



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

**PROPUESTA DE LA INSTALACIÓN DE DISIPADORES DE ENERGÍA PARA
PROTEGER LAS BASES DE LOS PUENTES**

Héctor Aroldo Cordón Girón

Asesorado por la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, mayo de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE LA INSTALACIÓN DE DISIPADORES DE ENERGÍA PARA
PROTEGER LAS BASES DE LOS PUENTES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

HÉCTOR AROLDO CORDÓN GIRÓN

ASESORADO POR LA INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MAYO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
EXAMINADOR	Ing. Alan Geovani Cosillo Pinto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

PROPUESTA DE LA INSTALACIÓN DE DISIPADORES DE ENERGÍA PARA PROTEGER LAS BASES DE LOS PUENTES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 10 de octubre de 2012.



Héctor Aroldo Cerdón Girón



Guatemala, 25 de enero de 2013

Licenciado
Manuel María Guillen Salazar
Departamento de Planeamiento
COORDINADOR

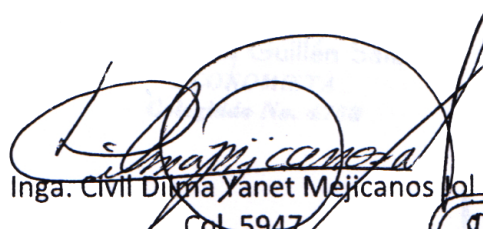
Licenciado Guillen

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación **PROPUESTA DE LA INSTALACIÓN DE DISIPADORES DE ENERGÍA PARA PROTEGER LAS BASES DE LOS PUENTES**, elaborado con el estudiante universitario Héctor Aroldo Córdón Girón, quien contó con la asesoría de la suscrita.

Considerando que el trabajo desarrollado por el estudiante universitario Córdón Girón, satisface los requisitos exigidos en el reglamento de graduación, por lo cual recomiendo su aprobación.

Atentamente,

"Id y enseñad a todos"


Inga. Civil Dilma Yanet Mejicanos Jol
Col. 5947
ASESORA





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>



Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

Guatemala,
4 abril de 2013

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación PROPUESTA DE LA INSTALACIÓN DE DISIPADORES DE ENERGÍA PARA PROTEGER LAS BASES DE LOS PUENTES, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Hector Aroldo Cordón Girón, quien contó con la asesoría de la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol.

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

Lic. Manuel María Guillén Salazar
Jefe del Departamento de Planeamiento
Manuel María Guillén Salazar
ECONOMISTA
Colegiado No. 4758



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
PLANEAMIENTO
USAC

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de al Asesora Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol y del Jefe del Departamento de Planeamiento, Lic. Manuel María Guillén Salazar, al trabajo de graduación del estudiante Hector Aroldo Cordón Girón, titulado **PROPUESTA DE LA INSTALACIÓN DE DISIPADORES DE ENERGÍA PARA PROTEGER LAS BASES DE LOS PUENTES**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, mayo de 2013.

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





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: **PROPUESTA DE LA INSTALACIÓN DE DISIPADORES DE ENERGÍA PARA PROTEGER LAS BASES DE LOS PUENTES**, presentado por el estudiante universitario: **Héctor Aroldo Cerdón Giron**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos

Decano



Guatemala, mayo de 2013

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios padre

Por darme la salud, vida y fuerza para lograr mis metas.

Mi madre

Miriam de Cordón, por darme su apoyo incondicional.

Mi padre

Héctor Cordón, por darme su apoyo en todo momento.

Mis hermanas y mi novia

Por su cariño, cuidado y apoyo en todo momento.

Mi familia

Por siempre estar apoyándome incondicionalmente y por hacer el transcurso del tiempo más memorable.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios padre	Por darme la vida, la capacidad y la perseverancia para alcanzar cualquier meta propuesta.
La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi máxima casa de estudio en donde obtuve mi primer grado universitario.
Facultad de Ingeniería	Por ser el lugar donde cursé la carrera de la ingeniería civil.
Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol	Por facilitar y asesorar el presente trabajo de graduación.
Amigos y amigas	Por los momentos agradables que convivimos juntos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. RESEÑA HISTÓRICA DE LOS PUENTES	1
1.1. Historia de los puentes	1
1.1.1. Tipos de puentes	2
1.1.2. Estudios necesarios para la construcción de un puente.....	3
1.1.2.1. Topográficos	3
1.1.2.2. Hidrológicos e hidráulicos	5
1.1.2.3. Geológicos y geotécnicos	8
1.1.3. Materiales	9
1.1.4. Ubicación del puente	10
1.1.5. Componentes de un puente.....	11
1.2. Disipador de energía	11
1.3. Zonas climáticas de Guatemala.....	13
2. PROBLEMA ACTUAL DE FRACTURA DE PUENTES	21
2.1. Impacto sobre las bases de los puentes.....	21
2.1.1. Precipitaciones intensas de lluvias	24

2.1.1.1.	Importancia de las precipitaciones en la ingeniería.....	26
2.1.2.	Crecida máxima de los ríos.....	27
2.1.2.1.	Características de una avenida.....	28
2.1.2.2.	Agravantes para su formación.....	28
2.1.2.3.	Coeficiente de escorrentía.....	29
2.1.2.4.	Daños causados por las avenidas.....	30
2.1.3.	Energía del agua.....	31
2.1.4.	Impacto por sólidos contenidos en el río.....	32
2.2.	Fracturación total del puente.....	33
2.2.1.	Cierre de la vía de comunicación.....	36
2.2.2.	Déficit económico por detención de comercio.....	36
2.2.3.	Pérdida de vidas humanas.....	37
2.2.4.	Tiempo de reconstrucción.....	38
3.	DISEÑO DEL DISIPADOR DE ENERGÍA.....	39
3.1.	Materiales.....	41
3.1.1.	Cemento.....	42
3.1.2.	Gravas.....	44
3.1.3.	Agregado fino.....	46
3.1.4.	Acero.....	47
3.1.5.	Concreto.....	48
3.2.	Forma geométrica.....	50
3.2.1.	Forma geométrica cuadrada o cubo.....	51
3.2.2.	Forma geométrica circular o cilindro.....	52
3.2.3.	Forma geométrica rectángulo redondeado.....	53
3.3.	Forma por composición.....	54
3.3.1.	Disipador de energía muro por gravedad.....	55
3.3.2.	Disipador de energía muro en voladizo.....	58

3.4.	Diseño del disipador de energía	61
3.4.1.	Determinar crecida máxima	61
3.4.1.1.	Método racional	62
3.4.1.2.	Método del hidrograma unitario	63
3.4.1.3.	Medición de la altura de los ríos	66
3.4.2.	Calcular caudal	68
3.4.2.1.	Método de aforo volumétrico	68
3.4.2.2.	Método de aforo flotadores	69
3.4.2.3.	Método de aforo molinete	70
3.4.3.	Determinar fuerza de impacto.....	72
3.4.3.1.	Fuerza equivalente por presiones.....	74
3.4.3.2.	Fuerza equivalente por aceleración	76
3.4.4.	Diseñar disipador de energía.....	78
3.4.5.	Colocación e instalación	86
3.5.	Costo disipador de energía.....	87
3.5.1.	Costo materiales.....	88
3.5.2.	Costo mano de obra	89
3.5.3.	Presupuesto.....	91
4.	COMPARACIÓN DE PUENTES CON DISIPADORES DE ENERGÍA Y PUENTES SIN DISIPADORES DE ENERGÍA.....	93
4.1.	Tabla de comparación de puentes con disipadores de energía y puentes sin disipadores de energía	95
5.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS.....	97
5.1.	Ventajas de la colocación de disipadores de energía.....	97
5.1.1.	Erradicar y reducir las fracturas en los puentes.....	97
5.1.2.	Evitar quedar incomunicado	98
5.1.3.	Evitar problemas por gastos de reconstrucción	98

5.2.	Desventajas del uso de disipadores de energía	99
5.2.1.	Colocación del disipador de energía	100
5.2.2.	Costo del disipador de energía.....	100
5.2.3.	Fractura del disipador de energía.....	101
5.2.4.	Socavación lateral por desvío del agua.....	102
5.2.5.	Ventajas y desventajas por forma geométrica.....	103
CONCLUSIONES.....		105
RECOMENDACIONES.....		107
BIBLIOGRAFÍA.....		109
ANEXOS.....		111

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Puente	22
2.	Acción sísmica.....	23
3.	Puente fracturado.....	24
4.	Daños ocasionados por el agua	30
5.	Energía del agua	32
6.	Daños a la población.....	33
7.	Daños a la base de un puente.....	35
8.	Puentes temporales	36
9.	Pérdida de vida humana	38
10.	Disipador de energía	39
11.	Disipador de energía múltiple.....	41
12.	Disipador de energía cúbico	52
13.	Disipador de energía circular.....	53
14.	Disipador de energía redondeado	54
15.	Muro de contención.....	55
16.	Muro por gravedad	58
17.	Muro por voladizo.....	60
18.	Método racional.....	63
19.	Índice de infiltración.....	65
20.	Limnómetro	66
21.	Limnógrafo	67
22.	Aforo volumétrico	68
23.	Aforo por flotadores.....	70

24.	Molinete	71
25.	Aforo molinete.....	72
26.	Movimiento del agua.....	73
27.	Fuerza equivalente por presiones.....	76
28.	Fuerza equivalente aceleración	78
29.	Diseño disipador de energía	79
30.	Integración de momentos.....	82
31.	Disipador de energía perfil	85
32.	Disipador de energía cara frontal.....	86

TABLAS

I.	Cuencas de la vertiente del pacífico	17
II.	Cuencas de la vertiente del Caribe	18
III.	Cuencas de la vertiente del Golfo de México.....	18
IV.	Características de los principales ríos de Guatemala	19
V.	Volumenes de escorrentia (hasta aproximadamente 1970).....	20
VI.	Costo de materiales	89
VII.	Costo renglones de mano de obra.....	90
VIII.	Costo mano de obra	91
IX.	Presupuesto.....	92
X.	Tabla comparativa	95

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Aa	Aceleración
H/3	Altura donde ocurre el momento de volteo
hs	Altura excavación
h	Altura muro desde el nivel del suelo
H	Altura total del muro
a	Ancho cortina
B'	Ancho crítico
B	Ancho muro
A	Área
CCS	Capacidad soporte del suelo
Tt	Carga soporte del suelo
Ts	Carga transmitida al suelo
Q	Caudal
Xc	Centroide sobre eje x
c	Coefficiente de rugosidad del suelo
E	Energía
e	Espesor del muro
ec	Excentricidades
FS	Factor de Seguridad
F	Fuerza
Fs	Fuerza fricción
Fc	Fuerza fricción del suelo
Fh	Fuerza horizontal

Feh	Fuerza horizontal equivalente
I	Intensidad de lluvia
m	Masa
Mv	Momento de volteo
Mr	Momento resultante
NS	Nivel del suelo
W	Peso
Ps	Peso específico
w	Peso por figura
wt	Peso total
P	Presión
Pa	Presión de apoyo
Pah	Presión de apoyo horizontal
Pav	Presión de apoyo vertical
Snm	Sobre el nivel del mar
ti	Tiempo de aforo
v	Velocidad

GLOSARIO

Altiplano	Es una meseta intermontaña elevada, que se encuentra generalmente localizada entre dos o más cadenas montañosas recientes, pero cuyo levantamiento no ocurrió al mismo tiempo.
Aluviones	Corriente de agua que ha sufrido una crecida brusca y se desplaza de manera rápida y violenta.
Atrópico	Lo relativo al hombre entendido como especie humana o ser humano, causado por el hombre.
Avenidas	Se denomina como crecida de un río, lago, creciente, riada o aguas altas; es la elevación del nivel de un curso de agua significativamente mayor que el flujo medio de este.
Benigno	Es un término y se emplea con una denotación específica de término médico para describir una enfermedad o para referirse a algo que provoca un daño; tumor o afección no cancerosa.
Catastro	Censo estadístico donde figuran las propiedades rústicas y urbanas de una población, país o territorio y el nombre de sus propietarios.

Cauces	Concavidad del terreno, natural o artificial, por donde corre un río, arroyo, canal o acequia.
Celosía	En ingeniería estructural, una celosía es una estructura reticular de barras rectas interconectadas en nudos formando triángulos planos (en celosías planas) o pirámides tridimensionales (en celosías espaciales). En muchos países se les conoce como armaduras o reticulados.
Conglomerante	Material que sirve para unir fragmentos o partículas de una o más sustancias y compactarlas, formando una sola masa.
Contrafuerte	Construcción vertical que se levanta pegada al muro de un edificio, sobresaliendo del paramento, para hacerlo más resistente a la carga que debe soportar o para recoger el empuje de un arco o bóveda.
Cotas	Número que, en un mapa o plano topográfico, señala la altura o distancia entre dos puntos.
Cuenca hidrográfica	Territorio cuyas aguas afluyen al mismo río, lago o mar.
Déficit	Es una carencia o escasez de algo que se juzga necesario.

Deslizamiento	Movimiento de grandes masas de material provocados por fuerzas externas.
Dientes	Elemento o dispositivo que se emplean en diversos objetos cargados, para evitar el deslizamiento.
Disipar	Esparcir o hacer desaparecer de la vista poco a poco las partes que forman un cuerpo por aglomeración.
Energía	Energía se define como la capacidad para realizar un trabajo.
Escalon	Se denomina así al peldaño de piedra, madera u otra materia que sirve para subir o bajar.
Escollera	Construcción hecha con grandes rocas o bloques de cemento que se arrojan al fondo del mar hasta levantar una especie de muro o rompeolas que sirve de protección contra la acción del mar.
Esfuerzos flectores	Fuerza que actúa sobre un cuerpo y que tiende a estirla (tracción), aplastarla (compresión), doblarla (flexión), cortarla (corte) o retorcerla (torsión).
Esquistos	Roca metamórfica de grano grueso que se parte con facilidad en láminas o placas.
Estratigrafía	Rama de la geología que estudia la interpretación de las rocas sedimentadas.

Eximir	Liberar a alguien de una carga, obligación o compromiso, especialmente algo que tiene carácter legal.
Exotérmico	Se refiere a una reacción química de desprender calor.
Expropiar	Quitar legalmente una propiedad a su dueño por motivos de interés público y generalmente pagándole una indemnización.
Fraguar	Proceso en el cual la mezcla de concreto pasa de su estado plástico al sólido y adquiere su resistencia.
Gaviones	Cestón relleno de tierra o piedra, empleado en las obras de defensa, construcciones hidráulicas y estabilización de muros de concreto.
Geología	Ciencia que estudia la estructura y la historia de la tierra o de la corteza terrestre.
Geotecnia	Aplicación de los principios de ingeniería a la ejecución de obras públicas en función de las características de los materiales de la corteza terrestre.
Hidratación	Reacción química entre el cemento y el agua cuando son mezclados.

Hincar	Clavar o meter una cosa con punta en otra ejerciendo una presión.
Isoyetas	Es una isolínea que une los puntos, en un plano cartográfico, que presentan la misma precipitación en la unidad de tiempo considerada.
Ladera	Declive lateral de un monte o una montaña cuya pendiente es el ángulo que forma con la horizontal.
Litoral marítimo	Relativo a la costa del mar: el clima litoral es muy húmedo, Franja de tierra que está tocando con el mar.
Maleable	Se aplica al material que puede trabajarse con facilidad.
Mampostería	Unidades de construcción que se unen unas con otras para formar un elemento establecido que puede ser de arcilla cocinada, piedra y concreto, entre otros.
Napas	Es el nivel freático que corresponde al lugar en el que se encuentra el agua subterránea, en este nivel la presión de agua del acuífero es igual a la presión atmosférica, también se conoce como capa freática, manto freático, napa freática, napa subterránea, tabla de agua o simplemente freático
Pétreos	Que es parecido a la piedra o con algunas de sus características.

Planicie	Extensión grande de terreno que tiene relieves bajos o de mínima altitud cercana al nivel del mar.
Pluviómetro	Aparato que sirve para medir la cantidad de lluvia que cae en un lugar y en un período de tiempo determinados.
Postensado	Es el concreto el cual su refuerzo es tensado después de aplicarle la mezcla.
Pretensado	Es el concreto el cual su refuerzo es tensado antes de aplicarle la mezcla.
Psi	Unidad de cantidad que indica libras sobre pulgada cuadrada, se refiere a una presión.
Resistencia	Capacidad de un objeto para soportar un esfuerzo o carga.
Arriostre	Pieza inclinada, diagonal de un rectángulo en un armazón o estructura que le da seguridad y estabilidad.
Sólido	El estado en que las moléculas contienen el mayor grado de cohesión
Terraplen	Macizo de tierra o suelo con el cual se rellena un espacio vacío o que se levanta para hacer una defensa.

RESUMEN

La infraestructura civil como los puentes, carreteras, caminos rurales, vecinales y demás, sufren deterioro en el tiempo de invierno, uno de estos se ve reflejada en la falla y fractura de los puentes a causa de crecidas máximas provocadas por caudalosas precipitaciones. Dicho problema se produce por el impacto del agua en las bases de los mismos, la fuerza que transmite es mayor en crecidas máximas.

Este fenómeno que sufren las bases, también desarrolla una socavación en las partes laterales del ancho del río. Para erradicar o minimizar este problema se instalarán dispositivos llamados disipadores de energía en puentes, son muros de contención adaptados a trabajar a una carga horizontal provocada por la energía del agua, su función principal será soportar su impacto y proteger las bases de los puentes en tiempo de crecidas máximas, posteriormente la energía del agua disminuirá y llegará más lenta a las bases, erradicando o minimizando la falla del mismo.

OBJETIVOS

General

Erradicar o reducir las fallas y fracturación de puentes por el impacto del agua.

Específicos

1. Dar a conocer el funcionamiento de un dissipador de energía en el momento que el agua impacte sobre él y lo cargue con una fuerza variable.
2. Dar a entender y explicar la importancia de implementar una obra de protección en los puentes para evitar una falla o fracturación en los mismos.
3. Proponer una planificación para la colocación, instalación y uso de los dissipadores de energía.
4. Proponer un proceso del diseño de un dissipador de energía que cumpla con las especificaciones técnicas que se requieren.

INTRODUCCIÓN

La infraestructura civil como los puentes, carreteras, caminos rurales vecinales y demás sufren deterioro con el tiempo y en época de invierno se agudiza, uno de estos es la falla y fractura de los puentes a causa de crecidas máximas provocadas por caudalosas precipitaciones. Dicho problema se produce por el impacto del agua en las bases de los mismos, la fuerza que transmite es mayor en crecidas máximas. Este fenómeno que sufren las bases, también desarrolla socavaciones en las partes laterales del ancho del río.

Para erradicarlo se instalarán dispositivos llamados disipadores de energía en puentes, su función principal será en crecidas máximas, en donde la energía que llevará el agua, impactará directamente en sus bases y luego con una menor colisión en el puente, provocando menores daños.

El trabajo de investigación consistirá en cinco capítulos, los cuales incluirán: la falla y fractura en puentes a lo largo del tiempo o por causa de crecidas máximas; problemática actual, las causas que surgen cuando existe falla y fractura en puentes; ventajas y desventajas de la colocación de estos disipadores; forma y diseño del elemento que soportará la fuerza y disipará la energía y el costo del mismo.

1. RESEÑA HISTÓRICA DE LOS PUENTES

El arte de construir puentes, tiene su origen en la misma prehistoria. Puede decirse que nace cuando un buen día se le ocurrió al hombre prehistórico derribar un árbol en forma que, al caer, enlazará las dos riberas de una corriente sobre la que deseaba establecer un paso. La genial ocurrencia le eximía de esperar a que la caída casual de un árbol le proporcionará un puente fortuito. También utilizó el hombre primitivo losas de piedra para salvar las corrientes de pequeña anchura cuando no había árboles disponibles. En cuanto a la ciencia de erigir puentes, no se remonta más allá de unos siglos y nace precisamente al establecerse los principios que permitían conformar cada componente a las fatigas a que le sometieran las cargas.

Esta arte no experimentó cambios sustanciales durante más de 2000 años. La piedra y la madera eran utilizadas en tiempos napoleónicos de manera similar como los de la época de Julio César e incluso mucho tiempo antes. Hasta finales del siglo XVIII no se pudo obtener hierro colado y forjado a precios que hicieran de él un material estructural asequible y hubo que esperar casi otro milenio a que pudiera emplearse el acero en condiciones económicas.

1.1. Historia de los puentes

Se entiende como puente a aquella construcción, por lo general artificial, que permite salvar un accidente geográfico o cualquier obstáculo físico como un río, cañón, valle, vía férrea, un cuerpo de agua, o cualquier obstrucción. Su diseño depende de su función y de la naturaleza del terreno donde será construido.

La mayoría de estos primeros puentes eran pobremente contruidos y raramente soportaban cargas pesadas. Fue esta insuficiencia la que llevó al desarrollo y su mejoramiento. El arco fue usado por primera vez por el imperio romano para puentes y acueductos, algunos de los cuales todavía se mantienen en pie. Los puentes basados en arcos, podían soportar condiciones que antes se habrían llevado por delante a cualquier puente.

Los puentes de ladrillo y mortero fueron contruidos después de la era romana, ya que la tecnología del cemento se perdió y más tarde fue redescubierta. Los puentes de cuerdas, un tipo sencillo de puentes suspendidos, fueron usados por la civilización Inca en los andes de Suramérica, antes de la colonización europea en el siglo XVI.

Durante el siglo XVIII hubo muchas innovaciones en el diseño de puentes con vigas por parte de Hans Ulrich, Johannes Grubenman y otros. El primer libro de ingeniería para su construcción fue escrito por Hubert Gautier en 1716.

Con la revolución industrial en el siglo XIX. Los sistemas de celosía de hierro forjado fueron desarrollados para puentes más grandes, pero el hierro no tenía la fuerza elástica para soportar grandes cargas. Con la llegada del acero, que tiene un alto límite elástico, fueron contruidos puente más largos, muchos utilizando las ideas de Gustave Eiffel.

1.1.1. Tipos de puentes

Los tipos de puentes más comunes que existen y más utilizados al momento de querer comunicar dos puntos o dos poblaciones que cumplan con las características necesarias de funcionamiento son:

- Puente viga: trabaja a tracción en la zona inferior y a compresión en la parte superior, en otras palabras soporta esfuerzos a flexión.
- Puente en ménsula: trabaja a tracción en la zona superior de la estructura y compresión en la inferior. Los puentes atirantados son una derivación de este tipo.
- Puente en arco: trabaja a compresión en la mayoría de la estructura.
- Puente colgante: trabaja a tracción en la mayoría de la estructura.
- Puente atirantado: también se pueden clasificar de acuerdo a su uso; para trenes, para tráfico automovilístico, peatones, acueducto

1.1.2. Estudios necesarios para la construcción de un puente

Para definir el tipo de puente que se desea proyectar, es necesario realizar ciertos estudios previos los cuales proporcionarán datos que serán indispensables en la etapa de inicio del diseño de un puente, estos son:

1.1.2.1. Topográficos

Los estudios topográficos tendrán como objetivo realizar los trabajos de campo que permitan elaborar los planos topográficos, proporcionar información de base para los estudios de hidrología e hidráulica, geología, geotecnia, entre otros, posibilitar la definición precisa de la ubicación y las dimensiones de los elementos estructurales.

Los estudios topográficos deben contener como mínimo un levantamiento topográfico general de la zona del proyecto, documentado en planos a escala 1:500 y 1:2000 con curvas a desnivel a intervalos de 1 metro y comprendiendo por lo menos 100 metros a cada lado del puente en dirección longitudinal y transversal. Definición de la topografía de la zona de ubicación del puente y sus accesos, con planos, considerando curvas a desnivel a intervalos no mayores a 1 metro.

Los planos deberán indicar los accesos del puente, así como igualmente indicarse con claridad la vegetación existente. En el caso de puentes sobre cursos de agua deberá hacerse un levantamiento detallado del fondo. Será necesario indicar en planos la dirección del curso de agua y los límites aproximados de la zona inundable en condiciones de aguas máximas y mínimas.

Se deberá contar también con la ubicación e indicación de cotas de puntos referenciales, puntos de inflexión y puntos de inicio y fin de tramos curvos. Levantamiento catastral de las zonas aledañas al puente, cuando existan edificaciones u otras obras que interfieran con el puente o sus accesos y que requieran ser expropiadas.

La instrumentación y el grado de precisión empleados para los trabajos de campo y el procesamiento de los datos deberán ser consistentes con la dimensión del puente y sus accesos y con la magnitud del área estudiada. En cualquier caso los instrumentos y los procedimientos empleados deberán corresponder a la mejor práctica de ingeniería.

La topografía de la zona donde se ubicará el puente deberá documentarse mediante planos con curvas de nivel y fotografías, registros digitales e informes.

Los informes deberán detallar las referencias preliminares consultadas, la descripción y las características técnicas del equipo utilizado para la toma de datos, la metodología seguida para el procesamiento de los datos de campo y la obtención de los resultados. Si se dispusiera de estudios topográficos previos de zonas adyacentes, o que involucren el área del proyecto, estos deberán ser revisados a fin de verificar la compatibilidad de la información obtenida.

1.1.2.2. Hidrológicos e hidráulicos

Los estudios hidrológicos tienen como objetivo establecer las características de los regímenes de avenidas máximas y extraordinarias y los factores hidráulicos que conllevan a una real apreciación del comportamiento hidráulico del río que permiten definir los requisitos mínimos del puente y su ubicación óptima en función de los niveles de seguridad o riesgos permitidos o aceptables para las características particulares de la estructura.

Los estudios de hidrología e hidráulica para el diseño de puentes, deben permitir establecer una ubicación óptima desde el cruce del caudal de diseño, hasta su ubicación. Asimismo instaurar un comportamiento hidráulico del río en el tramo que comprende:

- El cruce
- Área de flujo a ser confinada por el puente
- Nivel máximo de agua
- Nivel mínimo recomendable para el tablero del puente

- Profundidades de socavación general,
- Obras de protección
- Previsiones para la construcción del puente.

El estudio hidrológico e hidráulico deberá considerar la recaudación de información, trabajos de campo y trabajos de gabinete, cuya cantidad y alcance será determinado con base en la envergadura del proyecto, en términos de su longitud y el nivel de riesgo considerado.

Los estudios hidrológicos e hidráulicos comprenderán lo siguiente:

- Una evaluación de estudios similares, realizados en la zona de ubicación del puente.
- Vista de campo; reconocimiento del lugar tanto en la zona de cruce como de la cuenca.
- Recolección existente; información proporcionada por entidades locales.
- Caracterización hidrológica de la cuenca, considerada hasta el cruce del curso del agua; con base en la determinación de las características, respuesta de lluvia y escorrentía.
- Selección de los métodos de caudal máximo de diseño; para el cálculo del caudal máximo a partir de los datos de lluvia se tienen; el método racional, método y el hidrógrama unitario entre otros, cuya aplicabilidad depende de las características de la cuenca.

- Estimación de caudales máximos para diferentes períodos de retorno.
- Determinación del período de retorno y la descarga máxima de diseño; el período de retorno dependerá de la importancia de la estructura y consecuencias de su falla.
- Caracterización morfológica del cauce.
- Determinación de las características físicas del cauce, incluyendo las llanuras de inundación.
- Determinación de las características hidráulicas del flujo; estas comprenden la velocidad media, ancho, área de flujo, nivel del agua.
- Evaluación de socavación total estimada.
- Análisis de información hidrométrica y meteorológica
- Recomendaciones de protección.

Los puentes ubicados en el cruce con un curso de agua, deben ser diseñados de modo que las alteraciones u obstáculos que estos representen ante este curso de agua, sean previstos y puedan ser admitidos en el desempeño de la estructura a lo largo de su vida útil, o se tomen medidas preventivas como un dissipador de energía u otros elementos. Deben establecerse las características hidrodinámicas del sistema pluvial, con el objeto de determinar la estabilidad de la obra respecto al comportamiento del cauce.

Es importante considerar la posible movilidad del cauce, el aporte de escombros desde la cuenca y los fenómenos de socavación, así como la posibilidad de ocurrencia de derrumbes, deslizamiento e inundaciones.

En el caso de puentes sobre cursos de agua, la información sobre la geomorfología y las condiciones del subsuelo del cauce y alrededores, son complementarias con aquella obtenida de los estudios hidrológicos. El diseño de los elementos de la subestructura se realizará tomando en cuenta los aspectos de ingeniería estructural, geotécnica e hidráulica en forma conjunta.

Los estudios deberán ser documentados mediante un informe que contendrá, como mínimo, lo siguiente: características del río en la zona del proyecto, régimen de caudales, características hidráulicas, caudal de diseño y período de retorno, definición de la luz del puente y de los niveles del fondo de la cimentación, y características de las obras de protección.

1.1.2.3. Geológicos y geotécnicos

La geología es la ciencia que estudia la composición y estructura interna de la tierra y los procesos por los cuales ha ido evolucionando. Es por esto que en este caso, los estudios geológicos tienen como objetivo establecer las características, tanto local como general de las diferentes formaciones geológicas que se encuentran identificando tanto su distribución, como sus características geotécnicas correspondientes.

El estudio deberá considerar exploraciones de campo, cuya cantidad será determinada con base a la envergadura del proyecto. Los estudios geológicos y geotécnicos comprenderán: revisión de información existente y descripción de la geología a nivel regional y local, descripción geomorfológica, zonificación

geológica de la zona, definición de las propiedades físicas y mecánicas de suelos y rocas, definición de zonas de deslizamientos y aluviones sucedidos en el pasado y de potencial ocurrencia en el futuro y la identificación y caracterización de fallas geológicas.

Los estudios geotécnicos tienen como objetivo establecer, la estratigrafía, identificación y las propiedades físicas y mecánicas de los suelos para el diseño de cimentaciones estables.

El estudio geotécnico debe considerar exploraciones de campo y ensayos de laboratorio, cuya cantidad será determinada con base a la envergadura del proyecto, en términos de su longitud y las condiciones del suelo. Los estudios deberán comprender la zona de ubicación del puente, estribos, pilares y accesos.

Los estudios geotécnicos comprenderán: ensayos de campo en suelo y roca, ensayos de laboratorio en muestras de suelo y roca extraídas de la zona, descripción de las condiciones del suelo, estratigrafía e identificación de los estratos del suelo o base rocosa, definición de tipos y profundidades de cimentación adecuados, así como parámetros geotécnicos preliminares para el diseño del puente a nivel de anteproyecto, dependiendo de la envergadura del proyecto y del tipo de suelo, se podrán realizar ensayos sísmicos, y presentación de los resultados y recomendaciones sobre obras de protección. Este estudio debe realizarse antes del inicio de los diseños.

1.1.3. Materiales

Se usan diversos materiales en la construcción de puentes. En la antigüedad, se usaba principalmente madera y posteriormente se usó roca.

Recientemente se han construido los puentes metálicos, material que les da mayor resistencia. Los principales materiales que se usan para la construcción de los puentes son:

- Gravas
- Madera
- Acero
- Concreto armado
- Concreto pretensado
- Concreto postensado

1.1.4. Ubicación del puente

Se debe ubicar tanto en planta como en elevación tomando en consideración: características geométricas de la vía (ancho, canales, etc.), geometría del eje vial, condiciones geotécnicas, vías ya construidas, reemplazo de estructuras existentes y estructuras para usos especiales.

Para seleccionar el tipo de puente que se utilizará en un proyecto dado, se debe tomar en consideración el fin a que se destinará el puente, las cargas que soportará el mismo, condiciones del terreno y características del subsuelo.

Para la selección de un tipo de puente por su uso, se debe tomar en consideración si es provisional, puente carretero, puente ferrocarrilero, puente urbano o si es viaducto.

1.1.5. Componentes de un puente

Se divide en dos partes fundamentales: la superestructura; o conjunto de tramos y elementos que están situados entre soportes. Cada tramo de la superestructura está formado por un piso, una o varias armaduras de apoyo a las vigas para dejar rígida de la estructura y por las riostras laterales. El piso soporta directamente las cargas dinámicas y por medio de la armadura transmite las cargas a pilas y estribos. La infraestructura o subestructuras, la que está formada por las pilas, estribos y apoyos que soportan las cargas que transmite la superestructura.

La subestructura contiene elementos que soportan cargas y la transmiten directamente al suelo estos son:

Las pilas: son los apoyos intermedios de los puentes de dos o más tramos, deben soportar las cargas permanentemente y sobrecargas sin deformarse, soportar a agentes naturales (viento, fuerzas externas, etc.).

Los estribos: situados en los extremos del puente y sostienen los terraplenes que conducen a él. Algunas veces son sustituidos por pilotes hincados que permiten el desplazamiento del suelo a su alrededor.

Los cimientos: transmiten al terreno todos los esfuerzos. Está formado por rocas, pilotes, terreno que soporta el peso de estribos y pilas.

1.2. Disipador de energía

Es un elemento estructural secundario u obra de protección, cuando el agua corre por el cauce, vertedero y los canales, contiene gran cantidad de energía y mucho poder destructivo debido a las altas presiones y

velocidades. Estas pueden causar erosión en el lecho del río, bases de los puentes, pie de la presa, o en las estructuras mismas de conducción, poniendo en peligro la estabilidad del puente y de las estructuras hidráulicas. Por lo tanto se deben colocar disipadores de energía.

Para la selección del tipo de disipador se debe tener las siguientes consideraciones:

- Energía de la corriente.
- Economía y mantenimiento ya que este eleva mucho el costo.
- Condiciones del cauce aguas abajo (roca, suelo, etc.).
- Ubicación de las vías de acceso, casa de máquinas, y demás estructuras hidráulicas, ya que su seguridad no puede quedar comprometida.
- Congelamiento.
- Proyectos y poblaciones aguas abajo.

Existen varios tipos de disipadores de energía, entre los cuales se tienen:

Bloques de concreto:

Se instalan en el lecho del río, antes de la llegada a la estructura estos bloques de concreto, se colocan en forma intercalada para reducir la energía del agua y que su trayectoria se forme curva y su energía disminuya.

Dientes:

Este tipo de disipador de energía ejecuta la misma función, solo que en este será solo un bloque de concreto, el cual soportará la energía del agua y la dispersará, estos elementos pueden variar su forma geométrica y su composición.

Por medio del uso de modelos reducidos, se ha llegado a la conclusión que son muy eficaces para caudales pequeños, pero para grandes, el agua se subdivide con violencia y es lanzada lateralmente provocando socavaciones en el terreno.

Escalones:

Este tipo de disipador de energía se coloca únicamente cuando se tienen caídas de agua sobre alturas mayores que provoquen que el impacto de agua sea peligroso para el terreno o estructuras que están en contacto con los mismos.

1.3. Zonas climáticas de Guatemala

El clima es producto de los factores astronómico, geográfico y meteorológico, adquiriendo características particulares por la posición geográfica y topográfica del país, climáticamente se ha zonificado al país en seis regiones perfectamente caracterizadas por el sistema de Thornthwaite.

- Las planicies del norte

Comprende las planicies del Petén. La región norte de los departamentos de Huehuetenango, Quiché, Alta Verapaz e Izabal. Las elevaciones oscilan entre 0 a 300 metros sobre el nivel del mar. El ascenso se realiza mientras se interna en el territorio de dichos departamentos, en las estribaciones de las Sierras de Chamá y Santa Cruz.

Es una zona muy lluviosa durante el año, aunque de junio a octubre se registran precipitaciones intensas. Los registros de temperatura oscilan entre los 20 y 30 grados centígrados.

En esta región se manifiestan climas de género cálido con invierno benigno, variando su carácter entre muy húmedos, húmedos y semisecos, sin estación seca bien definida. La vegetación característica varía entre selva y bosque.

- Franja transversal del norte

Definida por la ladera de la Sierra de los Cuchumatanes, Chamá y las Minas, norte de los departamentos de Huehuetenango, Quiché, Alta Verapaz y Cuenca del Río Polochic. Las elevaciones oscilan entre los 300 hasta los 1 400 metros sobre el nivel del mar, es muy lluviosa y los registros más altos se obtienen de junio a octubre, los niveles de temperatura descienden conforme aumenta la elevación.

En esta región se manifiestan climas de género cálido con invierno benigno, cálidos sin estación seca bien definida y semicálidos con invierno benigno, su carácter varía de muy húmedos sin estación seca bien definida. La vegetación característica es de selva a bosque.

- Meseta y altiplanos

Comprende la mayor parte de los departamentos de Huehuetenango, Quiché, San Marcos, Quetzaltenango Totonicapán, Sololá, Chimaltenango, Guatemala, sectores de Jalapa y las Verapaces. Las montañas definen mucha variabilidad con elevaciones mayores o iguales a 1 400 metros sobre el nivel del

mar, generando diversidad de microclimas, son regiones densamente pobladas, por lo que la acción humana se convierte en factor de variación apreciable.

Las lluvias no son tan intensas, los registros altos se obtienen de mayo a octubre, en los meses restantes estas pueden ser deficitarias, en cuanto a la temperatura en diversos puntos de esta región se registran los valores más bajos del país.

En esta región existen climas que varían de templados y semifríos con invierno benigno a semicálidos con invierno benigno, de carácter húmedo y semiseco con invierno seco.

- La bocacosta

Es una región angosta que transversalmente se extiende desde el departamento de San Marcos hasta Jutiapa, situada en la ladera montañosa de la Sierra Madre, en el descenso desde el altiplano hacia la planicie costera del pacífico, con elevaciones de 300 a 1 400 metros sobre el nivel del mar. Las lluvias alcanzan los niveles más altos del país al igual que la franja transversal del norte, con máximos pluviométricos de junio a septiembre, los valores de temperatura aumentan a medida que se desciende hacia el litoral del pacífico.

En esta región existe un clima generalizado de género semicálido y sin estación fría bien definida, con carácter de muy húmedo, sin estación seca bien definida, en el extremo oriental varía a húmedo y sin estación seca bien definida. La vegetación característica es selva.

- Planicie costera del pacífico

Esta región también se extiende desde el departamento de San Marcos hasta el de Jutiapa, con elevaciones de 0 a 300 metros sobre el nivel del mar.

Las lluvias tienden a disminuir conforme se llega al litoral marítimo con deficiencia durante los meses de noviembre a finales de mayo. En esta región existen climas de género cálido sin estación fría bien definida. Con carácter húmedo con invierno seco, variando a semiseco. Con invierno seco. La vegetación varía de bosque a pastizal en el sector oriental.

- Zona oriental

Comprende la mayor parte del departamento de Zacapa y sectores de los departamentos de El Progreso, Jalapa, Jutiapa y Chiquimula, el factor condicionante es el efecto de sombra pluviométrica que ejercen las Sierras De Chuacus y de Las Minas y a lo largo de toda la cuenca del Motagua, las elevaciones son menores o iguales a 1 400 metros sobre el nivel del mar.

La característica principal es la deficiencia de lluvia (la región del país donde menos llueve) con marcado déficit la mayoría del año y con los valores más altos de temperatura.

En esta región se manifiestan climas de género cálido con invierno seco, variando su carácter de semisecos sin estación seca bien definida hasta secos. La vegetación característica es el pastizal.

Las zonas climáticas de Guatemala, servirán como un indicador de las precipitaciones máximas ocurridas en diversos lugares, esta información es de gran aporte para conocer las avenidas máximas que existirán en la localización del puente y su construcción ya que las intensidades de lluvias provocarán un aumento en el caudal promedio y crecerán las avenidas, por consiguiente la energía del agua será mayor y al estar en contacto con las bases de los puentes, su fuerza podrá provocar fractura al mismo, esta información servirá para diseñar un dissipador de energía que soporte esta carga y proteja la estructura del puente.

Cada una de las vertientes se subdivide en cuencas, las cuáles son áreas tributarias de un río, es decir que es toda el área drenada por un río. Los límites de una cuenca se obtienen de la topografía del lugar. En las siguientes tablas, aparecen las cuencas en que se divide Guatemala.

Tabla I. **Cuencas de la vertiente del pacífico**

CUENCAS DE LA VERTIENTE DEL PACÍFICO					
No.	Cuenca	Área (km ²)	No.	Cuenca	Área (km ²)
1.1	Coatán	270	1.10	Coyolate	1 648
1.2	Suchiate	1 054	1.11	Acomé	706
1.3	Naranjo	1 273	1.12	Achiguate	1 291
1.4	Ocosito	2 035	1.13	María Linda	2 727
1.5	Samalá	1 510	1.14	Paso Hondo	512
1.6	Sis – Iacán	919	1.15	Los Esclavos	2 271
1.7	Nahualate	1 941	1.16	Paz	1 732
1.8	Atitlán	541	1.17	Ostúa–Güija	2 243
1.9	Madre Vieja	1 007	1.18	Olopa	310
Área total de la Vertiente del Pacífico (km ²)					23 990

Fuente: www.insivumeh.gob.gt/meteorología. Consulta: septiembre de 2012.

Tabla II. **Cuencas de la Vertiente del Caribe**

CUENCAS DE LA VERTIENTE DEL CARIBE					
No.	Cuenca	Área (km ²)	No.	Cuenca	Área (km ²)
2.1	Grande de Zacapa	2 462	2.5	Cahabón	2 459
2.2	Motagua	12 670	2.6	Sarstún	2 109
2.3	Río Dulce	3 435	2.7	Vertiente Belice**	8 159
2.4	Polochic	2 811			
Área total de la Vertiente del Caribe (km ²)					34 105

Fuente: www.insivumeh.gob.gt/meteorología. Consulta: septiembre de 2012.

Tabla III. **Cuencas de la Vertiente del Golfo de México**

CUENCAS DE LA VERTIENTE DEL GOLFO DE MEXICO					
No.	Cuenca	Área (km ²)	No.	Cuenca	Área (km ²)
3.1	Cuilco	2 274	3.6	Xaclbal	1 366
3.2	Selegua	1 535	3.7	Chixoy	12 150
3.3	Nentón	1 451	3.8	La Pasión	12 156
3.4	Pojom	813	3.9	Usumacinta	2 638
3.5	Ixcán	2 085	3.10	San Pedro	14 335
Área total de la Vertiente del México (km ²)					50 803

Fuente: www.insivumeh.gob.gt/meteorología. Consulta: septiembre de 2012.

Tabla IV. **Características de los principales ríos de Guatemala**

Cuenca	Nombre del Río	Longitud río (kms.)	Punto de control	Caudal Medio en punto de control (m ³ /s)
1.2	Cabuz	60,80	Malacatán	21,3
1.3	Naranjo	104,55	Coatepeque	20,7
1.4	Ocosito	106,80	Caballo Blanco	30,2
1.5	Samalá	145,00	Candelaria	8,7
1.6	Icán	52,80	Bracitos	34,0
1.7	Nahualate	130,30	San Mauricio	60,8
1.9	Madre Vieja	125,50	Palmira	8,0
1.10	Coyolate	154,95	Puente Coyolate	15,6
1.13	María Linda	70,10	Guacamayas	13,1
1.15	Los Esclavos	144,80	La Sonrisa	15,8
1.16	Paz	133,80	El Jobo	23,2
2.1	Grande de Zacapa	86,55	Camotán	28,5
2.2	Motagua	486,55	Morales	208,7
2.4	Polochic	193,65	Telemán	69,3
2.5	Cahabón	195,95	Cahaboncito	164,2
3.2	Selegua	101,75	Chojil	38,0
3.7	Salinas	112,70	San Agustín Chixoy	551,0
3.8	La Pasión	353,90	El Porvenir	322,8
3.10	San Pedro	186,25	San Pedro Mactún	52,9

Fuente: www.insivumeh.gob.gt/meteorología. Consulta: septiembre de 2012.

Aunque el río más largo de la república es el río Motagua (vertiente del Caribe), con un caudal medio de 208,7 metros cúbicos sobre segundo (en la estación de control de Morales, Izabal), el más caudaloso es el río Usumacinta, fronterizo con México, con un caudal promedio anual aproximado del orden de los 1 500 metros cúbicos sobre segundo en el punto donde se adentra al territorio mexicano. Se considera el complejo Chixoy - Usumacinta, (longitud en tierras de Guatemala 728,85 kilometros.), es más largo que el río Motagua, sin embargo, no se considera el más largo de la república debido a que parte de su recorrido es fronterizo y posteriormente recorre parte de México antes de llegar al golfo.

Tabla V. **Volúmenes de escorrentía (aproximadamente hasta 1970)**

Vertiente	Vol. de escorrentía (millones de m ³ /año)
Del pacífico	30 053
Del atlántico	44 245
Del golfo de México	42 290

Fuente: www.insivumeh.gob.gt/meteorología. Consulta: septiembre de 2012.

Se ha estimado que el 41 por ciento del agua de lluvia escurre superficialmente y llega a los océanos.

2. PROBLEMA ACTUAL DE FRACTURA DE PUENTES

Problemas que en la actualidad son comunes, ya que se sabe que en tiempos de invierno donde las precipitaciones son intensas, los puentes son arrastrados por la corriente; es decir la fuerza y energía que lleva el agua los hace colapsar, ocasionando daños a la comunidad o región, una de las causas es el impacto que sufren sus bases, esta es la problemática actual de la fracturación de los puentes.

2.1. Impacto sobre las bases de los puentes

En ciertas regiones o zonas de Guatemala, el invierno tiene una mayor duración e intensidad, lo que provoca que los ríos y sus cauces en determinado momento aumenten su caudal, así como la energía y velocidad que esta lleva. Cuando un río se ve afectado por estos factores, su caudal aumenta y puede llegar a ser destructivo.

El poder destructivo que posee el agua de una creciente, es de peligrosidad, es mayor en los puentes máxime si este se utiliza de cruce o de comunicación de un lado del río al otro, este será afectado por el impacto del fluido en sus bases de cargas laterales.

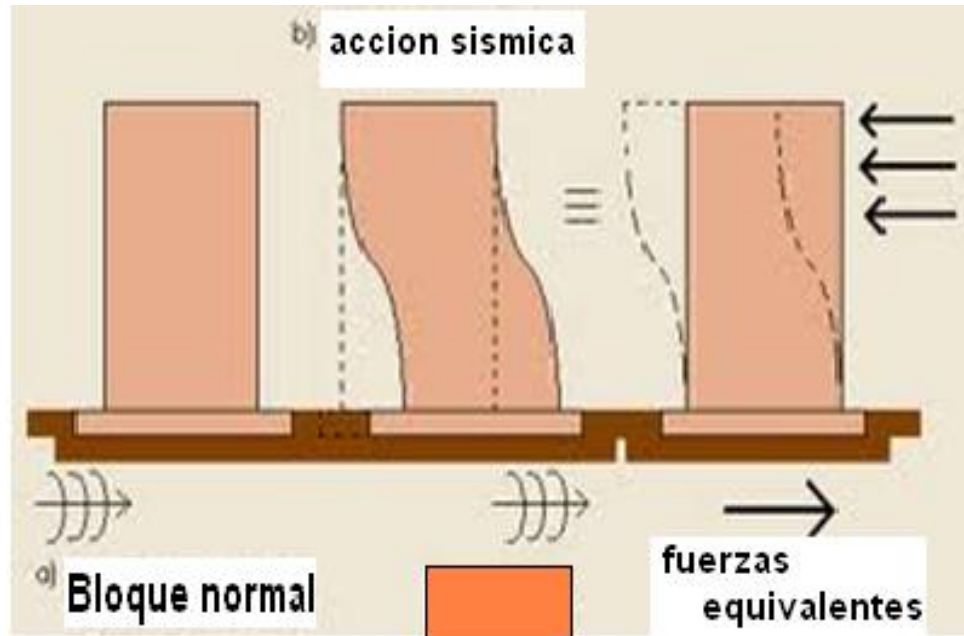
Figura 1. **Puente**



Fuente: imagen Google/puentes. Consulta: septiembre de 2012.

Las cargas laterales son las cargas que actúa horizontalmente sobre un elemento estructural, se producen en forma horizontal y provocan un esfuerzo a corte, así como una fuerza de deslizamiento; además pueden ser puntuales o distribuidas, son provocadas por el viento, agua, o sismos. Un fuerza de deslizamiento, es movimiento horizontal resultado de una carga o fuerza lateral, la flexión, es el pandeo lateral que se produce en un elemento que no es lo suficientemente rígido, al ser sometido a fuerzas laterales, momento de volteo, es el momento externo que se desarrolla en la base de una estructura, debido a una carga lateral aplicada a un punto que está situado por encima de la base, perdiendo el equilibrio.

Figura 2. **Acción sísmica**



Fuente: imagen Google/puentes. Consulta: septiembre de 2012.

Cuando el agua impacta con las bases de los puentes, llevando la energía provocada por crecidas máximas, que generan cargas externas al puente y sus bases; haciendo que los materiales se deterioren y la estructura empieza a presentar grietas, provocando que los elementos fallen por fatiga e impacto, produciendo que la edificación deje de prestar el servicio para el cual fue diseñado.

Figura 3. Puente fracturado



Fuente: imagen Google/puentes. Consulta: septiembre de 2012.

Este problema de fracturación de puentes se da por diferentes factores, siendo susceptible erradicarlo con la instalación de elementos secundarios de protección que puedan absorber la energía del agua antes de que esta impacte o colisione, con las bases de los puentes y así evitar grandes daños a la estructura.

2.1.1. Precipitaciones intensas de llluvias

La precipitación, es el proceso o ciclo hidrológico que consta de la evaporización del agua que al subir a la atmósfera se condensa, para después pasar a su estado líquido y precipitarse a la tierra ya como agua. En meteorología, la precipitación es cualquier forma de hidrometeoro que cae del cielo y llega a la superficie terrestre.

Este fenómeno incluye lluvia, llovizna, nieve, aguanieve, granizo, pero no, neblina ni rocío, que son formas de condensación y no de precipitación. La cantidad de precipitación sobre un punto de la superficie terrestre es llamada pluviosidad, o monto pluviométrico.

La precipitación es una parte importante del ciclo hidrológico, responsable del depósito de agua dulce en el planeta y por ende de la vida.

Estas precipitaciones se dan en todas las zonas, con la diferencia que en algunas poseen mayor intensidad que en otras y por más tiempo; siendo las responsables de los altos tirantes, desbordamientos, crecidas máximas de ríos, así como una gran cantidad de energía. Las precipitaciones indican intensidades de lluvia, la cual se mide en una altura sobre el tiempo dado; es decir, que sus unidades podrían ser milímetro sobre hora (mm/H) en una región específica. Los valores de precipitación, para que sean válidos, deben ser científicamente comparables.

Los instrumentos más frecuentemente utilizados para la medición de la lluvia y el granizo son los pluviómetros y pluviógrafos, estos últimos se utilizan para determinar las precipitaciones pluviales de corta duración y alta intensidad. Estos instrumentos deben ser instalados en locales apropiados donde no se produzcan interferencias de edificaciones, árboles, o elementos orográficos como rocas elevadas.

La precipitación pluvial se mide en milímetros, que equivale al espesor de la lámina de agua que se formaría con la precipitación de un litro de lluvia sobre una superficie plana e impermeable, de 1 metro cuadrado. En tal sentido es importante mencionar que estas servirán para poder establecer un cálculo de cuando y donde se tendrá una crecida máxima, donde se podrá determinar el

tirante máximo, el caudal, y la energía que llevará el agua a fin de poder diseñar un elemento que resista las cargas por el agua en crecidas normales y máximas.

2.1.1.1. Importancia de las precipitaciones en la ingeniería

Muchas obras de ingeniería civil son influenciadas profundamente por factores climáticos, por su importancia destacan las precipitaciones pluviales. En efecto, un correcto dimensionamiento del drenaje garantizará la vida útil de una carretera, vía férrea, o un aeropuerto, etc. El conocimiento de las precipitaciones pluviales extremas y la consecuencia el dimensionamiento adecuado de las obras hidráulicas, así por ejemplo, los vertedores de excedencias de las presas, garantizará su correcto funcionamiento y la seguridad de las poblaciones que se sitúan aguas abajo.

El cálculo de las lluvias extremas, de corta duración, es muy importante para dimensionar el drenaje urbano, y así evacuar volúmenes de agua que podrían producir inundaciones.

Las características de las precipitaciones pluviales que se deben conocer para estos casos son: intensidad y duración: estas dos características están asociadas, para un mismo período de retorno, al aumentarse la duración de la lluvia disminuye su intensidad media, la formulación de esta dependencia es empírica y se determina caso por caso, con base a los datos observados directamente en el sitio de estudio o en otros sitios próximos con las características hidrometeorológicas similares.

Las precipitaciones pluviales extremas tienen período de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1 000 y hasta 10 000 años, para cada sitio particular o para una cuenca, o la precipitación máxima probable, son determinadas con procedimientos estadísticos, con base a extensos registros de lluvia.

Para determinar la lluvia media en una cuenca las dimensiones de una cuenca hidrográfica son muy variadas y las precipitaciones también varían en el tiempo y en el espacio. Para tomar en cuenta estas diversidades y conocer el comportamiento de las lluvias, así como su magnitud en tales condiciones, es frecuente que en la misma se instalen varias estaciones pluviométricas.

Para determinar la precipitación media en la cuenca se elige un período de retorno determinado, se determina la lluvia en cada estación para el período de retorno seleccionado y luego se calcula la lluvia media, para esto se utiliza alguno de los procedimientos siguientes: método aritmético, polígonos de Thiessen y método de las isoyetas.

Es común encontrar regiones sin registros o con escasa información, por lo que se debe recurrir a criterios de evaluación regional. La hipótesis de la regionalización, es que las lluvias importantes se presentaron en sitios próximos, lo cual genera la ventaja de aprovechar los datos de las estaciones, donde sí se registraron aquellos eventos.

2.1.2. Crecida máxima de los ríos

Una crecida máxima es llamada en hidrología, una avenida, que es la elevación del nivel de un curso de agua que no está dentro del promedio, durante la crecida, el caudal de un curso de agua aumenta en tales proporciones que el lecho del río puede resultar insuficiente para contenerlo, y

por lo tanto el agua lo desborda e invade el borde mayor. Una avenida en algunos lugares se denomina también como crecida, creciente, riada o aguas altas.

2.1.2.1. Características de una avenida

Las principales características de una avenida son: su caudal máximo, o pico, fundamental para el dimensionamiento de las obras de protección lineares o defensas; el volumen de la avenida; la velocidad con que aumenta su caudal.

Estas características, para un mismo tipo de precipitación (es decir, misma intensidad y tiempo de aguacero), varían en función de características intrínsecas de la cuenca: su extensión, pendiente y tipo del terreno, y también de características modificables por las actividades antrópicas: la cobertura vegetal, los tipos de preparación del suelo para la agricultura, las áreas impermeabilizadas como áreas urbanas, etc.

2.1.2.2. Agravantes para su formación

Las crecidas más importantes no se deben a la torrencialidad de sus precipitaciones sino a la persistencia y a la repetición de lluvias muy intensas durante varios días. El suelo se halla entonces saturado y no puede absorber más agua, y al no lucir el sol, la evaporación es poco relevante. En todo caso, ello no excluye la existencia de crecidas debidas a la onda potente formada en un río secundario por lluvias torrenciales.

Entre las causas que agravan la importancia de las crecidas se encuentran:

- La permeabilidad del suelo de la cuenca, además de su excesiva pendiente y falta de vegetación que hacen que el agua discurra velozmente y no se infiltre.
- Los lechos estrechos y con pendientes muy acentuadas, que no pueden conservar volúmenes suficientes de agua suplementaria.
- La existencia de confluencias muy próximas de unas a otras.

Las crecidas más importantes no se deben a la torrencialidad de sus precipitaciones sino a la persistencia y a la repetición de lluvias muy intensas durante días. El suelo se halla entonces saturado y no puede absorber más agua, y al no lucir el sol, la evaporación es poco relevante. En todo caso, ello no excluye la existencia de crecidas debidas a la onda potente formada en un río secundario por lluvias torrenciales.

2.1.2.3. Coeficiente de escorrentía

Cada tipo de terreno, debido a los factores anteriormente reseñados, retendrá una mayor o menor cantidad de agua de forma superficial, por infiltración al terreno, por retención en la vegetación o por evaporación directa. La relación entre el agua evacuada por un río y el agua caída en forma de lluvia, o procedente de la fusión de la nieve, constituye el coeficiente. Con el conocimiento de los caudales que llegan en función del tiempo, se construirá el hidrograma de la avenida, que será el gráfico que indique dicha relación.

En verano, el coeficiente de escorrentía pasa rara vez de 0,4 porque una gran parte del agua es absorbida por el suelo seco o evaporada por el sol. En invierno, la influencia de esos dos factores es mínima, y el río puede llevarse hasta más del 80 por ciento del agua recibida por la cuenca.

2.1.2.4. Daños causados por las avenidas

Durante las crecidas, el caudal y la velocidad de la masa líquida aumentan en forma considerable la fuerza erosiva del agua y su capacidad de transporte. Así, un corto período basta para provocar cambios sensibles en la morfología de los márgenes y del lecho del río, ocasionando desbordes significativos. Para minimizar o incluso anular dichos desbordes, una adecuada defensa ribereña, un enrocado o la construcción de disipadores de energía, pueden ser ciertamente efectivos para prevenir este tipo de daños.

Figura 4. **Daños ocasionados por el agua**



Fuente: imagen Google/puentes. Consulta: septiembre de 2012.

2.1.3. Energía del agua

La energía es la capacidad de realizar una acción, en este caso el agua que es un fluido con una densidad específica o peso específico conocido al estar en movimiento provocará una energía y fuerza ; puesto que esta es igual a una masa dada con aceleración. Y por lo tanto se tiene el entendido que una avenida contendrá masa de agua y su curso llevará una aceleración, teniendo por lo tanto una misma fuerza y energía que podrán ser inofensivas como destructivas.

Energía

$$E=ma^2$$

Fuerza

$$F= m \cdot a$$

Ahora bien, la energía del agua ($E=ma^2$) está totalmente ligada a las intensidades de lluvia, y crecidas máximas que serán las que aumenten el volumen del agua, así como la velocidad de la misma; por lo tanto si existen crecidas máximas y se crean avenidas, la energía o la fuerza del agua ($F= m \cdot a$) se transformarán en fuerzas destructivas que al impactar con cualquier otro elemento pueden llegar a fracturarlos. En el caso de los puentes, esta fuerza puede provocar daños en sus bases, así como el deterioro de sus materiales y llevarlos a la ruptura o falla.

Esta energía se puede disipar antes de su llegada al elemento, ya que puede crearse un disipador de energía que será colocando antes de la estructura con el fin de disminuir la energía o fuerza y evitar grandes impactos directos. Esta acción se realiza por medio de una instalación de elementos únicos capaces de soportar cargas laterales y distribuir el fluido a los lados; de igual manera se colocarán elementos que se intercalen uno con otro para que en cada tramo el agua pueda desacelerar la energía.

Figura 5. **Energía del agua**



Fuente: imagen Google/daños en puentes. Consulta: septiembre de 2012.

2.1.4. Impacto por sólidos contenidos en el río

El principal problema como ya se mencionó, es la energía que lleva el agua, al momento en que se impacta sobre las bases del puente, pero este no es el único, existen otros factores como son los sólidos que desechan las poblaciones cercanas al mismo. En este caso, es debido a que los habitantes desechan aguas arriba, objetos y basura que se van acumulando con el paso del tiempo y se convierten en masas sólidas que al tener contacto con la velocidad del agua adquieren la magnitud de la misma, siendo de peligro por el daño que pueden provocar a la estructura.

Otro de los factores que existe y es aún más peligroso que los anteriores, es aquel que se produce solo en crecidas máximas, y se produce cuando las rocas contenidas en el río son arrastradas por la fuerza del agua tomando una velocidad y produciendo energía así como el flujo mismo e impactando de manera brusca sobre las bases de los puentes. Este factor produce deterioro

por impacto en la estructura. Acción que se muestra en la figura 6, en la cual se puede observar como diferentes sólidos impactan sobre la estructura del puente.

Figura 6. **Daños a la población**



Fuente: imagen Google/puentes. Consulta: septiembre de 2012.

2.2. Fracturación total del puente

La falla de un puente se lleva a cabo cuando deja de prestar el servicio para el cual fue diseñado, sucede cuando los materiales que son utilizados en su construcción fallan por el impacto, así que la estructura aunque este en su posición de equilibrio ya no es funcional. En tal sentido cabe mencionar que su fracturación, es la que motiva este problema, pues la estructura pierde el equilibrio y sus elementos se separan provocando que en cierto momento llegue a ser una fractura total.

Lo anterior puede llegar a ocurrir con base a varios factores como:

- La socavación de puentes

- Impacto sobre su bases
- Materiales frágiles
- Mal armado
- La estructura ha llegado al fin de su vida útil

La fractura total o destrucción del puente se inicia por la llegada al fin de su vida útil, aún cuando este no falla puesto que continúa con la prestación de sus servicios. Esta estructura esta indefensa contra la fuerza o energía del agua en crecidas máximas, así como al impacto de sólidos sobre sus bases y a la socavación del mismo.

La socavación es un fenómeno que describe la disminución del nivel del lecho por la erosión que provoca el impacto del agua con una tendencia a exponer la función del puente; dicho factor afecta a los puentes hayan cumplido o no su vida útil.

Se denomina socavación a la excavación profunda causada por el agua, uno de los tipos de erosión hídrica. Puede deberse al embate de las olas contra un acantilado, a los remolinos, especialmente allí donde encuentra algún obstáculo la corriente, y al roce con las márgenes de las corrientes que han sido desviadas por los lechos sinuosos. En este último caso es más rápida en la primera fase de las crecidas. La socavación provoca el retroceso de las cascadas y de los acantilados que, al ser privados de apoyo en su base, se van desplomando progresivamente.

Existen dos tipos de socavación: la socavación general; es un fenómeno de largo plazo, que se podría llamar natural, se da en la parte alta de las cuencas hidrográficas. Como consecuencia de una pendiente elevada, la velocidad del agua y la capacidad de arrastre de la corriente es elevada. En la

medida que el flujo arrastra más material, el flujo alcanza rápidamente su capacidad potencial de arrastre, el mismo que es función de la velocidad. En ese punto ya no produce socavación, la sección, márgenes y fondo son estables. A medida que se avanza en el curso del río o arroyo, la pendiente disminuye, consecuentemente disminuye la velocidad, y la corriente deposita el material que transportaba.

La socavación localizada; los casos más típicos son: al pie de un talud, lo que podrá provocar su derrumbe, si no se toman medidas; alrededor de los pilares, o debajo de la cimentación de la cabecera de un puente, pudiendo provocar la caída del mismo. Inmediatamente aguas abajo de un embalse. En efecto, el embalse retiene casi la totalidad del transporte sólido del río, así, el agua que es descargada aguas abajo de la represa está casi totalmente libre de sedimentos, teniendo por lo tanto una capacidad de socavación considerable.

Figura 7. **Daños a la base de un puente**



Fuente: imagen Google/puentes. Consulta: septiembre de 2012.

2.2.1. Cierre de la vía de comunicación

La fracturación total de un puente por las causas ya mencionadas conlleva a una serie de problemas que afectan a las poblaciones y al país. Esta puede generar un gran problema de cierre parcial en las vías de comunicación y estas pueden definirse como un camino o ruta que une o comunica dos regiones o dos poblados, su uso puede ser peatonal, vehicular; y para el transporte de mercancías pueden ser caminos, rutas, carreteras, autopistas, puentes, entre otros.

Figura 8. **Puentes temporales**



Fuente: imagen Google/puentes. Consulta: septiembre de 2012.

2.2.2. Déficit económico por detención de comercio

Uno de los factores que repercuten la fractura de un puente, es el déficit económico que existirá por que las personas no podrán salir de esa región, y de igual manera no se podrá ingresar. Ahora bien existe un problema mayor que

es el que se puede dar si esta es un paso principal de transporte de mercancía, ya que el cierre de esta ruta afectaría económicamente de forma directa a las poblaciones cercanas.

Se ve también afectado el déficit del costo de reconstrucción del puente, debido a que este dependería de: limpiar y despejar el área donde está construido el puente fracturado, así como extraer del río los objetos restantes de la estructura que al ser destruido cayeron en el lecho. Además es necesario demoler las partes que quedaron en la estructura original, pero que no tienen ningún uso, puesto que luego de esto se deberá implementar un puente temporal mientras que el fijo se encuentra en proceso de construcción. Se estima que por los procesos antes mencionados la reconstrucción de un puente se eleva un cincuenta por ciento sobre su costo y resulta más económico la colocación de uno nuevo.

2.2.3. Pérdida de vidas humanas

En el proceso de la fracturación de un puente es poco común que el mismo esté habilitado o en uso, pero en algunos casos la destrucción de esta estructura ha cobrado vidas humanas ya que se han quedado atrapadas en la misma y el puente ha colapsado. Las pérdidas humanas son pocas pero existen y por lo tanto el planteamiento de esta investigación busca erradicar este aspecto.

Figura 9. Pérdida de vida humana



Fuente: imagen Google/puentes. Consulta: septiembre de 2012.

Teniendo una idea amplia de los efectos que implica la fracturación de un puente, resulta necesario que estos sean tomados en cuenta al momento de realizar su diseño, además se debe complementar con los estudios de las crecidas máximas y de esta manera se puede prevenir al momento en que estas aparezcan. Dentro del diseño resulta procedente la instalación de los disipadores de energía como un elemento secundario que tenga una función preventiva.

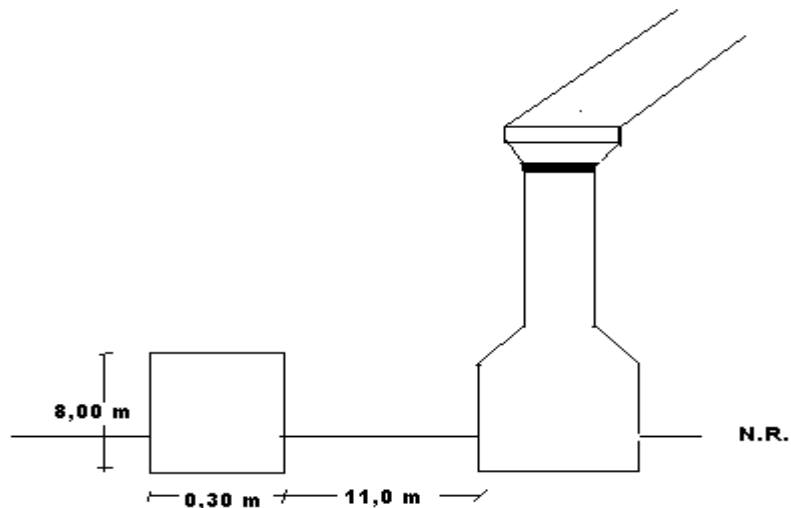
2.2.4. Tiempo de reconstrucción

Después de la destrucción total del puente viene el proceso de reconstrucción, el cual conlleva problemas a las poblaciones afectadas, debido a que durante ese tiempo, deben de instalarse pasos provisionales y ruta alterna para el transporte a modo que no se continúe con las pérdidas económicas.

3. DISEÑO DEL DISIPADOR DE ENERGÍA

El disipador de energía es un elemento secundario que funciona como obra de protección, se deberá tomar en cuenta en la etapa de diseño de un puente y previo al diseño de la estructura, estos estudios comprenden; estudios topográficos, de suelos que serán también los que se utilizarán para el diseño y construcción. El estudio más importante será hidráulico e hidrológico ya que será el que servirá para determinar los factores que influyen en las crecidas máximas, cuales son estas y su tiempo de ocurrencia, y proporcionará los factores a tomar en cuenta para su realización.

Figura 10. Disipador de energía



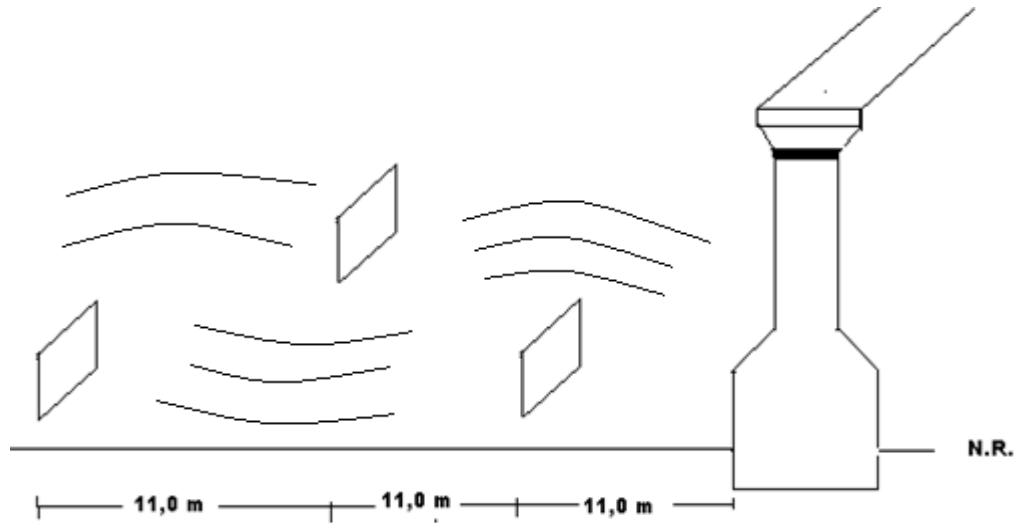
Fuente: elaboración propia, con programa Autocad.

Un dissipador de energía servirá para soportar la fuerza del agua, cuando esta pretende impactarse sobre las bases de los puentes y ocasionar daños, se debe tomar en cuenta donde se ubicará, que materiales se utilizarán, la forma que tendrán estos elementos. Lo que nos detallará el diseño, son los factores hidráulicos e hidrológicos, a partir de estos se puede calcular una crecida máxima, por consiguiente un caudal máximo, y determinar la fuerza de impacto del agua en estructura.

Conociendo la fuerza se diseña un muro tipo voladizo o un elemento único de gran tamaño que pueda soportar la carga sin ser fracturado y que pueda disipar la energía del fluido, convirtiendo así un flujo turbulento a un flujo laminar.

Dependiendo de la crecida que pueda ocurrir en cierto río o cauce se puede diseñar el dissipador, conociendo la altura y dimensiones del mismo, las cuales soportaran las cargas y servirán de protección para que las bases de los puentes no estén expuestas a estas cargas horizontales y pueda extender su vida útil, o si no implementar estos elementos para puentes ya existentes pero que ya han cumplido con su vida útil.

Figura 11. **Disipador de energía múltiple**



Fuente: elaboración propia, con programa Autocad.

3.1. **Materiales**

En la etapa del diseño de un disipador de energía se tomarán en cuenta los materiales a utilizar para su construcción, los cuales constarán de diferentes materiales, como, el cemento, las gravas, agregado fino y acero; cada material tendrá que contener una calidad específica así como requerimientos técnicos y específicos los cuales aseguran su buen funcionamiento. Deberán cumplir con las propiedades físicas y mecánicas requeridas, las cuales solo se podrán conocer con ensayos de laboratorio para que cumpla con normas de calidad, por ejemplo a los agregados se ensayarán a desgaste, se le realizará también un ensayo granulométrico entre otros y al acero se realizará un ensayo a tensión y a flexión, el cemento solo se tomará en cuenta que tipo es y cuál es su uso principal.

En la dosificación total de los materiales como resultado será el concreto armado, como elemento deberá cumplir con propiedades físicas y mecánicas; es también importante ensayar el concreto en estado fresco.

3.1.1. Cemento

Se denomina cemento a un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla más esquistos, calcinadas y posteriormente molidas o trituradas al tamiz 200, se introduce al horno a una temperatura de 1500 grados Celsius y de este proceso se tiene como resultado el *clinker*, este de nuevo se tritura y se tiene el cemento, que tiene la propiedad de endurecer al contacto con el agua. Mezclado con agregados pétreos como gravas, arena y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece, adquiriendo consistencia pétreo, denominada concreto.

Tipos de cemento

Se pueden establecer dos tipos básicos de cementos:

- Origen arcilloso: obtenidos a partir de arcilla y piedra caliza en proporción 1 a 4 aproximadamente.
- Origen puzolánico: la puzolana del cemento puede ser de origen orgánico o volcánico.

Existen diversos tipos de cemento, diferentes por su composición, por sus propiedades de resistencia y durabilidad, y por lo tanto por sus destinos y usos.

Desde el punto de vista químico se trata en general de una mezcla de silicatos y aluminatos de calcio, obtenidos a través del cocido de calcáreo, arcilla y arena. El material obtenido, molido muy finamente, una vez que se mezcla con agua se hidrata y solidifica progresivamente.

Tipos de cemento según su uso

- Tipo I-A UGC – Uso general en la construcción 4 000 - 5000 libras sobre pulgada cuadrada
- Tipo I-A Moderada resistencia a los sulfatos
- Tipo I-A Alta resistencia inicial
- Tipo I-A Bajo calor de hidratación
- Tipo I-A Alta resistencia a los sulfatos – uso marítimo
- Tipo I-A Perforación de pozos petroleros

El cemento más utilizado como aglomerante para la preparación del concreto es el cemento portland, producto que se obtiene por la pulverización del *clinker* portland con la adición de una o más formas de yeso. Se admite la adición de otros productos siempre que su inclusión no afecte las propiedades del cemento resultante.

Los productos adicionales deben ser pulverizados conjuntamente con el *clinker*. Cuando el cemento portland es mezclado con el agua, se obtiene un producto de características plásticas con propiedades adherentes que solidifica en algunas horas y endurece progresivamente durante un período de varias semanas hasta adquirir su resistencia característica. El proceso químico de solidificación es llamado hidratación mineral.

Con el agregado de materiales particulares al cemento (calcáreo o cal) se obtiene el cemento plástico, que fragua más rápidamente y es más fácilmente trabajable. Este material es usado en particular para el revestimiento externo de edificios.

Normativa

La calidad del cemento portland deberá estar de acuerdo con la Norma ASTM C 150.

Propiedades generales del cemento

- Buena resistencia al ataque químico
- Resistencia a temperaturas elevadas
- Resistencia inicial elevada que disminuye con el tiempo
- Se ha de evitar el uso de armaduras. Con el tiempo aumenta la porosidad
- Uso apropiado para bajas temperaturas por ser muy exotérmico

3.1.2. Gravas

En geología y en construcción se denomina gravas a las rocas de tamaño comprendido entre 2 y 64 milímetros, aunque no existe homogeneidad de criterio para el límite superior. Pueden ser producidas por el hombre, en cuyo caso suele denominarse naturales. En este caso, además, suele suceder que el desgaste natural producido por el movimiento en los lechos de ríos ha generado formas redondeadas, pasando a conocerse como canto rodado. Existen también casos de gravas naturales que no son cantos rodados.

Estos áridos son partículas granulares de material pétreo, es decir, piedras, de tamaño variable. Material que se origina por fragmentación de las distintas rocas de la corteza terrestre, ya sea en forma natural o artificial. En este último caso actúan los procesos de triturado utilizados en las respectivas plantas de áridos. El material que es procesado corresponde principalmente a minerales de caliza, granito, dolomita, basalto, arenisca, cuarzo y cuarcita.

El agregado grueso o gravas es el material que queda retenido por el tamiz numero 4 y su función principal es determinar la cantidad de agua a utilizar en una dosificación y también presenta resistencia. Su peso específico es 1600 kilogramos sobre metro cúbico.

Obtención:

Como fuente de abastecimiento se pueden distinguir las siguientes situaciones:

- Bancos de sedimentación: son los bancos construidos artificialmente para embancar el material fino-grueso que arrastran los ríos.
- Cauce de río: corresponde a la extracción desde el lecho del río, en los cuales se encuentra material arrastrado por el escurrimiento de las aguas.
- Pozos secos: zonas de antiguos rellenos aluviales en valles cercanos a ríos.
- Canteras: es la explotación de los mantos rocosos o formaciones geológicas, donde los materiales se extraen usualmente desde cerros mediante lo que se denomina voladura (rotura mediante explosivos).

3.1.3. Agregado fino

El árido fino o arena constituye de hecho la mayor parte del porcentaje en peso del concreto. Usualmente supera el 60 por ciento del peso en el concreto fraguado y endurecido. La adecuación de un árido para la fabricación de concreto debe cumplir un conjunto de requisitos usualmente recogidos en las normas como la ASTM, o las normas ASCE/SEI. Dichos requisitos se refieren normalmente a la composición química, la granulometría, los coeficientes de forma y el tamaño.

El agregado fino consistirá en arena natural proveniente de canteras aluviales o de arena producida artificialmente. La forma de las partículas deberá ser generalmente cúbica o esférica y razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas. La arena natural estará constituida por fragmentos de roca limpios, duros, compactos, durables. En la producción artificial del agregado fino no deben utilizarse rocas que se quiebren en partículas laminares, planas o alargadas, independientemente del equipo de procesamiento empleado.

El agregado fino es aquel que pasa por el tamiz número 4, el cual se determina por medio de una granulometría y la función principal de agregado fino o arenas es la de llenar espacios vacíos en la dosificación y por ese factor su peso es aproximadamente un 60 por ciento del total de la mezcla. Su peso específico es 1425 kilogramos sobre metro cúbico.

Ensayos a los agregados:

- Ensayo de abrasión y desgaste: este ensayo se le realiza a las gravas o agregado grueso para conocer el porcentaje de desgaste y abrasión que

presenta este material y dar un uso correcto dependiendo de su porcentaje de desgaste.

- **Peso volumétrico:** consiste en conocer el peso volumétrico de los agregados se aplica a los finos y gravas.
- **Granulometría:** es un ensayo que se realiza para conocer el módulo de finura de un material que posteriormente indica que porcentaje de finos y gravas debe de contener nuestra dosificación para obtener la resistencia máxima, este ensayo se aplica a gravas y agregado fino.

3.1.4. Acero

El acero es una aleación de hierro con una cantidad de carbono variable, conserva las características metálicas del hierro en estado puro, pero la adición de carbono y de otros elementos tanto metálicos como no metálicos mejora sus propiedades físico-químicas. Entre las propiedades mecánicas que debe tener en esta estructura son:

- **Esfuerzo minio de fluencia:** F_y 36000 libras sobre pulgada cuadrada (AISC, 2006)
- **Resistencia especificada mínima a la tensión:** 58000–80000 libras sobre pulgada cuadrada (AISC, 2006)
- **Peso específico:** 7850 kilogramos sobre centímetros cúbicos (AISC, 2006)

- Maleabilidad: propiedad para permitir modificar su forma a temperatura ambiente en láminas, mediante la acción de martillado y estirado. (AISC, 2006)
- Ductilidades la capacidad de poderse alargar longitudinalmente.(AISC, 2006)
- Tenacidad: resistencia a la ruptura al estar sometido a tensión. (AISC, 2006)

3.1.5. Concreto

El concreto es el material resultante de la mezcla de cemento, con áridos (grava, y arena) y agua. La mezcla de cemento con arena y agua se denomina mortero. Existe concreto que se produce con otros conglomerantes que no son cemento, como el hormigón asfáltico que utiliza betún para realizar la mezcla. El cemento, mezclado con agua, se convierte en una pasta moldeable con propiedades adherentes, que en pocas horas fragua y se endurece tornándose en un material de consistencia pétreo.

La principal característica estructural del concreto es que resiste muy bien los esfuerzos de compresión, pero no tiene buen comportamiento frente a otros tipos de esfuerzos como de tracción, flexión, entre otros, por este motivo es habitual usarlo asociado al acero, recibiendo el nombre de concreto armado.

Además, para poder modificar algunas de sus características o comportamiento, se pueden añadir aditivos y adiciones, existiendo una gran variedad de ellos: colorantes, aceleradores, retardadores de fraguado, fluidificantes, impermeabilizantes, fibras, entre otros.

Cuando se proyecta una estructura de concreto armado se establecen las dimensiones de los elementos, el tipo de concreto, los aditivos, y el acero que se debe colocar en función de los esfuerzos que deberá soportar y de las condiciones ambientales a que estará expuesto. El concreto tiene como principales características físicas y mecánicas las siguientes:

- Densidad: en torno a 2 350 kilogramo sobre metro cúbico.
- Resistencia a compresión: 150 a 500 kilogramo sobre centímetro cuadrado para el concreto ordinario. Existen concretos especiales de alta resistencia que alcanzan hasta 200 pascales.
- Resistencia a tracción: proporcionalmente baja, es del orden de un décimo de la resistencia a compresión y, generalmente, poco significativa en el cálculo global.
- Tiempo de fraguado: dos horas, aproximadamente, variando en función de la temperatura y la humedad del ambiente exterior.
- Tiempo de endurecimiento: progresivo, dependiendo de la temperatura, humedad y otros parámetros.
- Resistencia a la compresión: 3000 libras sobre pulgada cuadrada (ACI, 2008).
- Peso específico: 2 400 kilogramos sobre centímetros cúbicos (ACI, 2008).

- Trabajabilidad: es la facilidad con la cual pueden mezclarse los materiales y la mezcla resultante puede manejarse, transportarse y colocarse con poca pérdida de la homogeneidad. (ACI, 2008).
- Durabilidad: el concreto debe ser capaz de resistir la intemperie, acción de productos químicos y desgastes, a los cuales estará sometido en el servicio. (ACI, 2008).
- Impermeabilidad: es una importante propiedad del concreto que puede mejorarse, con frecuencia, reduciendo la cantidad de agua en la mezcla. (ACI, 2008).
- Resistencia: se determina por la resistencia final de una probeta en compresión. Como el concreto suele aumentar su resistencia en un período largo, la resistencia a la compresión a los 28 días es la medida más común de esta propiedad. Tendrá una resistencia de 3000 libras sobre pulgada cuadrada. (ACI, 2008).
- Revenimiento: 10 centímetros (ACI, 2008).

3.2. Forma geométrica

El dissipador de energía será un elemento que soportará cargas horizontales, las cuales serán producidas por el flujo que llevará el río, estos elementos tendrán una forma geométrica de las cuales cada una tendrá diferencias, pero con la misma función, cuando se habla del diseño de un dissipador de energía, se refiere a que se diseñará como muro de contención, siendo el que disipe la energía convirtiendo el flujo turbulento a flujo laminar antes de la llegada a las bases del puente, en este caso la característica de

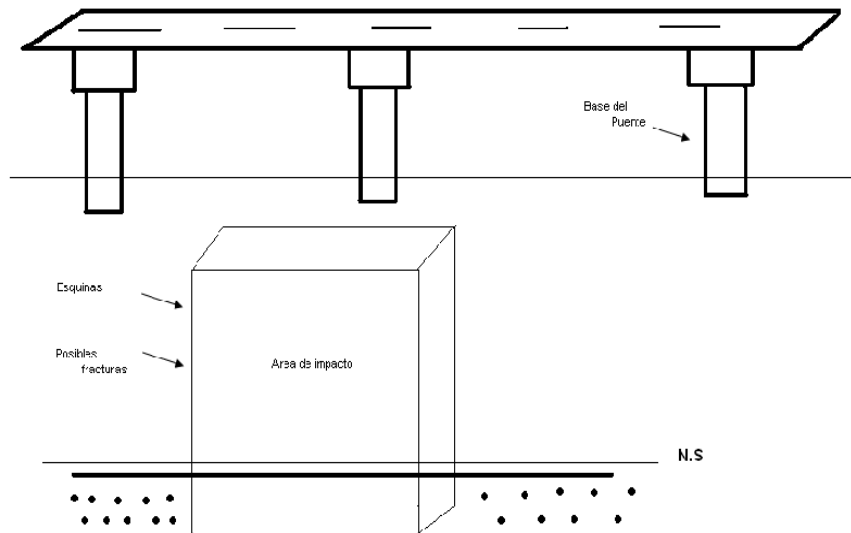
este dissipador será la misma de un muro de contención por gravedad, el cual soportará las cargas de volteo y arrastre, solo con el peso propio de la estructura.

3.2.1. Forma geométrica cuadrada o cubo

El dissipador de energía tendrá la forma de un cubo, el cual soportará las cargas horizontales por el peso propio de su estructura, este tipo de elemento cuando el agua impacte sobre él, cortará su energía de forma brusca, este elemento por tener el área de impacto de forma cuadrada cubrirá más espacio, dependiendo del ancho del río se pueden colocar diferentes muros de forma cúbica para disminuir la fuerza de choque, de esta forma el dissipador de energía trabajadora.

Pero por su forma presenta desventajas; una es que el volumen será grande y significará mayor costo, otra desventaja es que por ser frontal cuadrada en sus extremos se forman esquinas, las cuales serán dañadas al paso del tiempo por el impacto del fluido, produciendo así desechos sólidos que contendrá el río.

Figura 12. **Disipador de energía cubo**



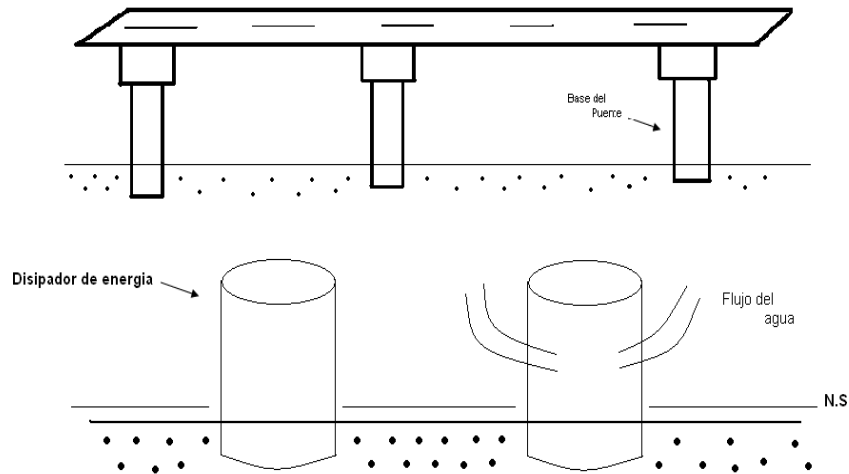
Fuente: elaboración propia, con programa Autocad.

3.2.2. **Forma geométrica circular o cilindro**

El disipador de energía presenta una forma circular alargado o cilíndrica, también se puede emplear para la construcción de un elemento de protección ya que su forma redonda realizará una acción en donde el agua no tendrá un área de impacto, si no que el fluido redondeará el elemento perdiendo su fuerza, erradicando la socavación en las partes bajas del disipador ya que el curso del agua alrededor de él, no producirá un resalto hidráulico sino disminuirá su energía de forma gradual.

Esta forma geométrica también es factible pero debe de tomar en cuenta que, por no tener un área de impacto mayor la disminución de energía no será significativa, dependiendo de la crecida que tenga el río así es como se va a determinar la altura del dispositivo, sus dimensiones y cantidad de unidades que estarán ligadas al ancho del río.

Figura 13. **Disipador de energía circular**

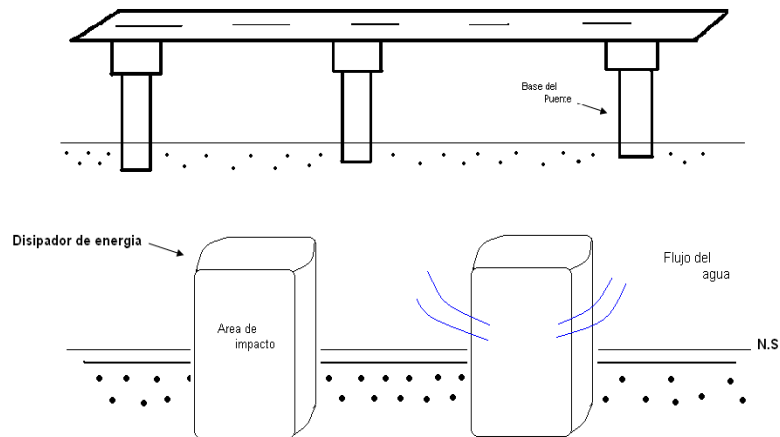


Fuente: elaboración propia, con programa Autocad.

3.2.3. **Forma geométrica rectángulo redondeado**

El disipador de energía en forma de un rectángulo redondeado, es un elemento que no tendrá el problema de las fracturas que se realizan por el impacto del agua en las esquinas, pero a diferencia del circular si contendrá un área de impacto mayor, por lo cual cortará la energía del agua erradicando el impacto sobre las bases de los puentes, este elemento soportará las cargas por su propio peso, sus dimensiones estarán en función de la crecida máxima y el ancho del río, y la única desventaja que posee es que su formaleta para darle esa figura deberá ser especial, y el costo subirá, pero es la más recomendable de las 3, ya que el agua tendrá un área de impacto mayor, la cual reducirá su fuerza y no existirá socavación por desvío lateral.

Figura 14. **Disipador de energía redondeado**

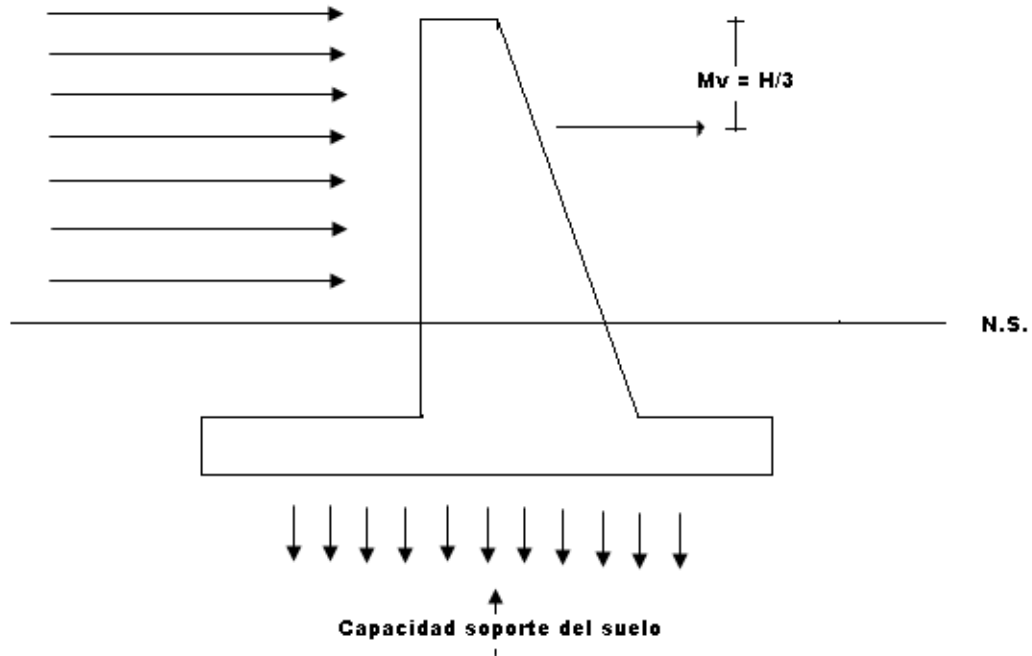


Fuente: elaboración propia, con programa Autocad.

3.3. **Forma por composición**

La forma por composición es de que manera estarán contruidos los disipadores de energía, este elemento será utilizado como un muro de contención, entonces existirían dos formas de realizarlo, un muro por gravedad que son los que soportan las cargas debido a su peso propio mencionados en el capítulo 4.2, la otra forma seria como un muro de contención en voladizo esta es una estructura que soportará las cargas de volteo y fuerzas de deslizamiento por el diseño estructural de la misma, este muro consta de una forma la cual al ser cargada, ejerce una fuerza de reacción y cumple la función de quedar en equilibrio.

Figura 15. **Muro de contención**



Fuente: elaboración propia, con programa Autocad.

3.3.1. **Disipador de energía muro por gravedad**

Se denomina muro de contención por gravedad, a un tipo estructura de contención rígida, destinada a contener algún material, generalmente suelos pero en este caso este muro tendrá que contener el agua, ya que el disipador de energía trabajará como un muro el cual cumplirá la función principal del elemento, los muros de contención se utilizan para detener masas de tierra u otros materiales sueltos cuando las condiciones no permiten que estas masas asuman sus pendientes naturales. Condiciones que se presentan cuando el ancho de una excavación, corte o terraplén está restringido por condiciones de propiedad, utilización de la estructura o economía.

Los muros por gravedad son aquellos cuyo peso contrarresta el empuje del elemento. Dadas sus grandes dimensiones, prácticamente no sufre esfuerzos flectores, por lo que no suele armarse. Los muros de gravedad a su vez pueden clasificarse en:

- Muros de concreto en masa: cuando es necesario, se arma el pie.
- Muros de mampostería seca: se construyen mediante bloques de roca.
- Muros de escollera: se construyen mediante bloques de roca de mayor tamaño que los de mampostería.
- Muros de gaviones: son muros mucho más fiables y seguros que los de escollera ya que, con estos, se pueden realizar cálculos de estabilidad y, una vez montados, todo el muro funciona de forma monolítica.
- Muros prefabricados o de elementos prefabricados: se pueden realizar mediante bloques de hormigón previamente fabricados.

Para el cálculo del diseño de un muro por gravedad de contención es necesario tener en cuenta las fuerzas que actúan sobre él como la presión lateral del suelo y aquellas que provienen de este como el peso propio. Con estos datos se puede verificar los siguientes chequeos y si estos cumplen se puede estar seguros que nuestro elemento estará en equilibrio:

- Chequeo contra deslizamiento: se verifica que la componente horizontal del empuje de la tierra F_h no supere la fuerza de retención F_r debida a la fricción entre la cimentación y el suelo, proporcional al peso del muro. En algunos casos, puede incrementarse F_r con el empuje pasivo del suelo en la parte baja del muro. El chequeo es bueno si la relación entre la fuerza de fricción sobre la fuerza horizontal es mayor que 1,3.

$$Fr / Fh > 1,3$$

- Chequeo contra volteo: se verifica que el momento de las fuerzas horizontales M_v que tienden a voltear el muro sea menor al momento que tienden a estabilizar el muro M_r que son las fuerzas del peso de la estructura. El chequeo se cumple si la relación entre el momento resultante sobre el momento de volteo es mayor a 1,5 es decir que el factor de seguridad sea mayor a 1,5.

$$M_r = \sum W * X_c$$

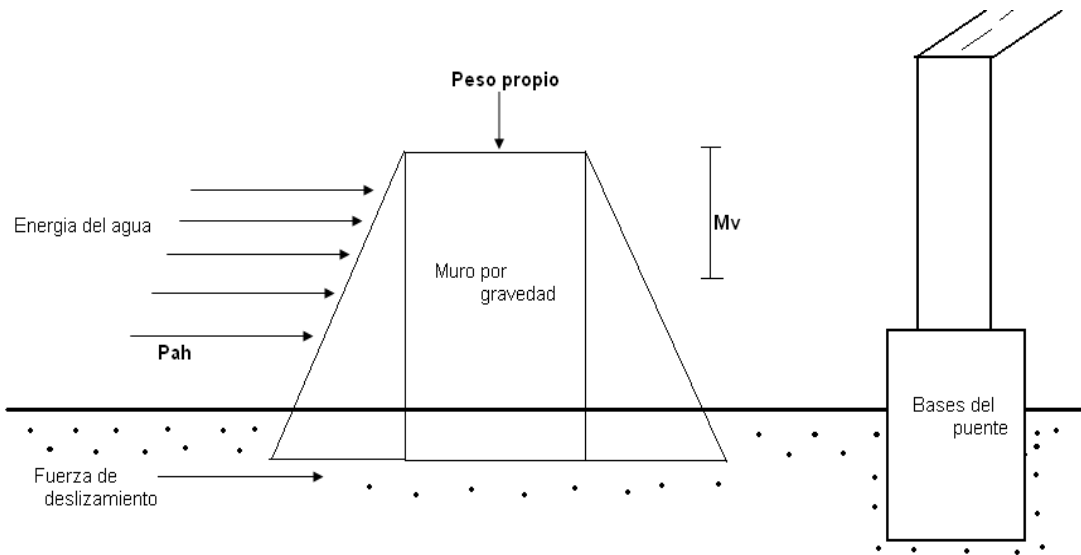
$$M_v = P_a h * H/3$$

$$F_s = M_r / M_v > 1,5$$

- Chequeo capacidad soporte del suelo: se determina la carga total que actúa sobre la cimentación y se verifica que la carga transmitida al suelo T_s sea inferior a la capacidad soporte del suelo T_t , o en otras palabras que la máxima tensión producida por el muro sea inferior a la tensión admisible en el terreno.

$$F_s = T_t / T_s > 1,0$$

Figura 16. Muro por Gravedad



Fuente: elaboración propia, con programa Autocad.

3.3.2. Disipador de energía muro en voladizo

Un muro en voladizo es un elemento de contención de material el cual es un muro de concreto fuertemente armado. Presenta ligeros movimientos de flexión y dado que el cuerpo trabaja como un voladizo vertical, su espesor requerido aumenta rápidamente con el incremento de la altura del muro. Presentan un saliente o talón sobre el que se apoya parte del terreno, de manera que muro y terreno trabajan en conjunto. Siempre que sea posible, una extensión en el puntal o la punta con una dimensión entre un tercio y un cuarto del ancho de la base suministra una solución más económica.

Los distintos de muros estructurales, son los muros en L, T. En algunos casos, los límites de la propiedad u otras restricciones obligan a colocarlo en el borde delantero de la losa base, es decir, a omitir el puntal. Es en estas ocasiones cuando se utilizan los muros en L.

Como se ha indicado, en ocasiones muros estructurales verticales de gran altura presentan excesivas flexiones. Para evitar este problema surge el muro con contrafuertes, en los que se colocan elementos estructurales en su parte interior. Suelen estar espaciados entre sí a distancias iguales o ligeramente mayores que la mitad de la altura del muro. También existen muros con contrafuertes en la parte exterior del mismo.

Para el cálculo del diseño de un muro por voladizo de contención es necesario tener en cuenta las fuerzas que actúan sobre él como la presión lateral del suelo y aquellas que provienen de este como el peso propio de cada figura que lo forma, la diferencia en el cálculo con el muro por gravedad es mínima ya que solo en la altura difieren y en el chequeo contra deslizamiento si no cumple se agrega un diente para evitar el deslizamiento. Con estos datos se puede verificar los siguientes chequeos y si estos cumplen se puede estar seguros que el elemento permanecerá en equilibrio:

- Chequeo contra deslizamiento: se verifica que la componente horizontal del empuje de la tierra F_h no supere la fuerza de retención F_r debida a la fricción entre la cimentación y el suelo, proporcional al peso del muro. En algunos casos, puede incrementarse F_r con el empuje pasivo del suelo en la parte baja del muro. El Chequeo es bueno si la relación entre la fuerza de fricción sobre la fuerza horizontal es mayor que 1,3.

$$F_r / F_h > 1,3$$

- Chequeo contra volteo: se verifica que el momento de las fuerzas horizontales M_v que tienden a voltear el muro sea menor al momento que tienden a estabilizar el muro M_r que son las fuerzas del peso de la estructura es decir el peso de cada figura formada por la forma del muro.

El chequeo se cumple si la relación entre el momento resultante sobre el momento de volteo es mayor a 1,5 es decir que el factor de seguridad sea mayor a 1, 5.

$$M_r = \sum W * X_c$$

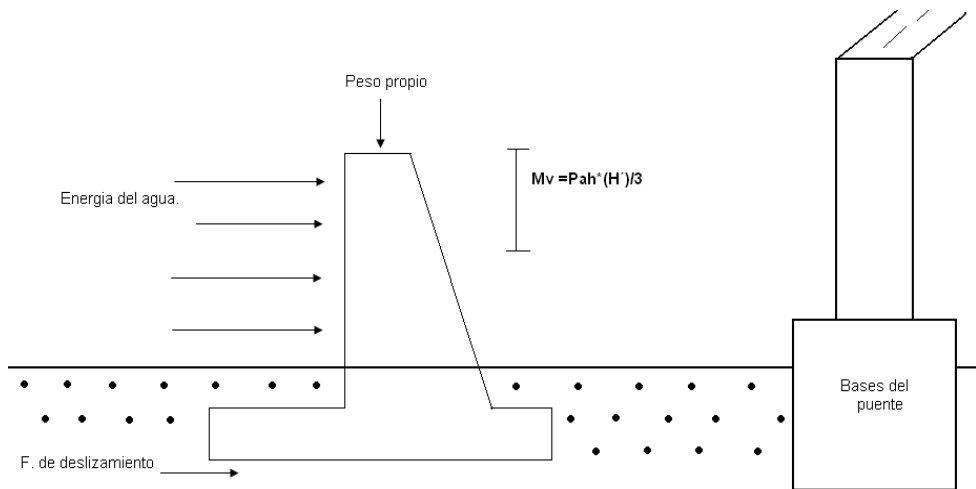
$$M_v = P_a h * H/3$$

$$F_s = M_r / M_v > 1,5$$

- Chequeo capacidad soporte del suelo: se determina la carga total que actúa sobre la cimentación y se verifica que la carga transmitida al suelo T_s sea inferior a la capacidad soporte del suelo T_t , o en otras palabras que la máxima tensión producida por el muro sea inferior a la tensión admisible en el terreno.

$$F_s = T_t / T_s > 1,0$$

Figura 17. **Muro por voladizo**



Fuente: elaboración propia, con programa Autocad.

3.4. Diseño del dissipador de energía

El dissipador de energía se diseñará por medio de cálculos matemáticos y métodos hidrometeorológicos, los cuales proporcionaran los datos necesarios para diseñar el elemento, estos serán calcular la crecida máxima de un río, así se podrá conocer la altura que deberá tener el dissipador, si es de menor altura que la crecida máxima el elemento será no funcional, también se deben calcular el caudal máximo.

Este cálculo se hará por medio de métodos de aforo, los cuales indicarán el dato exacto que nos servirá para calcular la fuerza de impacto del agua que será una fuerza equivalente horizontal, de la recopilación de esta información se diseñará un dissipador de energía que soporte cargas a las cuales será expuesto en un momento dado, por consiguiente se llevará a cabo una descripción de la colocación e instalación del elemento, así como su costo.

3.4.1. Determinar crecida máxima

Para determinar las crecidas máximas de cualquier río cauce existen los llamados métodos hidrometeorológicos, los cuales son los que predeterminan las crecidas mediante análisis de lluvias intensas. Su utilización será posible si se conoce la distribución de los grandes aguaceros precipitados, permitirá conocer la intensidad de la lluvia que provoque la máxima crecida, así como la probabilidad de ocurrencia. Existen dos métodos hidrometeorológicos los cuales servirán para poder determinar su crecida máxima y nivel del agua, son:

- Método racional
- Método del hidrógrama unitario

3.4.1.1. Método racional

El método racional se utiliza en hidrología para determinar el caudal instantáneo máximo de descarga de una cuenca hidrográfica. El método racional resulta de la fórmula:

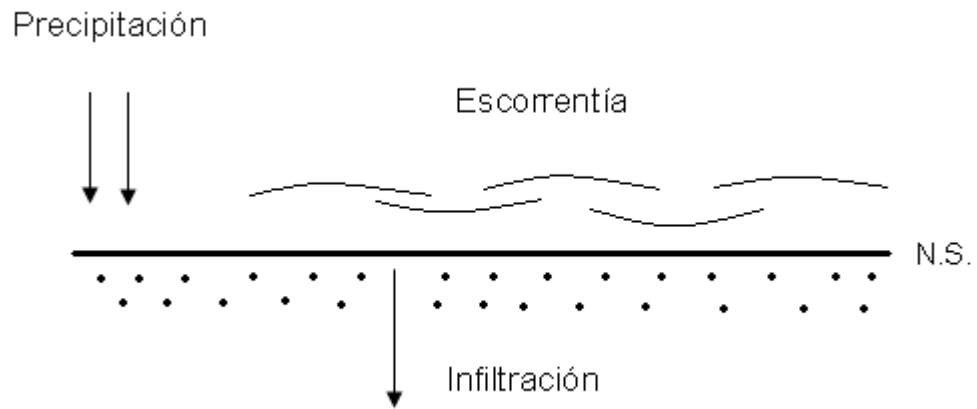
$$Q = A * V$$

Solo que este caso la velocidad será la intensidad de lluvia ya que este método está en función de las precipitaciones de lluvia, entonces esta fórmula quedaría así:

$$Q = A * I$$

Sería la fórmula que indicaría el caudal máximo instantáneo de una cuenca, solo si su superficie fuera impermeable, es decir que no existiera ningún tipo de infiltración de agua, pero como no existe una superficie donde esto pase, es necesario un coeficiente que afecte a la fórmula anterior y que aproxime el tipo de superficie donde estará pasando el flujo o donde caerá, esta fórmula será de la siguiente manera:

Figura 18. **Método racional**



Fuente: elaboración propia, con programa Autocad.

$$Q = CIA$$

Donde la constante c es el coeficiente de escorrentía de un suelo en específico, para cada suelo esta constante c será diferente, y la fórmula para dimensiones de área en hectáreas, e intensidad de lluvia en milímetros sobre hora (mm/hora), queda de la siguiente manera:

$$Q = CIA / 360$$

3.4.1.2. **Método del hidrograma unitario**

Es uno de los métodos utilizados en hidrología, para la determinación del caudal producido por una precipitación intensa en una determinada cuenca hidrográfica.

Si fuera posible que se produjeran dos lluvias idénticas sobre una cuenca hidrográfica cuyas condiciones antes de la precipitación también fueran iguales, sería de esperarse que los hidrogramas correspondientes a las dos lluvias también fueran iguales. Esta es la base del concepto de hidrograma unitario. En la realidad es muy difícil que ocurran lluvias idénticas; estas pueden variar su duración (tiempo), el volumen precipitado, su distribución espacial, su intensidad.

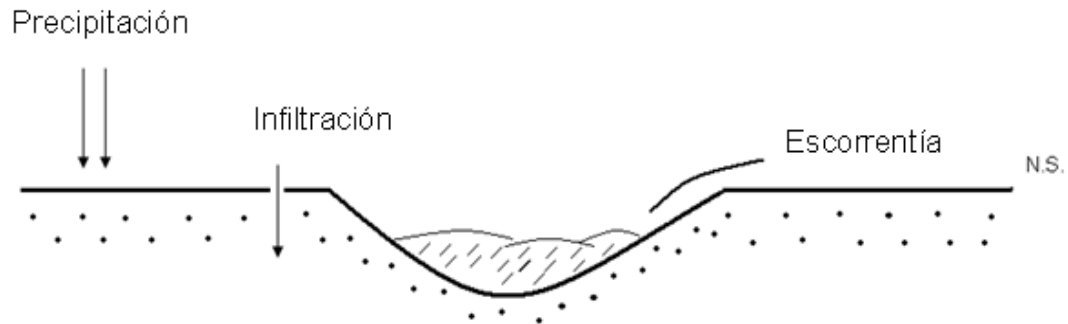
Un hidrograma unitario es el resultante de un escurrimiento correspondiente a un volumen unitario, 1 milímetro de lluvia por la cuenca, proveniente de una lluvia con una determinada duración y determinadas características de distribución en la cuenca hidrográfica. Se admite que los hidrogramas de otras lluvias de duración y distribución semejantes presentarán el mismo tiempo de base, y con ordenadas de caudales proporcionales al volumen del fluido.

Se puede construir un hidrograma unitario a partir de los datos de precipitación y de caudales referentes a una lluvia de intensidad razonablemente uniforme y sin implicaciones resultantes de lluvias anteriores o posteriores.

Para realizar el método del hirograma unitario se deben tener por lo menos 5 años de estudio de intensidades de lluvia para poder trabajarlo. El hidrograma es la representación gráfica del caudal respecto al tiempo.

La capacidad de infiltración de un suelo es la capacidad que tiene el mismo para absorber el agua, de este concepto resulta el índice de infiltración que es por el cual se determina qué cantidad de agua de la precipitada se pierde por el proceso de infiltración.

Figura 19. Índice de infiltración



Fuente: elaboración propia, con programa Autocad.

El método del hidrograma unitario consiste en tener una tabulación de datos sobre una hora específica y su hidrograma unitario es decir que se tiene una hora y la cantidad de lluvia caída expresada en unidades de caudal, milímetro sobre hora, se tendrá metros cúbicos por segundo (m^3/seg).

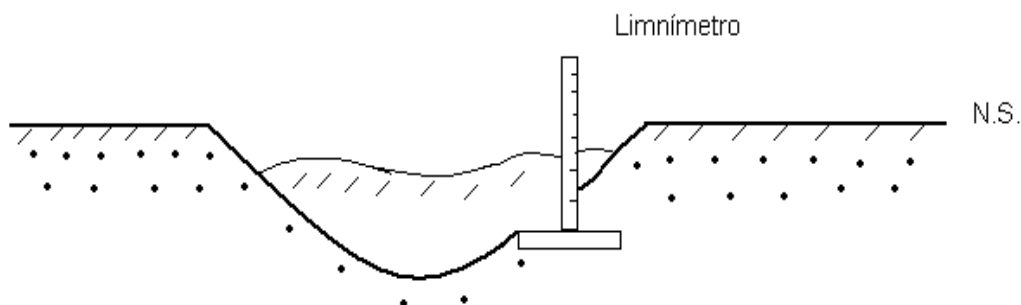
Como se indicó se debe tener un estudio de precipitaciones, entonces se tienen los hidrogramas de 2 lluvias intensas con sus precipitaciones correspondientes y a estas se le llamará hidrogramas de aguaceros, por consiguiente se realizarán los cálculos correspondientes que serían: ya teniendo el hidrograma unitario y los hidrogramas de aguaceros se dividen entre ellos mismos y se multiplican por el hidrograma unitario tabulado para cada hora y de estos cálculos resultará el hidrograma total de aguaceros al cual se le sumará el flujo base correspondiente que es el que lleva el cauce y se tiene por resultado el hidrograma total para cada hora en estudio, de esta tabulación se escoge el número mayor y este dato será la crecida máxima del cauce en estudio en términos de un caudal.

3.4.1.3. Medición de la altura de los ríos

Se lleva a cabo para conocer a qué altura llega el tirante del agua tanto en crecidas máximas como en flujo normal, esta será utilizada para determinar la altura del dissipador de energía, así como para saber la altura de un puente, el dissipador de energía será colocado e instalado un metro arriba del tirante analizado en la crecida máxima. La forma de calcular la altura o nivel de un río es por medio de un limnómetro o un limnógrafo.

- Limnómetro: es la herramienta adaptada para vigilar cuencas o ríos. El limnómetro o estación limnométrica es un instrumento que permite registrar y transmitir la medida de la altura de agua en un punto determinado de un río, una cueca. Generalmente las alturas se miden en metros o centímetros. La medida de la altura se puede convertir en estimación del caudal del río por medio de una curva de calibración.

Figura 20. **Limnómetro**

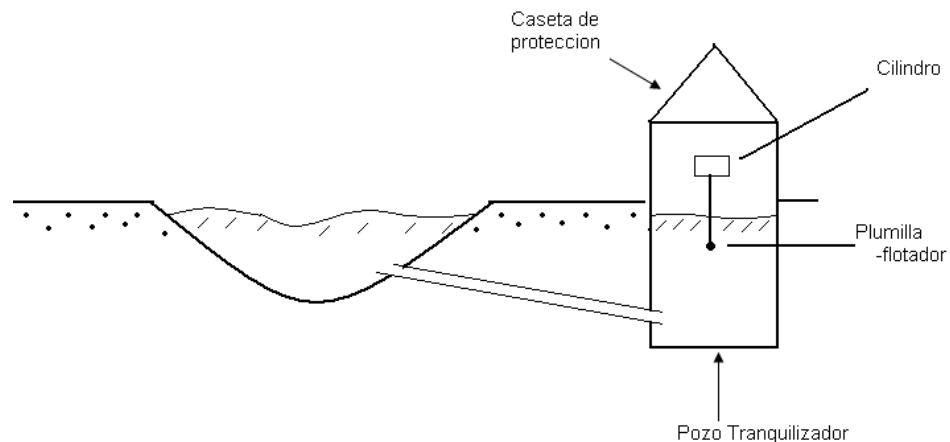


Fuente: elaboración propia, con programa Autocad.

- **Limnógrafo:** se trata de un instrumento de precisión adecuado para registrar, en función del tiempo, las fluctuaciones del nivel de la superficie de: lagos, cursos de agua, depósitos, napas freáticas, etc. Las características de instrumento lo hacen especialmente aplicable en aquellas zonas donde no se cuenta con la posibilidad de atención frecuente y las condiciones atmosféricas pueden ser severas.

Mediante la utilización de un eje helicoidal, para transmitir el movimiento del flotante al brazo inscriptor, es posible registrar sin interrupción aumentos y disminuciones de nivel excepcionales, dado que la pluma invierte su avance cada vez que llega al extremo del diagrama. Esto resulta particularmente útil ya que permite su instalación en ríos con regímenes poco conocidos o irregulares.

Figura 21. **Limnógrafo**



Fuente: elaboración propia, con programa Autocad.

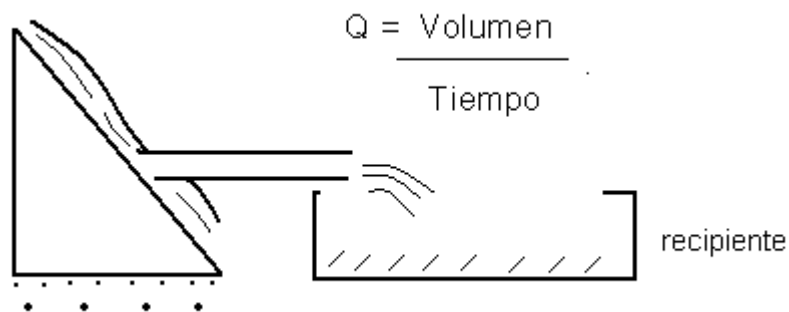
3.4.2. Calcular caudal

Es el proceso en el cual se conoce y analiza que cantidad de volumen sobre unidad de tiempo pasa por un río o cauce en específico, se lleva a cabo por medio de diferentes métodos de aforo los cuales se presentarán a continuación y así poder conocer cuál será el más eficiente para conocer el caudal máximo de un río en estudio y poder utilizarlo en el cálculo del diseño de un dissipador de energía.

3.4.2.1. Método de aforo volumétrico

Es el que consiste en determinar el tiempo de llenado de un recipiente de volumen conocido, y así poder conocer el volumen sobre unidad de tiempo.

Figura 22. **Aforo volumétrico**



Fuente: elaboración propia, con programa Autocad.

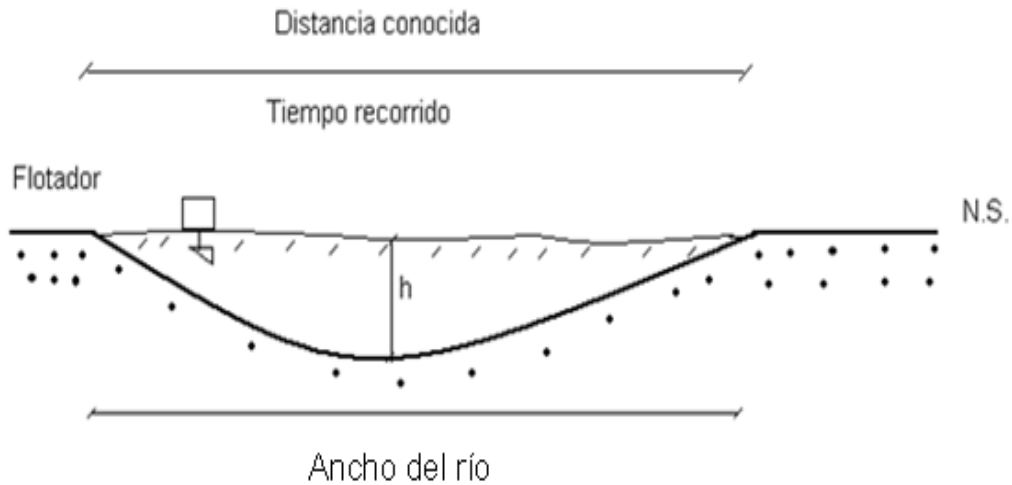
3.4.2.2. Método de aforo flotadores

Consiste en determinar el caudal del río con el siguiente procedimiento: primero encontrar un tramo del río en donde este sea recto y tenga un flujo no turbulento y colocar una marca inicial, después de determinar una distancia con una cinta métrica y colocar una marca final, se debe tener una distancia que permita que el flotador adquiera la velocidad del río, los flotadores pueden ser superficiales o lastrados, en el medio de la corriente se debe soltar el flotador sobre la marca inicial y tomar el tiempo de recorrido del flotador de la marca inicial a la final.

Con la distancia y el tiempo de recorrido tomados en campo se debe calcular la velocidad con $V = d / t$, después de tomar estos datos y calcular la velocidad que lleva el flujo se deberá medir el ancho del río y así por medio de formas triangulares se puede calcular su área, por consiguiente con el dato de la velocidad y el área se puede calcular el caudal que llevará el río en estudio con:

$$Q = V * A$$

Figura 23. **Aforo por flotadores**



Fuente: elaboración propia, con programa Autocad.

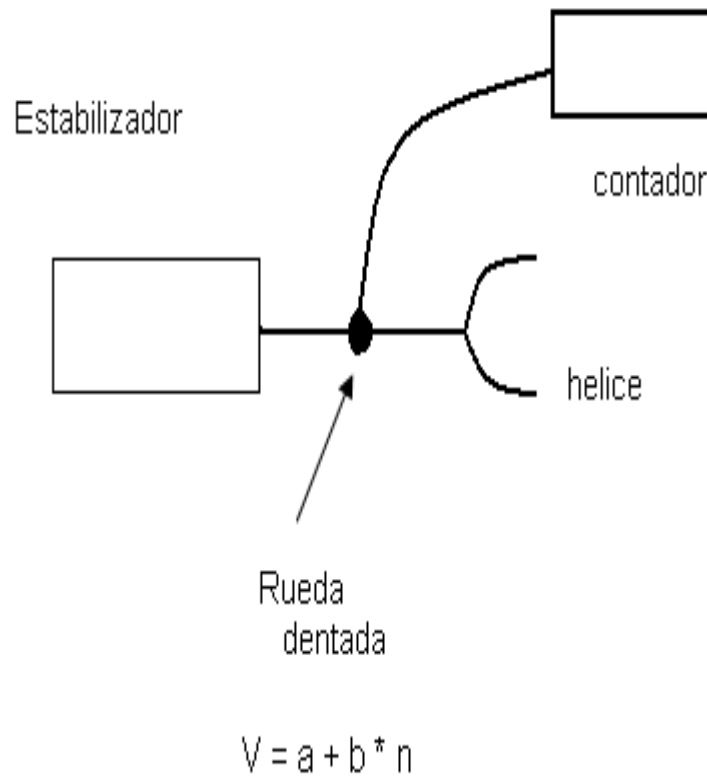
3.4.2.3. **Método de aforo molinete**

El aforo de un río por molinete se efectúa midiendo el ancho del río, por consiguiente se efectúa la división de sus secciones parciales y se mide la profundidad del río en cada sección, después de esto en cada sección parcial se realiza una medición de la velocidad por medio del instrumento llamado molinete que al introducirlo al agua dará una lectura de su velocidad con $V = a + b * n$, donde: las constantes a y b son constantes propias del molinete y la n es el número de revoluciones por segundo.

El molinete se introducirá al río a diferentes profundidades, si la profundidad es menor a un metro se instalará el molinete a una altura de 0,6 de la misma altura, y si es mayor a un metro se instalará el molinete a dos alturas ; a 0,2 de profundidad y a 0,8 de profundidad, del molinete se tomaran lecturas

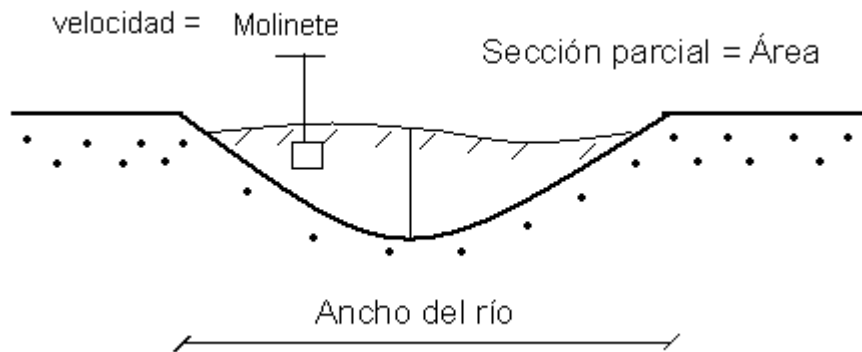
de número de revoluciones y tiempos y por la fórmula del molinete se calculará su velocidad, en cada sección parcial se tendrá una velocidad y un área entonces por la fórmula del caudal $Q = V * A$, se puede calcular un caudal para cada sección parcial y la sumatoria de caudales será el caudal de río.

Figura 24. **Molinete**



Fuente: elaboración propia, con programa Autocad.

Figura 25. **Aforo molinete**



Fuente: elaboración propia, con programa Autocad.

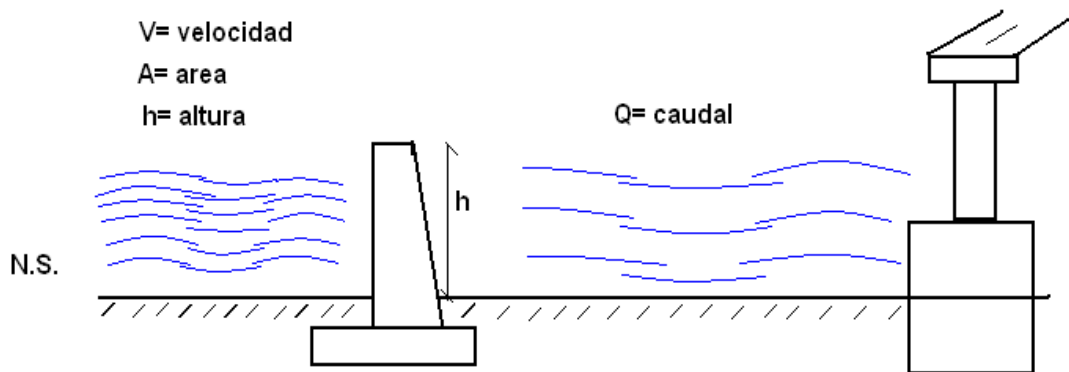
3.4.3. **Determinar fuerza de impacto**

Es la cantidad de energía que conduce el agua que a su vez contiene una fuerza producida por su velocidad, la cual será la fuerza horizontal equivalente (F_{eh}) que estará actuando sobre el dissipador de energía cargándolo de forma directa y constante. El agua tiene un flujo constante al ser afectado por una crecida máxima producida por factores climatológicos, el nivel del agua o tirante aumentará, y el caudal del río también incrementará su magnitud, se realizará el estudio de crecidas en su forma más crítica, es decir se realizará el estudio en una crecida máxima de poca probabilidad de ocurrencia.

Para encontrar la fuerza del agua se necesita determinar o conocer la altura máxima a la cual llega el río, este dato se puede obtener directamente del limnómetro o del limnógrafo, por consiguiente por algunos de los métodos de aforo anteriores y métodos hidrometeorológicos se puede calcular la velocidad del río, el área del río, y el caudal del mismo, con estos datos se podrá determinar la fuerza de impacto del agua que será la fuerza horizontal

equivalente que estará cargando de forma constante al dissipador de energía , esta fuerza es la única que podría hacer fracturar al elemento; por estas circunstancias se debe diseñar el elemento para que soporte estas cargas las cuales producirán un volteo y un deslizamiento.

Figura 26. **Movimiento del agua**



Fuente: elaboración propia, con programa Autocad.

La fuerza equivalente será la fuerza horizontal que actúe sobre la estructura y serán descritas o determinadas con base de los datos obtenidos del tirante de agua máximo, el peso específico del fluido, la velocidad del fluido, y el área del río.

Los datos obtenidos anteriormente se utilizarán para determinar una fuerza, pero para determinar y calcular esta se podrá hacer de dos maneras:

- La primer forma es calcular la presión que ejerce el fluido sobre el dissipador, la determinación de esta fuerza se inicia tomando datos del

nivel máximo de agua, y se calcula la presión, con la fórmula que describe que es el producto del peso específico del fluido por su altura, sobre el área de impacto que tiene el dissipador dará como resultado una fuerza, la cual será horizontal equivalente que deberá soportar el elemento.

- La segunda forma de determinar la fuerza equivalente será; obtener los datos de aforo del río en estudio, velocidad, área y caudal, se toma el tirante del agua, y se conoce el peso específico del fluido, seguido se calcula la masa del agua la cual actúa sobre el dissipador, esta masa se podrá determinar y así poder calcular la aceleración del fluido, por último se calcula la fuerza equivalente que este volumen produce con la fórmula que describe que una fuerza es igual a la multiplicación de la masa del objeto por su aceleración, esta deducción de la fuerza actuante es con la cual se diseñará el elemento de protección.

Esta fuerza constante a diferentes altura ocasionará que la estructura sufra volteo o deslizamiento, es por este motivo que una estructura puede fracturarse y presentar daños.

3.4.3.1. Fuerza equivalente por presiones

Es la fuerza con dirección horizontal que provocará el agua y su movimiento a través del dissipador de energía cargando la estructura, y se calcula por medio de los siguientes pasos:

- Paso I Obtener el peso específico del agua $P_s = 1\ 000$ kilogramos sobre metros cúbicos.

- Paso II Leer del limnómetro el tirante máximo del agua y así se tiene la altura del dissipador de energía.

$$h = \text{tirante en metros}$$

- Paso III Se realiza el cálculo para encontrar la presión ejercida por el agua en el punto más crítico, es decir el punto más bajo.

$$P = \rho_s * h$$

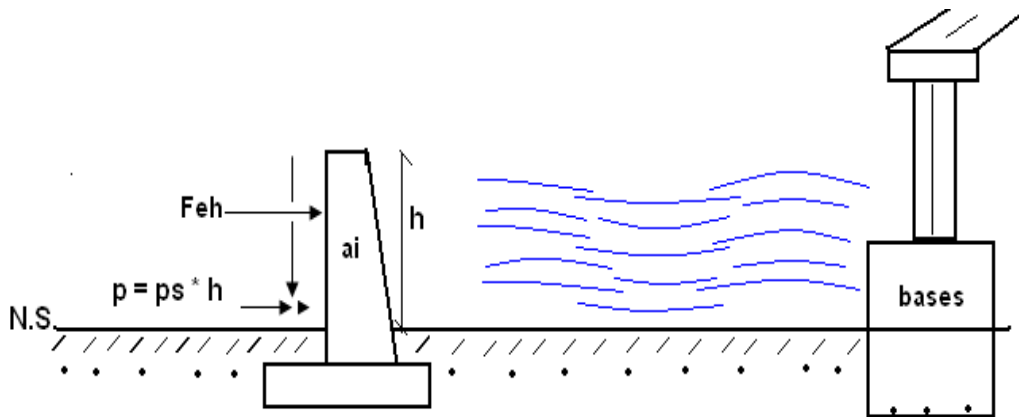
- Paso IV Con la presión ya calculada, se debe tener el área de impacto la cual es el área frontal del dissipador de energía.

$$\text{Área de impacto} = \text{Ancho del río} / 3 * h$$

- Paso V Con la presión y el área de impacto se puede determinar la fuerza equivalente, la cual estará representada por unidad de kg.

$$F_{eh} = P * A_i$$

Figura 27. **Fuerza equivalente por presiones**



Fuente: elaboración propia, con programa Autocad.

3.4.3.2. **Fuerza equivalente por aceleración**

La determinación de la fuerza equivalente por medio de la masa y velocidad del agua que impactará sobre el dissipador se calcula por medio de los siguientes pasos:

- Paso I Obtener el peso específico del agua $P_s = 1\ 000$ kilogramos sobre metros cúbicos.
- Paso II Leer del limímetro o limnógrafo el tirante máximo del agua y así se tiene la altura del dissipador de energía.

$$h = \text{tirante en metros}$$

- Paso III Realizar el aforo del río y determinar con los métodos hidrometeorológicos el caudal máximo que contiene el río.

$Q =$ Caudal máximo, m³/seg.

$V =$ velocidad, m³/seg.

$A =$ Área, m²

$t_i =$ tiempo de aforo, seg.

- Paso IV Calcular la aceleración del fluido en estudio.

$$a = V / t_i, \text{ m/seg}^2$$

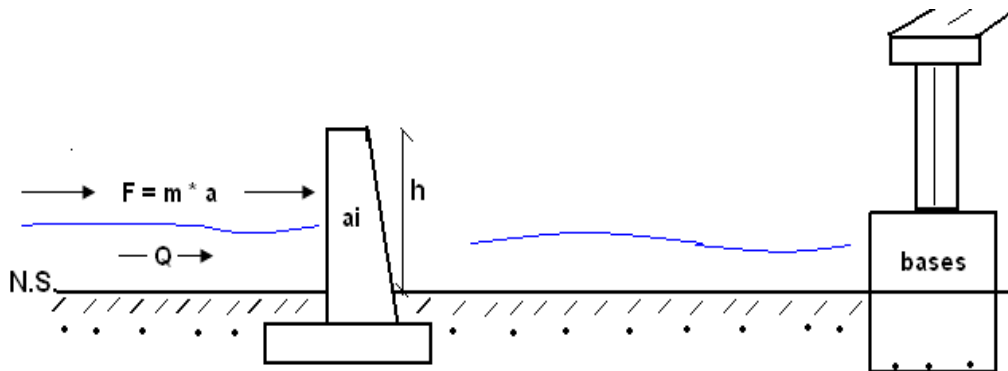
- Paso V Calcular la masa que estará actuando sobre el disipador, esta masa se calculará multiplicando el peso específico del fluido por su volumen que en este caso será el caudal.

$$M = P_s * \text{vol. } (Q_{\text{max}}), \text{ kg}$$

- Paso VI Con los datos anteriores calcular la fuerza equivalente.

$$F_{eh} = m * a, \text{ Newton}$$

Figura 28. **Fuerza equivalente aceleración**



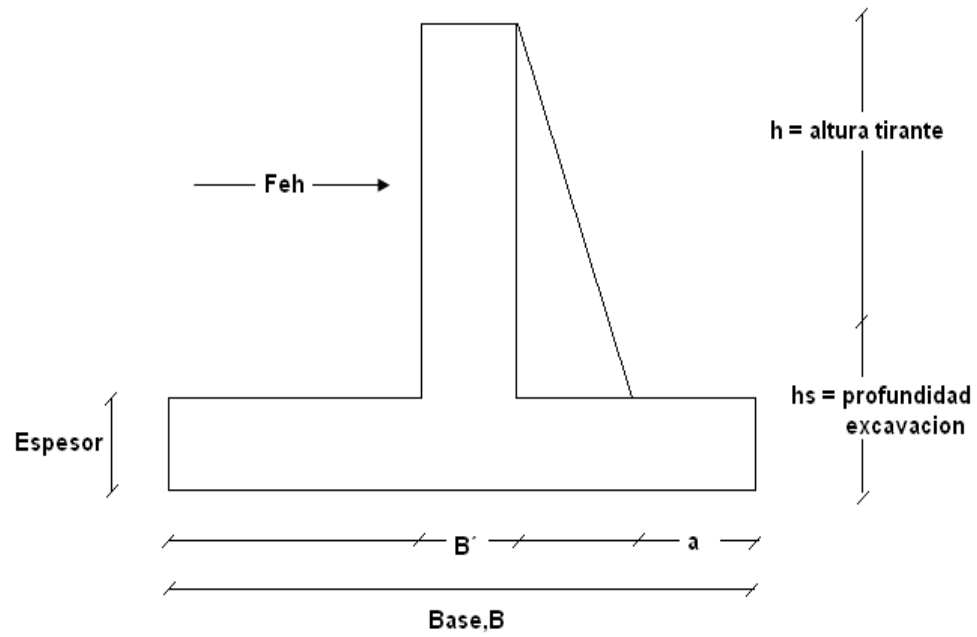
Fuente: elaboración propia, con programa Autocad.

Con estas dos formas se puede llegar a aproximar la carga que produce el flujo del agua y su peso específico, estos procedimientos son los que se deberán llevar a cabo antes de diseñar el dissipador, ya que es la fuerza total que el elemento deberá soportar.

3.4.4. **Diseñar dissipador de energía**

Un dissipador de energía trabaja y funciona como un muro de contención por eso es una obra de protección secundaria de un puente, y su forma funcional será la de un muro en voladizo aunque también se puede hacer como un muro por gravedad con las formas geométricas tratadas en capítulos anteriores, en este caso se tomará la forma de voladizo y se diseñará paso a paso para tener como resultado un elemento que soporte las cargas a las cuales estará expuesto y cumpla con su función la cual es proteger las bases de los puentes.

Figura 29. **Diseño dissipador de energía**



Fuente: elaboración propia, con programa Autocad.

Paso I Pre-dimensionamiento

- Encontrar la altura total del elemento que sería altura del nivel del agua más profundidad de excavación.

$$H = h + h_s$$

- Determinar el ancho crítico (B')

$$B' = 30 \text{ centímetros min.}$$

- Determinará el espesor e del elemento dividiendo su altura total dentro de los números 10 y 12 y sacar un promedio de los resultados.

$$e = H/10 \quad \text{y} \quad e = H/12$$

$$e = \sum e / 2$$

- Calcular la base total del elemento (B), ancho cortina (a) y distribuir valores.

$$a = B/3$$

$$B = 0,5 (H)$$

Paso II Determinar Fuerza equivalente horizontal (F_{eh})

- Paso a Obtener el peso específico del agua $P_s = 1\,000$ kilogramos sobre metros cúbicos.
- Paso b Leer del limnógrafo el tirante máximo del agua y así se tiene la altura del dissipador de energía.

$$h = \text{tirante en metros}$$

- Paso c Realizar el aforo del río y determinar con los métodos hidrometeorológicos el caudal máximo que contiene el río.

$Q = \text{Caudal máximo, m}^3/\text{seg.}$

$V = \text{velocidad, m}^3/\text{seg.}$

$A = \text{Área, m}^2$

$t_i = \text{tiempo de aforo, seg.}$

- Paso d Calcular la aceleración del fluido en estudio.

$$a = V / t_i, \text{ m/seg}^2$$

- Paso e Calcular la masa que estará actuando sobre el disipador, esta masa se calculará multiplicando el peso específico del fluido por su volumen que en este caso será el caudal.

$$M = P_s * \text{vol. (Qmax), kg}$$

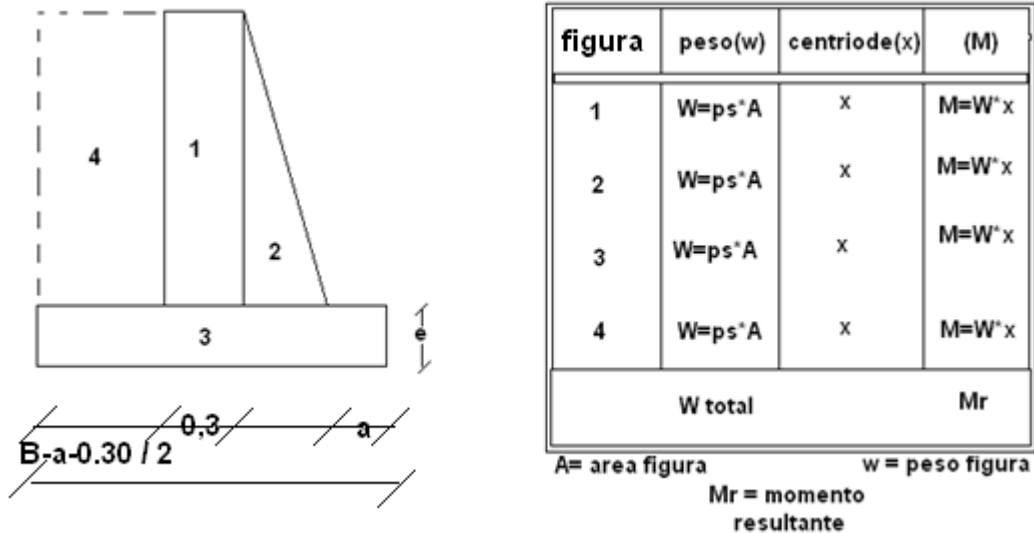
- Paso f Con los datos anteriores calcular la fuerza equivalente.

$$F_{eh} = m * a, \text{ Newton}$$

Paso III Calcular cargas totales y momento resultante

- Dibujar el disipador de energía con su distribución de valores.

Figura 30. Integración de momentos



Fuente: elaboración propia, con programa Autocad.

En este paso se debe separar el elemento en diferentes figuras y calcular su área, después sacar el centriode respecto a la base hacia la figura y sacar el peso de cada figura, con estos datos se puede determinar un momento para cada figura del dissipador, para luego obtener el momento resultante y el peso total de la estructura, los cuales servirán para determinar los chequeos que se le hacen a la estructura.

Paso IV Chequeo contra volteo

- Calcular el momento de volteo del dissipador, será ocasionado por la fuerza horizontal equivalente.

$$M_v = F_{eh} \cdot H/3$$

- Determinar el factor de seguridad el cual esté en función del momento de volteo y el momento resultante.

$$F.s. = M_r / M_v$$

$$F.s. > 1,5$$

Paso V Chequeo contra deslizamiento

- Determinar el coeficiente de fricción del suelo en donde estará ubicado el disipador de energía.

$$\text{Coef. } f = \text{variable}$$

- Determinar la fuerza de fricción que está en relación al coeficiente de fricción y el peso total del elemento.

$$F_c = W_{\text{total}} * \text{coef. } f$$

- Determinar el factor de seguridad el cual está en función del coeficiente de fricción del suelo y de la fuerza equivalente, este factor es el que nos indica si la estructura soportará o si se fracturará. En este caso si el factor no cumple se puede instalar un diente para que soporte el deslizamiento.

$$F.s. = F_c / F_{eh}$$

$$F.s. > 1,5$$

Paso VI Chequeo capacidad soporte del suelo

- Determinar el centroide de la figura en función del momento de volteo, momento resultante y el peso total de la estructura.

$$X = Mr - Mv / W \text{ total}$$

- Determinar la excentricidad de la figura la cual está en función de la base del dissipador y su centroide.

$$ec = X - B/2$$

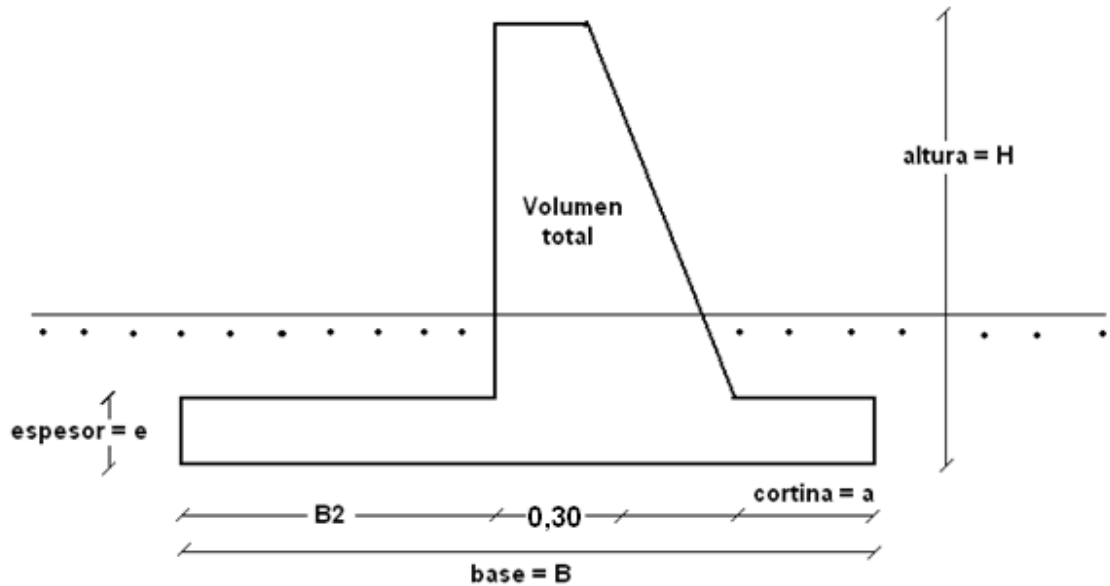
- Calcular el factor de seguridad el cual estará en función de los datos obtenidos con los cálculos anteriores como la excentricidad, centroide, peso total del elemento, y el área. Este factor debe ser menor a la capacidad soporte del suelo.

$$F.s. = W \text{ total}/\text{área} * (1 - 6*ec/B)$$

$$F.s. < CSS$$

Paso VII Disipador de energía

Figura 31. Disipador de energía perfil



Fuente: elaboración propia, con programa Autocad.

- Estas serían las dimensiones del disipador de energía la altura será el tirante máximo más la excavación más 1 metro de seguridad, la base $b2$ será a criterio del diseñador, teniendo en cuenta que existe un ancho crítico y un ancho de cortina, y el espeso sería definido por la altura, estas son las dimensiones que harán que el elemento soporte las cargas, el disipador de energía paso un proceso de chequeos sobre estas dimensiones, al pasar este proceso el diseño del elemento queda listo asegurándose que la estructura funcionará de forma eficiente y permanecerá en equilibrio a pesar de las fuerzas que lo cargan.

Figura 32. **Disipador de energía cara frontal**



Fuente: elaboración propia, con programa Autocad.

3.4.5. Colocación e instalación

La colocación e instalación de los disipadores de energía es una etapa más del proyecto, esta etapa es en la cual se ponen en práctica todos los procesos antes tratados, como lo son los materiales a utilizar, y los estudios que se llevan a cabo para conocer las características del terreno, características del cauce, entre otros, estos estudios y la selección de materiales son los que van a definir como estará constituido y en que ubicación se localizará el elemento, el cual debe llevar un diseño que soporte las cargas que serán producidas directamente por el agua contenida en el río, al pasar estos procesos conllevan a la construcción del elemento el cual deberá ser fabricado con mano de obra calificada.

Para realizar la colocación del disipador de energía se deberá desviar temporalmente la dirección del cauce, al hacerlo el elemento ya estará armado listo para su colocación y fundición, entonces se procederá a realizar una excavación a la profundidad establecida por el diseñador y posteriormente se

colocará el elemento, al cual se rellenará su volumen restante de excavación y se procederá a encauzar el río nuevamente y el dissipador de energía estará en funcionamiento en el momento que el agua toque su superficie, este trabajará de forma constante prestándole seguridad y protección extra a las bases de los puentes, pero su funcionamiento para el cual fue construido será puesto a prueba en el momento que ocurra una crecida máxima.

3.5. Costo dissipador de energía

El costo es una de los factores más importantes en la construcción ya que es el que define si un proyecto es factible o no, el costo de un dissipador de energía, es gasto que será añadido en la construcción de un puente es por este motivo que no se llegan a emplear estas obras de protección en la etapa de construcción y ejecución, el costo de un dissipador de energía estaría integrado en los costos de los materiales.

Depende de los materiales, si estos se pueden conseguir en la localidad o se deben de llevar desde un punto lejano si este fuera el caso el costo suba, ya que el traslado de los materiales representa un costo adicional, también está la mano de obra la cual representa un costo de armado, fundido y acabados los cuales deben de ser realizados por especialistas en estos trabajos, igual que en los materiales se debe conocer si existe mano de obra calificada local o de no ser así se debe llevar y conseguir esa mano de obra la cual representaría un gasto extra. Con los factores del costo de mano de obra y materiales, incluyéndole las prestaciones de ley, el costo por maquinaria y herramienta así como los impuestos, gastos administrativos y utilidad, se puede llegar a representar el presupuesto sobre la construcción de los dissipadores de energía.

3.5.1. Costo materiales

El costo de los materiales será definido por los precios unitarios existentes en la localidad o en otra parte en donde se obtendrán los materiales, para los fines de este elemento el costo se dejará en función de la unidad ya que no es posible sacar un costo ya que será diferente el volumen de materiales en cada lugar en donde se hace el elemento, los materiales y herramientas a utilizar en la etapa de construcción de un disipador de energía serán:

- Concreto Tipo a-1
- Acero G60 diámetro dependiendo del espesor
- Madera
- Alambre de amarre
- Aditivos
- Martillo
- Sierra eléctrica
- Excavadora
- Pala
- Mezcladora de concreto

Tabla VI. **Costo de materiales**

Costo materiales					
Código	Reglón de trabajo	Unidades	Cantidad	Precio unitario	Costo(Q)
1	Concreto	M3	1	2400	2400
1.1	Aditivos	Saco	1	67	67
2	Acero G60	Varillas	1	114.8	114.8
2.1	alambre de amarre	Lb	1	4.35	4.35
3	Madera	Pie tablar	1	18.9	18.9
3.1	Clavos	Lb	1	5.7	5.7
Total materiales con iva					2610.75
Total materiales sin iva					2331.03
Maquinaria y Equipo (5%)					116.55
Total costo materiales(Q)					2447.58

Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft office Excel.

3.5.2. Costo mano de obra

El costo de mano de obra será definido por los precios unitarios existentes en la localidad o en otra parte en donde se obtendrán los materiales y los renglones de trabajo que se deben realizar para la construcción de un elemento, para los fines de este elemento el costo se dejará en función de la unidad ya que no es posible sacar un costo directo ya que será diferente el volumen de materiales en cada lugar en donde se hace el elemento, la mano de obra, la integración de las prestaciones de los trabajadores las cuales serán sobre el código de trabajo se obtendrá de la sumatoria de porcentajes de los días no trabajados(105/365), bono 14(30/365), aguinaldo(30/365), Intra(1/100), indemnización(30/365), IGSS(4.83/100), dará como resultado un costo total. Los renglones para la construcción de un dissipador de energía son:

- Desvío del cauce
- Trazo y limpieza del terreno
- Nivelación del terreno
- Excavación
- Movimiento de tierra
- Armado
- Formaleteado
- Fundido

Tabla VII. **Costo renglones de mano de obra**

Costo mano de obra					
Codigo	Renglon de trabajo	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Q)	Costo(Q)
1	Trazo Y limpieza del terreno	MI	1	35	35
2	Nivelación del terreno	MI	1	35	35
3	Excavación	M3	1	116	116
4	Movimiento de tierras	M3	1	150	150
5	Armado	MI	1	32	32
6	Formaleteado	MI	1	24	24
7	Fundición	M3	1	450	450
8	Acabados	M2	1	54	54

Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft office Excel.

Tabla VIII. **Costo mano de obra**

Costo mano de obra				
Código	Renglón de trabajo	Unidad	Precio Unitario (Q)	Costo(Q)
1	Albañil	2	150	300
2	Ayudante	4	85	340
3	Armador	1	140	140
Cotos mano de obra				780
Prestaciones (59%)				460.2
Costo total mano de obra				1240.2

Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft office Excel.

3.5.3. Presupuesto

Instrumento financiero en el cual se incluyen los ingresos (entrada) y egresos (salida) que se calcula serán necesarios para la ejecución y operación del disipador.

El presupuesto es un supuesto de lo que se espera que cueste el proyecto, este se integra de los costos de mano de obra y materiales de construcción, herramientas y maquinaria que se emplea para la construcción del disipador de energía y por último el factor de indirectos : costo en gastos de administración (7 al 12 por ciento), administración en obra (1 al 5 por ciento), imprevistos (2 al 7 por ciento), fianzas (1 al 5 por ciento), impuesto (15 por ciento) y utilidad (15 al 25 por ciento sobre el total de la obra), porcentajes según el criterio del diseñador, sumando los porcentajes se obtiene el factor de indirectos, esta integración terminará con el cálculo de un precio unitario, el cual al multiplicarlo con los metros lineales que tendrá el disipador se obtendrá su precio total.

Tabla IX. Presupuesto

Costo materiales					
Código	Renglón de trabajo	Unidades	Cantidad	Precio unitario	Costo(Q)
1	Concreto	M3	1	2400	2400
1.1	Aditivos	Saco	1	67	67
2	Acero G60	Varillas	1	114.8	114.8
2.1	alambre de amarre	Lb	1	4.35	4.35
3	Madera	Pie tablar	1	18.9	18.9
3.1	Clavos	Lb	1	5.7	5.7
Total materiales con iva					2610.75
Total materiales sin iva					2331.02
Maquinaria y Equipo (5%)					116.55
Total costo materiales(Q)					(Q)2447.57

Costo mano de obra				
Código	Renglón de trabajo	Unidad	Precio Unitario (Q)	Costo(Q)
1	Albañil	2	150	300
2	Ayudante	4	85	340
3	Armador	1	140	140
Cotos mano de obra				780
Prestaciones (59%)				460.2
Costo total mano de obra(Q)				(Q)1240.2

Precio Unitario	
Total Costo directo (M.O + Mat)	(Q) 3687.77
Factor Indirectos (52%)	(Q) 1917.64
Sub-Total (C.directos - C.Indirectos)	(Q) 5605.4
I.V.A.	(Q) 672.65
PRECIO = Costo * F.I.	(Q)6278.07

Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft office Excel.

4. COMPARACIÓN DE PUENTES CON DISIPADORES DE ENERGÍA Y PUENTES SIN DISIPADORES DE ENERGÍA

Para entender y tener un amplio entendimiento de la importancia de la protección de las bases de los puentes, expuestas a cargas horizontales, se debe de comparar cómo funciona la estructura con un disipador de energía y como funciona sin uno.

- Con disipadores de energía

La función principal del disipador de energía, es brindarle una protección extra a las bases de los puentes para que estas no sufran fracturas y colapse la estructura, el elemento que tiene una función de protección es el responsable de poder erradicar los daños que sufren los puentes en tiempo de crecidas máximas.

Un disipador de energía provocaría un cambio sustancial al período de vida útil de un puente, es decir este elemento podrá erradicar que el impacto que provoca la velocidad y el volumen del agua sea directamente sobre las bases del puente erradicando el desgaste del elemento, esto sería directamente proporcional a la protección del acero, ya que si el agua no desgasta el concreto que lo rodea, no podrá corroerlo al acero, si se instala este disipador las bases no sufrirían de una sobrecarga horizontal, la fuerza que provoca la aceleración del fluido impactará directamente sobre el disipador, protegiendo así la estructura, dicha carga no se toma en cuenta en el diseño de un puente, y a largo plazo esta fuerza es la que provoca los daños a la estructura.

Si se pretende erradicar los daños a la estructura y no permitir que un puente colapse se debe de tomar en cuenta esta propuesta en la etapa del diseño para tener una protección que asegurará el funcionamiento del puente.

- Sin disipadores de energía

Los puentes que no tienen disipador de energía, son la mayoría que actualmente existen, estos presentan a la hora de crecidas máximas muchos problemas, ya que el agua toma una mayor velocidad al incrementarse el caudal promedio del río, esta impacta directamente sobre las bases del puente y ocasiona desgaste en el elemento, es decir que con el tiempo desgastará parte de la base dejando al descubierto parte del acero que compone las bases y se corroe al contacto con el agua.

Otro de los problemas es la socavación lateral, esta acción lo que provoca es que las cimentaciones ya no estén debajo del suelo si no expuestas al ambiente, estos daños son los principales pero de estos surge nuevos problemas, como es el deterioro de la subestructura del puente, el daño en algunos elementos del mismo, cuando sucede esto la estructura esta por colapsar y se produce otra avenida caudalosa y el impacto que sufren las bases ya deterioradas contribuyen a la destrucción total del puente ocasionando así pérdidas económicas, cierre de la vía de comunicación las cuales pueden usarse para comunicar una región a otra o un paso de mercadería, también es probable la pérdida de vidas humanas.

4.1. Tabla de comparación de puentes con disipadores de energía y puentes sin disipadores de energía

Los factores positivos y negativos que conlleva la instalación o no de disipadores de energía son diversos por este motivo se presentarán en una tabla comparativa y ver las ventajas y desventajas que repercuten en la utilización de estos elementos u obras de protección secundaria.

Tabla X. **Tabla comparativa**

Disipador de energía	
Factores Positivos	Factores Negativos
Erradica el desgaste del puente	El disipador sufre desgaste por el impacto del agua
Evita la socavación lateral	Se produce una socavación en la orilla del río
Protege las bases de los puentes	El disipador puede fracturarse y golpear a las bases de forma directa
Se construye in si-tu	Su construcción es complicada
Existe mano de obra calificada para su construcción	Encontrar mano de obra calificada en la localidad
Los materiales son comunes	Sus dimensiones son muy grandes

Continuación tabla X.

Erradica el problema del cierre de las vías de comunicación	Para su instalación se debe realizar un desvío del cauce
Evita pérdidas humanas	Su fracturación puede provocar riesgo de pérdida de vidas humanas
Su costo no representa un mayor gasto	Es costo es adicional al del puente.
Se puede realizar desde la etapa de diseño del puente	Se debe diseñar adicionalmente al puente
Los estudios a realizarle son los mismos del puente.	-----

Fuente: elaboración propia.

5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

5.1. Ventajas de la colocación de disipadores de energía

La colocación de obras de protección como el disipador de energía, tiene una función principal, el cual es el absorber la energía que lleva el agua y disminuir su fuerza para proteger las bases de los puentes y que esta no impacte con gran potencia en dichas bases provocando deterioro a las mismas, erosión del suelo, y fracturas.

La instalación de los disipadores de energía vendrán acompañados de ventajas y desventajas; las ventajas de un disipador de energía es que se pueden evitar las fracturas ocasionadas al puente, así como evitar las pérdidas humanas, erradicar la pérdida de comunicación de las poblaciones que conectaba el puente y por último, no tener que invertir en los gastos de reconstrucción del puente después de su destrucción.

Pero estas ventajas son solo una forma de ver la instalación de esta obra de protección, o de los problemas que conlleva, es la colocación del disipador de energía, así como el costo extra que representa el diseño y construcción del mismo, la fracturación del elemento y por último la socavación que provocará el elemento al desviar el agua hacia los lados.

5.1.1. Erradicar y reducir las fracturas en los puentes

Sobre la problemática actual, que sufren ciertas regiones en épocas de invierno donde ocurren intensas precipitaciones, las cuales destruyen

estructuras o elementos que están por su paso, uno de los más importantes los puentes ya que estas estructuras tienen la función de servir de comunicación entre dos puntos no accesibles, este problema se da por diversos factores antes mencionados, pero si es una realidad que este acontecimiento afecta de gran manera a las poblaciones como a la administración de la misma.

5.1.2. Evitar quedar incomunicado

La destrucción de un puente arrastra muchos daños a nivel físico de la estructura pero también repercute en la comunicación de las comunidades y este problema no se puede erradicar en su totalidad pero si se puede evitar que un puente colapse y es por medio de la instalación de obras de protección las cuales reducirán la mayoría de los problemas causados por las fracturación de un puente.

5.1.3. Evitar problemas por gastos de reconstrucción

La construcción de un puente conlleva diversos factores, uno de los más importantes es el económico, ya que este factor es el que indica si es factible la construcción del mismo y de cómo se llevará a cabo y en qué tiempo, entonces la construcción de un puente se convierte en una cifra que representa el precio del mismo, pero si se menciona de que una estructura ya construida en cierta región, y al paso del tiempo ha sido debilitada por el impacto del agua en sus bases y deterioro de los materiales que la componen, añadiéndole que su período de vida útil se cumplió, se puede prever que esa edificación estará en peligro y colapsará, seguido a esto su reconstrucción tendrá un costo el cual se podría erradicar protegiendo a las bases del puente.

5.2. Desventajas del uso de disipadores de energía

Después de conocer las ventajas que ofrece la instalación de un elemento de protección, se debe profundizar y poder ver la contraparte de estos beneficios, pues es bueno saber cuáles serán los factores negativos que producirá el uso de estos dispositivos, a estos factores negativos se les conocerá o llamará desventajas; son los factores que tendrán un impacto negativo sobre el proyecto, las cuales pueden ser el problema que surge a la hora de estar en la etapa de colocación del disipador, como se construirá en elemento si es prefabricado o se trabajara *in situ*, si es así, si hay mano de obra, o en qué tiempo se construirá para evitar crecidas que puedan estropear el elemento, también no se debe olvidar una parte esencial e importante de cualquier construcción a realizar, el estudio de suelos que se debe realizar al terreno para conocer si el mismo es apto para soportar la estructura.

Un estudio de suelos permite dar a conocer sus características físicas y mecánicas, es decir la composición de los elementos en las capas de profundidad, así como el tipo de cimentación acorde con la obra a construir y los asentamientos de la estructura en relación al peso que va a soportar, por este motivo se deberá realizar un estudio el cual llevará un tiempo por consiguiente gasto extra , pero se debe recalcar que es un estudio obligatorio, otra de las desventajas es el costo extra que presenta la construcción e instalación de elementos secundarios de protección, así como la fractura misma del disipador de energía y la socavación que producirá el desvío del caudal hacia los lados, estas desventajas son las que acompañan a las ventajas del uso del mismo.

5.2.1. Colocación del dissipador de energía

Uno de los factores que conlleva la utilización de un dissipador de energía es la colocación del mismo, pero previamente a que se realice la colocación del elemento debemos de efectuar o tener ya los respectivos estudios hidrológicos e hidráulicos así como el estudio estructural, ya con esos estudio se tendrá la información necesaria a tomar en cuenta para comenzar el proceso de instalación.

Cuando el elemento ya está diseñado y se conoce que soportará las cargas a las cuales se verá afectado como nos indican los estudios previos , la siguiente etapa seria la construcción e instalación del elemento o la colocación del dissipador de energía, este proceso inicia con la planificación de su instalación, surgen los problemas de cómo y cuándo se puede empezar a colocar ya que se debe tomar en cuenta las crecidas, la corriente de agua, entre otros los cuales serán indicados por el estudio hidrológico e hidráulico, por eso se hace un desvío del cauce para poder armar el elemento

Después se debe de tener la mano de obra y el tiempo de armado, fundido, y curado del elemento según los materiales a utilizar, estos factores aunque de muy poca relevancia se convierten en desventajas que pueden poner en peligro la decisión de su utilización, pero cabe recalcar que sus ventajas serán mayores que los factores negativos producidos en su instalación.

5.2.2. Costo del dissipador de energía

El costo de la instalación y construcción de un elemento de protección es uno de los factores que más se interponen en la utilización de los mismos, el

costo saldrá de; el costo de los materiales, mano de obra, costo de instalación, el costo de desviar el cauce, entre otros, esta integración de costos nos indicará el precio unitario que será de 6384.30 quetzales.

La realización de las obras de protección no se lleva a cabo comúnmente, pero se expone que la construcción de tales estructuras son de gran ayuda para erradicar grandes problemas que conllevará el colapso de un puente, es por esto que el fin de conocer tanto las ventajas como desventajas, es comparar y aunque el costo es alto el beneficio será mayor a largo plazo y se evita grandes daños a la estructura como a la población así como la reconstrucción del puente, lo cual sería oneroso.

5.2.3. Fractura del disipador de energía

Uno de los factores negativos que surgen en la utilización de un disipador de energía es que es una estructura hecha de concreto y acero y es probable que como cualquier otra estructura falle al final de su vida útil o cuando exista una corriente de gran fuerza para la cual no fue diseñada, este problema ocasionaría que si uno de estos elementos falla y se destruye por el impacto de una corriente caudalosa y de gran fuerza de arrastre el mismo elemento sería llevado y conducido por la corriente con su misma magnitud de velocidad hacia las bases del puente que este estaba protegiendo, provocando serios daños a la estructura, ya que serian sólidos de gran tamaño a una gran velocidad impactando directamente sobre este.

Si el disipador de energía fallara y fuera arrastrado por la corriente este podría ocasionar fracturas en el mismo con posibilidades de destrucción de la estructura, pero es de relevancia exponer que esto sucedería solo en crecidas máximas de poca ocurrencia, entonces en estos caso como no se diseña para

estas magnitudes o sucesos de la naturaleza nunca antes vistos, es de poca relevancia ya que la estructura no soportaría por si sola ni con elementos de protección, es más los disipadores solo servirían para poder ganar tiempo para erradicar la pérdida de vida humana, es decir de las personas que por diversos factores pudieran quedar atrapadas en la estructura en el momento en que esté a punto de colapsar.

5.2.4. Socavación lateral por desvío del agua

La socavación es el resultado de la acción erosiva del flujo de agua que arranca y acarrea material de lecho y de las bancas de un cauce, convirtiéndose en una de las causas más comunes de falla en puentes, esta socavación es la que produce el agua que es conducida por el cauce existente, en este caso se hablará de la socavación que producirá el mismo flujo pero que será impulsado directamente por el desvío del flujo que realiza el disipador de energía, esto quiere decir que al colocar el disipador de energía, el mismo, al realizar su trabajo el flujo impactará contra él y con esa fuerza el agua será desviada hacia los lados, pudiendo así provocar una socavación lateral y poner en peligro la estructura.

La socavación se puede notar a simple inspección ocular, se puede determinar que la socavación que provoque el desvío del agua producido por la obra de protección es menor, ala que produciría esta al impactarse directamente, con estos factores se puede decir que aunque existan desventajas con el uso del disipador de energía, las ventajas son mayores y erradicarían gran parte de los problemas que afectan actualmente a los puentes.

5.2.5. Ventajas y desventajas por forma geométrica

La forma que tendrán el dissipador de energía será de tres tipos; en forma cúbica cuadrada, circular o cuadrado redondeado, su forma geométrica contendrá desventajas y ventajas, en el elemento cúbico o cara cuadrada se debe de tomar en cuenta que en los extremos en donde se forman las esquinas, el agua las golpeará siendo ese punto el más vulnerable y se deteriorarán, pero tendrá un área de impacto mayor por tener una cara frontal cuadrada y por esto se tendrá una mayor disminución de la energía; en el dissipador circular el área de impacto será pequeña ya que en un área circular no se tiene una superficie plana, por consiguiente el agua impactará sobre ese punto deteriorando el centro del dissipador, pero por su forma obligará al agua a redondearlo erradicando así el deterioro lateral.

El dissipador cuadrado redondeado obliga al agua a redondear sus costados y evitando el deterioro lateral, así como su área de impacto. Es considerablemente eficiente, aunque esta forma será difícil de construir ya que su formaleta sería especial.

CONCLUSIONES

1. El dissipador de energía cumplirá con su función de protector a las bases de los puentes para evitar que sufran facturas, la función del elemento iniciará en el momento en el que el agua toque su estructura con una magnitud constante la cual cargará al mismo y le infringirá un esfuerzo, la obra de protección soportará y absorberá la energía de agua, por consiguiente hará llegar el flujo en forma laminar a las bases de los puentes, en este momento el elemento estará en su etapa de operación.
2. Una obra de protección es una estructura que se debe realizar en la construcción de un puente, ya que estas obras serán las que podrán aumentar o prolongar su vida útil, así como evitar gastos de reconstrucción, pérdida de vidas humanas y su fracturación.
3. La colocación e instalación de dissipadores de energía proporcionarán una disminución o una erradicación parcial de los problemas que surgen por la falla de un puente y por ende si vida útil en su fase de operación y funcionamiento se mantendrá.
4. Para erradicar una falla o fracturación del un puente se debe implementar una protección secundaria, la cual cargará con la fuerza equivalente horizontal producida por el agua, protegiéndolo de dicha fuerza, lo cual indica la importancia de diseñar un dissipador de energía.

RECOMENDACIONES

1. Para mejorar el funcionamiento de un disipador de energía se deberá realizar independientemente de los estudios mencionados, un análisis químico en donde se pueda comprobar la existencia de sulfatos y de esta manera conocer si es necesaria la utilización de un material cementante especial que brinde protección hacia la sustancia química actuante y asegurar su vida útil de manera prolongada.
2. Proponer en los proyectos en donde no se pudo implementar el disipador de energía, la utilización de diferentes materiales para la construcción de una obra de protección secundaria, como la utilización de gaviones creando un muro por gravedad el cual sería de bajo costo y fácil instalación.
3. Proponer la instalación y colocación de los disipadores de energía en los puentes que más han sufrido daños en tiempo de invierno, para poder erradicar los problemas que conllevan una fracturación total.
4. Realizar la implementación de los disipadores de energía en cada puente de la república de Guatemala, y hacer un estudio comparativo de cómo se comporta el elemento en tiempo de invierno y crecidas máximas, así como que beneficios y desventajas se obtiene de la instalación de dicho elemento.

BIBLIOGRAFÍA

1. AGUILAR RUIZ, Pedro. *Apuntes sobre el curso de Ingeniería Sanitaria 1*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 170 p.
2. APARICIO MIJARES, Francisco Javier. *Fundamentos de hidrología de superficie*. México: Limusa, 1989. 303 p.
3. BRAJA, M. Das. *Principios de ingeniería de cimentaciones*. 4a ed. México: Thomson, 2001. 879 p.
4. CENGEL, Yunus A.; CIMBALA, John M. *Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones*. México: McGraw-Hill, 2005. 956 p.
5. CRESPO VILLALAS, Carlos. *Mecánica de suelos y cimentaciones*. 4a ed. México: Limusa, 2002. 650 p.
6. ESCUELA DE INGENIERIA DE ANTIOQUIA. *Disipadores de energía*. [en línea] <<http://fluidos.eia.edu.co/obrahidraulica/articulos/disipadores.html>> [Consulta: 10 de octubre de 2012].
7. HERNÁNDEZ CANALES, Juan Carlos. *Características físicas y propiedades mecánicas de los suelos y sus métodos de medición*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008. 466 p.

8. INSIVUMEH. *Climas en Guatemala*. [en línea]
<<http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/zonas%20climaticas.htm>>
[Consulta: 2 de octubre de 2012].
9. JÚAREZ BADILLO, Eulalio. *Mecánica de suelos*. 3a ed. México: Limusa, 1998. 500 p.
10. LINSLEY, Ray K.; KOHLER, Max A.; PAULHUS, Joseph L. *Hidrología para ingenieros*. México: McGraw-Hill, 1998. 386 p.
11. MOLINA HIGUEROS, Marco Antonio. *Materiales de construcción en ingeniería civil*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1998. 110 p.
12. SOWER, George B.; SOWER, George F. *Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones*. México: Limusa, 1972. 677 p.
13. STREETER, Víctor L.; BEDFORD, Wylie B. *Mecánica de los fluidos*. 9a ed. Colombia: McGraw-Hill, 1999. 594 p.
14. UNIVERSIDAD DEL CAUCA. *Socavación en puentes*. [en línea] <<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articuloe/conceptosbasicosmfluidos/socavacion/socavacion.html>> [Consulta: 10 de octubre de 2012].

ANEXOS

Figura 33. **Puente fracturado**



Fuente: imagen Google/puentes. Consulta: septiembre de 2012.

Figura 34. **Puente colapsado**



Fuente: imagen Google/puentes. Consulta: septiembre de 2012.

Figura 35. **Fractura en bases**



Fuente: imagen Google/puentes. Consulta septiembre de 2012.