

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

**Estudio de soluciones para el control de
inundaciones del Río Pensativo**

**Trabajo de investigación presentado por Carmen Lorena García Mejía
para obtener el grado académico de
Licenciada en Ingeniería Civil**

**Guatemala
2006**

**Estudio de soluciones para el control de
inundaciones del Río Pensativo**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

**Estudio de soluciones para el control de
inundaciones del Río Pensativo**

**Trabajo de investigación presentado por Carmen Lorena García Mejía
para obtener el grado académico de
Licenciada en Ingeniería Civil**

**Guatemala
2006**

Vo.Bo.

**MSc. Ing. Mario Hernández
Asesor**

Tribunal Examinador

MSc. Ing. Mario Hernández

Ing. Alejandro Maldonado

Ing. Carlos De La Cerda

Fecha Aprobación

31 de Agosto de 2,006

ÍNDICE

	Páginas.
Lista de tablas.....	v
Lista de figuras.....	vi
Resumen.....	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	2
2.1 Descripción de la cuenca del Río Pensativo.....	2
2.2 Condiciones actuales del Río.....	4
III. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	9
IV. INFORMACIÓN HIDROLÓGICA DEL RÍO PENSATIVO.....	11
4.1 Tipo de suelos.....	11
4.2 Datos de precipitación de la cuenca.....	11
4.2.1 Precipitación media.....	11
4.2.2 Precipitación máxima en 24 horas.....	12
4.3 Estaciones metereológicas e hidrológicas.....	12
4.4 Régimen de caudales.....	14
V. PROPUESTAS DE SOLUCIÓN.....	15
5.1 Solución aplicada.....	15
5.1.1 Consideraciones de diseño.....	16
5.2 Solución propuesta No.1.....	16
5.2.1 Cálculos hidrológicos.....	17
5.3 Solución propuesta No.2.....	20
5.3.1 Diques de gavión para la prevención de inundaciones.....	21
5.3.2 Estructura.....	21
5.3.3 Materiales utilizados para la construcción de diques.....	22
5.3.3.1 Gaviones.....	22
5.3.3.2 Tipo utilizado.....	24
5.3.3.3 Proceso constructivo.....	25
5.3.3.4 Piedra.....	28
5.3.3.5 Concreto.....	29
5.3.4 Cálculo de diques.....	30
5.3.5 Cálculo hidráulico.....	30
5.3.6 Detalles y dibujos del dique.....	34
5.3.7 Detalles de medidas y especificaciones.....	34
5.3.8 Dibujos con las dimensiones de los diques.....	36
5.3.9 Medidas de mitigación.....	38
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	40
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	43

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Precipitación máxima en 24 horas.....	12
2. Detalle del funcionamiento de estaciones pluviométricas.....	13
3. Cálculo de crecida del río Pensativo.....	18
4. Cálculo de sección del canal del río Pensativo.....	19
5. Cálculo del vertedero y tirante de dique mínimo.....	20
6. Medidas de canastas disponibles.....	25
7. Cálculo del empuje.....	31
8. Chequeo al desplazamiento.....	32
9. Chequeo de seguridad al vuelco.....	32
10. Chequeo de tensiones transmitidas.....	33
11. Chequeo en secciones intermedias.....	33
12. Medidas del dique.....	34

LISTA DE FIGURAS

Figura.....	Página
1. Localización de la sub-cuenca del río Pensativo.....	3
2. Confluencia del río Pensativo con el río Guacalate.....	5
3. Cauce actual del río Pensativo.....	6
4. Canasto utilizado como gavión en la antigüedad.....	22
5. Canasta de malla utilizada como gavión actualmente.....	23
6. Técnica de armado de los gaviones rectangulares tipo caja.....	26 – 27
7. Armado de canasta en campo	27
8. Llenado de canastas con piedra.....	28
9. Cantera utilizada para piedra de relleno.....	29
10. Vista lateral del dique.....	37
11. Descripción de las partes del dique.....	38

RESUMEN

La construcción de diques de gavión, recubiertos de concreto en el río Pensativo, responde a la necesidad de hacer un manejo responsable del río; se hace especial énfasis en prevenir inundaciones, que pudieran afectar a la ciudad de Antigua Guatemala.

Un dique es una estructura fluvial transversal, es decir, que se construye perpendicular al flujo libre del agua, con el objeto de regular la pendiente y velocidad de la misma. En el proyecto del río Pensativo, éstos fueron construidos con gaviones y luego recubiertos de concreto. Se utilizaron gaviones, pues ya se tenía conocimiento del sistema constructivo, así como su economía y rapidez para ser montados. El recubrimiento de concreto se utilizó para evitar la erosión del dique y prolongar su vida útil.

Los diques, en sí, son parte de un sistema que se comenzó a implementar en el río en 1996, pues en este año se inundó la calle Chipilapa, localizada a orillas del río. Este hecho motivo la búsqueda de soluciones al problema presentado por el río Pensativo para la ciudad. Desde ese año, se han realizado trabajos que buscan regular el río, con el fin de evitar catástrofes que pudieran dañar el patrimonio de la ciudad.

Es por esto que, luego de acumular experiencia y tener oportunidad de evaluar el comportamiento del río, se implementó el sistema de diques en el año 1999; el sistema sigue funcionando a la fecha y no se han reportado inundaciones, para validar su implementación.

I. INTRODUCCIÓN

La Ciudad de Antigua Guatemala, cabecera del departamento de Sacatepéquez, es patrimonio histórico de la humanidad; protegerla es un reto. Dentro de las amenazas a las que esta ciudad está expuesta, están los desbordes y consecuentes inundaciones provocadas por el río Pensativo, el cual en la época de estiaje no conduce ningún caudal, pero en invierno se desborda e inunda la ciudad.

Las opciones seleccionadas provienen de la experiencia de muchos profesionales y han sido aplicadas por su eficiencia. La construcción de muros de gavión para el control de inundaciones es la aplicación de la ingeniería, realizada en el río desde 1997, con resultados positivos por lo que no se han reportado daños por inundaciones a la fecha.

El río Pensativo, colindante a la ciudad de Antigua Guatemala, presenta la oportunidad de poderlo tratar como manejo de ríos; por la importancia turística de la ciudad y la vida de las personas, se hace necesario protegerla de las inundaciones producidas por éste. La necesidad de mitigar este problema provocó que las autoridades del gobierno central, a través de la Dirección General de Caminos y la Unidad Ejecutora de Conservación Vial, destinaran recursos para resolverlo.

El sistema constructivo en alguno de los casos no requiere de maquinaria ni mano de obra especializada; el tiempo de ejecución es corto y aprovecha materiales locales que fácilmente se localizan en los mismos ríos en los que se trabaja.

Esta opción simplificada presenta una solución que puede ser aplicada en otros ríos del país que presenten amenaza de inundación; por este motivo se pretende documentar la experiencia, para que pueda ser adaptada para solucionar problemas de inundaciones.

II. ANTECEDENTES

Es indudable la importancia de la ciudad de Antigua Guatemala y la relación con el río Pensativo es histórica. En un principio, se buscó la cercanía de la ciudad a un cuerpo de agua para utilizarlo como abasto y cualquier otro fin concebido por los planificadores.

El caso es que históricamente las inundaciones han afectado la ciudad desde su fundación en el año 1543, sin embargo, se encuentran datos de inundaciones de importancia hasta el año 1884, pues hasta ese año aparecen fuentes formales, que pueden consultarse acerca del fenómeno.

De los efectos de las mismas, se encuentran registros con datos de pérdida de bienes y la ruina de áreas de producción agrícola, crianza de aves y ganado, así como de inundaciones en el casco urbano e incluso las aguas llegaron hasta el portal de comercio en el parque central.

Así se registran los años siguientes, como años en los que han habido inundaciones de importancia: 1884, 1887, 1896, 1898, 1929, 1933, 1944, 1950, 1951, 1953, 1969, 1979, 1985, 1986; la última de importancia en 1996. A raíz de esta última, se realizaron trabajos y se comenzaron a invertir recursos para proteger la ciudad y sus habitantes de este fenómeno.

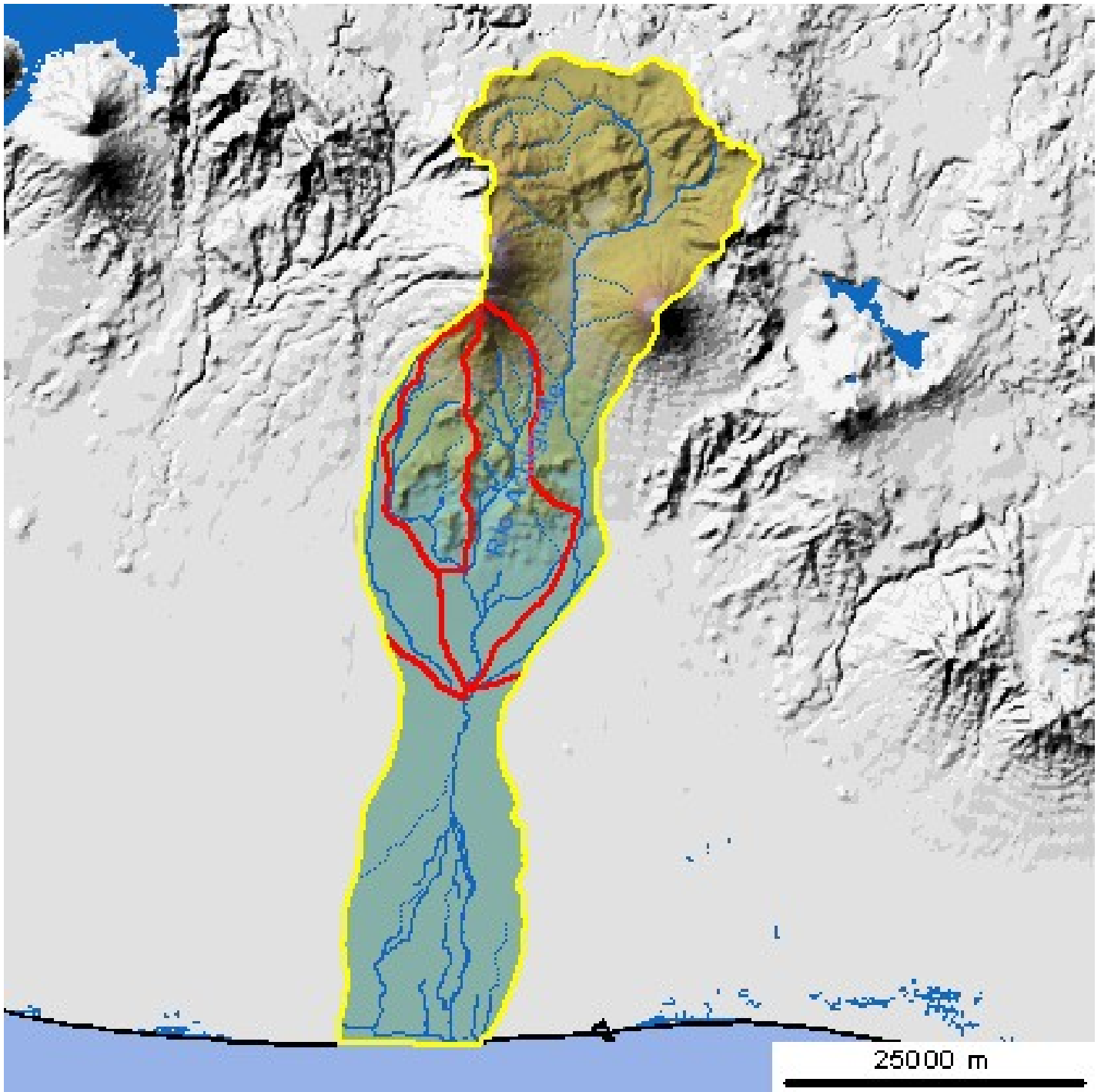
Hasta el año 1773 el río pasaba por un túnel debajo de Antigua Guatemala, antes de esa fecha no se registraban inundaciones. En ese mismo año el río se desvió alrededor de Antigua, porque el túnel se destruyó con el terremoto.

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA DEL RIO PENSATIVO

La subcuenca del río Pensativo está circunscrita a la parte de la subcuenca del Alto Guacalate, que a su vez es parte de la cuenca del Achiguate, la subcuenca se encuentra localizada entre los meridianos $90^{\circ} 45' 48''$ y $90^{\circ} 39' 39''$ de longitud oeste y los paralelos $14^{\circ} 27' 53''$ y $14^{\circ} 36' 29''$ de latitud norte, en la vertiente del Océano Pacífico. Al norte limita con la cuenca del río Motagua, al oeste con las cuencas del río Coyolate y Acomé y al este con la cuenca del río María Linda. Ver figura No.1

Figura No.1

LOCALIZACIÓN DE LA SUB-CUENCA DEL RÍO PENSATIVO



La subcuenca del río Pensativo cuenta con 77.39 kilómetros cuadrados hasta su confluencia con el río Guacalate. Como se puede observar en la figura No.2 el río pasa justamente en la entrada de Antigua Guatemala y bordea la ciudad. Hasta este punto el área tributaria de la cuenca es de aproximadamente 28 kilómetros cuadrados.

Cubre los municipios de: Ciudad Vieja, Santa María de Jesús, Antigua Guatemala, Santa Lucía Milpas Altas y Magdalena Milpas Altas. El área plana de la cuenca es el 19.51%, la diferencia de elevación entre la parte mas alta de la divisoria de la cuenca y su salida es de 920m; la longitud de la corriente es de 7.79 kilómetros, 10 kilómetros de los afluentes principales (Santa Maria y Santa Ana), la precipitación en la cuenca en promedio varia de 860 a 1160 mm, las mayores precipitaciones se presentan generalmente en los meses de junio y septiembre (300.1 y 231.2 mm respectivamente, registro de 10 años y 19 días de lluvia). El volumen precipitado en la cuenca el promedio anualmente es de 31,811,000 metros cúbicos; los valores medio mensuales mayores son: junio (67.6 l/s), julio (41.4 l/s) y septiembre (3.0 l/s). El caudal medio anual es de 17.85 l/s.

El nivel de la Antigua Guatemala se encuentra más abajo que el lecho del río Pensativo. La crecida máxima registrada de 15 a 25 años de período de recurrencia fue de 60 metros cúbicos por segundo, los puentes únicamente permiten el paso del 30% al 40% del volumen de la crecida máxima.

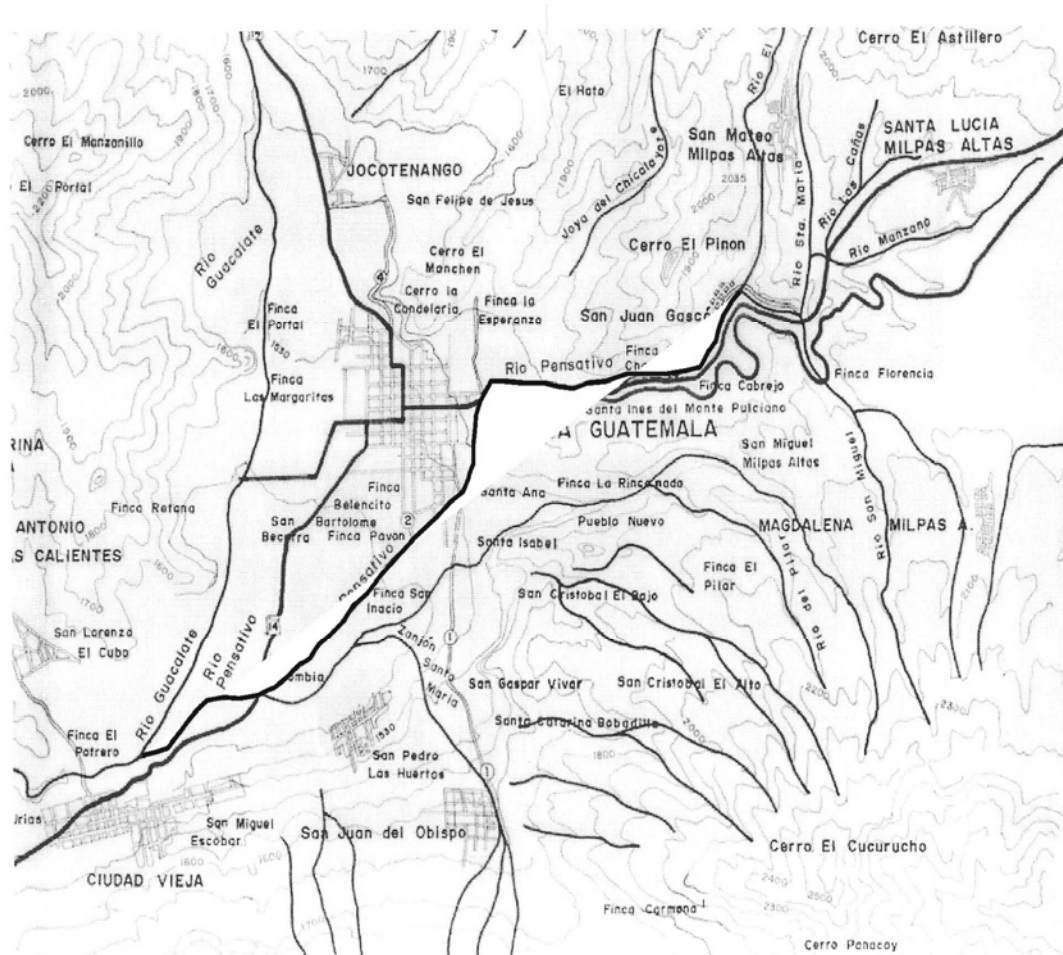
Dentro de los datos morfométricos de la cuenca del río Pensativo, la elevación máxima es de 2,480 msnm, mientras que la elevación mínima es de 1,547.50. La forma de la cuenca es alargada y en general la topografía es abrupta. Después de la ciudad de Antigua la pendiente del cauce principal se reduce, sin embargo, los tributarios descienden de las faldas del volcán de agua con fuertes pendientes. De acuerdo al levantamiento topográfico realizado en junio/julio del año 2000. El cauce principal tiene cuatro zonas con pendientes medias muy diferentes.

Parte baja (Confluencia 0-3040m)	0.0057 m/m
Parte media (Alrededores de la Antigua 3040-5040)	0.0112 m/m
Parte alta (entre Antigua y San Juan Gascón 5040-8040)	0.0358 m/m

2.2 CONDICIONES ACTUALES DEL RÍO

El Pensativo es un río aluvial, que forma parte de la cuenca del río Guacalate; a su vez la subcuenca del río pensativo es hidrográficamente formada por los ríos: Santa María, Manzano, San Miguel, Las Cañas, El Sauce, Joya del Chilacayote y Zanjón Santa María.

Figura No.2



El río Pensativo nace con el nombre de río Las Cañas y en sólo 7.79 kilómetros de longitud, distancia que recorre desde su nacimiento hasta el puente de ingreso a Antigua, desciende 592.50 metros. La longitud total del río hasta su desembocadura en el río Guacalate es de 13.29 kilómetros y su pendiente media es del 6%.

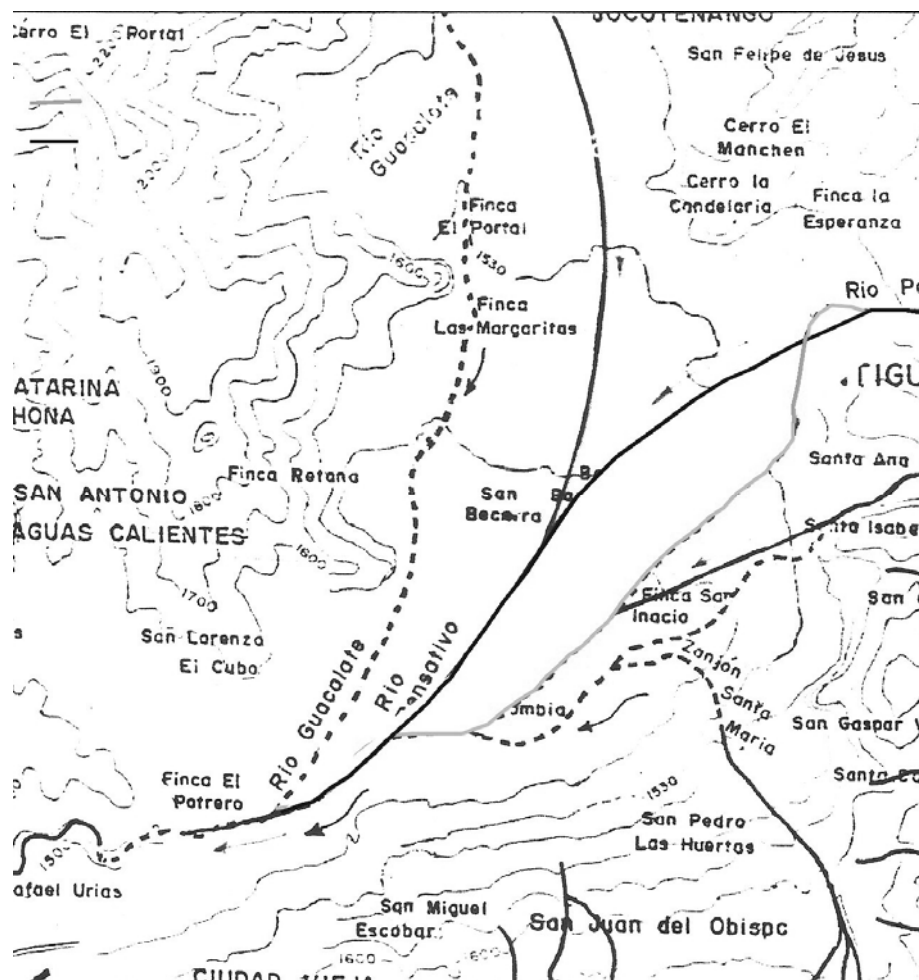
El río, aunque tiene un caudal pequeño, constituye un peligro y, causa a menudo problemas, especialmente a la ciudad de Antigua Guatemala en la época lluviosa.

Se puede dividir la subcuenca en tres partes: Alta, Media y Baja. En la parte alta, se recolecta el agua de los montes que rodean el valle; en la parte media, se

da la mayor sedimentación; en esta parte, se encuentra la ciudad; en la parte baja, se pasa por algunas fincas y se da la confluencia con el Guacalate.

La intervención humana del Pensativo se ha dado desde la fundación de la ciudad. Para ocupar el valle de Panchoy, se desvió el río por un túnel que pasaba por debajo de la ciudad, hasta que en 1773 colapsara a causa de los terremotos de Santa Marta; al ser imposible reparar el túnel, los habitantes desviaron artificialmente el río a su cauce actual, bordeando la ciudad. Esto representa un problema, a lo que debe sumarse que el cauce escogido para el río tiene una altura de entre 2.00 y 2.50 metros sobre el nivel de las casas de la ciudad (véase figura 3).

Figura No.3



Otro factor que se debe considerar es que no ha existido una planificación urbana y un ordenamiento territorial por parte de las autoridades municipales, por tales razones la ciudad ha terminado por absorber al río. Esto ha significado la

construcción de puentes sobre el cauce; esto no significa que sea contraproducente la construcción de los mismos (17 puentes sólo en el área de la ciudad). Todos son de dimensiones reducidas, lo que ocasiona remansos y sedimentación adicional, lo cual constriñe el cauce y si a esto le sumamos la falta de educación ambiental de la población (vertido de desechos sólidos y descargas de aguas residuales en el cauce) aumentan las posibilidades de una obstrucción total del mismo y, por consiguiente, el desbordamiento del río. También se ha limitado la posibilidad de aumentar el tamaño del cauce debido a la construcción de viviendas y darle un mejor tratamiento al río.

No se debe olvidar el asolvamiento por la sedimentación, que no es más que el depósito de material en la parte media del cauce del Pensativo, pues en esta hay menor pendiente y, por lo tanto, una disminución en la velocidad del flujo, lo cual permite la sedimentación de las partículas arrastradas por el río. Esto va de la mano con el tipo de formación geológica del valle de Panchoy. Realmente puede seguirse la línea de la morfología del río, sin embargo, ésta en sí misma es un estudio extenso, por lo que sólo se expondrán los elementos de mayor relevancia.

- Primero: el patrón de drenaje, seguido por el Pensativo es dendrítico, es decir, que lo recoge con brazos muy pequeños en las partes altas y lo conduce en su cauce principal. Esto es importante, pues gran parte del agua es recolectada antes de entrar a la ciudad; aun así, otros afluentes tienen su confluencia con el Pensativo en la parte baja.
- Segundo: la geología de la superficie, ya que en el cauce del Pensativo se encuentra mucha presencia de arena y de suelo poco cohesivo; esto es de suma importancia, pues el suelo poco cohesivo es fácilmente erosionado y transportado aguas abajo.
- Tercero: el tipo de roca del lecho; en este caso, sí existe pero está muy dispersa, lo que permite una mayor erosión del lecho y arrastre de material.
- Cuarto: el uso de la tierra, pues se tiene que el Pensativo recibe una fuerte cantidad de material por la modificación del uso del suelo. Los cultivos en San Mateo y Santa Lucía Milpas Altas y el aporte de los taludes de las carreteras, son las fuentes de material más grandes.

- Quinto: la vegetación de la cuenca; la presencia de vegetación evita la erosión, y de nuevo el uso y la transformación en la vocación del suelo contribuyen a la sedimentación.

Estos cinco factores se utilizarán para evaluar las fuentes de sedimento, que luego el río debe de transportar.

El Pensativo no transporta actualmente gran cantidad de agua durante la época de estiaje, y por la misma formación geológica del valle la infiltración, se encarga del agua, de igual manera, a la altura de la finca la Chácara, en la entrada de la ciudad, se embalsa el agua y esta es utilizada para el riego de cultivos. Únicamente aguas abajo, luego del puente Arroyave, se encuentra algún flujo en el cauce. Sin embargo, durante la época lluviosa, se conduce toda la escorrentía y el río se transforma en una fuerza incontrolable que busca drenar el valle. Esto afecta, pues una vez se satura el suelo y la infiltración es imposible; el río pasa de no llevar agua hasta llevar 50 m^3 , y esto sólo en la tercera o cuarta lluvia fuerte en la región.

Por estas razones el Pensativo se vuelve un río muy caudaloso en invierno, que ha sido absorbido por una ciudad y le ha reducido el cauce para fluir con libertad, con la gran cantidad de sedimento que arrastra le sube el nivel al cauce y la gran cantidad de puentes pequeños, en los que puede formarse un tapón y por si fuera poco, el cauce se encuentra hasta 2.5 metros por encima del nivel de la ciudad. Eso deja un río propenso a ocasionar desastres naturales por desbordamientos, que pueden ser desastrosos para la ciudad de la Antigua Guatemala.

III. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El problema se da con la intervención humana, que consiste en la modificación en el uso del suelo, como es el caso de los cultivos sin las técnicas adecuadas de protección, deforestación, incremento de áreas impermeables. Con esta intervención, se utilizan áreas que pertenecían al río, lo que ha provocado el confinamiento para permitir el desarrollo de dichas áreas.

Los problemas de inundación en la ciudad de Antigua Guatemala datan de la época colonial, y la razón principal es que la ciudad se encuentra localizada en lo que es el cauce natural del río Pensativo. Si se analiza la morfología del valle donde está asentada la población, se puede observar que el aluvión ha sido formado esencialmente por materiales arrastrados por el río Guacalate y el río Pensativo, que se desplazan en la zona para ajustar naturalmente los desbalances que se producen en el cauce.

Una inundación consiste en la presencia de cantidades masivas de agua en áreas no destinadas para el tránsito de la misma. Las inundaciones ponen en riesgo la vida de las personas, que viven en áreas inundables y sus bienes, además de dañar áreas de producción agrícola y de crianza avícola y ganadera. Aunado a estos factores, en el caso de La Antigua Guatemala, pesa que los bienes inmuebles son patrimonio de la humanidad, los cuales deben ser protegidos y conservados.

Hasta 1773, el río Pensativo cruzaba por medio de un túnel debajo de Antigua, después del terremoto de ese año, el mismo se derrumbó por lo que se tuvo que desviar artificialmente al río alrededor de la ciudad. Curiosamente no se tienen antecedentes de inundaciones antes del año 1773, aunque no se descarta que en un estudio histórico más profundo se encontrara alguna mención que el túnel haya sido insuficiente, la otra posibilidad es que el área inundada no fuese urbana todavía, por lo que no era importante mencionar.

Con el desarrollo de la zona, tanto urbana como agrícola, el accionar del río y su desplazamiento en la zona aluvial fue cada vez más limitada. La sedimentación en el canal ocasionó que el nivel del lecho del río quedará más alto que la propia ciudad, aumentando las probabilidades de inundación con cada crecida del río.

Infinidad de acciones se han venido realizando para resolver el problema de las inundaciones, desde dinamitar rocas que interrumpían el flujo del cauce (1976) hasta programas de dragado, pasando por protección de márgenes, programas de manejo de cuencas etc. Los dragados no fueron efectivos durante mucho tiempo, porque el material se colocaba a la orilla del río y al llover volvía a ser depositado en el cauce.

Los problemas de inundación se deben al forzar el cambio del cauce del río alrededor de Antigua sin estudios hidrológicos y un canal adecuado para la evacuación de crecidas, por lo que el problema se convierte técnicamente en un problema de diseño hidráulico que se puede definir en los siguientes puntos:

- La pendiente del valle de Antigua es prácticamente nula, comparada con la del cauce previo al llegar al valle, por lo que la zona tiende a ser un depósito donde el material arrastrado por el río se sedimenta.
- Algunas de las obras de ingeniería dentro de la cuenca y en el mismo canal no han sido diseñadas pensando en su comportamiento hidráulico, sino basados en otros criterios de ingeniería o economía. Especialmente graves se encuentran los puentes que cruzan el canal en diferentes puntos de la ciudad. En general, todos tienen dimensiones reducidas, que ocasionan remansos y sedimentación adicional en el cauce, reduciendo su capacidad hidráulica. El de la entrada a Antigua (Matazanos) le cambia la dirección al flujo dos veces, produciendo remolinos y remansos indeseables en una crecida, que se desea evacuar rápidamente.
- La sedimentación depende de las fuentes de sedimentos, de las cuales las dos principales son los taludes de las carreteras, cuyo material erosionado llega por los drenajes y cunetas hasta el río Pensativo y sus afluentes. Otra fuente de sedimentos son a causa de los cultivos anuales de las zonas de San Mateo y Santa Lucía Milpas Altas.
- Las secciones del cauce del canal y las pendientes que en muchos puntos, se reducen considerablemente, especialmente por el crecimiento urbano. Existen áreas en donde no es posible ampliar la sección del canal, por lo que sería necesario incrementar la sección profundizando el canal, sin embargo, la pendiente natural ya no permite realizar muchos cambios.

IV. INFORMACIÓN HIDROLÓGICA DEL RÍO PENSATIVO

4.1 Tipo de suelos

La parte alta de la subcuenca del río Pensativo está constituida principalmente por sedimentos piroclásticos, que incluyen conglomerados arsénicos, pomáceas tobas y lahares, piroclásticos aéreos y rocas volcánicas basálticas.

Un aluvión que se inicia a formar a la altura de San Juan Gascón rodea al río Pensativo desde este punto hasta su desembocadura. La falda del volcán de Agua está formada por tephras sobreyaciendo rocas volcánicas.

Existe una zona de rocas volcánicas no diferenciadas en la zona este de la subcuenca y dos pequeñas zonas de rocas riolíticas vítreas. El aluvión tiene una gran infiltración, lo que explicaría la razón por la que el cauce del río Pensativo se mantiene seco la mayor parte del tiempo.

4.2 Datos de precipitación en la cuenca

La precipitación, en general, se distribuye aumentando de sur a norte hasta la altura de la estación Florencia (ver figura No.5). Esto parece indicar que las tormentas del tipo orográfico que se presentan en el área provienen principalmente del sur, verificándose una especie de efecto de Fohen a muy pequeña escala debido al volcán de Agua que hace una especie de sombra a la parte sur de la cuenca.

Existen también lluvias convectivas de intensidad variable y efecto muy localizado se ha constatado no solo por la viabilidad de los registros diarios que presentan una cantidad determinada de lluvia en una estación mientras en otra no se registro nada, sino también por inspecciones de campo al área de estudio donde se presentan fuertes aguaceros en algunas partes de la cuenca mientras otras no se ven afectadas.

4.2.1 Precipitación Media. La precipitación media anual es de mil veinticuatro punto cincuenta y ocho (1024.58 mm.). La cual se determinó por medio de isoyetas. Para el cálculo de la isoyetas se emplearon las estaciones indicadas en la tabla No.1 con excepción de la estación Carmona que presentaba datos excesivamente altos en medias anuales, pero no pudieron verificarse los datos diarios por lo que se decidió eliminarla. La estación Jardín Mil Flores fue utilizada únicamente para ayudar a complementar las isoyetas aunque se encuentra algo alejada del área de estudio.

4.2.2 Precipitación máxima en 24 horas. La precipitación máxima en veinticuatro (24) horas se obtuvo por dos métodos diferentes. El primero en base a un estudio del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrológica –INSIVUMEH-. Para toda la República y el otro en base a la proyección de la lluvia diaria de las estaciones El Potrero, Antigua y Florencia.

La lluvia diaria se multiplicó por un factor de 1.13; obtenido y usado en múltiples estudios para convertirla a máxima en veinticuatro horas. Luego se plotearon y trazaron curvas de probabilidad de precipitación.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla No.1

TABLA No.1
Lluvia máxima en 24 horas

Periodo de retorno en años	Método No.1 mm.	Método No.2 mm.
2	100	55.1
5	125	80.2
10	150	105.2
25	175	130.9

4.3 Estaciones meteorológicas e hidrológicas

Se recolectaron todos los datos disponibles en esta disciplina para el área de estudio. Varias estaciones de tipo pluviométrico han funcionado en diversos períodos de tiempo en la cuenca y sus alrededores, todas ellas se detallan en la tabla No.3. Una estación hidrométrica en las inmediaciones de San Juan Gascón ha funcionado irregularmente con los nombres de estación Cabrejo y estación San Juan Gascón.

Existe información hidrológica de tres estaciones ubicadas en la cuenca del río Guacalate; Alotenango, San Luís las Carretas y San Juan Gascón. La primera con un registro de quince (15) años, pero con información limnigráfica solo de 11 años. La segunda solo con seis (6) años de registro pero con registro limnigráfico confiable de 3 años, y la última sobre el cauce del río Pensativo con tan sólo 2 años de registro y dejó de funcionar en el año 1983.

TABLA No.2

Clave	Estación	Latitud	Longitud	Elevación
06.02.03 *	Jardín mil Flores	14° 28´ 12"	90° 37´ 45"	1189.00
16.01.01 *	Antigua	14° 33´ 30"	90° 44´ 00"	1530.00
16.01.02 **	Carmona	14° 31´ 00"	90° 43´ 00"	1680.00
16.01.03 **	Retana	14° 33´ 00"	90° 45´ 00"	1530.00
16.02.01 *	El Potrero	14° 31´ 40"	90° 46´ 00"	1518.00
16.02.02 **	Volcán de Agua	14° 29´ 53"	90° 45´ 27"	1980.00
16.07.01 **	El Rejón	14° 37´ 04"	90° 43´ 15"	2240.00
16.12.05 **	Michigan	14° 30´ 44"	90° 48´ 16"	1440.00
16.14.01 **	Florencia	14° 33´ 20"	90° 41´ 00"	1980.00
16.14.02 **	San Joaquín	14° 33´ 20"	90° 40´ 00"	1980.00
16.14.03 **	Sta. Teresa I	14° 34´ 22"	90° 40´ 23"	1979.00
16.14.04 **	Sta. Teresa II	14° 34´ 15"	90° 40´ 14"	1970.00

(*) Funcionando

(**) No Funcionando

4.4 Régimen de caudales

La estación hidrométrica San Juan Gascón estaba localizada en los $14^{\circ}33'39''$ latitud norte y $90^{\circ}42'15''$ longitud oeste. La estación funciono de mayo de 1981 a abril de 1982. el caudal medio es de 17.9 lts/seg. para un área de drenaje de 21.33 kilómetros cuadrados. La estación fue destruida en una crecida en el año de 1982. Anteriormente existía la estación Cabrejo aproximadamente en el mismo lugar, sin embargo no se pudo encontrar información alguna de caudales en ningún archivo.

Es importante hacer notar que el caudal es prácticamente 0 a la altura del puente Matazanos en la entrada de Antigua Guatemala.

Por ello las crecidas normalmente se presentan, cuando el subsuelo se encuentra saturado y una lluvia de gran magnitud se presenta, por lo que la mayor parte de la escorrentía corre por el cauce.

V. PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

5.1 Solución aplicada

El río ha sido previamente intervenido y ha hecho que en el verano conduzca muy poco o ningún caudal que puede dar la oportunidad de trabajar en el cauce y diseñar soluciones adecuadas.

Para empezar, se sabe la importancia de la ciudad de La Antigua Guatemala; esta importancia es porque a medida que la ciudad ha crecido y se ha enriquecido, la tierra dentro de la misma se vuelve muy valiosa. De esta cuenta, el terreno que sirve al río, que está dentro de la ciudad, toma valor comercial y se restringe lo más posible al cuerpo de agua, para poder explotar la tierra como un bien raíz.

Lo difícil de esto es que actualmente las soluciones hidráulicas requieren de espacio, ante todo el diseño de cauces en dos fases: una pequeña en el centro, que permite al caudal normal circular y una más extensa en los laterales que permite a las crecidas conducirse sin problema. Como se puede inferir esto, en el caso del Pensativo.

De estudios hidrológicos de la cuenca del Pensativo, se determinaron los valores para una crecida máxima con un período de recurrencia de 25 años. Este valor de diseño es de 60 m^3 , pero por el mismo motivo de insuficiencia de espacio en ciertos lugares, sólo es posible encauzar 20 m^3 .

Además de esto, hay que enfrentar el problema económico, que por vivir en un país en vías de desarrollo y destinar recursos de las carteras de comunicaciones, para tratar un río año con año, no siempre es una prioridad.

Así se tiene que es un río propenso a desbordarse, con limitaciones, de poco presupuesto, de espacio para diseñar un canal adecuado y con una ciudad patrimonio de la humanidad con 41,097 habitantes, a los cuales se debe proteger de una inundación.

5.1.1 Consideraciones de diseño. Para el diseño se determinaron secciones típicas del canal para cada una de las tres pendientes identificadas, tratando de que tengan la capacidad de desfogar como mínimo $20 \text{ m}^3/\text{s}$, pero dejando donde sea posible secciones mas amplias para almacenar agua y sedimento durante las crecidas. Especialmente considerando que los puentes estarán creando remansos durante todo el recorrido, en la zona mas baja, después de Antigua, el cual se deberá ampliar para $60 \text{ m}^3/\text{s}$ para lograr un buen desfogue en la confluencia.

Una de las limitantes en este proceso son los tramos en la zona urbana de Antigua, donde hay poco margen para ampliarla sección mas allá de donde los limites actuales existen. El otro son las limitaciones presupuestarias, por lo que el diseño se concentrará en los puntos más críticos, pero sin perder de vista un diseño integral a futuro que resuelva el problema definitivamente.

Con base a las crecidas, se obtuvieron tres secciones típicas, las secciones altas y media tienen como mínimo tres metros de ancho, esto es por las limitaciones de espacio en la zona de San Juan Gascón y Antigua. En todas las secciones se optó por una sección rectangular, pues existen limitaciones de espacio en la mayoría de los puntos.

Una borda es la estructura lateral, que se encarga de confinar al río dentro de su cauce; el problema con esta práctica es que una vez colocado el material en la borda era fácilmente erosionado durante una crecida, y de nuevo pasaba a formar parte del material de sedimento que origina el problema.

5.2 Solución propuesta No.1

Al aplicar esta solución, se hizo evidente cuán oneroso resultaba mantener un río, en especial, dragar el río, en diferentes partes, muchas veces al año. Esto se solucionó con la construcción de un desarenador en la entrada de la ciudad, justo antes del puente Matazano. Esta estructura tiene la capacidad de almacenar $1,000 \text{ m}^3$ de material de sedimento, práctica que define el almacenamiento de material en un mismo lugar, que hace más efectiva la utilización de recursos.

El proyecto consiste en ajustar las secciones típicas lo mas cercano posible en cada uno de los sectores. Sin embargo, no en todos ellos se logrará. Se ha decidido mantener el desarenador, con tres objetivos principales:

- Determinar el volumen de sedimentos que transporta el río
- Contar con un área que mitigue el efecto de remanso producido por el puente Matazanos, sirviendo de almacenamiento de agua y sedimentos.
- Mantener la pendiente del tramo anterior del cauce hasta que no se hagan otras modificaciones.

Esto implica dragar aproximadamente $(700 * 7 * 3)$ 16800 m³ del desarenador. Se estima que tendrán que excavarse otros 3200 m³ en diferentes puntos para lograr las secciones requeridas del canal y colocar muros de gaviones o concreto ciclópeo 570 m³. Se demolerá parte del muro construido en el cauce (400 m³) y se reconstruirá con gaviones pero siguiendo el curso original.

En por lo menos cuatro de los puentes se construirán muros para conducir el flujo con un ángulo apropiado hacia la sección del puente para reducir el coeficiente de contracción. Se estima 20 metros aguas arriba y 10 aguas abajo a ambos lados de cada puente, lo que implica 60 m² en cada puente, en tres de los puentes por lo limitado del espacio se usaran muros de concreto ciclópeo y en un puente muros de gavión.

Se opta originalmente por trabajar en los puentes San Juan Gascón, Pavón, El Rastro y San Ignacio. Sin embargo, se podrán hacer cambios en el caso de no lograr los permisos de acceso o tener problemas con los vecinos.

Además, se debe definir el ancho del cauce haciendo las bordas con gaviones; esto le provee de una mayor estabilidad a los laterales del río, pero confina al flujo de agua a una sección definida.

Otra línea de acción sería modificar la pendiente de la parte media del cauce, tratando de aumentarla hasta el 2%; esto con el fin de aumentar la velocidad al flujo y tratar de evitar la sedimentación en esta parte. Esto se realizará construyendo guarda niveles y protegiendo los pies de los puentes.

El siguiente paso en la solución será destinar la inversión, pues debe seguirse dando mantenimiento al cauce con dragado, continuar la obra longitudinal y construir los diques.

5.2.1 Cálculos hidrológicos. Este inciso describe dos tipos de datos y no se realizan los cálculos propiamente; solamente se ilustra el procedimiento de obtención de datos a lo largo del proyecto. La parte hidrológica se refiere al estudio y datos recolectados sobre el comportamiento del río y los volúmenes de agua, que se espera que conduzca. La parte hidráulica se refiere al comportamiento de la estructura, al someterse al paso del volumen de agua descrito anteriormente. Es importante definir ambos conceptos, pues a partir de ellos se diseña el muro en la sección mínima para conducir el caudal.

El cuadro siguiente presenta los datos del cálculo para una crecida en el río; esta información únicamente se presenta como referencia, pues es propiedad de su autor.

TABLA 3. Cálculo de crecida del río Pensativo.

CÁLCULO DE CRECIDA RÍO PENSATIVO			
Aplicación del método racional $Q=ciA/360$			
Q:	m ³ /seg		
c:	Coeficiente de escorrentía		
I:	intensidad de lluvia en mm/hora		
A:	Área de la cuenca en hectáreas		
Intensidad de lluvia I: $a/(t+b)$			
Para la zona pacífico			
Para 50 años	a:	7477.5	b: 40.9
Para 20 años	a:	6889.1	b: 39.5
t=tiempo de concentración: $((.886*L^3)/H)^.385$			
L:	7.79	Km	
H superior:	920	m snm	
H inferior:	0	m snm	
Delta H:	920	m	
t:	0.739	horas	44.32 minutos
Pendiente Promedio Por JF Morales 11.81 %			
I_{50}	87.75	mm/hora	I_{20} 82.19 mm/hora
Coeficiente de escorrentía	c	a(area %)	cx
Techos	0.70	7	4.90
Pavimentos de piedra y ladrillo	0.75	3	2.25
Bosque y tierra cultivada	0.01	90	0.9
	Suma	100	8.05
		C: (suma de cx)	0.08
Área estimada	Punto más bajo: en coordenadas UTM		
	743.6 Este		1608.2 Norte
Del informe de TES	29.12 Km ² 2,912.00 hectáreas		
Caudal 50 años	57.14 m³/seg		
Caudal 20 años	53.52 m³/seg		

Fuente: Ing. César Augusto Reyes **Hoja electrónica para cálculo de crecida**

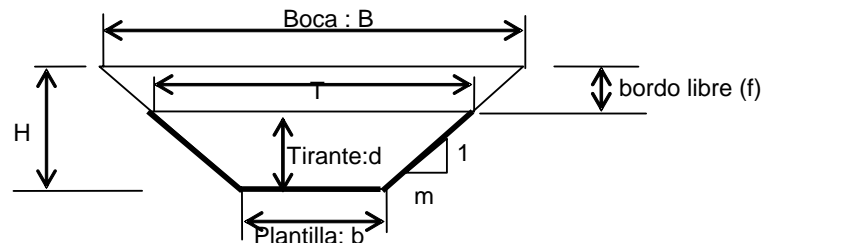
El cálculo de la geometría y velocidad mínima del canal se presenta únicamente como referencia, pues es propiedad de su autor.

TABLA 4. Cálculo de sección de canal río Pensativo

CÁLCULO DE LA SECCIÓN DE UN CANAL

Programó CARM, 6/2/99

GEOMETRÍA



Area (A): $bd+md^2$

Radio hidráulico: $R=A/P$

Si el canal es rectangular $m=0$

Perímetro (P): $b+2d(m^2+1)^{1/2}$

Ancho superior (T): $b+2md$

Datos de entrada	
b:	6 m
m:	1
d:	1.23 m
H:	5.00 m

d: Se supone y luego se corrige

T:	8.46 m
A:	8.89 m ²
P:	9.48 m
R:	0.94 m
f:	3.77 m
B:	16.00

HIDRÁULICA

$Q=A \cdot V$ m³/seg

$V=(R^{2/3}S^{1/2})/n$

Datos de entrada	
(Pendiente) S:	20.00 por mil
(Rugosidad) n:	0.02 tierra lisa

igual a: 2%

V:	6.78 m/seg
Q:	60.26 m ³ /seg

Fuente: Ing. César Augusto Reyes Hoja electrónica para cálculo de sección

A continuación, se presenta el cálculo de una presa pequeña bajo las condiciones antes mostradas; es importante tomar en cuenta que el trabajo ha sido dimensionado para condiciones de funcionamiento que rara vez ocurren; su periodo de recurrencia se estima en cincuenta años y el sistema tiene la capacidad de absorberlo cuando se presente.

TABLA 5. Cálculo de vertedero y tirante de dique mínimo

CÁLCULO DEL VERTEDERO Y TIRANTES DE UN DIQUE

INGRESO DE DATOS

Caudal de diseño	Q	60	m ³ /s
Ancho de cauce	L	6	mts
Inclinación del cauce %	i	2%	
Longitud definida del vertedero	Lg	4	mts
Coefficiente de rugosidad	C	30	
Coefficiente de caudal	M	0.4	
Diferencia entre el nivel aguas arriba del dique y el punto de caída del agua	h	3	mts

RESULTADOS

			Unidad	Formula utilizada	
Caudal específico	q	15	m ³ /s/m	$q = Q / Lg$	
Diferencia de alturas	Z ₀ -f _g	4.16	mts	$Z_0 - f_g = Q / [M * Lg * (2g)^{1/2}]^{3/5}$	Antes del dique
Tirante	Z ₃ -f ₃	2.41	mts	$Z_3 - f_3 = (Q / c * L * i)^{3/5} - h$	Despues del dique
Velocidad del flujo uniforme	V	4.15	m/s	$V = Q / L * (Z_3 - f_3)$	
Velocidad crítica	V _c	4.86	m/s	$V_c = [g * (Z_3 - f_3)]^{1/2}$	
Flujo es:	Supercritico				

Debe tenerse especial cuidado en que el flujo es supercrítico, pues la velocidad calculada en el canal es de 6.78 m/s y el límite crítico es de 4.86 m/s.

5.3 Solución propuesta No.2

Esta parte cobra relevancia, pues a nivel nacional no se conoce una experiencia en la que se deban utilizar gaviones tan extensamente como aquí. La importancia de este sistema constructivo provee de una solución de bajo impacto ambiental, que se integra rápida y eficientemente con el medio circundante. Además de esto, la experiencia obtenida servirá para que más adelante se puedan construir los diques.

En esta propuesta, se pensó en construcción de diques, con el propósito de retener la mayor cantidad de material posible y estabilizar el cauce. Un dique es una obra fluvial transversal, que permite el control de pendientes y el flujo de material de sedimento.

En este caso, se aprovechó la experiencia en construcción de gaviones, pues se construyen rápidamente. Además se pensó que durante el verano, el río conduce muy poca agua, lo que permitiría trabajar dentro del cauce.

5.3.1 Diques de gavión para la prevención de inundaciones. Una obra fluvial es toda aquella estructura construida dentro del cauce de un río, con la finalidad de encauzar, corregir o controlar el curso natural del agua.

Es importante pensar en el río como un organismo vivo y que las intervenciones que se hagan en él no tengan impacto ambiental negativo y se integren rápidamente con el medio. Esta función se cumple con el sistema constructivo de gaviones.

Las obras fluviales pueden ser longitudinales y/o transversales. Las longitudinales son aquellas aplicadas en los laterales de los ríos, con el fin de delimitar el cauce, proteger las orillas contra erosiones y desbordamientos, recuperar terrenos ribereños y otras aplicaciones. Las transversales son aquellas que son construidas dentro del lecho del río y se oponen al flujo del agua, con el fin de modificar la pendiente del río, controlar el transporte de sólidos, almacenar agua, mitigar efectos de crecidas y otras aplicaciones.

En conclusión, un dique es una obra transversal que en este caso se encargaría de retener material de sedimento y permitirían modificar la pendiente del río, adecuándola al diseño hidráulico.

5.3.2 Estructura. Los diques, estructuralmente, son una presa pequeña de “vertedero”; esto de acuerdo con su diseño hidráulico y estructuralmente, se diseñan como un muro de gravedad, con el cuidado de tomar en cuenta la hidráulica.

Una presa para los fines se define como un muro construido transversalmente, a través de un río o una corriente de agua para regular su caudal o elevar su nivel. El propósito establecido y las condiciones del lugar de construcción determinarán el tipo de presa que debe de utilizarse.

En este caso, se seleccionó una presa de “vertedero”, que está diseñada para regular el caudal del río y descargar sobre su cresta; debe ser construida de material no erosionable y debe de tomarse en cuenta la caída de agua, que se formará para construir un dissipador de energía.

Este tipo de presa permite el flujo del agua, pero retiene los sólidos transportados por el río al controlar su pendiente y velocidad. En este caso, aguas arriba de la ciudad, se disminuyó la pendiente para permitir una mayor sedimentación, y a nivel de la ciudad se aumentó para evitarla.

La estructura consiste en un muro que debe tener el peso para trabajar por gravedad y resistir la erosión, sin ser completamente impermeable, pues debe permitirse la infiltración de agua en el lecho del cauce.

La estructura es sencilla y se simplifica aún más por la utilización de gaviones que tienen medidas fijas. La misma se compone del muro del dique y el

disipador de energía; ambos son construidos de gavión recubierto de concreto. El muro es rectangular de seis metros de ancho, dos metros de altura libre más un metro de cimentación; el disipador de energía es un rectángulo de un metro de altura y seis de ancho construido al mismo nivel de la cimentación. El muro es continuo de seis metros de ancho en la cimentación y en dos metros de altura sobre esta; luego se deja un metro libre para formar el vertedero y se colocan dos gaviones a cada lado, que descansan un metro sobre el muro y un metro sobre la borda del río, con el propósito de encauzar el flujo de agua hacia el vertedero y evitar así un posible desbordamiento por los lados.

5.3.3 Materiales utilizados para la construcción de diques. Los materiales deben ser seleccionados de acuerdo con el fin que deben cumplir. En este caso, se establece que servirán para una obra transversal que debe ser rápidamente construida, resistente a la erosión, así como trabajar por peso. Esta obra consiste en un muro masivo y un disipador de energía de medidas mínimas definidas. Ya se indicó que se utilizarían gaviones, pues son de medidas fijas que permiten expandir el diseño, además de construirse rápidamente y con menor costo; adicionalmente ya se cuenta con experiencia en su utilización; la desventaja es que son estructuras permeables que sucumbirían rápidamente a la erosión, por lo que habrá que revestirlos con una capa de concreto. En el apartado dedicado a los materiales, se proporciona mayor información en cuanto a ellos, pues son la pieza principal de la estructura. A continuación, se hace una descripción amplia de los materiales utilizados.

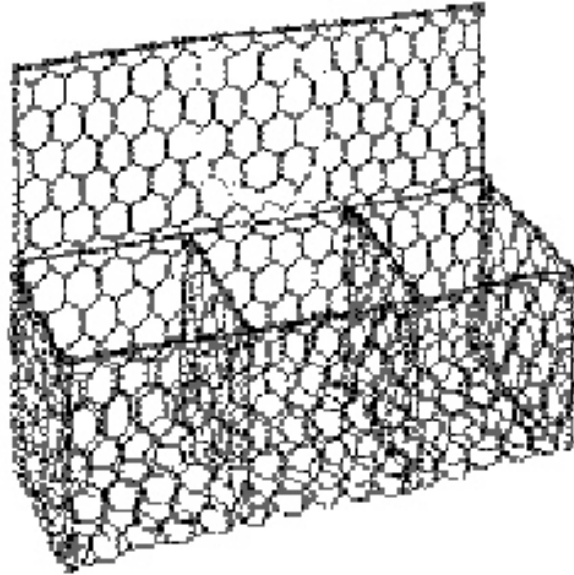
5.3.3.1 Gaviones. La historia de los gaviones comienza en Italia durante el siglo XVI, cuando se utilizaban canastas de mimbre rellenas de tierra, para reforzar emplazamientos militares o reforzar orillas de ríos. Estos canastos eran llamados por sus inventores italianos “gabbioni” o “jaulas grandes”.

A medida que la ingeniería evolucionó, se mejoraron las ideas que por su practicidad ofrecen soluciones eficientes; de esta manera, se ha continuado con la utilización de este tipo de estructuras, mejorándolas y adaptándolas a nuestra era, como es el caso de los gaviones que hoy se utilizan.

FIGURA 5. Canasto utilizado como gavión en la antigüedad



FIGURA 6. Canasta de malla utilizada como gavión actualmente.



El canasto de mimbre ha evolucionado en uno confeccionado con malla hexagonal a doble torsión, con diversidad de formas y medidas distintas, que se han desarrollado y adaptado para funcionar en las distintas aplicaciones de ingeniería, que se ha dispuesto para ellos. La tierra utilizada en un principio ha sido reemplazada por roca, lo que provee una estructura fuerte y duradera.

Un gavión no es un simple recipiente lleno de roca que pesa mucho, sino una estructura de medidas definidas que funciona integralmente dentro del conjunto, que forma una tela de bloques pesados entretejidos en una estructura flexible con gran resistencia a la tensión y compresión, pues se vuelven fuerzas alternantes ante esta estructura.

En general, se puede describir un gavión así: es una estructura confinada por malla hexagonal rellena de roca y emplazada en un conjunto con un fin definido.

Las características más destacadas de las obras en gaviones son en resumen las siguientes:

- Gran flexibilidad, que permite que la estructura se adapte a las deformaciones del terreno, que permiten mantener su estabilidad y eficiencia.

- Elevada resistencia, debido al gran peso de la obra, la fricción entre las piedras, su resistencia a la compresión y la elevada tensión de tracción, que es soportada por la malla (con baja deformación).
- Permeabilidad adecuada, que permite el drenaje de las aguas de infiltración, eliminando el empuje hidrostático.
- La puesta en obra es extremadamente sencilla y económica, y no requiere equipos ni mano de obra especiales. Puede ser usado para el relleno canto rodado o piedra partida.
- El llenado puede ser realizado manualmente o con el auxilio de equipo normal de obra.
- Se integra armónicamente con el paisaje; permite el desarrollo de vegetación, sin que esto traiga inconvenientes, y se asegura por el avance de la naturaleza la estructura construida.

5.3.3.2 Tipo utilizado. Aunque los gaviones actualmente se fabrican en una gran diversidad de formas, según su uso, interesan los de forma rectangular. En este caso se proponen gaviones de tipo caja rectangular, de dos metros de ancho, uno de alto y uno de ancho, que forma dos compartimentos de un metro cúbico cada uno. Los gaviones están confeccionados con malla hexagonal a doble torsión; la malla es de tipo 8x10x12 y el alambre galvanizado es de 2.7 mm. de diámetro; al sumar el recubrimiento plástico, se alcanza un diámetro de 3.8 mm.

Como se indicó en el párrafo anterior, los gaviones se entretajan entre sí, para formar una estructura. En este caso, la estructura es el cuerpo del dique, que tiene el propósito de mantener el nivel del lecho del río y lo estabiliza, para evitar así el transporte de material aguas abajo.

Se debe recordar que las obras hidráulicas transversales están construidas en contra del flujo del cuerpo de agua; con esto presente, es más fácil comprender cuál es la necesidad de hacer el trabajo rápidamente durante la época de estiaje.

Por este motivo, se necesitan gaviones que pudieran ser rápidamente construidos en el cauce. Con el concepto de entretajar una estructura, que tuviera suficiente entereza, se eligieron las canastas de dos metros cúbicos. Éstas proporcionan suficiente volumen y su tamaño las hace entrar perfectamente dentro de las secciones mínimas del cauce diseñado.

TABLA 6. Medidas de canastas disponibles.

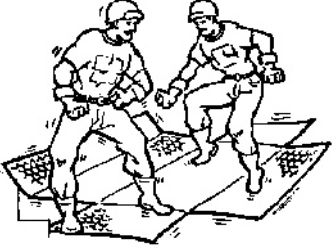
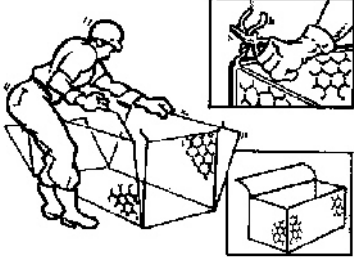
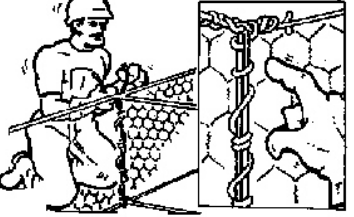
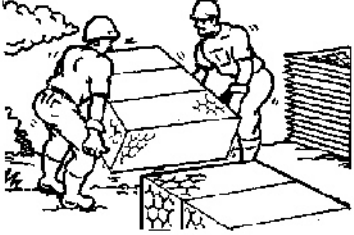
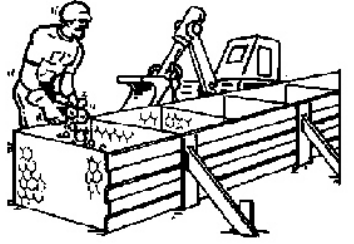
Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Volumen (m ³)	Diafragma (n)
1,50	1,00	0,50	0,75	—
2,00	1,00	0,50	1,00	1
3,00	1,00	0,50	1,50	2
4,00	1,00	0,50	2,00	3
1,50	1,00	1,00	1,50	—
2,00	1,00	1,00	2,00	1
3,00	1,00	1,00	3,00	2
4,00	1,00	1,00	4,00	3

Será más fácil comprender el tipo de estructura y el uso, una vez se revise, en el apartado siguiente, el proceso constructivo de un muro de gavión.

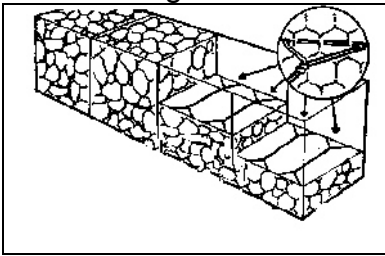
5.3.3.3 Proceso constructivo. El proceso constructivo del gavión consiste en transportar hasta el lugar de colocación la canasta doblada; en este momento parece un rectángulo plano de malla; se procede a armar el cajón, haciendo las costuras en los bordes y en el diafragma con alambre alternando entre vueltas simples y dobles, para luego colocarlo en el lugar donde será relleno; en este momento ya se dispuso el lugar que ocupará el gavión en la estructura, el cual debe de alinearse, según sea necesario y amarrarse a los inferiores y laterales que pudieran existir. Se comienza a relleno en tercios de altura, de manera que se debe de colocar un tensor a cada tercio en cada dirección. El relleno debe permitir la máxima deformabilidad de la estructura, así como dejar el mínimo porcentaje de vacíos, asegurando al máximo el buen peso de los elementos; para esto, es necesario acomodar manualmente la piedra; es común, en nuestro medio, que todo el trabajo sea manual, pero puede ser relleno con maquinaria, si fuera necesario. Se deben colocar durante el relleno, en el interior de los gaviones, tensores horizontales, a 1/3 y a 2/3 de la altura del mismo, para conseguir que las paredes opuestas resulten solidarias entre sí. Los tirantes permiten un mejor alineamiento de las paredes en vista y evitan la deformación de los gaviones durante el relleno. Este tensor es una tira de alambre galvanizado, del mismo tipo del utilizado en las costuras, que permite mantener la estructura rectangular del gavión, sin importar la forma de las rocas de relleno utilizadas. Luego de ser relleno, se le hace la costura final y, según su ubicación, se le coloca encima otra canasta para ser rellena o se deja libre.

A continuación, se presenta un esquema de cómo debe ser construido un gavión caja rectangular:

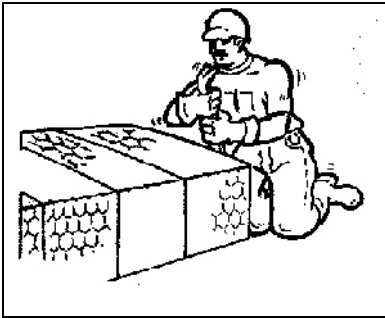
FIGURA 7 Técnica de armado de los gaviones rectangulares tipo caja

	<p>Paso 1: Abrir el fardo y desdoblar el gavión sobre una superficie plana y rígida. Pise la red hasta eliminar las irregularidades.</p>
	<p>Paso 2: Doblar los paneles para formar la caja, juntando los cantos superiores y entrecruzando los alambres que salen de los paneles.</p>
	<p>Paso 3: Cortar un pedazo de alambre de 1.5 m de largo. Se fija en la parte inferior de las aristas, amarrando los paneles en contacto, alternando vueltas simples y dobles a cada malla. Se repite la operación con los diafragmas.</p>
	<p>Paso 4: Amarrar varias cajas en grupos, siempre con el mismo tipo de costura. Se llevan los grupos de cajas hasta el lugar determinado en el diseño y se amarran a las cajas ya colocadas, cosiendo en todas las aristas en contacto.</p>
	<p>Paso 5: Una vez colocadas varias cajas en posición y antes de llenarlas, para una buena alineación y acabado, se debe alinear con un hilo o usar encofrados de madera. También puede usar encofrados de madera para dar un buen acabado.</p>

Continúa figura 7



Paso 6: Llenar las cajas hasta 1/3 de su capacidad total. Se fijan dos tirantes horizontales y se llenan hasta los 2/3. Se fijan otros dos tirantes y se acaba el llenado de 1 a 5 cm. por arriba de la altura de la caja.



Paso 7: Para cerrar las cajas, doble las tapas y amárrelas en los bordes a los paneles verticales, siempre con la misma costura.

Las fotografías que se presentan a continuación muestran fases del proceso de construcción realizadas en el proyecto del río Pensativo (ver figuras 8 y 9).

FIGURA 8. Armado de canasta en campo



FIGURA 9. Llenado de canastas con piedra



4.3.3.4 Piedra. Es el material utilizado para rellenar el gavión; de preferencia debe ser canto rodado, es decir, con aristas redondeadas; también se ha utilizado piedra de cantera, siempre y cuando permita acomodarla, sin que las aristas dañen la malla del gavión. En ninguno de los casos, la piedra debe tener menos de 15 ni más de 35 cm. de diámetro; de esta manera se mantiene la uniformidad dentro del gavión y se evita la salida de material del mismo; sin embargo, es permitido utilizar hasta un 5% de roca de mayor tamaño.

Debe tomarse en cuenta la importancia que tiene utilizar piedra de buen peso específico; la importancia radica en la forma de trabajar del gavión, pues éste es una estructura que trabaja por su peso. Si se selecciona piedra densa y de buen peso, y se respetan las dimensiones fijadas para la misma, se facilitará su colocación dentro del gavión. Por esta razón, debe evitarse utilizar roca volcánica, pues es porosa, de bajo peso y quebradiza.

En este caso, se recomienda utilizar piedra de cantera; la ventaja presentada por ésta es que al ser en su mayoría plana permitía acomodarla en capas y dejar un gavión uniforme que se deforma menos y tiene mejor aspecto, que uno relleno con canto rodado.

FIGURA 10. Cantera utilizada para piedra de relleno



5.3.3.5 Concreto. El concreto es una mezcla de cemento Pórtland, agregado fino, agregado grueso, aire y agua; es en sí mismo una maravilla moderna que es temporalmente plástico y permite su colocación en cualquier tipo de molde y luego, por reacción química, se convierte en una masa sólida.

Para comprender por qué se utilizó concreto, se debe tener en cuenta que el gavión es una estructura permeable; esta característica, en una obra hidráulica transversal, puede provocar erosión y destruir la estructura. Un mayor grado de permeabilidad en la estructura puede ser beneficioso en otro tipo de obras, pues elimina la necesidad de un sistema de desagüe. En las obras hidráulicas longitudinales, también se eliminan así las presiones contrarias ejercidas en las orillas de los ríos, por la variación de la profundidad del agua, que se debe a las crecidas y los estiajes. La solución a este problema es revestir los gaviones con concreto.

Las partes de la estructura, que queden expuestas, serán revestidas con concreto para evitar la erosión; y las partes de la cimentación, que no fueron revestidas, tienen menos contacto y permiten la infiltración de agua en el lecho, y así eliminar las presiones innecesarias, que se darían con un muro completamente rígido e impermeable.

Se deberá utilizar concreto fundido *in situ*, una capa de 10 cm. de espesor aplicado a todo el rededor de los gaviones expuestos; se dejará sin recubrimiento

únicamente la cimentación y los laterales, que están en contacto directo con el suelo y las bordas del río.

La proporción del concreto a utilizar será 1:2:2, respectivamente, de cemento, arena y piedrín, que proporciona una resistencia nominal de 217 Kg/cm^2 . Esta resistencia será suficiente para soportar el desgaste por el paso del agua. El piedrín a utilizar es de $3/8''$, para facilitar su colocación y adhesión al gavión.

5.3.4 Cálculo de los diques. Para el cálculo de los diques, se utilizaron los criterios de presas pequeñas de vertederos en la parte hidráulica, en la parte estructural el manual GAWAC proporcionado por Maccaferri, el distribuidor de gaviones, y también se tomaron en cuenta los cálculos hidráulicos de caudales y secciones mínimas de los estudios realizados en el río Pensativo, en el año 1999, por parte de la empresa TES, que fue responsable del diseño y supervisión del proyecto.

5.3.5 Cálculo hidráulico. Los diques son calculados como un muro de gravedad; se le llama así pues porque funciona por su peso. Su fin primordial es sostener el suelo en diversos tipos de obras, construcción de gradas, canales, contención de taludes, etc. Sabiendo esto se comprende mejor que el muro de contención de gravedad es una estructura maciza y rígida, que con su propio peso impide la caída del material sostenido. El elemento importante es el empuje ejercido por la tierra, que es la resultante de las presiones laterales ejercidas por el suelo sobre una estructura de sostenimiento o de fundación. Estas presiones son debidas al peso propio del suelo o a sobrecargas aplicadas. En este caso, se determina el valor del empuje ejercido por el material retenido detrás del dique.

El cálculo se presenta, al igual que en el inciso anterior, en una tabla que contiene los datos de entrada y los datos de salida, así como las fórmulas utilizadas para obtener cada resultado.

TABLA 7. Cálculo del empuje

Cálculo del empuje
Unidad Fórmula utilizada

Coefficiente de empuje activo	K_a	0.210196		$K_a = \frac{\text{Sen}(\beta + \varphi)}{\text{Sen} \beta \text{Sen}(\beta - \varphi) \left[1 + \sqrt{\frac{\text{Sen}(\beta + \varphi) \text{Sen}(\beta - \varphi)}{\text{Sen} \beta \text{Sen}(\beta + \varphi)}} \right]}$
β ángulo formado por el plano de empuje y la horizontal	β	90	Grados	
φ ángulo de fricción interna del suelo	φ	40	Grados	
ε ángulo del talud sobre el muro con la horizontal	ε	0	Grados	
δ ángulo de fricción entre el muro y el terreno	δ	40	Grados	

Empuje activo	E_a	2.1168	T/m	$E_a = \frac{1}{2} \gamma_s H^2 K_a - 2cH \sqrt{K_a}$
γ_s = peso específico del suelo	γ_s	2.24	T/m ³	
c = cohesión (Despreciada en este caso, pues la arena es suelo no cohesivo)	c	0		
H = [h + (b-a) Tan α] Cos α , altura de actuación del empuje, siendo:	H	3	m	
h = altura del muro	h	3	m	
b = base del muro sin tomar en cuenta los escalones externos	b	1	m	
a = ancho del muro en la cima	a	1	m	

Altura del empuje (de la base al punto de acción)	d	0.66	m	H/3
H = Altura libre del muro (sin incluir cimentación)	H	2	m	

Nota: no se toman en cuenta sobrecargas por las características del lugar.

Nota: no se toma en cuenta la cimentación para el empuje actuante, pues se equilibra con material a ambos lados.

TABLA 8. Chequeo al desplazamiento

Seguridad al desplazamiento

Seguridad al desplazamiento (debe ser ≥ 1.5)	η'	13.4115	✓	$\eta' = \frac{[W + E_a \cos \alpha + E_a \sin \alpha] \tan \phi + (W + E_a) \sin \alpha + cB}{E_a \cos \alpha} \geq 1.5$
W = Peso propio de la estructura. Depende de la sección del muro y el peso específico del relleno	W	1.7	T/m ³	
Componente vertical del empuje activo	E _v	2.1168	T	$E_v = E_a \sin(90^\circ + \delta - \beta)$; componente vertical del empuje activo.
Componente horizontal del empuje activo	E _h	1.6215	T	$E_h = E_a \cos(90^\circ + \delta - \beta)$; componente horizontal del empuje activo.
Cohesion	c	0		c = Cohesión (es conveniente despreciarla).
Ancho de la base del muro	B	1	m	B = Ancho de la base del muro.
Inclinación del muro	α	0	Grados	α = Inclinación del muro.

TABLA 9. Chequeo de seguridad al vuelco

Seguridad al vuelco

Seguridad al vuelco (Debe ser ≥ 1.5)	η''	11.12	✓	$\eta'' = M_r / M_v$
Momento volcador	M _v	1.07	T*m	$M_v = E_h d$
Momento resistente	M _r	11.9	T*m	$M_r = WS' + E_v s$
	s	0		$s = B \cos \alpha \frac{H}{3} \left(\frac{H + 3h_s}{H + 2h_s} \right) \frac{1}{\tan \beta}$
	S'			$S' = X_g \cos \alpha + Y_g \sin \alpha$
	X _g	0.33	m	Sistema de coordenadas cartesianas con origen en F
	Y _g	1.5	m	

TABLA 10. Chequeo de tensiones transmitidas

Seguridad de tensiones transmitidas al suelo

Tensión transmitida (no debe sobrepasar la capacidad del suelo)	σ_1	38.6865	T/m ²	$\frac{N}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right)$
	σ_2	13.14707	T/m ²	
N = Resultante de las fuerzas normales a la base del muro	N	25.9168	T	
B = Base del muro	B	1	m	
e = Excentricidad	e	0.08212	m	$e = \frac{B}{2} - \left(\frac{M_y - M_x}{N} \right)$
Tension admisible en el suelo		44.08	T/m ²	

Nota: En este caso se utiliza esta formula para tension pues se cumple el criterio de $e < B/6$ **TABLA 11. Chequeo en secciones intermedias**

Seguridad en secciones intermedias

Valor máximo	σ_{max}	31.00985	T/m ²	$\sigma_{max} = \frac{N}{0.8x}$
Valor admisible	σ_{adm}	500	T/m ²	$\sigma_{adm} = 50 \gamma_g - 30$
	x		m	$x = \frac{\left(\frac{B}{2} - e \right)}{0.4}$
Tension máxima	τ_{max}	3.96	T/m ²	$\tau_{max} = W / A$ (Area de contacto del muro con el suelo)
Tension admisible	τ_{adm}	14.165	T/m ²	$\tau_{adm} = \frac{N}{B} \text{Tan}\phi^* + c_g$

En conclusión, todos los cálculos hechos sobre el dique, mínimo deberán cumplir con los chequeos de seguridad. Para información más amplia sobre diseño de muros de gavión, se incluye un apéndice con el método de diseño explicado paso por paso.

5.3.6 Detalles y dibujos del dique. En esta sección, se detallan las características de los diques y las especificaciones para su construcción en cada parte. Para facilitar el tema, se dividió en dos incisos; el primero contiene las tablas de las especificaciones y detalles de las medidas; en la segunda, se hace el esquema del dique con las medidas indicadas.

5.3.7 Detalles de medidas y especificaciones

TABLA 12. Medidas del dique

Elemento	Alto	Largo	Ancho	Recubrimiento	Observaciones	
Muro	Cimentación	1	6	1	Sin Recubrimiento	Tiene 1 metro de profundidad dentro del lecho y sobre ella se amarra el cuerpo del muro
	Cuerpo	2	6	1	En ambas caras frente y atrás, en parte superior	Debe anclarse a las bordas laterales al menos 30 cms, para evitar el paso de agua.
	Vertedero	1	4	1	En ambas caras frente y atrás, en parte superior	Los triángulos del vertedero deben ser de concreto. Debe tenerse cuidado en poner el gavión completo y apoyar 1m en la borda y 1m en el muro.
Disipador	Cuerpo	1	6	1	En la parte superior y en cara frontal	Tiene 1 metro de profundidad dentro del lecho y debe anclarse a las bordas laterales al menos 30 cms, para evitar el paso de agua.

Medidas en metros

Debe tomarse en cuenta que las medidas presentadas, en la tabla anterior, corresponden al dique más pequeño diseñado. Como parte de una solución, generalmente, se construye una serie de diques; por lo que al diseñar el que se

encuentra en el área más restringida y dimensionarlo para soportar la crecida máxima, es seguro construir en los demás puntos un dique de mayores dimensiones, sin que se afecte el desempeño.

El gavión debe ser fabricado en red de alambre con revestimiento en los tipos y dimensiones abajo indicados. Cualquiera sea el tipo de gaviones, con PVC, sin PVC, con malla hexagonal doble torsión o electrosoldados, deben ser fabricados con todos sus componentes conectados mecánicamente, en la fase de producción en fábrica, y no se debe entregar en rollos para su armado en obra, según lo especifican las normas ASTM A 975 y ASTM A 974.

Cada gavión puede ser dividido por diafragmas en celdas, cuyo largo no deberá ser superior a una vez y media el ancho del gavión. Los gaviones deben estar certificados por el Bureau Veritas Quality Internacional, con la correspondiente aprobación bajo norma ISO 9002, según lo requerido en las especificaciones de obras especiales de COVIAL. Todo el alambre usado en la fabricación de los gaviones y para las operaciones de amarre y atirantamiento, durante la colocación en obra, debe ser de acero dulce recocido y de acuerdo con las especificaciones BS (British Standard) 1052/1980 Mild Steel Wire, es decir, que el alambre deberá tener carga de ruptura media de 38 a 50 kg/mm².

Deben realizarse ensayos del alambre, antes de la fabricación de la red, sobre una muestra de 30 cm. de largo. El estiramiento no deberá ser inferior al 12%. El alambre del gavión, de amarre y atirantamiento, debe ser galvanizado de acuerdo con las especificaciones BS (British Standard) 443/1982 Zinc Coating Qn Steel Wire, es decir que el peso mínimo del revestimiento de zinc debe ser: Ø2.2 mm. 240 gr./m²; Ø2.4 mm. 260 gr./m²; 2.7 mm. 260 gr./m², Ø3,0 mm. 275 gr./m², Ø3.4 mm. 275 gr./m². La adherencia del revestimiento de zinc al alambre deberá ser tal, que después de haber envuelto el alambre 6 veces alrededor de un mandril, que tenga diámetro igual a 4 veces el del alambre, el revestimiento de zinc no tendrá que escamarse o rajarse, de manera que pueda ser quitado rascando con las uñas.

La red debe ser de malla hexagonal a doble torsión; las torsiones serán obtenidas entrecruzando dos hilos por tres medios giros. Las dimensiones de la malla deberán estar de acuerdo con las especificaciones de fabricación y serán del tipo 6 x 8. El diámetro del alambre usado en la fabricación de la malla, para gaviones sin PVC, debe ser de 2.4 mm. y de 3 mm. para los bordes laterales.

El diámetro del alambre usado en la fabricación de la malla, para gaviones con PVC, debe ser de 2.2 mm. y de 2.7 mm. para los bordes laterales, más el espesor del revestimiento de PVC.

Todos los bordes libres del gavión, inclusive el lado superior de los diafragmas, deben ser reforzados mecánicamente, de tal manera que no se deshile la red y adquiera mayor resistencia. El alambre utilizado, en los bordes

reforzados mecánicamente en gaviones sin PVC, debe tener un diámetro mayor que el usado en la fabricación de la malla, es decir, de 3 mm.

El alambre utilizado en los bordes reforzados mecánicamente en gaviones con PVC debe tener un diámetro mayor, que el usado en la fabricación de la malla, o sea de 2.7 mm.

Junto con los gaviones, debe haber una cantidad suficiente de alambre de amarre y atirantamiento, para la construcción de la obra. La cantidad estimada de alambre es de 8% para los gaviones de 1.0 m de altura, y de 6% para los de 0,5 m, en relación con el peso de los gaviones suministrados. El diámetro del alambre de amarre para gaviones sin PVC debe ser de 2.2 mm. El diámetro del alambre de amarre para gaviones con PVC debe ser de 2 mm.

Se admite una tolerancia en el diámetro del alambre galvanizado de $\pm 2,5\%$. Se admite una tolerancia en el largo del gavión de $\pm 3\%$ y en el ancho y alto de $\pm 5\%$. Los pesos están sujetos a una tolerancia de $\pm 5\%$ (que corresponde a una tolerancia menor que la de $\pm 2,5\%$, admitida para el diámetro del alambre).

5.3.8 Dibujos con las dimensiones de los diques a construir

FIGURA 11. Vista frontal

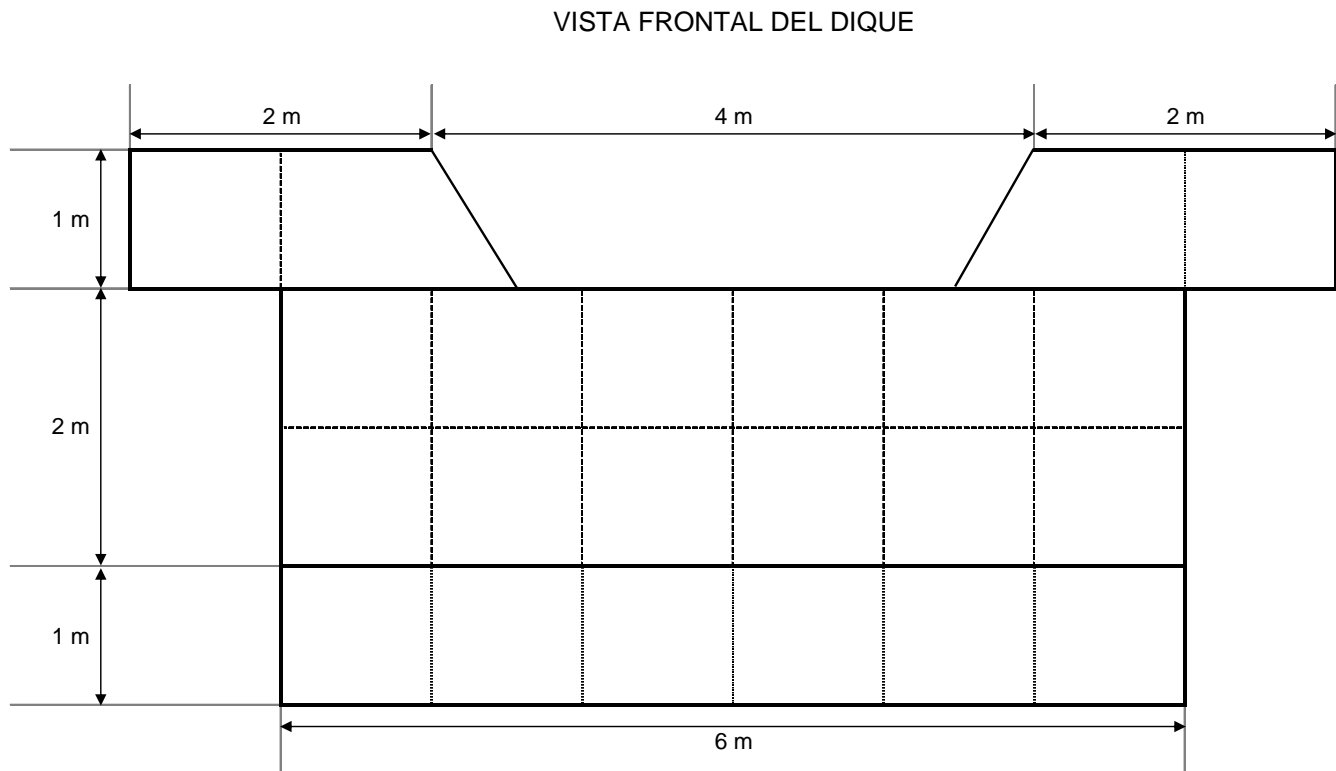


FIGURA 12. Vista lateral

VISTA LATERAL DEL DIQUE

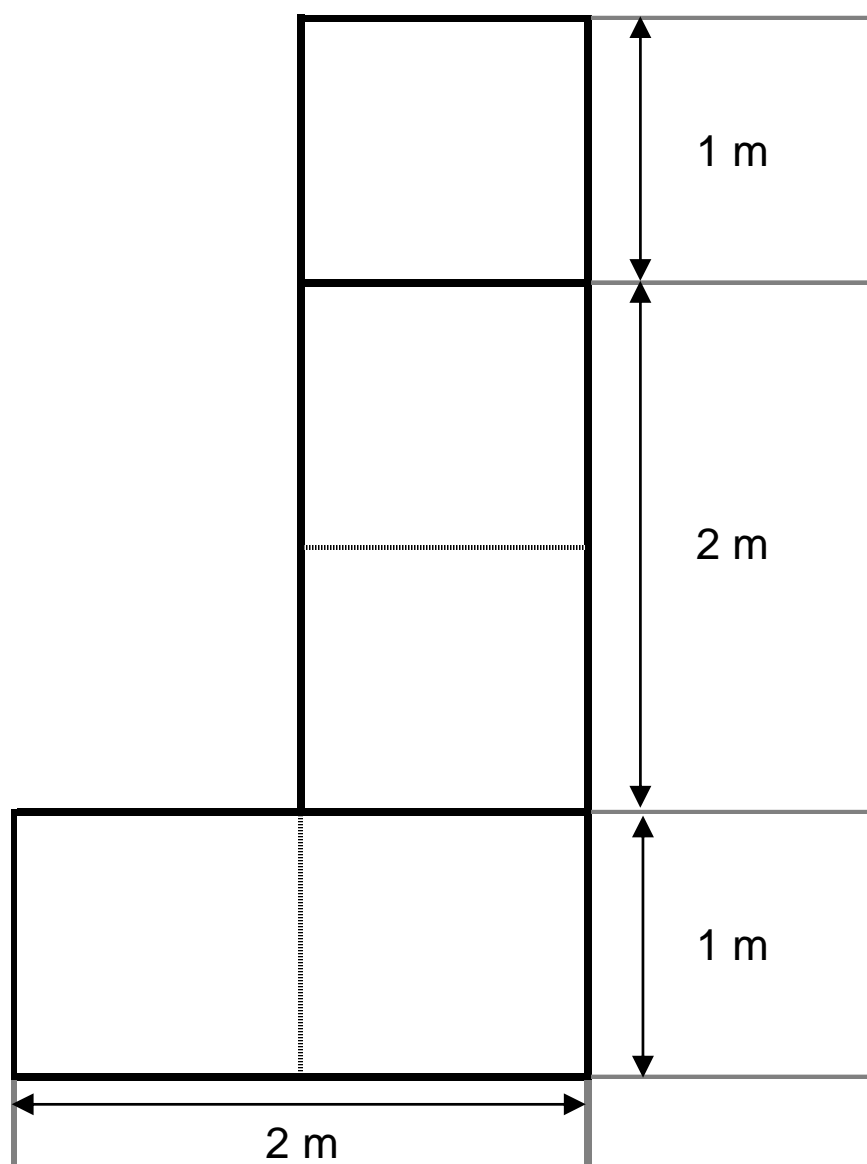
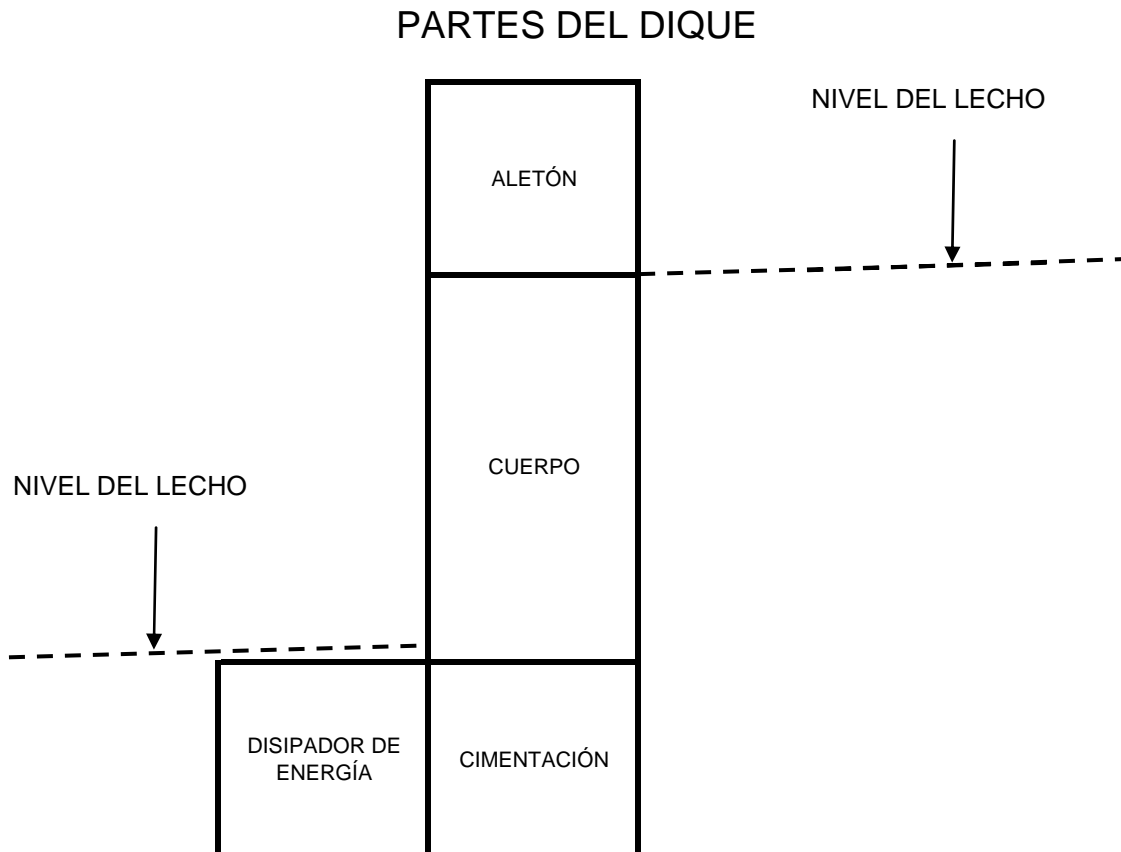


FIGURA 1. Descripción de las partes del dique

5.3.9 Medidas de mitigación. Las obras se realizarán iniciando aguas arriba y avanzando hacia la zona de aguas abajo. Para evitar los diferentes impactos se proponen las siguientes medidas de mitigación:

- Dar a conocer las siguientes acciones de prevención y contingencia en el caso de derrame de hidrocarburos.
 - Debe existir una zona adecuada para la disposición de aceite quemado y otros hidrocarburos.
 - En el manejo de hidrocarburos, se debe realizar sobre una superficie impermeable, cuyo drenaje vaya a un foso recubierto con geotextil para evitar que se infiltren al suelo. Lo almacenado en el foso junto con el aceite quemado deberá reciclarse.
 - Cuando ocurra un derrame lo más importante es actuar rápidamente para evitar que el daño se extienda.
 - En el suelo, deberá removerse rápidamente el punto afectado y la zona adyacente al derrame. El material removido deberá ser colocado en una zona impermeable hasta que sea limpiado y removido el hidrocarburo.

- Cuando se derramen en el agua, se deberá bloquear inmediatamente la superficie con flotadores para evitar que se dispersen. Se deberá remover la capa superficial y colocarla en contenedores o cubetas. Para su disposición final se definirá de acuerdo al volumen derramado, ya sea filtrando o evaporando los hidrocarburos.
- Ubicar una zona para la disposición de basuras y desechos de construcción, de preferencia algún botadero municipal autorizado en las cercanías.
- Colocar letrinas portátiles para los trabajadores con su respectivo programa de mantenimiento.
- Durante el transporte del material se deberá humedecer para evitar que sea transportado por el viento.
- Deberán buscarse horarios que no afecten a los vecinos durante la construcción (en todo caso las molestias por ruido solo serán en la etapa de construcción entre 20 a 40 días).
- Los bancos de materiales deberán restituirse lo más cercanamente posible a su apariencia original.
- Se deberá colocar una capa vegetativa en la borda y otras obras para mejorar su apariencia estética.

La comunidad deberá preparar un plan de contingencia con la CONRED, que permita a los vecinos organizarse para levantar el nivel de la borda, si fuese necesario en el caso de una crecida máxima.

VI. CONCLUSIONES

1. El sistema es aplicable a diversas condiciones de distintos ríos; sin embargo, hasta ahora se han tratado únicamente ríos de caudal pequeño.
2. La practicidad y eficiencia de la construcción de diques con gaviones, y luego revestirlos de concreto, provee una útil herramienta, que puede desarrollarse en cualquier parte, con mano de obra sin mayor calificación y con la mayoría de elementos necesarios disponibles en muchas localidades del país.
3. La economía del sistema permite su replicación para problemas de inundaciones en otros ríos del país.
4. El problema de la ciudad de Antigua Guatemala se debe principalmente a su localización en el curso natural del río, así como a que su nivel está por debajo del lecho del río.
5. Existen otras causas del problema, las cuales son:
 - La zona de erosión de San Juan Gascón.
 - Las estructuras (puentes) sin un adecuado diseño hidráulico.
6. Y posiblemente los drenajes de la carretera y el sedimento proveniente de la parte alta de la cuenca.

RECOMENDACIONES

1. Debe evaluarse la implementación de sistemas de estabilización de cauces con diques de gavión revestidos de concreto en otros ríos del país, en los que se encuentren características similares.
2. Hay que extender la cara interior del dique hacia la borda, para eliminar la posibilidad de erosión en los laterales de los diques.
3. Debe construirse durante la época de estiaje, para evitar daños durante el proceso. De lo contrario, es muy difícil lograr implementar el sistema.
4. En ninguno de los casos, la piedra debe tener menos de 15 ni más de 35 cm.; se puede aceptar un máximo de 5% de piedra de mayor tamaño. En ningún caso, debe aceptarse piedra de menor tamaño.
5. El concreto debe ser hecho con agregado grueso de diámetro no mayor a 3/8 de pulgada, para asegurarse de que se convierta en una capa del espesor indicado.
6. Verificar el valor soporte del suelo y la infiltración en el lecho del río, para evitar fallas por hundimiento y erosión en la parte inferior de la estructura.
7. Es indispensable rediseñar hidráulicamente los puentes que cruzan el río Pensativo.
8. Continuar observando el área y localizar puntos de control y referencia que permitan determinar con mayor exactitud el volumen de las crecidas. Para ello se deberán levantar las secciones después de cada inundación y previo

a cualquier trabajo de reparación o mantenimiento. Esto permitirá determinar pendientes hidráulicas para cálculo de caudales.

9. Realizar un estudio detallado para mejorar los drenajes de la carretera y así disminuir su influencia en el problema.

VI. BIBLIOGRAFÍA

1. Agencia española para la cooperación internacional. Subproyecto: Saneamiento ambiental y servicios básicos, del plan maestro de revitalización integral del centro histórico de la ciudad de Antigua Guatemala. Guatemala, s.e. 1996.
2. American Stándar for Testing and Materials (Por sus siglas en inglés). Especificaciones ASTM A 975 y ASTM A 974. Estados Unidos, s.e. 1994.
3. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza/Secretaría General del Consejo de Planificación Económica. Análisis hidrológico preliminar de las crecidas río Pensativo. Guatemala, s.e. 1988.
4. Hopf, Josef y Anton Gwercher. Río Pensativo, proyecto semidetallado para la corrección del río en la región de Antigua Guatemala. Guatemala, s.e. 1977.
5. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. Informe hidrológico preliminar del río Pensativo. Informe técnico 2-88. Guatemala, s.e. 1988.
6. Rosal del Cid, Carlos Rolando. Evaluación de las tierras y de su uso en la subcuenca del río Pensativo en Guatemala y directrices para su manejo. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica, s.e. 1998.
7. TES (Técnicas, Equipos y Servicios). Proyecto de manejo del río Pensativo. Guatemala, s.e. 1998.
8. Unidad Ejecutora de Conservación Vial. Informes mensuales de supervisión de los años 1997 a 2001 de los trabajos del río Pensativo. Guatemala, s.e. 1997-2001.
9. Hidroinformatica Ambiental S.A. Diseño de obras mínimas requeridas para la protección de Antigua Guatemala de inundaciones por el río Pensativo. Guatemala, s.e. 2001