Reducción de área debido a la sedimentación



4.2 Cálculo del sedimento acumulado

El cálculo del volumen de sedimento acumulado en el período 1997-2009, que fue la última batimetría con la que se cuenta, más o menos 12 años, por lo que la estimación del volumen de sedimento en este período es de mucha importancia debido a los sucesos hidrológicos mencionados, para el cálculo se utiliza la ecuación cónica, utilizada para la cubicación del embalse.

$$V = \frac{h}{3(s_i + \sqrt{s_i * s_{i+1}} + s_{i+1})}$$

Donde las áreas utilizadas son obtenidas de las batimetrías, la tabla III presenta los volúmenes acumulados a diferentes cotas; teniendo en consideración que el sedimento ocasiona un decremento en área se hace una diferencia entre batimetrías y el resultado obtenido es la que se utiliza para ingresarla en la ecuación. Se considera que la altura h es de 10 metros, ya que es la altura a la que se tienen las diferencias de área.

Tabla III. Volumen de sedimento 1997-2009

COTA	ÁREAS 1997 Km ²	ÁREAS 2009 Km ²	DIFEREN. 1997-2009 Km ²	VOLUMEN 1997-2009 1X10 ⁶ m ³	VOLUMEN ACUMULADO 1X10 ⁶ m ³
720	0	0	0	0	0
730	1.332	0.217	1.115	3.716	3.716
740	2.319	1.221	1.098	11.062	14.779
750	3.211	2.146	1.065	10.813	25.591
760	4.205	3.167	1.038	10.513	36.105
770	4.758	4.133	0.625	8.228	44.333
780	7.412	5.396	2.016	12.547	56.880
790	10.176	8.240	1.936	19.757	76.637
800	12.664	12.019	0.646	12.330	88.967

En resumen, el contenido de la tabla III se interpreta como: el volumen de sedimento obtenido en el período 1997-2009 es de $88.967 \times 10^6 \text{ m}^3$, distribuidos en todo el embalse, claro está que estos fueron obtenidos en 12 años. Este resultado tiene en consideración los afluentes que conforman el embalse Pueblo Viejo.

Esto quiere decir que el almacén de volumen muerto está decreciendo constantemente y por consiguiente la vida útil del embalse.

4.2.1 Perfiles longitudinales de los afluentes

Las aguas corrientes modelan, por ablación y deposición, un perfil longitudinal de su lecho cuya pendiente tiende a disminuir aguas abajo. El perfil longitudinal, que en realidad no es otra cosa que un corte topográfico, tiene una forma cóncava, pero localmente presenta irregularidades que se expresan en forma de rápidos y cascadas, y tramos de aguas tranquilas.

Teniendo la batimetría del embalse y los perfiles transversales, se puede obtener los perfiles longitudinales de los ríos Chixoy, Blanco, Chicruz, Salamá y Carchelá. En estos perfiles se logra visualizar también el porcentaje de sedimento que se deposita en cada río y cuál es su comportamiento año con año, para su diseño se toman los puntos más bajos de cada sección transversal.

Se logró conseguir los perfiles de años anteriores como 1983, 1989, 1994 y 1997 esto da una idea más clara de la reducción de área que ocasiona el sedimento.

Figura 22. Perfiles longitudinales de los ríos Chixoy y Salamá

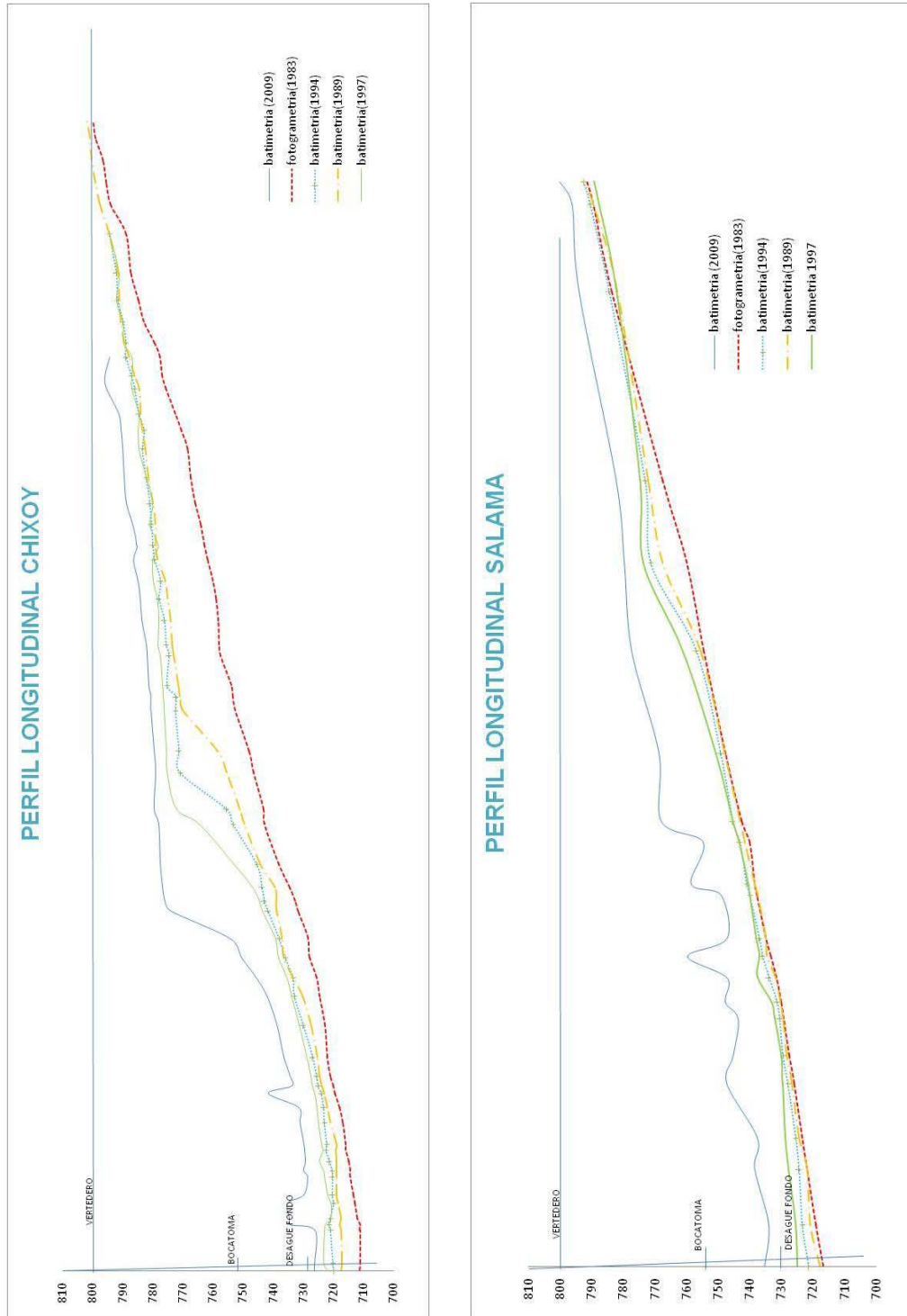


Figura 23. Perfiles longitudinales de los ríos Blanco y Carchelá

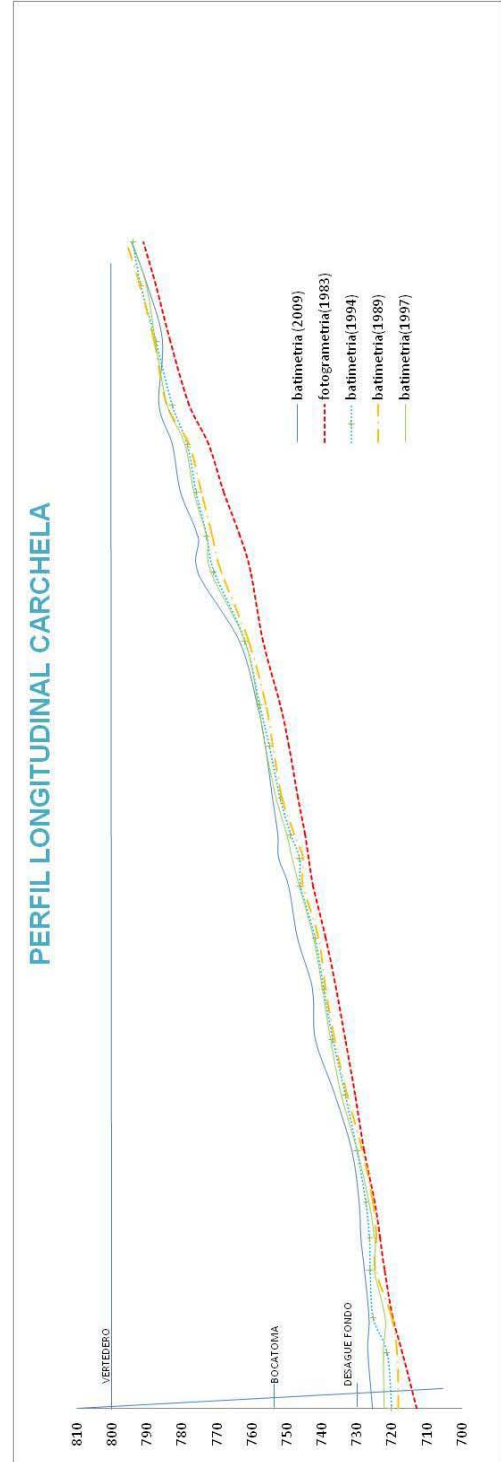
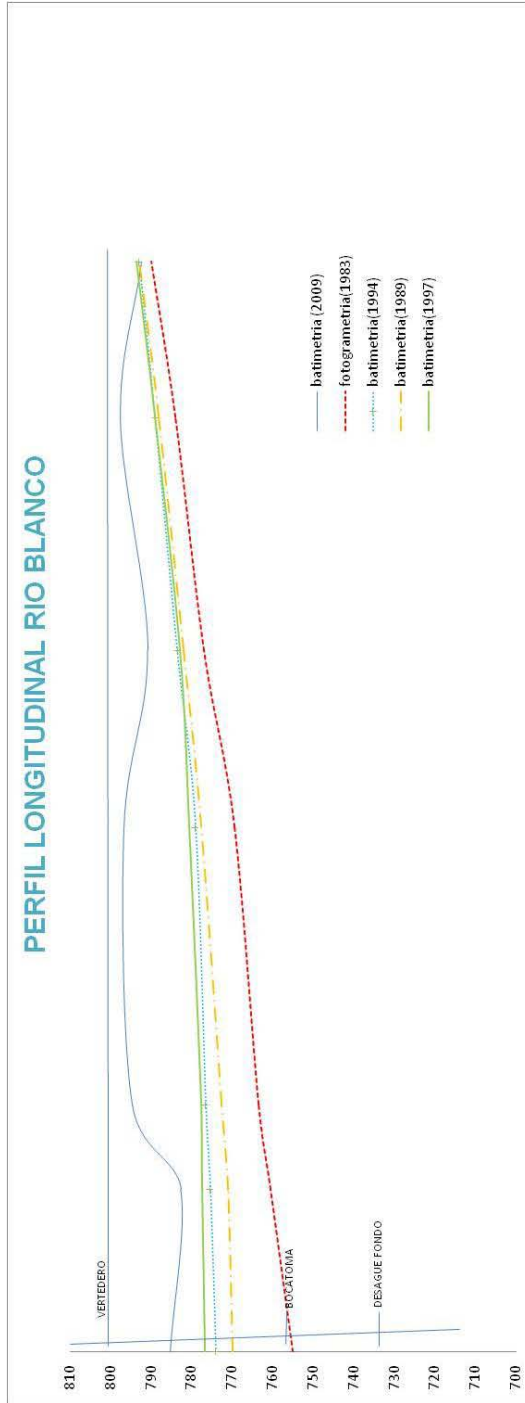
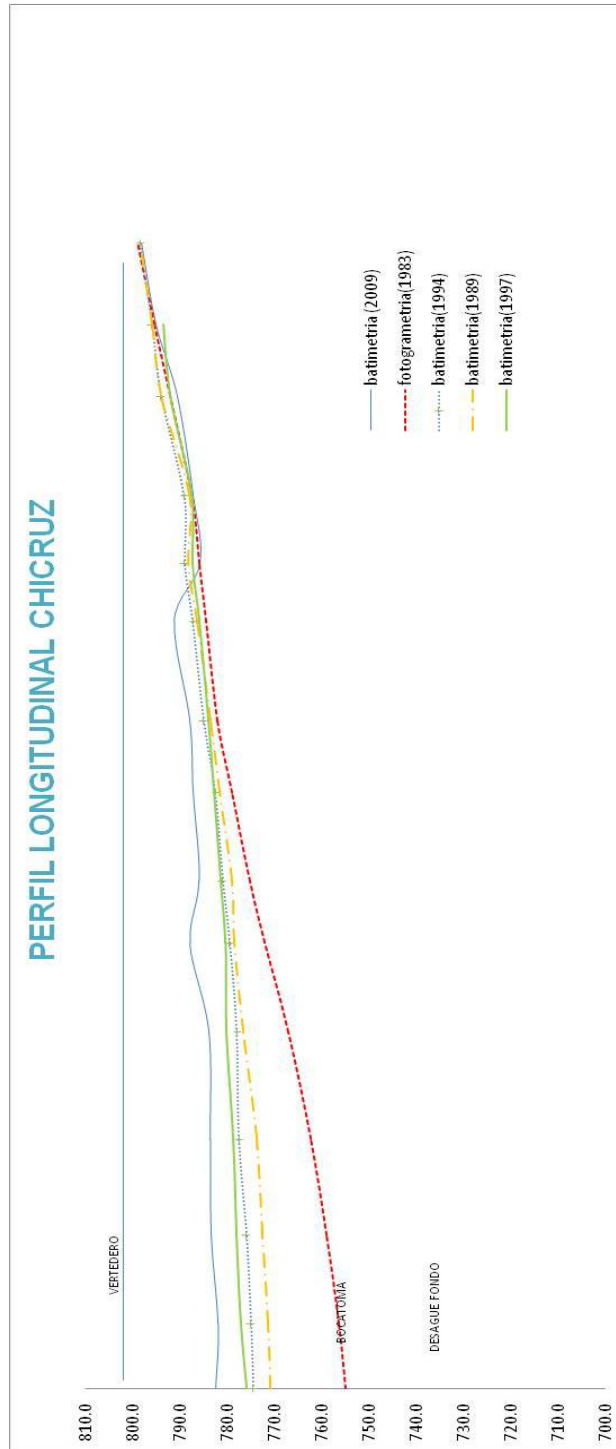


Figura 24. Perfil longitudinal del río Chicruz



4.3 Tendencia de acumulación de sedimento

El volumen del material sedimentado con respecto a la batimetría del año 1997-2009 es de $88.967 \times 10^6 \text{ m}^3$, y el volumen de material sedimentado acumulado desde el tiempo de servicio del embalse Pueblo Viejo en el año de 1983 hasta el 2009 es de $158.148 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Hay que recordar que el cálculo de volúmenes de la batimetría de los años de 1989, 1994 y 1997, se realizó con relación a 133 secciones transversales y en la presente batimetría se efectuaron más de 500 secciones transversales. El relieve de profundidad se ha evaluado con la presente batimetría de forma fiel a su real comportamiento, ya que se deja de asumir isobatas planas entre una y otra sección como anteriormente se calculaba.

De la recolección de información de batimetrías anteriores se muestra la tabla IV, de la cual se obtiene la ecuación logarítmica del comportamiento del sedimento en el embalse y es:

Tabla IV. Registro de sedimento acumulado en el embalse Pueblo Viejo

Año de Batimetría	Vol.Acum. 1×10^6
1983	1
1989	45.377
1994	64.100
1997	76.462
2009	158.148

$$y = 12153 \ln(x) - 92273$$

Donde:

y = volumen de sedimento en m^3

x = años

Esta ecuación obtenida puede ser aplicada al embalse, pero tiene una alteración, la cual es que en el periodo 1997-2009 hubieron cambios climáticos bien marcados que se pueden observar en la producción de sedimento que (figura 25), que hacen que esta ecuación se altere. Ya que estos cambios climáticos son impredecibles, se puede tener cierto rango de tolerancia en los resultados que se obtenga al aplicar dicha ecuación la cual es de ± 5 años. Es decir, que puede que ocurra el suceso antes o después de la fecha obtenida, la única forma de mejorar la ecuación es realizando batimetrías año tras año.

Figura 25. Gráfica de tendencia de acumulación de sedimentos

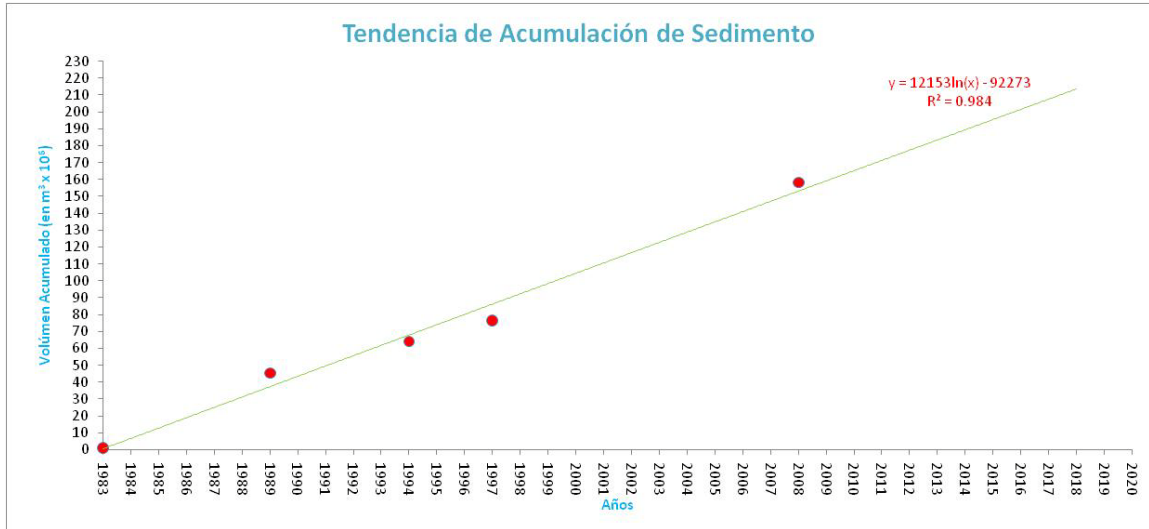
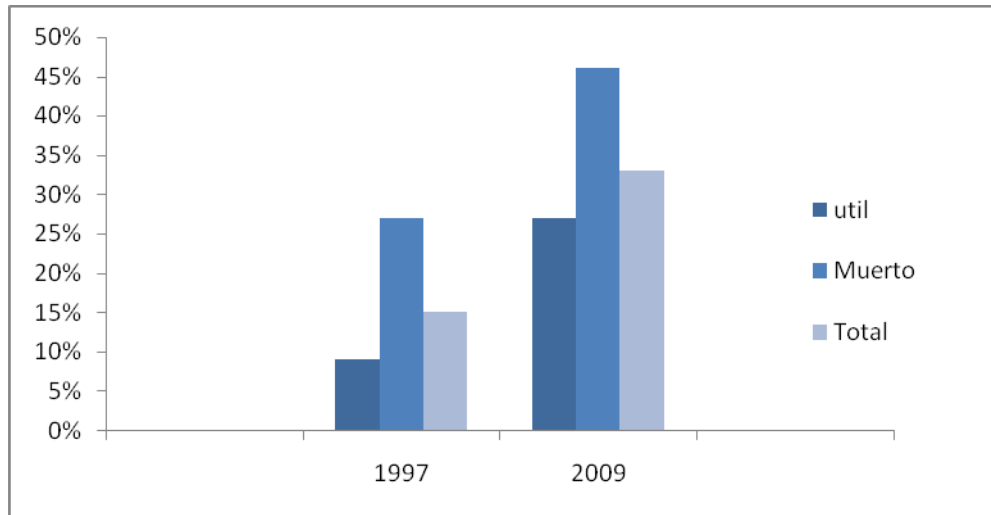


Tabla V. Capacidad actual del embalse Pueblo Viejo

AÑO INICIO OPERACIÓN	CAPACIDAD INICIAL IX10 ⁶ m ³			CAPACIDAD ACTUAL IX10 ⁶ m ³			FECHA ULTIMA BATIME.	VOL. SED. ACUMUL. IX10 ⁶ m ³	PORCENTAJE DE DISMINUCION		
	Útil	Muerto	Total	Útil	Muerto	Total			Útil	Muerto	Total
1983	332.6	153.25	485.86	241.79	83.18	324.97	Mar-09	158.14	27%	46%	33%

Figura 26. Gráfica de porcentaje pérdida de capacidad



En estos casos, las tasas de pérdida del volumen están entre un 1 y un 2% anual e indican un alto grado de erosión en las cuencas, asociado a una utilización inadecuada de la tierra y de los recursos naturales. Esto concuerda con las condiciones adversas relativas a la sedimentación: pendientes altas, escasa cobertura vegetal y precipitaciones intensas en eventos extremos. A partir de las mediciones batimétricas, se han realizado estimaciones de las producciones específicas de sedimentos en el embalse Pueblo Viejo (Tabla VI).

En la figura 26 se puede observar la pérdida de capacidad que está teniendo el embalse debido al sedimento del volumen muerto, se puede decir que el 46% del volumen se ha perdido hasta el año 2009, del 27% con los que se contaban en el año 1997. Quedando así un 50% del almacén para el funcionamiento de la hidroeléctrica (Tabla V).

4.4 Proyecciones de la sedimentación

Con la ecuación logarítmica de tendencia obtenida en el inciso 4.3, se realizan las proyecciones de sedimentación en el embalse; se presenta una tabla de resultados observando que la acumulación de sedimentos incrementa.

$$y = 12153\ln(x) - 92273$$

El porcentaje es calculado con base en el volumen de retención de agua original que era de $485.86 \times 10^6 \text{ m}^3$, este reduce anualmente, lo cual se ve reflejado en los perfiles longitudinales y transversales obtenidos en la batimetría.

Tabla VI. Sedimentación en el embalse Pueblo Viejo

AÑO	VOL. SED
1983	0
1989	44.80
1994	62.85
1997	75.163
2009	158.148
2012	173.46
2016	197.60
2020	221.69
2024	245.73

La tabla VI presenta los volúmenes de sedimento para los años venideros expresados $1 \times 10^6 \text{ m}^3$, estas proyecciones variarán según el comportamiento de factores que inciden en el embalse, tales como: la precipitación,

erosión, infiltración, etc. Todos estos factores llegarán a ser decisivos para alcanzar la vida útil del embalse, el análisis de volumen utiliza información topográfica de secciones a lo largo del embalse y de áreas entre curvas de nivel obtenidas antes del llenado del embalse. Un segundo grupo de datos son las nuevas secciones levantadas posteriormente.

Hasta el año 2024, se obtuvo el volumen de sedimento acumulado, ya que para este año el almacén de volumen muerto se habrá colmado y este embalse llegará a finalizar la generación de energía eléctrica.

4.4.1 Proceso de sedimentación

De forma general, el comportamiento del fondo apreciado en las secciones transversales comparadas entre la batimetría de 1997 y la actual, determina que la distribución del sedimento es homogénea, al visualizar y comparar los fondos medidos.

Como en todo comportamiento natural de lechos de agua, las corrientes, eventos naturales (derrumbes o alta escorrentía), otros, provocan que en ciertos puntos específicos se denoten comportamientos que se salen de la general arriba descrita.

En descripción y definición de algunos casos específicos y denotados como más notorios en los resultados procesados, se tiene:

En el río Chixoy (Figura 22), que es el principal afluente aportador al embalse en la sección 17 de este río muestra una acumulación de material que, por el comportamiento del río en este punto si se considera como un banco de material sedimentado como tal. Luego, la apreciación en las secciones 18 y 19 mantienen un comportamiento estándar paralelo al trabajo de 1997 y finalmente de nuevo se aprecia la acumulación de igual magnitud a la sección 17 en los tramos que comprenden las secciones 20, 21 y 22.

De las secciones 24 hasta la 53 se nota que hay una gran acumulación de sedimentos que mantiene una proyección que oscila entre los 5 y 7 metros de altura evaluada al centro del río. En los costados, según la conformación de vuelta del río, los datos de altura varían en rangos más abiertos.

En el río Chicruz (Figura 24), la acumulación de material sedimentado se hace más notable de la sección 1 a la 10, la parte con mayor acumulación de sedimento, para el río Blanco se encuentra entre las secciones transversales 3, 4, 5 y 6. Estos ríos son de corta longitud comparados con los demás y ubicados en la cola del embalse por lo que son de muy poco arrastre de sedimento, el río Blanco es de muy poca profundidad y casi esta por colmarse y dejar de aportar volumen útil.

El río Carchelá (Figura 23) se presenta bastante uniforme con respecto al levantamiento del año 1997 hasta la sección 18, a partir de aquí hasta la sección 23 se observa que ha habido acumulación de sedimento. El sedimento avanza de la parte alta del río y disminuye a la entrada del embalse. El comportamiento de este río es el más estable con respecto a la aportación de sedimento, ya que sus aguas son tranquilas y se puede ver reflejado en el perfil longitudinal del mismo.

En el río Salamá (Figura 22) su cauce se presenta paralelamente uniforme hasta la sección 4. De la sección 5 hasta el final del tramo evaluado (sección 22), los resultados denotan material acumulado en mayor magnitud. A pesar de ser un río corto representa un afluente significativo que agota día a día la capacidad de embalse.

Se puede observar, de las secciones de los ríos Blanco y Chicruz, que su fondo según la batimetría de 1997, tenía una especie de canal natural y que estos perfiles han tomado una forma común, que es la de mayor profundidad en el centro por efecto de que en los bordes del río la velocidad es menor que en el centro.

4.4.2 Pérdida de volumen para 10,25,50 y 75 años

Si se tiene que el volumen muerto o capacidad de sedimentos es el volumen que debemos disponer en el embalse para almacenar los sedimentos

transportados por el río, que con el tiempo se depositan en él. El período que tarda en colmarse esta capacidad, constituye la vida útil del embalse.

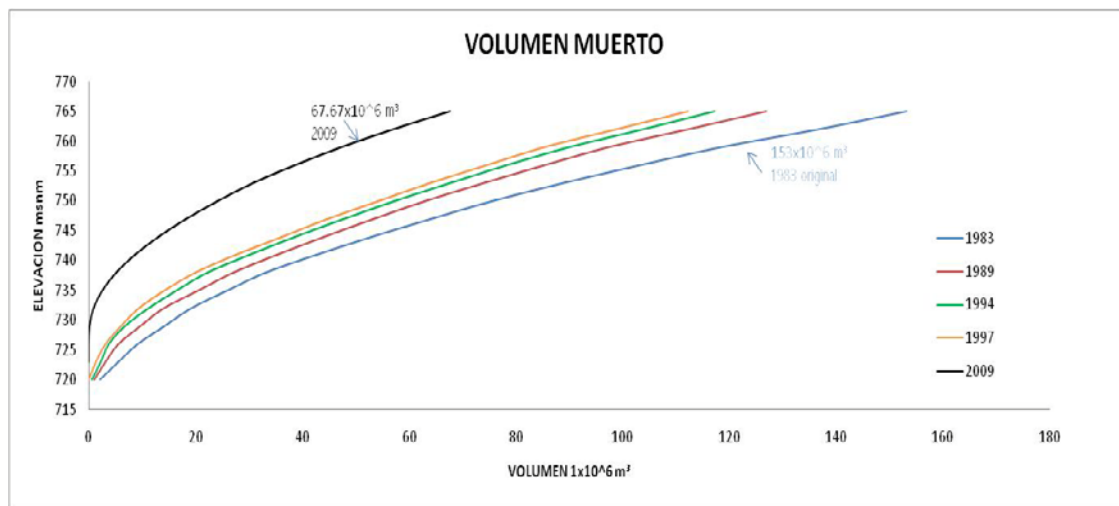
Si en 12 años hay acumulados un total de $88.967 \times 10^6 \text{ m}^3$ de sedimento, y se mantuviera el proceso de sedimentación al mismo ritmo desde la última batimetría, con una producción promedio de $7.414 \times 10^6 \text{ m}^3$, entonces dentro de 9 años con 9 meses se habría colmado la capacidad del volumen muerto, por lo tanto se llegará a la vida útil del embalse. Esto considerando un volumen muerto (o de capacidad de almacén de sedimentos) $83.184 \times 10^6 \text{ m}^3$ restantes hasta la cota 766 (nivel mínimo operativo) que es a la cota que se ha considerado en los estudios anteriores para definir este dato.

La vida útil calculada puede extenderse, dado que la cota rasante de la acumulación de material o sedimento no es uniforme bajo la superficie del agua, lo cual da como resultado que se tengan cotas más bajas en las cercanías de la presa y cotas más altas en las secciones transversales más alejadas. Todo esto permite que siga existiendo volumen disponible de agua para entrar al túnel, aun cuando el volumen total útil este disminuyendo y el proceso de producción no colapse en el tiempo estimado anteriormente.

Tabla VII. Porcentaje de decrementos en volumen muerto

AÑO	AREA (%)	VOLUMEN (%)
1983	100.00	100.00
1989	91.36	83.00
1994	83.45	76.00
1997	80.22	73.00
2009	66.00	44.00

Figura 27. Pérdida de volumen muerto

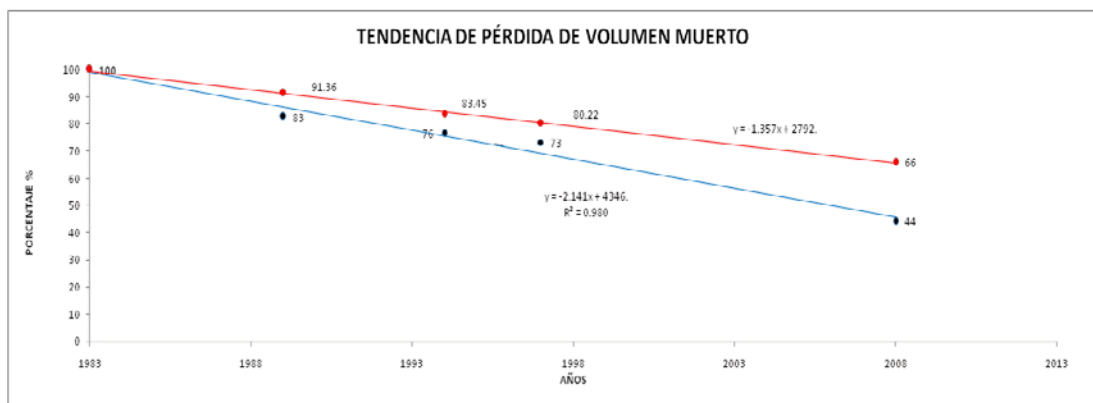


Con base en los registros que se tienen en la central hidroeléctrica, se pueden obtener las curvas características del volumen muerto del embalse (Figura 27); en los cuales se ve reflejado el decremento que sufre con respecto a los años; la última curva es obtenida como resultado de la batimetría 2009.

Así como, el volumen el área también se ve afectado por la sedimentación (Tabla VII), en la figura 28 puede apreciarse que un 34% del área original se ha

perdido; aunque el área es un factor difícil de determinar debido a que en la cuenca existe inestabilización de taludes, deforestación, incremento poblacional.

Figura 28. Gráfica de decrementos en volumen y área muerto



Si:

$$y = -2.141x + 4346$$

Cuando:

$$y = 0$$

$$0 = -2.141x + 4346$$

$$2.141x = 4346$$

$$x = \frac{4346}{2.141}$$

$$x = 2029 \text{ años}$$

Tabla VIII. Proyección para 10, 25, 50 y 75 años

x	y	Volumen real (m³)
1983	100%	153.25x10 ⁶
1993	78.98%	119.535 x10 ⁶
2008	46.87%	71.72 x10 ⁶
2033	6.65%	10.19 x10 ⁶
2058	0.00%	0.00 x10 ⁶

Las proyecciones no están exentas de factores externos que alteran las mismas, algunas son impredecibles tales como: los cambios climáticos y como resultado las crecidas en ríos. Esto provoca grandes erosiones en laderas y la acumulación y arrastre de sedimentos es bastante significativa, es por eso que las proyecciones obtenidas se mantendrán, si no existen cambios climáticos fuertes y marcados en la cuenca del embalse (Tabla VIII).

Por lo tanto de mantenerse la proyección hoy definida con el presente estudio, la vida útil del embalse de la presa Pueblo Viejo, de la Central Hidroeléctrica Chixoy se proyecta para el año 2029.

5. CONSIDERACIONES AMBIENTALES

El estudio de impacto ambiental debe considerar dentro de su evaluación, condiciones topográficas, geológicas, hidrológicas y ambientales presentes en la cuenca hidrográfica; además los correspondientes a los esquemas constructivos y operativos de ingeniería. Estos parámetros pueden considerar diferentes alternativas de proyecto.

Es fundamental observar el impacto ambiental del proyecto sobre su entorno, el cual dependerá del criterio de planeamiento adoptado en la fase inicial de concepción del mismo. El estudio debe, obligatoriamente realizarse en compañía de los estudios técnicos, sociales y económicos, desde las fases iniciales del proyecto.

5.1 Evaluación de impacto ambiental de embalses

El impacto ambiental se produce cuando una fuente afecta un receptor, en este caso se origina al alterar las condiciones iniciales de un recurso hídrico, para su aprovechamiento de una central hidroeléctrica.

Los impactos ambientales se originan durante las siguientes etapas del planeamiento, construcción y operación de la planta.

Las acciones que son producidas durante estas etapas entre otras son:

- Inducción de desarrollo en el área de influencia de la central hidroeléctrica, reflejada en la utilización del recurso hídrico, carreteras, electrificación, telecomunicaciones, vivienda, escuelas, salud y otros servicios
- En relación con la magnitud del proyecto, se activará regionalmente la economía, a través de la generación de empleo en los servicios de consultoría, construcción, fabricación de materiales y equipos, comercialización, montaje y operación, durante el periodo que dura la implantación del proyecto.

Los costos técnicos, sociales y ambientales que origina la realización de un proyecto de esta naturaleza son directos e indirectos; la magnitud de dichos costos varia de conformidad con las diferentes alternativas que se ofrezcan para la realización del proyecto, concebidas para el tramo del río en consideración.

Se trata, a fin de cuentas, de un problema de planeamiento y decisión, en el cual la dimensión ambiental es uno de los factores a ser evaluados al lado de las demás variables del proyecto, considerando las directrices vigentes de gestión de demanda y oferta de energía.

La relación costo/beneficio ambiental de la implementación del proyecto es responsable de la generación de impactos permanentes y transitorios. Los impactos permanentes se presentan por los cambios en las condiciones aguas arriba y abajo, en términos de caudal y calidad del agua descargada. También pueden generarse impactos ocasionados por el aumento de la disponibilidad de energía, uso múltiple del recurso hídrico e inducción del desarrollo regional. Los impactos transitorios se presentan por la alteración de las condiciones físicas, bióticas, sociales, culturales y económicas, en el área de influencia durante la construcción de la central hidroeléctrica y el inicio de la operación.

a) Objetivos de la evaluación del impacto ambiental

Como premisa básica del estudio de impacto ambiental, se considera que el proyecto al utilizar los recursos y valores ambientales, no debe generar una pérdida mayor de bienestar que la ganancia lograda con el mismo. En este sentido, el principal propósito es de buscar la forma de que el proyecto pueda desarrollarse con los mínimos daños posibles al medio ambiente y que, al mismo tiempo, promueva el desarrollo económico y social.

En otras palabras, se busca que el desarrollo hidroeléctrico converja hacia desarrollo sostenible y equitativo de la región, mediante la aplicación de medidas que compensen los daños inevitables y mejoren las condiciones ambientales y socioeconómicas presentes.

Los objetivos de la evaluación de impacto ambiental de un proyecto dado son, entre otros, los siguientes:

- El proyecto debe cuantificar los recursos y valores ambientales que se afectarán por su realización, bajo las condiciones existentes; para ello se necesita identificarlos y describirlos.
- Describir el impacto que el proyecto propuesto tendrá sobre los recursos y valores en la forma más cuantificada posible, incluidos los impactos positivos que los mejorarán, los negativos que los perjudicarán, los directos o indirectos. Aquellos a corto y a largo plazo, los efectos acumulativos y de carácter irreversible, junto con una descripción de las formas específicas en que el plan o diseño del proyecto minimizará los efectos adversos y maximizará los positivos.
- Describir alternativas al proyecto propuesto con las cuales podrían lograrse los mismos resultados deseados por el responsable del proyecto, pero con una serie de impactos ambientales distintos, incluida una descripción de aquellos asociados con las alternativas.

b) Alcance del estudio ambiental

El alcance asegurará que se aborden los temas de importancia en el desarrollo del estudio, como la magnitud del proyecto y la extensión geográfica del área potencialmente impactable.

c) Fases del estudio

La identificación de los impactos ambientales comprende la determinación de estos y sus causales en el área del proyecto. Son actividades de esta fase del estudio:

- La distinción entre impactos temporales y permanentes, directos e indirectos, positivos y negativos, acumulativos e irreversibles.
- La recopilación de una lista de posibles impactos clave sobre la atmósfera, la hidrología y la calidad del agua, los suelos, los niveles de empleo, las actividades económicas, el paisaje, el hábitat silvestre, la biodiversidad, etcétera.

- La identificación de todas las fuentes de impacto (captaciones de agua, corrientes de agua, tala de árboles, etc.), utilizando listas de chequeo o cuestionarios; elaboración de una lista de posibles receptores en el medio ambiente (aprovechamientos de agua, poblaciones humanas, cultivos, etc.), mediante el estudio del medio ambiente existente y la consulta con las partes interesadas.
- La identificación de los impactos mediante el uso de listas u otros instrumentos como matrices, redes, etcétera.

d) Predicción

La etapa de predicción responde científicamente a las consecuencias del impacto sobre el medio ambiente, utilizando datos técnicos físicos, biológicos y socioeconómicos, en el contexto de un parámetro ambiental dado (por ejemplo un caudal). A través de sus efectos subsiguientes sobre los diversos campos (reducción de la calidad del agua, el impacto adverso sobre la salud, impacto socioeconómico sobre las comunidades cercanas).

Para cuantificar los impactos pueden utilizarse modelos matemáticos, fotomontajes, modelos físicos.

5.2 Legislación ambiental y eléctrica

En Guatemala, como en muchos otros países en vías de desarrollo, hubo la necesidad, por falta de recursos, de liberar el mercado eléctrico y darle participación al sector privado para la que la generación, distribución, transporte y comercialización de energía eléctrica llegaran a alcanzar todas o al menos la mayoría de regiones del país donde no había electricidad.

Esta ley trata varios aspectos que hacen del mercado de electricidad, un mercado abierto y por ello es objeto de estudio. A continuación, se mencionan algunos aspectos importantes de la ley, que son de vital importancia en el desarrollo del estudio de factibilidad del proyecto.

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales –MARN- es el órgano del estado al que le corresponde formular y ejecutar las políticas relativas a su ramo: cumplir y hacer que se cumpla el régimen concerniente a la conservación, protección, sostenibilidad y mejoramiento del ambiente y los recursos naturales en el país y el derecho humano a un ambiente saludable y ecológicamente equilibrado, debiendo prevenir la contaminación del ambiente, disminuir el deterioro ambiental y la pérdida del patrimonio natural.

Con respecto al desarrollo de proyectos de energía renovable, el MARN tiene entre sus funciones:

"Controlar la calidad ambiental, aprobar las evaluaciones de impacto ambiental, practicarlas en caso de riesgo ambiental y velar porque se cumplan, e imponer sanciones por su incumplimiento."

Y Comisión Nacional de Energía Eléctrica CNEE es un órgano técnico del Ministerio de Energía y Minas, con independencia funcional para el ejercicio de sus atribuciones y tiene a su cargo las siguientes funciones:

- a) Cumplir y hacer cumplir la ley general de electricidad y su reglamento, en materia de su competencia, e imponer las sanciones a los infractores.

- b) Velar por el cumplimiento de las obligaciones de los adjudicatarios y concesionarios, proteger los derechos de los usuarios y prevenir conductas atentatorias contra la libre competencia, así como prácticas abusivas o discriminatorias.

- c) Definir las tarifas de transmisión y distribución, sujetas a regulación de acuerdo con la ley general de electricidad, así como la metodología para el cálculo de las mismas.

- d) Emitir normas técnicas y fiscalizar su cumplimiento.

e) Emitir las disposiciones y normativas para garantizar el libre acceso y uso de las líneas de transmisión y redes de distribución de acuerdo a lo dispuesto en esta ley y su reglamento.

CONCLUSIONES

1. Los cálculos de comparaciones se realizaron con informaciones incompletas de las batimetrías de 1989 y 1994 y con toda la información de la batimetría de 1997 que existen en el embalse.
2. Para determinar con precisión el proceso de sedimentación y la vida útil del embalse, es necesario contar con tres datos de comparación: producto de cuatro batimetrías consecutivas con la misma, mejor densificación de información y calidad de equipos utilizados en la batimetría de 2009.
3. Los sedimentos acumulados en el embalse Pueblo Viejo desde 1983 hasta 2009 son de $158.148 \times 10^6 \text{ m}^3$, los cuales han reducido en un 32.55% el volumen total del embalse.
4. Se estimó el volumen total de masa de agua del embalse y los ríos con respecto al nivel de la superficie de agua a una elevación de 801.68 msnm; obteniendo como resultado un volumen total de: $324.976 \times 10^6 \text{ m}^3$.
5. El volumen de sedimento acumulado en 12 años en el embalse Pueblo Viejo es de $83.184 \times 10^6 \text{ m}^3$, en el periodo 1997-2009.

6. El volumen de agua utilizado para la generación de energía eléctrica se denomina volumen útil. El resultado de la batimetría determina que en el embalse hay $241.792 \times 10^6 \text{ m}^3$ disponibles.

7. Con esta batimetría se logró actualizar los datos que se tenían en la Central Hidroeléctrica, por lo tanto, de mantenerse la proyección hoy definida en el presente estudio, la vida útil del embalse se proyecta para el 2,029.

RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio sedimentológico para determinar los diferentes tipos de materiales encontrados en el fondo del embalse, ya que por el método utilizado para la determinación de las profundidades de los estratos, no se puede obtener esta característica.
2. Tomar muestras por medio de perforaciones para conocer los diferentes materiales que conforman esta capa de material blando.
3. Efectuar batimetrías anualmente para llevar un control y estadística de los volúmenes de sedimentación en el embalse, empleando para ello el diseño de levantamiento batimétrico sugerido, con líneas de sondeo espaciadas a cada 100 m en los ríos y de 25 m en ambas direcciones en el área del embalse principal. Todo esto, para conocer el rendimiento verdadero de la producción que la cuenca genera, verificando la correspondencia que debe existir con los programas de conservación de cuencas para establecer y ajustar los pronósticos establecidos de vida útil. Es importante que estas batimetrías se realicen más o menos consistentes en fecha, pero sobre todo, consistentes en la cota de nivel de agua, de tal manera que la próxima batimetría deberá hacerse a una

cota de nivel de agua de 801.68 msnm, utilizando los mismos métodos y levantando las mismas secciones transversales y la misma densificación de puntos.

4. Implantar de forma urgente otros proyectos de conservación y reforestación adicionales a los ya existentes en las sub-cuencas que drenan hacia el embalse de la presa Pueblo Viejo.
5. Hacer un estudio del avance del proceso de eutroficación que se está llevando a cabo en la parte alta de los ríos, principalmente el Chixoy, ya que se está dando una acumulación de ninfa con la subsecuente pérdida de volumen de agua. Además, habría que determinar el grado de afección que este proceso tendría en el futuro sobre la vida útil de la presa.
6. Efectuar estudios de estimación de la erosión en las cuencas y compararlos con los volúmenes sedimentados, estableciendo análisis cruzados que permitan predecir el comportamiento de estos últimos.
7. Establecer análisis cruzados entre variables de porcentaje de cobertura, cantidad de precipitación, intensidad de precipitación, erosión acumulación de sedimentos.

BIBLIOGRAFÍA

1. APARICIO MIJARES, Francisco Javier. **Fundamentos de Hidrología de Superficie**. México: Limusa, 1989.
2. CHACÓN LEÓN, Luis Alfredo. Consideraciones sobre la operación de embalses estacionales para generación de energía eléctrica en Guatemala. Tesis de graduación de ingeniero civil, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Guatemala: 1987.
3. CHAPAPRÍA, Vicente Esteban. Y otros. **Levantamientos y seguimientos topo-batimétricos en ingeniería de costas**. Laboratorio de Puertos y Costas Valencia. Abril 1995.
4. CHOW, Ven Te. **Applied Hydrology**. Austin Texas: McGraw-hill International, 1987.
5. MOSSA Y NUÑEZ. Batimetría y estudio de colmatación del embalse. Cabra Corral Provincia de Salta, 2001.
6. ORGANIZACIÓN HIDROGRÁFICA INTERNACIONAL. *Manual de Hidrografía*. Mónaco, Bureau hidrográfico internacional, mayo 2005.
7. SANDOVAL, Juan José. Métodos para el cálculo del sedimento medido y su aplicación a la planta hidroeléctrica de Chixoy. Estudio especial de graduación, maestro en recursos hidráulicos, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Guatemala: 1991.
8. TRUJILLO REYES, Rafael Leonidas. Levantamientos batimétricos, Tesis de graduación de ingeniero civil, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Guatemala: 1985.

ANEXOS 1

**GEOREFERENCIACIÓN DE MONUMENTOS QUE REPRESENTAN LAS
SECCIONES TRANSVERSALES DEL EMBALSE PUEBLO VIEJO,
COORDENADAS UTM ZONA 15 WGS-84.**

RIO SALAMA									
No.	SECCION	IZQUIERDA			DERECHA			DE IZQUIERDA A DERECHA	
		X (ESTE)	Y (NORTE)	Z (ELEV.)	X (ESTE)	Y (NORTE)	Z (ELEV.)	AZIMUT	DISTANCIA (mts.)
1	1	768620.274	1688832.256	807.975	768993.859	1689175.457	807.885	227d25'38"	507.300
2	2	769076.676	1688696.901	808.531	769113.149	1689117.618	808.548	4d57'17"	422.295
3	3	769467.803	1688834.785	807.51	769640.538	1689111.779	807.630	31d56'52"	326.44
4	4	769479.677	1688727.009	808.551	769759.229	1688724.832	807.865	90d26'46"	279.561
5	5	769526.518	1688469.786	807.835	769258.898	1688509.146	807.827	98d22'0"	270.499
6	6	769414.036	1688177.197	807.857	769562.839	1688353.082	807.889	40d13'55"	230.387
7	7	769724.670	1687935.479	807.876	769797.157	1688195.604	807.817	15d34'16"	270.036
8	8	769831.461	1687909.359	807.816	770023.198	1688146.498	807.904	38d57'25"	304.956
9	9	770046.407	1687883.506	807.816	770258.543	1687994.376	807.858	62d24'24"	239.362
10	10	770142.382	1687610.714	807.957	770337.038	1687726.999	807.826	59d8'47"	226.745
11	11	770308.908	1687471.596	807.943	770455.592	1687622.006	807.973	44d16'53"	210.094
12	12	770673.582	1687418.446	807.804	770781.585	1687618.735	807.690	28d20'6"	227.553
13	13	770705.945	1687391.462	807.895	770919.673	1687467.344	807.882	70d27'11"	226.798
14	14	770607.679	1687103.100	807.913	770831.015	1687077.08	807.809	96d38'44"	224.846
15	15	770659.514	1686865.203	807.854	770864.793	1686855.558	807.818	92d41'24"	205.505
16	16	771127.306	1686515.183	807.836	771288.275	1686654.154	807.834	49d11'41"	212.659
17	22A	771126.370	1686495.203	807.934	771312.549	1686464.892	807.937	99d14'50"	188.631
18	17	770701.323	1685867.500	807.803	770884.801	1685852.832	807.936	94d34'15"	184.064
19	18	771138.311	1685227.698	808.064	771327.805	1685220.220	807.872	92d15'35"	189.641
20	19	771288.517	1684725.223	808.697	771409.84	1684619.918	808.002	130d57'26"	160.650
21	20	771639.523	1683546.256	807.933	771713.059	1683624.337	808.051	43d16'59"	107.258
22	21	772267.965	1683157.027	807.923	772379.7	1683201.461	807.944	68d18'49"	120.246
23	22	772345.195	1682892.882	808.249	772486.982	1682901.090	808.021	86d41'12"	142.025

RIO CHIXOY									
No.	SECCION	IZQUIERDA			DERECHA			DE IZQUIERDA A DERECHA	
		X (ESTE)	Y (NORTE)	Z (ELEV.)	X (ESTE)	Y (NORTE)	Z (ELEV.)	AZIMUT	DISTANCIA (mts.)
1	1	769620.292	1690826.109	818.654	769118.523	1690048.834	807.770	212d50'39"	925.164
2	2	769454.312	1690978.068	807.575	769060.303	1690088.713	807.820	203d53'41"	972.726
3	3	769262.341	1690826.280	807.818	769009.064	1690135.470	807.851	200d8'5"	735.777
4	4	769023.328	1690963.456	807.912	768939.938	1690164.003	807.782	185d57'18"	803.791
5	5	768722.108	1690712.178	807.689	768872.819	1690186.485	807.832	164d0'11"	546.870
6	5A	768316.982	1691113.484	807.745	768872.819	1690186.485	807.832	149d3'10"	1080.871
7	5B	768418.850	1690507.712	807.812	768872.819	1690186.485	807.832	125d16'59"	556.125
8	5C	768416.721	1690356.266	807.819	768872.819	1690186.485	807.832	110d25'4"	486.674
9	5D	768386.059	1690087.443	807.341	768872.819	1690186.485	807.832	78d29'56"	496.734
10	6	768531.886	1689818.731	807.747	769016.030	1689917.935	808.633	78d25'12"	494.203
11	7	768733.195	1689542.205	807.779	769099.936	1689744.500	807.750	61d7'8"	418.834
12	8	768704.267	1689495.178	807.774	769006.866	1689206.694	807.884	133d37'55"	418.078
13	9	768541.486	1689532.646	807.852	768520.035	1689152.598	807.777	183d13'50"	380.653
14	10	768185.453	1689485.870	807.883	768452.400	1689174.607	807.739	139d22'58"	410.055
15	11	768038.310	1689388.498	807.924	NO TIENE			209d5'0"	167.861
	11	767956.716	1689241.802	807.721					
16	12	767993.804	1689109.302	807.815	768352.770	1689055.182	807.794	98d34'25"	363.023
17	13	768024.107	1688982.649	807,841	768381.699	1688889.219	807.756	104d38'33"	369.596
18	14	767991.106	1688960.415	807,702	NO TIENE			230d2'24"	163.729
	14	767865.609	1688855.260	807,876					
19	15	767851.845	1688818.477	807,850	767920.144	1688470.525	807.798	168d53'41"	354.592
20	16	767455.999	1688860.457	807,877	767720.069	1688476.393	807.874	145d29'19"	466.088
21	17	767083.925	1688545.342	807,831	767408.392	1688425.526	807.839	110d16'4"	345.882
22	18	766998.537	1688329.163	807,831	767271.343	1688185.636	807.824	117d44'58"	308.258
23	19	766943.856	1688094.221	807,919	767190.489	1687949.072	808.131	120d28'40"	286.175
24	20	766875.641	1687591.132	807,945	767157.519	1687502.365	807.555	107d28'48"	295.525
25	21	766246.369	1687120.976	807,901	766480.094	1686957.236	807.930	125d0'49"	285.373
26	22	765915.342	1686450.658	807,868	766403.831	1686119.655	807.734	124d7'18"	590.072

27	23	765493.745	1686242.99	807,873	765824.703	1685992.688	807.902	127d6'0"	414.951
28	24	765458.956	1685664.441	808,051	765904.863	1685547.357	807.950	104d42'45"	461.023
29	25	765469.253	1685789.237	807,858	765734.267	1685122.877	807.840	104d3'29"	273.196
30	26	765099.868	1684543.701	807.987	765306.702	1684439.353	808.029	116d46'16"	231.665
31	27	765013.338	1684255.480	808.018	765172.904	1684155.990	808.088	121d56'37"	188.041
32	28	764805.201	1683954.147	807.945	764987.122	1683870.898	807.889	114d35'19"	200.066
33	29	764367.497	1683573.941	807.689	764508.410	1683380.532	807.691	143d55'26"	239.298
34	30	763661.125	1682999.162	807.984	763844.640	1682672.810	807.955	150d39'0"	374.410
35	31	763432.472	1683004.832	807.93	763399.100	1682805.699	807.944	189d30'49"	201.910
36	32	762401.243	1682723.784	807.908	762468.412	1682538.916	807.996	160d1'55"	196.692
37	33	761914.908	1682650.99	807.717	761856.497	1682472.130	808.025	198d5'9"	188.156
38	34	761071.516	1683262.054	807.87	760938.164	1683127.507	807.731	224d44'40"	189.435
39	35	760770.057	1683557.474	806.288	760668.064	1683372.583	807.913	208d52'58"	211.157
40	36	760338.601	1683667.44	807.937	760438.875	1683400.122	807.843	159d26'18"	285.506
41	37	759743.57	1683487.278	807.942	759868.816	1683276.797	807.863	149d14'43"	244.925
42	38	759572.786	1683410.292	808.099	759519.518	1683165.381	807.878	192d16'15"	250.636
43	39	758962.913	1683588.515	807.875	758855.569	1683368.519	807.904	206d0'34"	244.788
44	40	758546.720	1683916.929	808.053	758493.645	1683487.505	808.025	187d2'45"	432.692
45	41	758109.888	1683555.684	808.234	758331.474	1683360.422	807.855	131d23'12"	295.344
46	42A	757948.16	1683532.276	807.818	NO TIENE			202d3'11"	135.628
	42A	757897.236	1683406.571	807.751					
47	42B	758053.997	1683208.643	808.041	758231.265	1683164.786	808.028	103d53'46"	182.612
48	43	757989.791	1682950.579	807.921	758115.834	1682846.571	808.091	129d31'43"	163.415
49	44	757681.298	1682730.369	808.053	757818.628	1682643.956	807.497	122d10'46"	162.255
50	45	757707.438	1682210.099	808.215	757827.344	1682106.44	807.859	130d50'36"	158.501
51	45B	757371.353	1682012.131	808.086	757415.079	1681869.676	808.187	162d56'10"	149.015
52	46	757256.270	1681994.281	807.983	757255.144	1681863.960	807.866	180d29'43"	130.326
53	47	756892.068	1682504.230	805.725	756748.795	1682441.137	807.775	246d13'58"	156.55
54	47D	756591.431	1683087.128	808.011	756488.576	1682907.015	808.161	209d43'44"	207.413
55	48A	756203.529	1683158.16	808.333	756234.824	1682896.15	808.040	173d11'19"	263.872
56	49	755921.748	1683154.024	807.989	755905.116	1682907.948	807.972	183d52'0"	246.637

57	50	755486.752	1683000.253	807.77	755487.813	1682801.937	808.139	179d41'37"	198.318
58	51	754857.479	1682960.249	808.112	754771.689	1682718.992	807.998	199d34'30"	256.057
59	52	754537.496	1683147.932	808.088	754520.971	1682943.480	808.065	184d37'16"	205.119
60	53	754241.738	1683190.432	808.068	753995.171	1683156.605	808.507	262d11'18"	248.877

RIO CHICRUZ

SECCION	IZQUIERDA			DERECHA			DE IZQUIERDA A DERECHA	
	X (ESTE)	Y (NORTE)	Z (ELEV.)	X (ESTE)	Y (NORTE)	Z (ELEV.)	AZIMUT	DISTANCIA (mts.)
1	759560.747	1683119.063	808.104	759710.987	1683124.131	807.904	88d4'6"	150.325
2	759522.276	1682792.488	807.902	759683.562	1682787.978	808.101	91d36'7"	161.349
3	759592.421	1682341.901	807.821	759762.83	1682283.746	808.165	108d50'35"	180.059
4	759634.600	1681766.576	808.036	759778.288	1681837.170	808.140	63d50'6"	160.093
5	759870.398	1681249.497	807.992	760082.904	1681229.114	808.561	95d28'44"	213.481
6	759585.267	1680912.884	808.052	759660.032	1680831.624	808.066	137d23'1"	110.422
7	759321.341	1680723.674	808.027	759362.907	1680577.265	808.110	164d9'2"	152.194
8	758885.085	1680549.703	808.139	758925.87	1680394.991	808.333	165d13'54"	159.997
9	758529.16	1680672.928	808.031	758504.871	1680493.697	808.029	187d43'3"	180.869
10	758021.265	1680353.907	807.891	758115.773	1680244.948	808.068	139d3'45"	144.235
11	757748.468	1680345.769	807.966	757791.633	1680240.180	807.929	157d45'56"	114.071
12	757493.011	1680065.455	807.960	757483.769	1679988.862	808.004	186d52'48"	77.149
13	756911.554	1679959.414	808.037	756953.891	1679888.652	808.026	149d6'28"	82.460
14	756610.561	1679615.863	808.045	756692.196	1679592.176	808.036	106d10'50"	85.002
15	756568.398	1679167.622	815.142	756630.826	1679175.666	815.436	82d39'29"	62.944

RIO CARCHELA								
SECCION	IZQUIERDA			DERECHA			DE IZQUIERDA A DERECHA	
	X (ESTE)	Y (NORTE)	Z (ELEV.)	X (ESTE)	Y (NORTE)	Z (ELEV.)	AZIMUT	DISTANCIA
1	769176.972	1690008.623	807.857	769505.379	1690362.185	813.366	42d53'15"	482.553
2	769372.69	1689743.42	807.782	769520.838	1690137.134	807.784	20d37'14"	420.665
3	769408.154	1689596.859	807.785	769673.179	1690046.082	807.797	30d32'21"	521.574
4	769692.036	1689527.422	807.835	769715.756	1690018.31	807.905	2d45'59"	491.46
5	769756.217	1689491.738	807.907	769979.431	1689887.506	807.95	29d25'23"	454.375
6	770010.947	1689399.88	814.798	770069.136	1689800.647	807.873	8d15'41"	404.969
7	770138.962	1689402.198	810.282	770199.17	1689718.861	807.928	322.336	10d45'55"
8	770462.404	1689282.182	807.895	770328.004	1689774.882	807.958	344d44'31"	510.702
9	770567.991	1689398.219	807.847	770586.372	1689690.425	807.837	3d35'58"	292.783
10	770795.442	1689222.38	807.815	770782.174	1689574.591	807.826	357d50'34"	352.461
11	771060.533	1689286.268	807.895	770950.335	1689624.416	807.915	341d56'59"	355.651
12	771230.752	1689317.719	809.616	771216.606	1689671.979	807.982	357d42'48"	354.542
13	771365.845	1689352.795	811.913	771337.00	1689675.008	807.904	354d53'4"	323.501
14	771439.518	1689330.094	807.867	771491.180	1689667.005	807.923	8d43'4"	340.849
15	771587.504	1689288.12	826.001	771597.575	1689597.015	807.886	1d52'3"	309.06
16	771835.298	1689205.57	807.776	771827.401	1689575.632	808.024	358d46'39"	370.147
17	772032.399	1689263.153	807.9	772028.668	1689543.614	807.933	359d14'17"	280.485
18	772354.869	1689201.648	807.885	772314.09	1689494.762	811.327	352d4'47"	295.937
19	772655.209	1689294.597	807.865	772591.485	1689526.114	807.94	344d36'39"	240.127
20	772820.25	1689353.131	808.903	772748.102	1689512.946	807.981	335d42'12"	175.346
21	772982.496	1689553.437	808.077	772897.621	1689638.841	807.963	315d10'41"	120.406
22	773116.689	1689614.962	807.855	773130.134	1689728.245	807.895	6d46'7"	114.079
23	773346.789	1689586.039	807.956	773320.822	1689726.253	807.979	349d30'28"	142.598
24	773529.309	1689487.931	808.03	773584.136	1689510.98	808.009	67d11'55"	59.475
25	773744.21	1689298.746	807.873	773790.277	1689345.943	809.999	44d18'20"	65.953
26	773914.831	1689165.535	807.911	773923.238	168923.15	807.917	7d15'46"	66.499

RIO BLANCO								
SECCION	IZQUIERDA			DERECHA			DE IZQUIERDA A DERECHA	
	X (ESTE)	Y (NORTE)	Z (ELEV.)	X (ESTE)	Y (NORTE)	Z (ELEV.)	AZIMUT	DISTANCIA
1	760199.507	1683707.567	807.992	759952.387	1683683.073	807.954	264d20'22"	248.331
2	759944.596	1684107.444	808.154	759739.983	1684085.029	808.604	263d44'54"	205.837
3	759880.453	1684412.674	807.927	759813.865	1684285.130	808.102	207d34'5"	143.880
4	759390.620	1684573.074	807.940	759368.102	1684484.155	807.870	194d12'39"	91.726
5	758919.399	1684736.516	807.948	758923.181	1684592.701	807.983	178d29'37"	143.865
6	758583.840	1684899.241	807.946	758365.194	1684822.304	808.703	250d36'51"	231.787
7	758773.418	1685016.600	807.800	758776.698	1685081.045	808.211	2d54'50"	64.528